

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



ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

X КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

24-28 апреля 2023 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ВЛАДИВОСТОК
2023

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

X конференция молодых ученых
24 - 28 апреля 2023 г.
г. Владивосток, Россия

Материалы конференции

OCEANOGRAPHIC RESEARCH

X Conference of young scientists
April 24 – 28, 2023, Vladivostok, Russia

Collection of papers

Владивосток
ТОИ ДВО РАН
2023

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

Океанологические исследования: материалы X конференции молодых ученых, 24 – 28 апреля 2023 г., Владивосток, Россия. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2023. – 215 с.

ISBN 978-5-6049683-0-7

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

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

Утверждено к печати Ученым советом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН).

Oceanological research: proceedings of the X conference of young scientists, April 24 – 28, 2023, Vladivostok, Russia. – Vladivostok: POI FEB RAS, 2023. – 215 p.

The collection presents the results of research obtained by young scientists of Russian Academy of Sciences and industry institutions both post-graduates and students of the Russian universities. A wide range of issues of oceanography, geophysics, geochemistry, ecology and biological resources of the World Ocean are discussed, including modern information technologies, methods and technical means of ocean investigations.

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

ISBN 978-5-6049683-0-7

© ТОИ ДВО РАН, 2023 г.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатели научного комитета

Директор ТОИ ДВО РАН
Академик РАН
Григорий Иванович Долгих

Зам. директора ТОИ ДВО РАН:
д.г.-м.н. Ренат Беллалович Шакиров
д.ф.-м.н. Денис Владимирович Макаров

Ученый секретарь
к.г.н. *Наталья Васильевна Шлык*

Председатель оргкомитета
к.г.-м.н. Ирина Александровна Прушковская

Председатели секций:
к.г.н. Михаил Константинович Пичугин
к.г.н. Дмитрий Дмитриевич Каплуненко
к.б.н. Валентина Владимировна Слободскова
к.б.н. Авианна Фаязовна Жуковская
к.г.-м.н. Мария Сергеевна Обрезкова
к.г.н. Юрий Павлович Василенко
к.ф.-м.н. Владимир Александрович Чупин
к.т.н. Сергей Владимирович Яковенко

Материалы конференции публикуются в авторской редакции

Составитель:
к.г.-м.н. Ирина Александровна Прушковская

СОДЕРЖАНИЕ

50 лет Тихоокеанскому океанологическому институту им. В.И. Ильичева ДВО РАН 10

СЕКЦИЯ 1. Океанология, физика океана и атмосферы 14

Бухарова М. Г., Василевская Л. Н. Зависимость вертикальной структуры летнего муссона на юге Приморского края от антициклогенеза над прилегающей морской акваторией 14

Дидов А.А., Будянский М.В., Улейский М.Ю., Файман П.А. Методы 3D визуализации гидрологических полей по данным моделей циркуляции океана 16

Доманюк А.В., Саломатин А.С., Шахова Н.Е., Семилетов И.П., Ананьев Р.А., Черных Д.В. Пузырьковая эмиссия метана в море Лаптевых 18

Егорова Е.С., Миронов Е.У., Ильющенко И.А. Сезонные и межгодовые изменения ледообмена Гренландского и Баренцева морей с соседними акваториями 20

Журавлев П.В. Нелинейное трение в эволюции вихря на β -плоскости 22

Казак М.С., Петрова Т.Н., Петров П.С. Об одном обобщении метода ВКБ и его применении в акустике мелкого моря 24

Калмыкова Д.В., Чурилова Т.Я., Ефимова Т.В., Моисеева Н.А., Скороход Е.Ю., Землянская Е.А. Вертикальное распределение спектральных биооптических показателей прибрежных вод Черного моря в районе г. Севастополя 25

Калюжный Д.С., Соколов Д.Д., Горячев В.А. Методика измерения гамма-активных изотопов в пробах морской воды 28

Канталин В.А. Метеорологические условия, влияющие на накопление загрязняющих веществ в атмосфере 30

Капач С.С., Клещёва Т.И. Грозовая активность на побережье Приморского края 32

Кивва К.К., Сумкина А.А. Физические условия «цветения» фитопланктона в тихоокеанском секторе Арктики 34

Кодрян К.В., Кивва К.К. Водные массы западной части Чукотского моря в августе 2019 г. 36

Кокоулина М.В., Куркина О.Е., Талипова Т.Г., Куркин А.А., Пелиновский Е.Н. Анализ среднеклиматических характеристик внутренних волн в Японском море в контексте прогноза динамических эффектов и влияния на окружающую среду 38

Кузнецова Н.В., Степанов Д.В. Мезомасштабный перенос солёности в северо-западную часть Японского моря и его вариации с 1994 по 2018 гг. 40

Липинская Н.А., Салюк П.А. Контрастные характеристики для дистанционного детектирования в оптическом диапазоне субмезомасштабных вихрей, переносящих воды реки Туманная 42

- Малахова Т.В., Макаров М.М., Сырбу Н.С., Стецюк А.П., Будников А.А., Хурчак А.И., Кучер К.М., Заговенкова А.Д., Легкодимов А.А., Иванов М.В.* Новые районы струйных газовыделений на шельфе Черного моря у южного берега Крыма: результаты исследований 1-ого этапа 125 рейса НИС «Профессор Водяницкий» 44
- Марыжихин В.Е., Шевченко Г.В.* Приливные течения и водообмен в проливе Лаперуза 46
- Марыжихин В.Е., Шевченко Г.В.* Формирование апвеллинга у юго-западного побережья острова Сахалин под воздействием ветра 48
- Мухаметьянов Р.З., Кречик В.А., Фрей Д.И.* Пространственная структура вод в северо-западной части моря Уэдделла 50
- Остроумова С.А., Кречик В.А., Смирнова Д.А., Фрей Д.И., Баширова Л.Д., Кулешова Л.А.* Контактные измерения динамической и термохалинной структур Гвинейского купола в августе 2022 52
- Скорород Е.Ю., Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Ефимова Т.В., Моисеева Н.А.* Применение регионального алгоритма к данным спутникового инструмента цвета океана OLCI для прибрежных вод Черного моря 54
- Смирнова Д.А., Медведев И.П.* Особенности экстремальных колебаний уровня Японского моря при прохождении тайфунов в течение последних 10 лет 57
- Смирнова Д.А., Фрей Д.И., Медведев И.П.* Выделение составляющих скорости потока Антарктической донной воды в канале Вима по спектральному анализу 59
- Соколов Д.Д., Калюжный Д.С., Горячев В.А.* Технология измерения концентрации трития в морской воде 61
- Солонец И.С., Файман П.А., Дидов А.А.* Моделирование трехмерного лагранжевого переноса в вихрях залива Петра Великого на основе LTRANS 63
- Сорокин М.А., Петров П.С., Дидов А.А., Будянский М.В., Голов А.А., Моргунов Ю.Н.* Горизонтальная рефракция звука при распространении через синоптический вихрь в Японском море 65
- Сумкина А.А., Иванов В.В., Кивва К.К.* Роль температуры в изменчивости теплообмена поверхности Баренцева моря 66
- Тимофеева А. Б., Шаратунова М.В.* Оценка изменения толщины припайного льда морей Российской Арктики 68
- Тыщенко А.Г., Козицкий С.Б., Петров П.С.* Метод расчёта векторных акустических полей на основе модовых параболических уравнений 70
- Удалов А.А., Будянский М.В., Пранц С.В.* Перепись и свойства мезомасштабных Курильских вихрей в 1993 – 2021 гг. 71
- Федорова А.Г., Василевская Л.Н.* Оценка биоклиматических индексов на территории Приморского края 73
- Фетисов С.В.* Применение методов машинного обучения для определения района выброса морского мусора на северном побережье Самбийского полуострова 76

<i>Фрей Д.И., Кречик В.А., Баширова Л.Д., Остроумова С.А., Смирнова Д.А., Кулешова Л.А., И.Ю. Дудков.</i> Пространственная структура абиссального потока антарктических вод в разломе Романш	78
<i>Шевченко Г.В., Ложкин Д.М.</i> Пространственно-временная изменчивость составляющих радиационного баланса на поверхности дальневосточных морей по данным реанализа ERA5	80
<i>Шевченко Г.В., Ложкин Д.М., Цхай Ж.Р.</i> Сезонная и межгодовая изменчивость температуры поверхности Берингова моря по данным реанализа ERA5	82
<i>Щербакова К.П., Космач Д.А., Черных Д.В., Шахова Н.Е., Семилетов И.П.</i> Пространственно-временная изменчивость метана в море Лаптевых	84
СЕКЦИЯ 2. Геология, геофизика и геохимия океана	86
<i>Ефимова К.А.</i> Морфодинамика лагунной части Куршской косы осенью 2022 года	86
<i>Ким Д.В., Аксентов К.И., Астахов А.С., Саттарова В.В., Иванов М.В., Алаторцев А.В.</i> Фоновые (доиндустриальные) концентрации ртути в донных отложениях шельфа Восточно-Арктических морей России	89
<i>Колесник О.Н., Карабцов А.А., Съедин В.Т., Колесник А.Н.</i> Гетитовые корки Японского моря	92
<i>Лисовицкий А.С., Московченко Л.Г.</i> Мультифрактальный анализ микродеформаций земной коры с помощью лазерных деформографов	94
<i>Малышева Е.Н.</i> Палеоэкологическая и палеонтологическая характеристика органогенной постройки горы Сестра в Южном Приморье	97
<i>Новосёлова Ю.В.</i> Реконструкция тысячелетних изменений растительности и климата на побережье Японского моря в позднем плейстоцене	99
<i>Радзиня А., Кулешова Л.А., Баширова Л.Д., Пономаренко Е.П., Пугачёва Т.Л.</i> Реконструкция палеоокеанологических условий в районе трансформного разлома Чарли-Гиббс на границе позднего плейстоцена и голоцена	102
<i>Ревенко М.А., Сырбу Н.С.</i> Газовые гидраты в Японском море	104
<i>Романова А.В., Плетнев С.П.</i> Геохимические особенности аутигенной карбонатной минерализации раковин фораминифер в условиях голоценовых метановых эмиссий в Охотском море	107
<i>Рубан А.С.</i> Микроэлементный состав метан-производных карбонатов континентального склона моря Лаптевых	109
<i>Рябинкин К.С., Пупатенко В.В.</i> Сейсмологический мониторинг прибрежных зон бюджетными сейсмостанциями	112
<i>Савельева Е.Э., Сырбу Н.С.</i> Газовые гидраты в Индийском океане	113
<i>Селютин С.А., Колесник А.Н.</i> Первичное стратиграфическое расчленение верхней части	

осадочной толщи Центрально-Чукотской котловины Чукотского моря	115
<i>Сигеев И.А., Прошкина З.Н.</i> Сейсмичность и глубинное строение юго-западного шельфа Сахалина	117
<i>Телегин Ю.А., Окулов А.К., Бовсун М.А., Канталин В.А.</i> Газогеохимические исследования в районе о. Парамушир, апрель-май 2021 г.	119
<i>Холмогоров А.О., Савельева Е.Э., Рогожина Е.А., Ревенко М.А.</i> Определения метана в рингах Южного Атлантического течения	120
<i>Элбакидзе Е.А.</i> Диатомовая летопись условий осадконакопления на побережье юго-западного Приморья в районе озера Птичьего	123
<i>Якимов Т.С.</i> Геохимическая характеристика гранитоидов возвышенности Медведева (Японское море)	125
СЕКЦИЯ 3. Экология океана. Биоресурсы океана	128
<i>Алексеева Н.К., Лис Н., Новихин А., Весман А., Блошкина Е., Чернявская Е., Гангнус И., Литина Е.</i> Оценка состояния карбонатной системы водных масс Арктического бассейна по экспедиционным данным в летне-осенний период 2021 г.	128
<i>Барабанищikov Ю.А., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Павлова Г.Ю., Швецова М.Г., Шкирникова Е.М., Рюмина А.А.</i> Карбонатная система в донных отложениях мелководных бассейнах залива Петра Великого (Японское море)	130
<i>Бочерикова И.Ю., Чубаренко И.П.</i> Анализ загрязнения частицами микропластика снега, подледной воды и льда в Куршском заливе (Балтийское море)	132
<i>Варваренко Я.С.</i> Офиуры (Echinodermata: Ophiuroidea) шельфа Восточной Камчатки и западной части Берингова моря	134
<i>Дюрдеева А.А., Ким А.А.</i> Оценка загрязнения вод б. Новик (о. Русский) по содержанию тяжелых металлов в бурых водорослях	136
<i>Емелин П.О., Мазникова О.А., Орлов А.М.</i> Нектон Чукотского моря: структура и динамика изменений	138
<i>Зверева А.Ю., Орлова Т.Ю., Морозова Т.В.</i> Покоящиеся стадии микроводорослей современных поверхностных осадков Амурского залива, Японское море	140
<i>Игнатьева В.А., Патрушев М.Г., Кудряшова Ю.В., Чижова Т.Л.</i> Загрязнение полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) донных отложений залива Петра Великого (Японское море)	142
<i>Исакова Д.А., Кудряшова Ю.В., Чижова Т.Л., Полоник Н.С.</i> Исследование происхождения органического вещества и содержания нефтепродуктов в донных отложениях залива Петра Великого (Японское море)	144
<i>Ким А.Ч., Шпакова Т.А., Чумаков Д.Е.</i> Определение продолжительности жизни тихоокеанской устрицы <i>Crassostrea gigas</i> из лагуны Буссе (залив Анива, Охотское море)	146
<i>Кривошлык П.Н., Чубаренко И.П.</i> Данные о содержании микропластика в донных	

отложениях Финского залива (Балтийское море) по данным рейса АНС39	148
Кудряшова Ю.В. Вертикальное распределение и потоки ПАУ в пелагиали северо-западной части Японского моря	150
Липухин Э.В., Симакова У.В., Москаленко В.Н., Молодцова Т.Н. Фауна цериантарий (ANTHOZOA: CNIDARIA) российских морей	152
Лисицына К.Н., Каменев Г.М. Новые виды двустворчатых моллюсков для морской фауны Курильских островов	155
Логинова Н.Б., Поважный В.В. Оценка межгодовых колебаний продукции органического вещества в морях Карском и Лаптевых по материалам экспедиций 2018 – 2021 гг.	158
Мазанова А.Д., Коренева Т.Г. Результаты мониторинга массового содержания фенолов в воде прибрежной зоны Южного Сахалина	160
Малахова Л.В., Войцеховская В.В., Малахова Т.В. Стойкие органические загрязнители в брюхоногих моллюсках в морских и пресноводных акваториях Крыма	163
Малахова Т.В., Хурчак А.И., Рылькова О.А. Бактериальное окисление легких предельных углеводов: экспериментальная оценка скорости для накопительных культур метанотрофных сообществ из пресноводного и морского районов газовой разгрузки	166
Панькова И.Г., Кирицели И.Ю., Ильюшин В.А., Гаврило М.В. Развитие микроскопических грибов на древесине плавника в районе архипелага Северная Земля в Карском море	168
Позолотина Л.А., Климова А.В. Использование бурых водорослей <i>Fucus distichus</i> и <i>Alaria esculenta</i> для комплексной оценки металлического загрязнения Авачинского залива (юго-восточная Камчатка)	170
Рюмина А.А., Тищенко П.Я., Шкирникова Е.М., Барабанищikov Ю.А. Содержание тяжелых металлов в морской траве <i>Zostera marina</i> , бухта Воевода (Амурский залив)	173
Семкин П.Ю. Карбонатная система вод и потоки биогенных веществ с речным стоком в заливах-эстуариях Шантарского региона в период летнего паводка	175
Серова К.М., Зайцева О.В., Вишняков А.Э., Островский А.Н. Общая организация и ультраструктура сенсорных органов и нервной системы авикуляриев у представителей морских мшанок	177
Слизченко Е.В., Шибецкая Ю.Г., Бежин Н.А. Оценка потоков ^{210}Pb и ^{210}Po в Черном море	179
Тевс К.О., Шевченко О.Г., Шульгина М.А. Фитопланктон прибрежных вод юго-восточной части Амурского залива	181
Ускова С.С., Мартынова А.В. Видовое разнообразие бактерий рода <i>Enterococcus</i> выделенные из водных объектов г. Владивостока	184
Фарбер А.А., Мансурова И.М., Минина Н.В., Стельмах Л.В., Бабич И.И., Борисова Д.С. Концентрация хлорофилла «а», протяженность зоны фотосинтеза и содержание биогенных веществ в прибрежных водах Черного моря в летний и осенний периоды 2022 г. по результатам 122 и 124 рейсов НИС «Профессор Водяницкий»	186

Фролова М.А., Бежин Н.А., Козловская О.Н., Тананаев И.Г. Использование космогенных изотопов ^{32}P и ^{33}P для оценки параметров биодинамики фосфора 188

Хмель Д.С., Василенко Л.Н., Даутова Т.Н. Таксономическое разнообразие радиолярий в отложениях гайота Коко Императорского хребта (по данным колонки LV94-12-K2) 189

Шамбарова Ю.В., Захарков С.П. Использование прибора FLOWCAM для изучения биопродукционных характеристик морских экосистем 191

Шибеецкая Ю.Г., Козловская О.Н., Разина В.А., Бежин Н.А. Вертикальное распределение изотопов радия в Черном море 192

СЕКЦИЯ 4. Информационные технологии, новые методы и технические средства исследования океана 194

Болсуновский М.А., Шестаков Н.В., Долгих Г.И., Перевалова Н.П. Поиск ионосферных возмущений, инициированных извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г., над территорией Приморского края 194

Глебов Е.П., Салюк П.А. Телеграм бот для предоставления гидрометеорологической информации 197

Гриценко В.А. Применение свёрточной нейронной сети для поиска вокализаций морских млекопитающих 199

Иванов М.П., Долгих С.Г. Расчет коэффициента преобразования данных лазерного измерителя вариаций давления гидросферы 201

Костык В.А., Каплуненко Д.Д. Анализ методов заполнения пропусков в рядах атмосферных осадков 203

Кравченко Ю.Н., Анисимова Л.А., Левашов Д.Е. Электронно-оптические методы в инструментальных исследованиях планктона «in situ» 205

Лебедев М.С. Программный модуль гидроакустической навигационной системы большой дальности для обсервации подводных объектов 207

Марченко М.О., Бессонов Р.С., Дубина В.А., Круглик И.А. Результаты спутникового радиолокационного мониторинга нефтяных разливов с судов в Татарском проливе Японского моря 209

Суслов А.И., Аникин Н.А., Криницкий М.А., Тилинина Н.Д., Гавриков А.В., Шармар В.Д., Гулев С.К. Реконструкция характеристик ветрового волнения в океане по данным судового навигационного радара с помощью методов глубокого обучения 211

Шкрамада С.С., Буренин А.В., Моргунов Ю.Н. Особенности распространения псевдослучайных сигналов на пересекающих вихревые структуры сверхдальних трассах 212

50 лет Тихоокеанскому океанологическому институту им. В.И. Ильичева ДВО РАН

1 января 2023 г. Тихоокеанскому океанологическому институту им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН) исполнилось 50 лет. Институт создан Постановлением Президиума АН СССР № 1128 от 28 декабря 1972 г. на основе Тихоокеанского отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР, существовавшего во Владивостоке с начала 60-х годов прошлого столетия.



Большую роль в создании Института сыграли бывшие директора Отделения д.т.н., профессор И.Е. Михальцев и д.г.-м.н., профессор Н.П. Васильковский.

В 1974 г. директором Института был назначен д.ф.-м.н. Виктор Иванович Ильичев, который руководил Институтом в течение 20 лет. За время его руководства с 1974 по 1994 г. Институт превратился в многопрофильное научное учреждение с современными лабораториями и коллективом ученых и инженеров, способных решать самые сложные комплексные проблемы изучения природы и освоения ресурсов океана. Получили развитие различные научные направления и возникли научные школы.



академик РАН
Ильичев Виктор Иванович

В 1994-1995 гг. обязанности директора исполнял д.г.-м.н. Руслан Григорьевич Кулинич, специалист в области морской геофизики.

С 1995 по 2015 г. Институт возглавлял д.ф.-м.н., профессор, академик РАН Виктор Анатольевич Акуличев, крупнейший специалист в области акустики океана, Президент Российского акустического общества, вице-президент Научного комитета по океаническим наукам (SCOR), член Американского акустического общества (США), член подкомиссии WESTPAC/ИОС/UNESCO. В.А. Акуличев создал научную школу по акустике океана и гидрофизике на Дальнем Востоке. В сложное постперестроечное время и период реформирования Академии наук ему удалось сохранить стабильность работы Института, привлечь большой приток молодежи, развить широкое международное сотрудничество, оснастить Институт современной научной аппаратурой.



академик РАН
Акуличев Виктор Анатольевич

С 2015 по 2021 г. директором ТОИ ДВО РАН был к.г.н. Вячеслав Борисович Лобанов, специалист в области физической океанологии, научные интересы которого связаны с региональной океанографией, синоптической динамикой океана, методами натуральных и спутниковых океанографических наблюдений. В.Б. Лобанов внес значительный вклад в развитие международного сотрудничества.



к.г.н. Лобанов Вячеслав Борисович

В 2021 г. директором Института избран д.ф.-м.н., профессор, академик РАН Григорий Иванович Долгих. Сферой интересов Г.И. Долгих является развитие методов и средств дистанционного исследования океана, литосферы и их

взаимодействия. При его непосредственном участии разработаны, изготовлены и внедрены уникальные лазерные деформографы различных вариантов, а также лазерные нанобарограф и измеритель вариаций давления гидросферы, которые позволили проводить исследования физических процессов геосфер на наноуровне. Им впервые экспериментально установлено существование «обратнобарометрического» эффекта на границе раздела сред, оценен вклад приливов, поверхностных и внутренних морских волн, сейшевых колебаний в уровень микродеформаций земной коры.



академик РАН
Долгих Григорий Иванович

ТОИ ДВО РАН является одним из крупнейших академических институтов Дальневосточного региона. Структура научных подразделений Института включает 8 отделов, 32 лаборатории и 2 сектора.

На 1 января 2023 г. численность сотрудников Института составляет 517 человек, из них 228 научных сотрудников, в том числе 1 академик РАН, 2 члена-корреспондента РАН, 38 докторов наук, 126 кандидатов наук. В Институте работают 56 научных сотрудников в возрасте до 39 лет. В аспирантуре Института обучаются 15 аспирантов.

В Институте работают два диссертационных совета по защитах диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям 1.6.17. Океанология и 1.3.7. Акустика.

Институт проводит исследования по следующим основным направлениям:

- комплексные гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические исследования водных масс океанов и морей, их физических полей и отдельных характеристик, энергомассообмена и взаимодействия океана и атмосферы, состояния морских экосистем;
- изучение геологии, геофизики и геохимии океана, его морей и его минеральных ресурсов;
- разработка новых методов и создание технических средств исследования океана и атмосферы;
- развитие и применение дистанционных методов, создание и анализ баз океанологических данных.

В рамках реализации Национального проекта «Наука и университеты» с 2019 по 2022 г. в Институте созданы три новые лаборатории:

- перспективных методов морских исследований;
- комплексных исследований окружающей среды и минеральных ресурсов;

- экспериментальной климатологии.

За время существования Институтом организовано и проведено более 600 научных экспедиций, в том числе около 250 рейсов в различные районы Мирового океана, где проводились комплексные гидрологические, гидрохимические, экологические, геолого-геофизические и акустические исследования. В Институте созданы базы и архивы данных наблюдений, уникальные коллекции образцов донных осадков и горных пород.

В Институте продолжаются научные исследования в рамках созданных международных лабораторий и центров: совместная Вьетнамо-российская лаборатория по морским геонаукам, основанная Институтом морской геологии и геофизики Вьетнамской академии наук и технологий (ИМГГ ВАНТ) и ТОИ ДВО РАН; Российско-корейский центр морских и информационных технологий с Институтом наук и технологий (г. Кванджу, Республика Корея); совместная Российско-японская лаборатория по изучению окружающей среды (ТОИ ДВО РАН – Аспирантура естественных и технических наук Университета Канадзавы, Япония); совместный Российско-китайский научно-исследовательский Центр ТОИ ДВО РАН – ПИО ГУИО КНР по изучению океана и климата. В 2021 г. создан Российско-китайский инновационный центр экологического мониторинга океанических и полярных зон в рамках Соглашения с Институтом Океанографического Приборостроения Шаньдунской академии наук КНР.

Институт имеет две морские экспериментальные станции в прибрежной зоне Японского моря: МЭС «м. Шульца» и МЭС «о. Попова», где выполняются экспедиционные исследования, испытания аппаратуры в натуральных условиях, проводятся учебные практики студентов вузов и аспирантов.

Ученые Института активно участвуют в реализации международных программ и проектов, таких как «Integrated Studies of the Western Pacific» (WESTPAC); «United Nations Environmental Program» (NOWPAP); Forecasting and Understanding Trends, Uncertainty and Responses of North Pacific Marine Ecosystems («PICES FUTURE»); «Global Ocean Observation System» (NEAR-GOOS); «International Program on the Sea of Japan Studies» (CREAMS-III); «Program for East Asia Cooperative Experiments» (PEACE), а также в деятельности международных организаций. Два проекта ТОИ ДВО РАН с 2021 г. включены в программу Десятилетия наук об океане Организации объединенной наций.

ТОИ ДВО РАН имеет многолетний опыт выполнения комплексных научных исследований природных процессов, характеристик и ресурсов дальневосточных морей России, северо-западной части Тихого океана, морей восточного сектора Арктики. Исследования Института служат экономическому развитию Дальнего Востока, укреплению позиций Российской Федерации в Азиатско-Тихоокеанском регионе, обеспечению безопасности Российской Федерации на Дальнем Востоке.

СЕКЦИЯ 1. *Океанология, физика океана и атмосферы*

ЗАВИСИМОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕТНЕГО МУССОНА НА ЮГЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ ОТ АНТИЦИКЛОГЕНЕЗА НАД ПРИЛЕГАЮЩЕЙ МОРСКОЙ АКВАТОРИЕЙ

Бухарова М.Г., Василевская Л.Н.

Дальневосточный Федеральный университет, г. Владивосток,

buxarova_mg@dvfu.ru¹

lubavass@mail.ru²

На фоне современных климатических изменений в последние десятилетия на Дальнем Востоке увеличилась повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, связанных чаще всего с количеством осадков (Третий оценочный доклад Росгидромета, 2022). В Приморском крае наиболее опасным являются сильные ливни, возникающие в период развития летнего муссона, обуславливающие паводки с разрушительными последствиями. Для проведения мероприятий по обеспечению безопасности населения и объектов экономики, необходимы современные данные о состоянии и изменении муссонной циркуляции, которые могут служить информационной основой для создания механизмов адаптации к изменениям климата.

Изучению вертикальной структуры летнего муссона на Дальнем Востоке посвящено не так много исследований. Одни авторы установили, что высота муссона не превышает 0,5–1,5 км (Лисогурский и др., 1986), другие указывают на то, что в зависимости от стадии муссона, верхняя граница может достигать 3–6 км (Сорочан, 1957; Кузнецова и др., 1989). В более современных исследованиях было показано, что муссонный воздухообмен в среднем происходит в слое до 1,5 км, однако в отдельных случаях может достигать 3 км (Бухарова и др., 2021; Штейнле и др., 2012).

Цель работы - это выявление зависимости вертикальной структуры летних муссонных потоков от развития антициклональной циркуляции над морской акваторией. Антициклоны, взаимодействующие с континентальной дальневосточной депрессией, могут формироваться над Охотским, Японским морями и северо-западной частью Тихого океан. Охотский и япономорский антициклоны наиболее активны в мае, июне и августе, к июлю они ослабевают, а северотихоокеанский антициклон, наоборот, в июле наиболее развит. В работе рассмотрены наиболее типичные синоптические процессы, происходящие над морем, во время проявления муссонной циркуляции.

Для исследования был выбран район, ограниченный 35 и 50° с.ш. и 130 и 147° в.д., включающий территорию Приморского края и акваторию Японского моря. По ежедневным приземным картам погоды за сроки 00 и 12 UTC (www.jma.go.jp/jma) с мая по август 2008–2020 гг. определялись: мощность и продолжительность нахождения антициклона в исследуемом районе. Затем, в каждом случае, по данным аэрологического зондирования (www.weather.uwo.edu) на станции Садгород, которая располагается на южном побережье Приморского края, фиксировался слой с ветрами муссонного направления (в диапазоне 30-180°).

Охотоморский антициклон в исследуемом районе обычно наблюдается в виде узкого вытянутого гребня, направленного с Охотского моря вдоль побережья Приморского края. К примеру, антициклон, отмечавшийся с 1 по 6 июня 2014 г., просуществовал 144 часа (6 суток), давление в период максимального развития составляло 1020 гПа. Ветры муссонных направлений сохранялись до 0,9 км, в

отдельные сроки муссонный поток регистрировался на высоте 2,7 км, а средняя верхняя граница за весь процесс составляла 1,3 км.

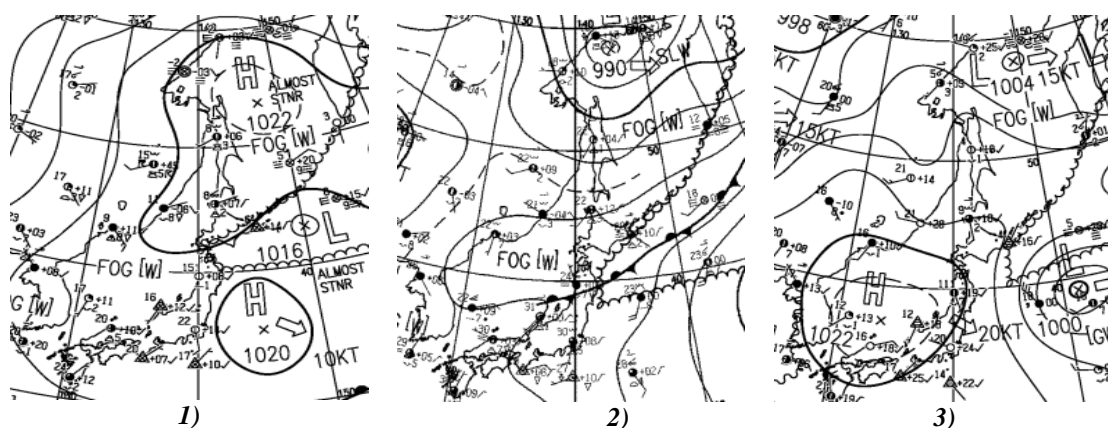


Рисунок – Приземное поле давления с каждым видом антициклона (1 – охотоморский, 2 – северотихоокеанский, 3 – япономорский)

Действие северотихоокеанского антициклона проявляется в виде гребня, направленного на Японское море с северо-западной части Тихого океана. Так, антициклон, наблюдавшийся с 3 по 5 августа 2010 г., просуществовал около трех суток (максимальное давление составило 1010-1015 гПа), затем гребень отступил. Ветры восточных румбов в этом случае распространялись до максимальной высоты 0,9 км, а средняя граница составила 0,6 км.

Япономорский антициклон в исследуемом районе представляет собой, как правило, самостоятельное ядро высокого давления, возникающее при распространении северотихоокеанского антициклона на акваторию Японского моря, либо при смещении отрога высокого давления с континента. Антициклон, отмечавшийся с 10 по 11 мая 2014 г., сохранялся в течение 2 суток, давление в период максимального развития составляло 2022 гПа. В этом случае ветры муссонных направлений распространялись до высоты 2,6 км, в отдельные сроки ветры восточных румбов регистрировались даже на высоте 3,9 км, а средняя верхняя граница за этот случай составила 2,3 км.

Проведенное исследование показало, что высота летних муссонных потоков антициклонального происхождения определяется вертикальной мощностью антициклона того или иного типа. Определенных закономерностей связи высоты муссона от типа антициклона не выявлено. В целом, летняя муссонная циркуляция над южными районами Приморского края захватывает нижнюю тропосферу, меняясь от 0,5 до 2,5 км.

Литература

Бухарова М. Г., Василевский Д. Н. Вертикальная структура муссонного потока на юге Приморского края //Материалы «Региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных по естественным наукам» - Владивосток, 2021.

Кузнецова Н. Н., Педь Д. А. О количественной оценке муссонной циркуляции атмосферы на Дальнем Востоке // Метеорология и гидрология. – 1989. - №11.

Лисогурский Н. И., Петричев А. З., Котлярова В. С. К вопросу о вертикальной мощности летнего муссона над советским Дальним Востоком // Тр. ДВНИГМИ. 1986.

Сорочан О. Г. Некоторые особенности муссонной циркуляции Восточной Азии // Труды ГГО. - 1957. - Вып. 70.

Третий оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Москва: Росгидромет. 2022. С. 562.

Штейнле О.А., Барашкова Н.К., Волкова М.А. Циркуляция атмосферы в Тихоокеанском регионе как фактор современных изменений климата восточных районов России // Вестн. ДВО РАН. 2012. № 3.

МЕТОДЫ 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПО ДАННЫМ МОДЕЛЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ОКЕАНА

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

Разработан пакет программ для 3D визуализации гидрологических полей по данным натурных измерений, буев Argo и численных моделей циркуляции вод в различных бассейнах Мирового океана. Широко используемые пакеты, типа Surfer или готовые модули для Matlab, оказались менее эффективными из-за ограниченного функционала и малой гибкости при воспроизведении процессов субмезомасштаба.

Для 3D-визуализации используется среда Generic Mapping Tools (GMT), представляющая собой набор инструментов командной строки с открытым исходным кодом для редактирования географических и декартовых данных и создания высококачественных иллюстраций, начиная от простых двумерных графиков и заканчивая искусственно освещенными поверхностями в 3D-перспективе (Wessel, Smith, 1991).

Для района вблизи устья реки Туманная в заливе Посьета на основе данных численной модели ROMS с высоким пространственным (600м) и временным разрешением построен массив 3D полей температуры и солёности. Детально рассмотрен вопрос визуализации прибрежного апвеллинга в районе бухты Сивучья (Fayman et al., 2023).

Проведен анализ структуры крупного антициклона, сформированного в районе Авачинской бухты. Расчет гидрологических полей произведен на основе модели NEMO. Детально рассмотрен процесс деления “материнского” антициклона на два вихря.

На основе архивных данных по гидрологическим съемкам, выполненным в Японском море, предложен альтернативный способ визуализации данных, полученных буями Argo и с борта судна.

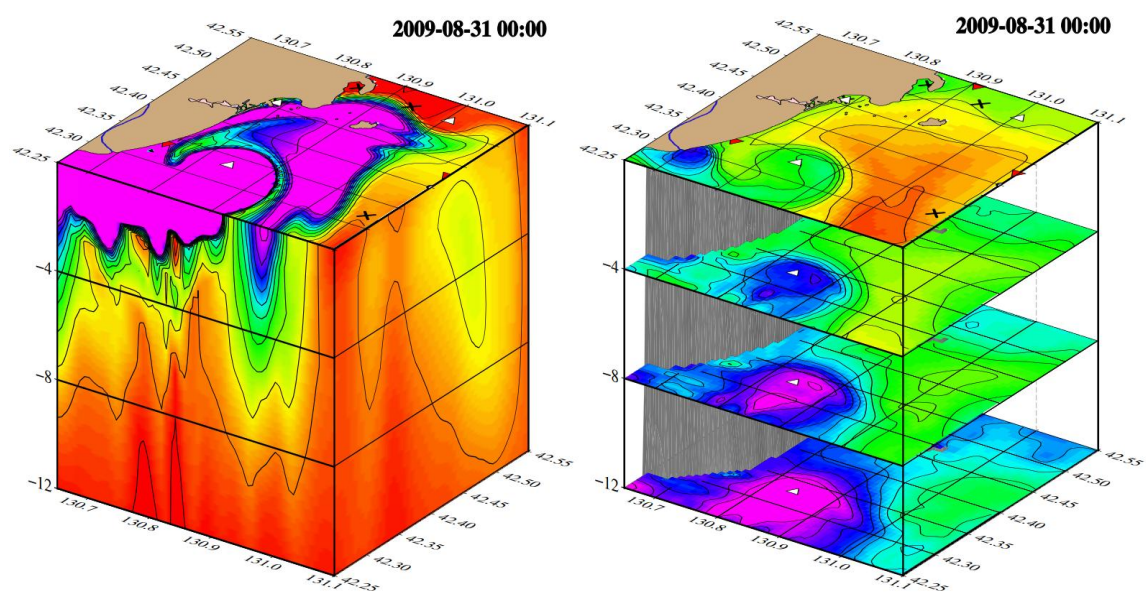


Рисунок – Квази-трехмерные изображения модельных полей температуры и солёности в западной части бухты Посьета в августе 2009 г. Белые и красные треугольники – центры циклонов и антициклонов, соответственно. Черные крестики – гиперболические точки.

Литература

Wessel P., Smith W.H.F. Free software helps map and display data // EOS Trans. AGU. 1991. V72. N41. P. 445-446.

Fayman P.A., Salyuk P.A., Budyansky M.V., Burenin A.V., Didov A.A., Lipinskaya N.A., Ponomarev V.I., Udalov A.A., Morgunov Y.N., Uleysky M.Yu., Shkramada S.S. Transport of the Tumen River water to the Far Eastern Marine Reserve (Posyet Bay) based on in situ, satellite data and Lagrangian modeling using ROMS current velocity output // Marine Pollution Bulletin. 2023 [отправлено в печать].

ПУЗЫРЬКОВАЯ ЭМИССИЯ МЕТАНА В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

Доманюк А.В.¹, Саломатин А.С.¹, Шахова Н.Е.^{1,2}, Семилетов И.П.¹,
Ананьев Р.А.³, 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*

³*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, г. Москва*

Восточно-Сибирский шельф (ВСШ), в донных отложениях которого сосредоточено до 80 % подводной мерзлоты, является самым обширным и мелководным шельфом Мирового океана. На его территории, под покровом мерзлоты, сосредоточено значительное количество углеводородов, находящихся как в свободной форме, так и в виде арктических газовых гидратов, поэтому одним из важнейших направлений исследования Арктического региона является оценка количества метана, вовлекаемого в современный цикл углерода, в результате деградации подводной мерзлоты (Shakhova et al. 2019).

Метан (CH₄) является вторым по значимости парниковым газом, концентрация которого в атмосфере Земли непрерывно растет и может являться одной из причин глобальных изменений климата (Dean et al. 2018). Непрерывный мониторинг ее атмосферной концентрации, проводимый в период с 2000 по 2019 гг., показал, что к концу второй декады 21 века доля CH₄ в Земной атмосфере увеличилась на 9% или на 50 млн тонн (Jackson et al. 2020).

Начиная с 2008 г в акваториях морей Восточной Арктики на глубинах от 2 до 400 и более метров, были зарегистрированы области пузырьковой разгрузки CH₄, площадь которых варьировались от нескольких метров до 1 и более квадратного километра (Shakhova et al. 2015; Рубан и др. 2022). Комплексные исследования показали, что в случае моря Лаптевых данные области, в основном, сосредоточены на глубинах не превышающих 100 метров и могут быть приурочены к районам донных отложений, в которых происходит процесс деградации подводной мерзлоты и, как следствие, пузырьковая разгрузка углеводородов, связанных с данным процессом.

Всплывающие пузырьки образуют в водной толще устойчивые области, которые хорошо регистрируются акустическими методами и называются газовыми факелами (ГФ). Прямые измерения проб газа, переносимого ГФ, показали, что в их составе преобладает CH₄ (Shakhova et al. 2015). Исследование ГФ представляет интерес, как с научной, так и с практической точек зрения. Всплывающие пузырьки в условиях мелководного арктического шельфа являются наиболее эффективным путем миграции CH₄ из донных отложений в водную толщу и атмосферу. Знание особенностей пространственно-временной изменчивости ГФ и характера распределения всплывающих пузырьков по размерам необходимо при исследовании вертикального распределения кислорода, бактерий, взвешенного вещества, поверхностно активных и питательных веществ, доставляемых как самими пузырьками, так и за счет вызванного всплывающими пузырьками апвеллинга вод, который вовлекает перечисленные субстанции в вертикальный перенос.

Актуальность исследования ГФ также обусловлена прикладными экологическими и геоинженерными задачами. Анализ акустических данных, включающих батиметрическую информацию, будет крайне полезен для связанности территорий РФ путем обеспечения безопасной эксплуатации морских путей, в том числе Северного морского пути – кратчайшего пути позволяющего доставлять промышленные и иные грузы из Европейской части России на Дальний Восток и в Азию. Практический и научный интерес заключается в

возможности обнаружения и оконтуривания районов, перспективных для дальнейшей добычи залежей углеводородов (метана и его газогидрата), а также в проведении количественной оценки их пузырьковой эмиссии в водную толщу необходимой для учета георисков, например, при постановке буровых платформ

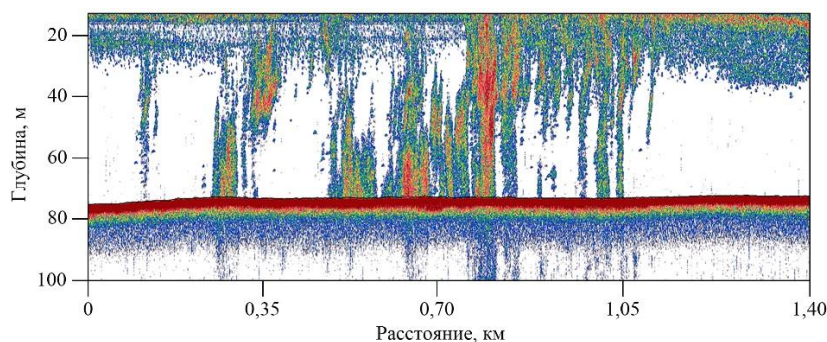


Рисунок – Примеры газовых факелов, зарегистрированных в водной толще моря Лаптевых

В работе будет представлен обзор ГФ, зарегистрированных в комплексных океанографических экспедициях, прошедших в акватории моря Лаптевых в период с 2011 по 2020 гг.

Работа выполнена при поддержке темы госзадания АААА-А20-120021990003-3 и гранта РФФ № 22-67-00025.

Литература

Рубан А.С., Милевский Я.В., Черных Д.В., Гершелис Е.В., Дударев О.В., Доманюк А.В., Семилетов И.П. Влияние метановых сипов на морфологию аутигенного пирита в донных осадках континентального склона моря Лаптевых // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 12. С. 88-98.

Dean J.F., Meisel O.H., Dolman A.J., Aerts R., Blauw L.G., Middelburg J.J., Egger M., Slomp C.P., Röckmann T., Jetten M.S.M., de Jong A.E.E., Rasigraf O., in't Zandt M.H. Methane Feedbacks to the Global Climate System in a Warmer World // Reviews of Geophysics. 2018. Т. 56. № 1. С. 207-250.

Jackson R.B., Saunio M., Bousquet P., Canadell J.G., Poulter B., Stavert A.R., Bergamaschi P., Niwa Y., Segers A., Tsuruta A. Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources. Environmental Research Letters 2020, 15, 071002

Shakhova N., Semiletov I., Panteleev G., Salyuk A., Salomatin A., Chernykh D., Kosmach D., Charkin A., Dudarev O., Sergienko V., Lobkovsky L., Meluzov A., Yusupov V., Nicolsky D., Samarkin V., Joye S., Gustafsson O. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice // Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences (Series A). 2015. Т. 373. № 2052. С. 20140451.

Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E. Understanding the permafrost-hydrate system and associated methane releases in the east siberian arctic shelf // Geosciences (Switzerland). 2019. Т. 9. № 6. С. 251.

СЕЗОННЫЕ И МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДООБМЕНА ГРЕНЛАНДСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ С СОСЕДНИМИ АКВАТОРИЯМИ

Егорова Е.С., Миронов Е.У., Ильющенко И.А.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, egorova@aari.ru

В условиях современных изменений климата площадь и средняя толщина арктического ледяного покрова продолжают уменьшаться (Stroeve and Notz, 2018). Хотя к причинам наблюдающегося сокращения морских льдов исследователи чаще всего относят потепление атмосферы и океана в высоких широтах (Alexeev et al., 2013), вклад такой компоненты, как площадь выносимых льдов, в ледовый баланс Северного Ледовитого океана (СЛО) также активно обсуждается.

Известно, что сокращение площади льдов Арктического бассейна главным образом осуществляется в результате их выноса в Гренландское море через пролив Фрама. Поэтому большая часть работ посвящена оценке количества ледяного покрова, выносимого из Арктического бассейна только через пролив Фрама (Ricker et al., 2018; Spreen et al., 2020; Egorova and Mironov, 2023). Однако представляется важным учет леодообмена с Баренцевым морем не только при расчете ледового баланса СЛО, но и при определении ледовитости арктических морей (Миронов, 2004; Kwok, 2009).

В настоящем исследовании представлены оценки сезонных и межгодовых изменений леодообмена Гренландского и Баренцева морей, полученные для периода 1979–2022 гг. на пяти основных створах. Принято, что величина леодообмена на створе, выраженная в тыс. км², зависит от скорости дрейфа ледяного покрова и ширины ледового потока с учетом сплоченности льдов, преобладающих в потоке. Отметим, что расход льдов в Гренландском море осуществляется через пролив Фрама на севере моря и через Датский пролив в его южной части; леодообмен Баренцева моря с соседними акваториями происходит через проливы Шиллинга (между архипелагами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа), Макарова (между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля) и Карские Ворота.

Величина и направление суммарного среднемесячного вектора скорости дрейфа ледяного покрова на створах были вычислены за период 1979–2022 гг. с использованием баз данных Национального центра данных по снегу и льду (NSIDC), а именно Polar Pathfinder (версия 4, данные доступны с 1979 по 2019 гг.; <https://nsidc.org/data/NSIDC-0116/versions/4>) и Quicklook Arctic (версия 1, данные доступны с 2020 г. по н.в.; <https://nsidc.org/data/NSIDC-0748/versions/1>).

Среднемесячные значения ширины ледового потока на створах за период 1997–2022 гг. были получены по данным обзорных ледовых карт Гренландского и Баренцева морей. Доступ к ним осуществляется через электронный каталог Мирового центра данных по морскому льду АНИИ (МЦД МЛ АНИИ, <http://wdc.aari.ru/datasets/>). Поскольку в течение ледового сезона ледовый поток всегда имеет неоднородный характер по сплоченности, его ширина была пересчитана с учетом реально наблюдавшихся величин сплоченности ледяного покрова от 1 до 10 баллов.

Так, рассчитанное в период 1979–2022 гг. среднегодовое соотношение приноса и выноса количества льдов в Гренландском море составляет +471 тыс. км² (здесь и далее знак «+» указывает на преобладание их приноса из окружающих акваторий над выносом за пределы моря). В среднем за ледовый сезон, за который в данной работе принят *период от начала леодообразования в*

октябре предыдущего года к концу летнего таяния льдов в сентябре последующего, величина приноса ледяного покрова (ее стандартное отклонение) через пролив Фрама в Гренландское море составляет $+598 (\pm 28)$ тыс. км², в то время как величина его выноса из моря через Датский пролив — около $-127 (\pm 10)$ тыс. км² (здесь и далее знак «-» говорит о преобладании выноса ледяного покрова над его приносом). Ледообмен Гренландского моря с окружающими акваториями имеет четко выраженный сезонный цикл. Максимум величины расхода льдов приходится на февраль-март: $+81-85 (\pm 30-31)$ тыс. км² приносится через пролив Фрама и $+24-26 (\pm 12-16)$ тыс. км² выносятся через Датский пролив. Минимальный ледообмен через пролив Фрама отмечается в июле и составляет $-9 (\pm 15)$ тыс. км²; наименьший расход льдов через Датский пролив, не превышающий $-1 (\pm 1)$ тыс. км² в месяц, наблюдается на протяжении периода с июля по октябрь.

Суммарный ледообмен Баренцева моря за 43-летний период наблюдений составляет $+98$ тыс. км². В течение ледового сезона порядка $+182 (\pm 15)$ тыс. км² и $+4 (\pm 1)$ тыс. км² льдов поступает в Баренцево море из Арктического бассейна СЛО (пролив Макарова) и из Карского моря (пролив Карские Ворота) соответственно. Напротив, через пролив Шиллинга в Арктический бассейн выносятся $-88 (\pm 8)$ тыс. км². Количество приносимых в Баренцево море льдов в несколько раз меньше, чем в Гренландское ($+186$ тыс. км² против $+598$ тыс. км² соответственно). В сезонном изменении ледообмена Баренцева моря через пролив Макарова выделяются два пика наибольшего расхода льдов, которые приходятся на январь и март, $+33 (\pm 30)$ тыс. км² и $+36 (\pm 33)$ тыс. км² соответственно. Наименьший расход отмечается в июле и равен $-2 (\pm 6)$ тыс. км². Через пролив Шиллинга максимальный ледообмен также наблюдается в январе и марте, однако знак величины расхода льдов противоположный: $-16 (\pm 22)$ тыс. км² и $-18 (\pm 22)$ тыс. км² соответственно. Минимальный расход льдов, близкий по своим значениям к нулю, отмечается в сентябре-октябре. Сезонный ход ледообмена моря через пролив Карские Ворота выражен слабее всего: наибольший наблюдается в феврале, составляя $+2 (\pm 2)$ тыс. км², в то время как наименьший — менее $-1 (\pm 1)$ тыс. км² в июне.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 22-27-00443.

Литература

- Миронов Е.У. Ледовые условия в Гренландском и Баренцевом морях и их долгосрочный прогноз. СПб.: АНИИ, 2004. 319 с.
- Alexeev V.A., Ivanov V.V., Kwok R., Smedsrud L.H. North Atlantic warming and declining volume of Arctic sea ice // The Cryosphere Discuss. 2013. V. 7. P. 245-265.
- Egorova E.S., Mironov Ye.U. Assessment of the seasonal and multiyear variability in the sea ice volume export via the Fram Strait // International Journal of Offshore and Polar Engineering. 2023. V. 33. No. 1. P. 18-26.
- Kwok R. Outflow of Arctic Ocean sea ice into the Greenland and Barents Seas // Journal of Climate. 2009. V. 22. No. 9. P. 2438-2457.
- Ricker R., Girard-Ardhuin F., Krumpen T., Lique C. Satellite-derived sea ice export and its impact on Arctic ice mass balance // Cryosphere. 2013. V. 12. No. 9. P. 3017-3032.
- Spreen G., de Steur L., Divine D., Gerland S., Hansen E., Kwok R. Arctic sea ice volume export through Fram Strait from 1992 to 2014 // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2020. V. 125. e2019JC016039.
- Stroeve J., Notz D. Changing state of Arctic sea ice across all seasons // Environmental Research Letters. 2018. V. 13, No. 10. C103001.

НЕЛИНЕЙНОЕ ТРЕНИЕ В ЭВОЛЮЦИИ ВИХРЯ НА β -ПЛОСКОСТИ

Журавлев П.В.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, г. Владивосток,
zhuravlev_pv@poi.dvo.ru

В работе (Козлов В.Ф., 1992) получено обобщенное уравнение вихря для жидкости постоянной глубины для осредненной по вертикали завихренности с учетом придонного экмановского пограничного слоя. При этом кроме членов линейного экмановского трения, в уравнении появляются члены, отражающие механизм эффективного нелинейного трения. Влияние нелинейного трения на эволюцию вихревых образований с постоянным параметром Кориолиса в ряде работ исследовалось (Маликова Н.П. и др., 2010; Пермяков М.С. и др., 2018; Пермяков М.С. и др., 2020).

В настоящей работе исследуется влияние членов нелинейного трения в уравнении завихренности на эволюцию вихря на β -плоскости, учитывающая сферичность земли. Обобщенное уравнение завихренности (1) в приближении β -плоскости имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + (1+a)J(\psi, \omega) + b[\nabla \omega \cdot \nabla \psi + \omega^2 + 2f_0 \omega / \rho] + \beta \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0,$$

t - время, $J(\psi, \omega)$ - якобиан, представляющий адвекцию вихря, ψ - функция тока, $\Delta \psi = \omega$, Δ - оператор Лапласа, $u = -\partial \psi / \partial y$, $v = \partial \psi / \partial x$, (u, v) - горизонтальные скорости вдоль осей x и y , ∇ - оператор градиента, ρ - плотность, a, b - безразмерные интегральные параметры пограничного слоя, которые зависят от отношения толщины потока к толщине экмановского пограничного слоя h, f - параметр Кориолиса, $\beta = \partial f / \partial y$.

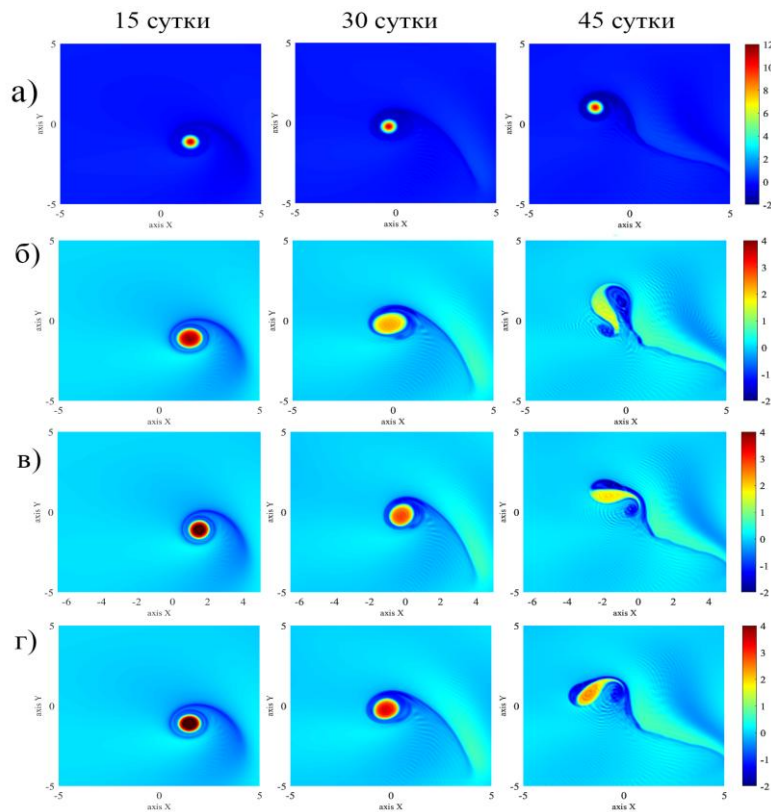


Рисунок – Поля завихренности в экспериментах без трения (а), с учетом нелинейного трения при $h = 15$ (б), $h = 20$ (в), $h = 25$ (г)

Для демонстрации влияния нелинейного трения на перемещение и структуру вихря проведены численные эксперименты с начальным полем в виде одиночного симметричного вихря. Уравнение решалось псевдоспектральным методом в квадратной области на равномерной сетке с числом узлов 256×256 с двойными периодическими граничными условиями. Интегрирование по времени проводилось методом Адамса-Бэшфорта второго порядка.

Известно, что в идеальном случае вихрь на β -плоскости смещается на северо-запад, сохраняя при этом свою структуру. Включение же в уравнение вихря членов нелинейного трения приводит к расширению ядра вихря на первых этапах интегрирования и к формированию антициклонической оболочки. В дальнейшем формируется дипольной структуры и формированию мезовихрей. В зависимости от значений параметра h происходит изменение траектории движения центра вихря и расположение сформировавшейся дипольной структуры.

Работа выполнена в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН тема №121021500054-3 (рег. номер АААА-А17-117030110037-8).

Литература

Козлов В.Ф. Модель двумерного вихревого движения жидкости с механизмом вовлечения // Известия РАН. МЖГ. 1992. № 6. С.49–56.

Маликова Н.П., Пермяков М.С. Влияние экмановского пограничного слоя на эволюцию вихревых образований // Известия РАН. МЖГ. 2010. № 6. С. 90-93.

Пермяков М.С., Журавлев П.В., Семькин В.И. Нелинейная модель экмановского пограничного слоя в обобщенном уравнении завихренности // Известия РАН. ФАО. 2020. Т.56. № 6. С.669–675.

Пермяков М.С., Семькин В.И., Маликова Н.П. Учет горизонтальной неоднородности планетарного пограничного слоя в модели двумерного движения жидкости // Известия РАН. ФАО. 2018. Т.54. № 5. С.497-504.

ОБ ОДНОМ ОБОБЩЕНИИ МЕТОДА ВКБ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ В АКУСТИКЕ МЕЛКОГО МОРЯ

Казак М.С.¹, Петрова Т.Н.², Петров П.С.¹

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г.
Владивосток, kazak.ms@poi.dvo.ru, petrov@poi.dvo.ru*

²*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток,
petrova.tn@dvfu.ru*

Предложено обобщение метода ВКБ для случая распространения связанных мод в задачах подводной акустики. Обобщенный анзац ВКБ представляет собой произведение матрицы фазовых коэффициентов и вектора амплитуд. Выведено уравнение переноса в матричной форме и точно вычислены фазовые коэффициенты. Обсуждаются сходства и различия с другими формами уравнений на связанные нормальные моды. Представлен численный пример, демонстрирующий точность обобщенного решения ВКБ.

Литература

F. B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter, H. Schmidt, Computational Ocean Acoustics, Springer Science & Business Media, 2011.

V.P. Maslov, M. V. Fedoriuk, Semi-Classical Approximation in Quantum Mechanics, vol.7, Springer Science & Business Media, 2001.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ БИООПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЙОНЕ Г.СЕВАСТОПОЛЯ

Калмыкова Д.В., Чурилова Т.Я., Ефимова Т.В., Моисеева Н.А.,
Скороход Е.Ю., Землянская Е.А.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г.
Севастополь, *daria-a.antipova@yandex.ru*

В водных экосистемах прибрежные воды испытывают сильные антропогенные нагрузки, что может приводить к заметным негативным изменениям, в частности к резкому увеличению биомассы фитопланктона, которое, при определенных гидрологических условиях может сопровождаться развитием гипоксии и заморных явлений. Черноморская экосистема подвержена влиянию выноса удобрений и гербицидов с береговым стоком и сбросом воды из водохранилищ, а также воздействию промышленного и бытового сброса, нефтяного загрязнения (Виноградов, 1989). Исходя из этого, исследования экологического состояния водоемов и в особенности прибрежной зоны становятся все более актуальными.

Цель работы заключается в исследовании сезонных особенностей вертикального распределения концентрации хлорофилла *a*, спектральных показателей поглощения света всеми оптически активными компонентами среды, соотношения между ними в прибрежных водах Черного моря в районе г. Севастополя.

На основе данных биооптического мониторинга, проведенного в 2022 году на станции, расположенной напротив Севастопольской бухты на расстоянии около мили от берега, проведена оценка концентрации хлорофилла *a* (Chl-*a*), спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона ($a_{ph}(\lambda)$), неживым взвешенным веществом ($a_{NAP}(\lambda)$), окрашенным растворенным органическим веществом ($a_{CDOM}(\lambda)$).

Концентрацию пигментов в фитопланктоне определяли спектрофотометрическим методом (Jeffrey, Humphrey, 1975). Спектры $a_{ph}(\lambda)$, $a_{NAP}(\lambda)$, $a_{CDOM}(\lambda)$ измеряли в соответствии с протоколом NASA (Neeley A. R., 2018, Mannino, 2019).

Прибрежные воды характеризовались вертикальной изменчивостью исследованных биооптических показателей вод. В теплый период 2022 года в прибрежной зоне Черного моря значения Chl-*a* были в 2 раза выше, чем в холодное время. Вертикальное распределение Chl-*a* имело сезонные отличия: в летнее время, когда наблюдалась стратификация вод, распределение Chl-*a* было неоднородным и увеличивалось с глубиной. Значения Chl-*a* летом варьировали от 0,80 до 2,18 мг/м³. В холодный период года в связи с активным перемешиванием вод вертикальное распределение Chl-*a* было более однородным и значения Chl-*a* изменялись между отдельными исследованиями в пределах 0,66 - 1,02 мг/м³.

Отмечена внутригодовая динамика показателей поглощения света оптически активными компонентами среды. Установлены различия между удельными (нормированными на Chl-*a*) значениями показателя поглощения света пигментами фитопланктона ($a_{ph}^*(\lambda)$). В теплое время года средние значения $a_{ph}^*(\lambda)$ в синем ($a_{ph}^*(438)$) и красном ($a_{ph}^*(678)$) максимумах спектра составляли $0,067 \pm 0,01$ и $0,026 \pm 0,004$ м²мг⁻¹ соответственно. В холодный период наблюдалось снижение средних значений $a_{ph}^*(438)$ и $a_{ph}^*(678)$ до $0,04 \pm 0,004$ и $0,018 \pm 0,001$ м²мг⁻¹ соответственно. В холодный период наибольший вклад в суммарное поглощение всеми оптически активными компонентами в среднем по

слою внесло CDOM ($53 \pm 12 \%$), в то время как вклад фитопланктона составлял $19 \pm 1,3 \%$. Вклад NAP равнялся $28 \pm 13 \%$. Летом доля в общем поглощении света фитопланктоном в море увеличилась, и процентный вклад составлял $33,5 \pm 7 \%$. Вклад NAP летом практически не изменился и равнялся $27 \pm 10\%$. Несмотря на снижение доли CDOM в общем поглощении света в теплое время года, его вклад в суммарное поглощение всеми оптически активными компонентами оставался наибольшим – $40 \pm 17 \%$. При отмеченных значениях бюджета поглощения света в среднем по исследованному слою моря наблюдалось увеличение доли CDOM с глубиной.

Измерения спектральной облученности ($E_d(\lambda)$) на разных глубинах моря показали изменение спектрального состава света с глубиной. К нижней границе зоны фотосинтеза проникает излучение со спектральными характеристиками (λ_{\max}) 515 -520 нм. Одновременные измерения $E_d(\lambda)$, $a_{ph}(\lambda)$ и Chl-*a* позволяют

рассчитать удельную эффективность поглощения света фитопланктоном ($\bar{a}_{ph}^*(z)$), которая учитывает спектральные свойства фитопланктона и «качество»

света на отдельных глубинах. Значения $\bar{a}_{ph}^*(z)$ изменялись с глубиной и между

сезонами. Летом величина $\bar{a}_{ph}^*(z)$ изменялась в пределах освещенного слоя.

Максимум $\bar{a}_{ph}^*(z)$ ($0,026 \text{ м}^2\text{мг}^{-1}$) был отмечен на глубине ~ 9 м, а минимум ($0,019$

$\text{м}^2\text{мг}^{-1}$) - на глубине 12 м, которая находилась ниже зоны фотосинтеза. В среднем по слою $\bar{a}_{ph}^*(z)$ составляла $0,023 \pm 0,003 \text{ м}^2\text{мг}^{-1}$. Зимой величина $\bar{a}_{ph}^*(z)$ в

поверхностном слое составляла $0,025 \text{ м}^2\text{мг}^{-1}$, на глубине 38 м - $0,015 \text{ м}^2\text{мг}^{-1}$.

Получены новые данные о вертикальном распределении концентрации хлорофилла *a* и спектральных показателей поглощения света фитопланктоном, неживым взвешенным веществом и окрашенным растворенным органическим веществом в отдельные сезоны года.

Исследование биооптических показателей вод было выполнено по теме ГЗ № 121040100327-3, спектральной облученности в море - в рамках гранта РФФИ (грант № 22-27-00790).

Литература

М.Е. Виноградов, 1989 - М.Е. Виноградов, М.В. Флинт. Основные направления исследования экосистемы открытых районов Черного моря в 7-м и 8-м рейсах НИС "Рифт". - Москва : Наука, 1989. – С. 3 – 9.

Jeffrey S. W., Humphrey G. F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and phytoplankton // Biochemie und Physiologie der Pflanzen. 1975. Vol. 167, iss. 2. P. 191–194. [https://doi.org/10.1016/S0015-3796\(17\)30778-3](https://doi.org/10.1016/S0015-3796(17)30778-3).

Mannino, A., M. G. Novak, N. B. Nelson, M. Belz, J.- F. Berthon, N. V.

Blough, E. Boss, A. Bricaud, J. Chaves, C. Del Castillo, R. Del Vecchio, E. J. D'Sa, S. Freeman, A. Matsuoka, R. L. Miller, A. R. Neeley, R. Röttgers, M. Tzortziou, and P. J. Werdell (2019) Measurement protocol of absorption by chromophoric dissolved organic matter (CDOM) and other dissolved materials, In Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Absorption Coefficient, Mannino, A. and Novak, M. G. (eds.), IOCCG Ocean Optics and Biogeochemistry Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation, Volume ###, IOCCG, Dartmouth, NS, Canada.

Neeley, A.R., Mannino, A., Boss, E., D'sa, E.J., Freeman, S., Fry, E., Mueller, J.L., Pegau, S., Reynolds, R.A., Roesler, C., Röttgers, R., Stramski, D., Twardowski, M., Ronald, J., Zaneveld, V., 2018. IOCCG Protocol Series Ocean Optics & Biogeochemistry Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ГАММА-АКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ В ПРОБАХ МОРСКОЙ ВОДЫ

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

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

Естественные и искусственные радионуклиды используются как трассеры исследования скоростей многих процессов, протекающих в морской среде. Отличие в происхождении и временных характеристиках позволяют оценить количественное и качественное изменение полей океана под воздействием природных и антропогенных факторов.

Низкое содержание радиоизотопов в морской воде (1 Бк/м³ и менее) и ограниченность минимальной детектируемой активности (МДА~0.01Бк) гамма-спектрометра создает необходимость концентрировать радионуклиды из больших объемов морской воды. В данной работе для этого использовался метод сорбции избирательными сорбентами с последующим сжиганием (Bandong et al., 2001). Сорбенты изготавливались самостоятельно, а также разработан новый низкотемпературный способ, что позволил облегчить подготовку сорбента к работе. Гамма-активность проб определялась на γ -спектрометре с детектором из сверхчистого германия GEM150.

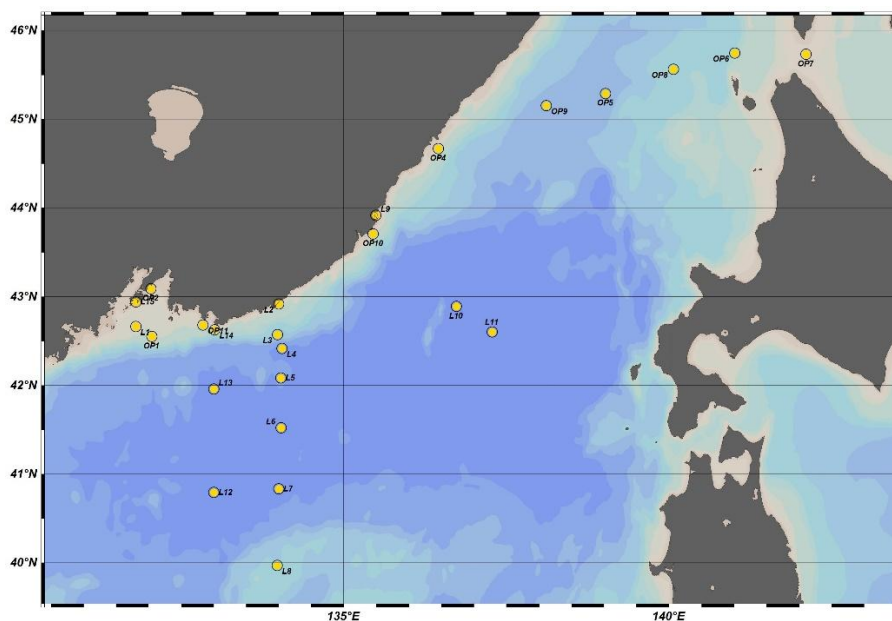


Рисунок – Расположение станций отбора проб

В ходе экспедиций AL97, OP65 были отобраны пробы и далее в лаборатории измерены в них активности радионуклидов (Be^7 , Cs^{137} , Ra^{226} , Ra^{228}) в северо-западной части Японского моря поверхностных и глубинных вод.

В результате измерений проб морской поверхностной воды установлено, что объемная активность Be^7 и Cs^{137} изменялась от 0.74 до 9.41 Бк/м³ и от 1.14 до 4.17 Бк/м³, соответственно. Средняя величина составляет для Be^7 3.33 и для Cs^{137} 2.50 Бк/м³. Отношение $\text{Ra}^{228}/\text{Ra}^{226}$ варьируется от 0.7 до 2.15 Бк/м³, средняя величина – 1.47 Бк/м³.

Также получены вертикальные профили распределения Be^7 , Cs^{137} , $\text{Ra}^{228}/\text{Ra}^{226}$. На некоторых станциях при повышении глубины концентрации радиоизотопов возрастают. Это связано с особенностями гидрологического режима в районе исследований в период охлаждения вод.

Литература

Bandong BB, Volpe AM, Esser BK, Bianchini GM. Pre-concentration and measurement of low levels of gamma-ray emitting radioisotopes in coastal waters. *Appl Radiat Isot.* 2001 Nov;55(5):653-65. doi: 10.1016/s0969-8043(01)00081-1. PMID: 11573799.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАКОПЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

Канталин В.А.^{1,2}

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

²Дальневосточный Федеральный университет, г. Владивосток,
kantalin.va@dvfu.ru

Температура воздуха, в частности, особенности её вертикального распределения – одна из важнейших характеристик атмосферы, определяющих условия распространения примесей и загрязняющих веществ (Морозов, Стародубцева 2020). Вертикальный градиент температуры, наличие задерживающих слоёв, устойчивость влияют не только на перенос веществ по вертикали, но также и в горизонтальном направлении («растекание» загрязнения). Настоящая работа посвящена анализу вертикальной структуры атмосферы по данным аэрологического зондирования.

Объектами оценки послужили данные четырех радиолокационных станций: Шлезвиг-Гольштейн (Германия), Черский (Республика Саха), Камчатский и Магадан. Была выбрана температура воздуха в слое земля-16 км за последние 30 лет (1993-2022 гг.) для центральных месяцев сезонов на основных изобарических поверхностях – 1000, 850, 700, 500, 300, 100 гПа (<http://weather.uwyo.edu/>).

На рисунке показано среднее многолетнее вертикальное распределение температуры за два месяца. В холодный период года в малоподвижных антициклонах, гребнях или барических седловинах, при затишье или очень слабых ветрах характерно образование глубоких приземных инверсий, которые имеют большую вертикальную мощность до 1,5 км и являются очень устойчивыми во времени. Такие условия приводят к формированию морозных туманов в Черском. Морозный туман образуется при сильном радиационном охлаждении нижнего слоя воздуха. На рисунке видно, что на высоте 9 км (300 гПа), находится нижняя граница стратосферы, и над Черским и Магаданом происходит повышение температуры воздуха в холодное полугодие на 3,1 над Черским и до 5,9°C над Магаданом в январе, в апреле на 1,1 над Черским и до 2,6°C над Магаданом, соответственно.

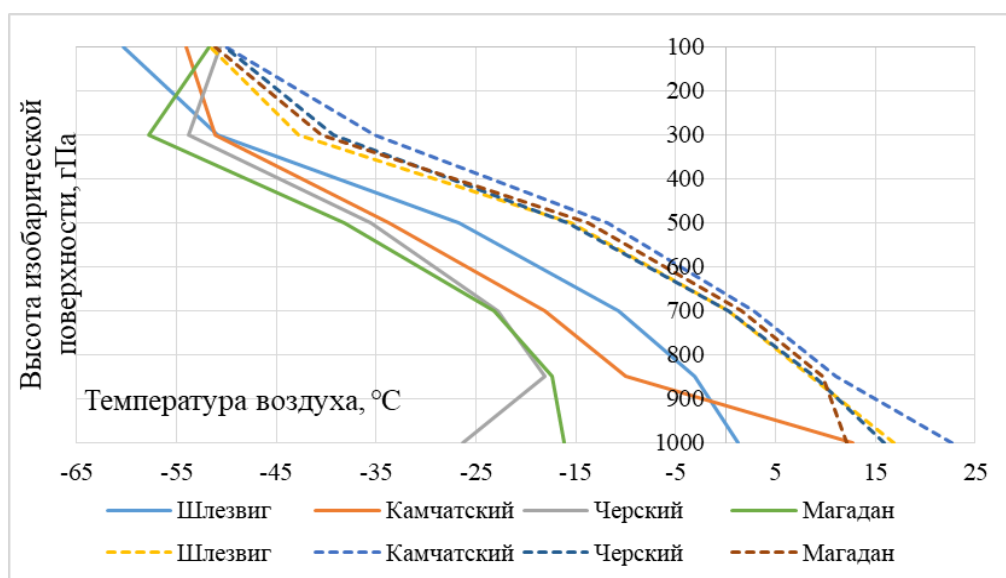


Рисунок – Среднее вертикальное распределение температуры воздуха на станциях за январь (сплошные линии) и июль (пунктирные линии) 1993–2022 гг.

Основные физические характеристики атмосферы – температура, давление и плотность воздуха, могут изменяться в широких пределах. Эти характеристики атмосферы зависят от высоты, времени года и особенностей конкретных атмосферных процессов. Международная стандартная атмосфера – условное вертикальное распределение температуры, давления и плотности воздуха в атмосфере Земли принятое международной организацией по стандартизации.

В таблице представлены средние многолетние и максимальные отклонения температуры воздуха от Стандартной атмосферы (в центральные месяцы сезонов), которая позволяет оценить её изменение во времени. В теплый период года в слое земля-16км они могут достигать 23,1°С над Черским, 23,6°С над Камчатским. В среднем максимальные отклонения могут достигать 7-20°С во всех исследуемых пунктах в июле.

Таблица

Средние (числитель) и максимальные (знаменатель) отклонения температуры воздуха от температуры СА, °С

Пункт	Месяц	Земля-3	3-9	9-16
Шлезвиг	Январь	-7,3/0,8	-6,6/0,1	-5,7/4,0
	Апрель	-3,5/0,5	-4,6/1,0	-2,9/3,6
	Июль	5,5/9,0	3,6/6,8	2,8/5,4
	Октябрь	0,3/5,1	-0,3/2,9	-2,4/2,8
Камчатский	Январь	-8,2/9,6	-11,4/0,6	-2,6/7,9
	Апрель	-4,7/12,0	-4,9/8,0	0,9/12,9
	Июль	9,1/23,6	8,2/20,1	7,4/21,3
	Октябрь	-0,8/15,4	-2,3/8,1	1,4/11,6
Черский	Январь	-25,5/-12,2	-14,5/4,0	-2,2/20,8
	Апрель	-16,0/-5,2	-10,2/1,5	0,4/18,7
	Июль	5,3/23,1	4,6/20,1	5,2/18,3
	Октябрь	-12,6/6,9	-8,9/6,6	-2,1/12,3
Магадан	Январь	-22,0/-15,3	-16,8/-12,5	-4,8/0,4
	Апрель	-13,8/-9,7	-11,4/-8,4	-2,4/0,8
	Июль	4,7/8,8	5,4/7,9	4,2/6,3
	Октябрь	-10,6/-7,0	-9,2/-6,6	-2,5/0,1

Таким образом, исследование позволило выделить особенности вертикального распределения температуры воздуха, к которым относятся наличие приземной инверсии в Черском в зимний период, высокие значения отклонений температуры над Черским и Камчатским в теплый период года. В эти периоды возможны метеорологические условия загрязнения атмосферы из-за адвекции тепла в нижнюю тропосферу.

Литература

Метеорологические условия и загрязнение атмосферы : учебное пособие / А. Е. Морозов, Н. И. Стародубцева ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. – 128 с.

Стандартная атмосфера. Параметры ГОСТ 4401-81. – Режим доступа: http://standartgost.ru/g/GOST_4401-81

ГРОЗОВАЯ АКТИВНОСТЬ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Капач С.С., Клещёва Т.И.

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

Относительно материковой части районы побережья Дальнего Востока характеризуются значительно меньшей грозовой активностью, поскольку нисходящие движения, возникающие при опускании воздушных потоков по склонам гор, и охлаждающее воздействие моря не благоприятствуют развитию здесь вертикальных движений и облачности (Пермяков и др., 2022). Тем не менее, 15 июля 2022 г. над восточным побережьем края прошли необычно интенсивные конвективные процессы. Дождями было охвачено побережье соседствующих Лазовского и Ольгинского районов, а в посёлках Валентин, Маргаритово случились сильные грозы общей продолжительностью около 4 часов. По сводкам Гидрометцентра России в период 14—16 июля 2022 года над Японским морем преобладала тёплая и неустойчивая погода с ветрами штормовых значений, связанная с деятельностью многоцентровой циклонической депрессии и планетарной высотной фронтальной зоной. Над Охотским морем в этот период господствовал антициклон. Развитию гроз предшествовал интенсивный заток морского воздуха на побережье, резвившийся вследствие взаимодействия обширной циклонической области и антициклона, вызвавшего конвергенцию воздушных потоков, адвекцию влажного, относительно холодного воздуха, и увеличение контрастов метеорологических характеристик. Температура поверхности воды Японского моря в это время превышала норму; наибольший прогрев воды наблюдался на юго-востоке акватории, где аномалии температуры воды достигали $2,6^{\circ}\text{C}$ и $3,6^{\circ}\text{C}$ в первой и во второй декадах июля (Перунова, 2022).

В исследовании гроз немаловажную роль играют данные сетей пеленгации молний, к которым относится Всемирная сеть World Wide Lightning Location Network (WWLLN), осуществляющих регистрацию электрических разрядов облако-земля, круглосуточно фиксирующих момент времени и координаты молниевых разрядов. Данные WWLLN помогают проводить статистические исследования грозовой активности над обширными, часто не охваченными метеорологической сетью территориями, исследовать структуру интенсивных атмосферных вихрей, закрытых от спутниковых измерителей мощным слоем облаков, и даже получать различные количественные оценки (Пермяков и др., 2017). Данные содержат информацию о времени (с точностью до мкс, в Coordinated Universal Time (UTC)) и координатах (в градусах), каждой из зафиксированного разряда, значение энергии разряда (в Джоулях), погрешность времени разряда dt (мкс). Эффективность обнаружения молний в среднем составляет $\sim 10\%$, а над морями и океанами – 18.4% (Zhang. et.al., 2018).

В настоящей работе по данным WWLLN были построены поля плотности молний и энергии в июле 2022 г. Поля плотности рассчитывались как суммарное число молний за полчаса, попадающих в круг площадью 100 км^2 с центром в узле географической сетки с шагом $0,1^{\circ}$ (при визуализации использовался логарифмический масштаб). Данные поля сравнивались с полями осадков и некоторых индексов конвекции, рассчитанных в численных экспериментах с региональной мезомасштабной моделью динамики атмосферы Weather Research and Forecasting (WRF).

С начала действия циклона над Японским морем по данным Japan Meteorological Agency (JMA) появляются обширные области осадков, захватывающие, в том числе, побережье края. В это время над рассматриваемым

районом в полях плотности молний выделяется группа очагов со значениями свыше 0,4 (3 разряда на 100 км²), смещающихся к побережью. Прослеживая эволюцию отдельных грозовых очагов можно видеть на рисунке, что очаги сливаются и интенсифицируются, и к моменту выхода на пос. Валентин, плотность молний доходила до значений свыше 1,7 (50 разрядов на 100 км²), что означает развитие мощной конвекции. Общее число молний, зарегистрированных сетью WWLLN в рассматриваемом квадрате 41,5 – 45° с. ш. и 133 – 137° в д. за период 14 – 16 июля 2022 года, составило 3641 разряд, из них подавляющее число молний (97%) пришлось на 15 июля, а 16 июля не было зарегистрировано ни одной молнии. Во временном ходе числа молний и суммарной их энергии на часовых интервалах 15 июля 2022 в окрестности п. Валентин радиусом 23 км (средний для Приморского края оптимальный радиус выборки данных WWLLN (Клещёва и др, 2021)). Здесь гроза наблюдалась с 09:24 UTC до 15:42 UTC. Суммарное число молний составило 226 разрядов, а энергия варьировала от 189 Дж до 33234 Дж, при медианном значении 1502 Дж.

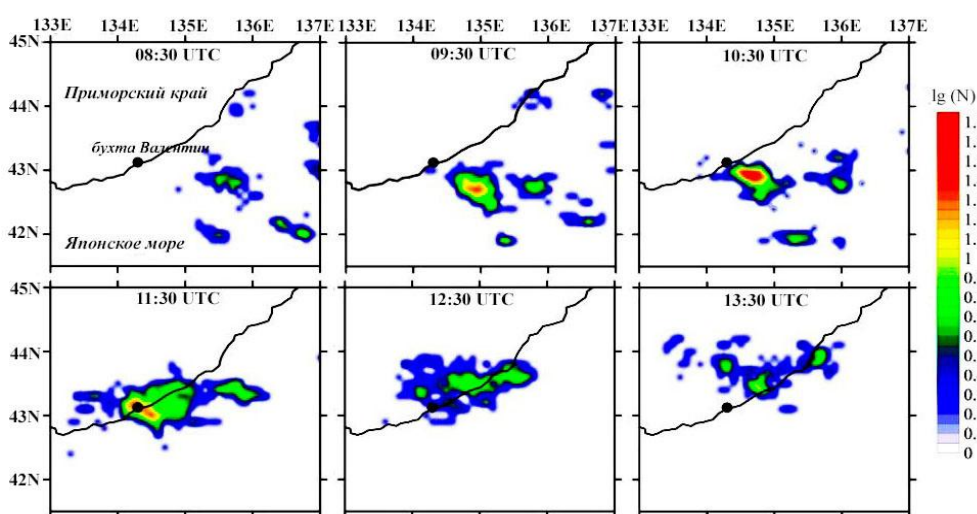


Рисунок – Эволюция поля плотности молний с 08:30 до 13:30 UTC 15 июля 2022 г

Представленные результаты грозовой активности, получаемые по данным сетей локализации молний WWLLN, могут служить для оценки качества прогноза областей интенсивной конвекции и связанных с ними опасных явлений погоды.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 121021500054–3 (рег. номер АААА-А17-117030110037-8)

Литература

Клещёва Т.И., Поталова Е.Ю., Пермяков М.С. Сравнение данных глобальной сети локализации молний WWLLN и стандартных наблюдений на метеостанциях юга Дальнего Востока России // Метеорология и гидрология, 2021. №6. С. 89-98.

Пермяков М.С., Клещёва Т.И., Поталова Е.Ю., Капач С.С., Журавлев П.В. Локальные особенности грозовой активности на юге Дальнего Востока России // Метеорология и гидрология. 2022. №8. С.101–111. DOI:10.52002/0130-2906-2022-8-101-111.

Пермяков М.С., Поталова Е.Ю., Дрога А.Н., Шевцов Б.М. Поля молниевых разрядов в тайфунах // Исследование Земли из космоса, 2017. №4. С. 59-67.

Перунова Т.А. Гидрометеорологический бюллетень ДВНИГМИ 2022

URL: http://www.ferhri.ru/images/stories/FERHRI/Bulletins/Bul_2022/7/2022.07_ch2_hydroterm.pdf

Zhang W., Zhang Y., Zheng D. et.al. Lightning climatology over the northwest Pacific region: An 11-year study using data from the World Wide Lightning Location Network // Atmospheric Research. 2018. №210. P. 41-57.

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ «ЦВЕТЕНИЯ» ФИТОПЛАНКТОНА В ТИХООКЕАНСКОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ

Кивва К.К.¹, Сумкина А.А.^{1,2}

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

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, alexandrasumkina@gmail.com*

В субарктических и арктических морях большая часть нового первичного органического вещества ежегодно формируется во время весеннего «цветения» фитопланктона (ВЦФ). Сроки ВЦФ могут меняться в широких пределах в связи с изменчивостью физических условий. Фенология «цветения» потенциально может влиять на особенности потребления фитопланктона зоопланктоном и другими организмами, определять особенности перехода энергии по цепям питания, в том числе степень связанности пелагической и бентосной частей экосистемы. Таким образом, сроки «цветения» являются одним из важных экологических индикаторов, отражающих состояние и особенности функционирования экосистемы (Кивва и др., 2020). Исследованию данных вопросов в арктических и субарктических морях уделяют всё больше внимания, однако, в российских водах Тихого и Северного Ледовитого океанов изменчивость сроков «цветения» фитопланктона и физических факторов, определяющих фенологию «цветения», изучена недостаточно. В данной работе предпринята попытка охарактеризовать изменчивость сроков «цветения» фитопланктона в тихоокеанском секторе Арктики (главным образом, в северной части Берингова моря и в Чукотском море) в связи с изменчивостью ледовых условий и теплообмена на границе море-атмосфера.

В качестве исходной информации использованы следующие массивы. Спутниковые данные по хлорофиллу-а (Хл) радиометров MODIS (широтнo-долготная сетка, номинальное пространственное разрешение 4 км, шаг по времени 8 суток, интервал лет 2003–2022; NASA, 2022). Данные по концентрации льда NOAA/NSIDC (сетка в равноплощадной проекции, разрешение 25 км, шаг 1 сутки, интервал 1979–2022; Meier et al., 2017). Данные атмосферного реанализа ERA5 по составляющим теплообмена на границе море-атмосфера (широтнo-долготная сетка, пространственное разрешение 0,25°, шаг 1 час, интервал 1979–2022; Hersbach et al., 2020). Для каждого узла соответствующих массивов рассчитаны ежегодные даты очищения акватории ото льда и устойчивого перехода теплового баланса через ноль. Динамика концентрации Хл сопоставлена с этими датами. Сопоставление выполнено для нескольких широтно-долготных районов 1°×2° по широте и долготе. Районы выбирали согласно литературным источникам так, чтобы они отличались по особенностям характерных сроков «цветения» (Кивва, Кубряков, 2021).

Полученные результаты показали, что в районах, покрытых льдом до мая и дольше, ВЦФ наблюдается практически сразу после очищения акватории ото льда. При этом в ряде районов ВЦФ начинается, судя по всему, подо льдом, когда спутниковые данные по Хл недоступны. Это характерно и для северной части Берингова моря, и для Чукотского моря. В этих районах тепловой баланс поверхности моря играет второстепенную роль. По всей видимости, устойчивая стратификация, необходимая для развития ВЦФ, в большинстве случаев там начинает развиваться за счёт таяния льда. В районах, где кромка льда расположена в феврале-марте, в отдельные годы ведущую роль играет срок начала нагрева поверхности моря, а роль ледовых процессов становится второстепенной. В районах Берингова моря, удалённых от кромки льда, ведущую

роль в большинстве случаев играет поток тепла на границе море-атмосфера. Однако, в некоторые годы «цветение» фитопланктона задерживается до июля или даже до августа. Вероятно, это связано с интенсивным ветровым перемешиванием, которое препятствует формированию устойчивой стратификации эвфотического слоя.

Литература

Кивва К.К., Кубряков А.А. Сезонная и межгодовая изменчивость поля концентрации хлорофилла-а в Беринговом море по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2021. № 4. С. 28–45.

Кивва К.К., Селиванова Ю.В., Писарева М.Н., Сумкина А.А. Роль физических процессов в формировании весеннего «цветения» фитопланктона в Беринговом море // Труды ВНИРО. 2020. Т 181. С. 206–222.

Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Muñoz-Sabater J., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Schepers D., Simmons A. The ERA5 global reanalysis // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2020. V. 146(730). P. 1999–2049.

Meier W.N., Fetterer F., Savoie M., Mallory S., Duerr R., Stroeve J. NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration, Version 3. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. 2017. DOI: 10.7265/N59P2ZTG.

NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua Chlorophyll Data; 2022 Reprocessing. NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA. DOI: 10.5067/AQUA/MODIS/L3M/CHL/2022.

ВОДНЫЕ МАССЫ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧУКОТСКОГО МОРЯ В АВГУСТЕ 2019 г.

Кодрян К.В., Кивва К.К.

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

Чукотское море (ЧМ) является крупным шельфовым морем и при этом одним из самых продуктивных арктических морей. В западной части моря (ЗЧМ) экспедиции проводятся намного реже, чем в восточной, из-за чего ЗЧМ является менее изученной, несмотря на высокий промысловый потенциал региона (Орлов и др., 2019). Обширные гидролого-гидрохимические работы, выполненные ФГБНУ «ВНИРО» в ЗЧМ в августе 2019 года, позволяют существенно дополнить имеющуюся информацию о распределении и изменчивости водных масс (ВМ) и некоторых важнейших химических соединений в пределах исследованной акватории.

В данной работе представлены результаты гидролого-гидрохимических исследований в ЧМ во время экспедиции на НИС «Профессор Леонидов» в августе 2019 г. Всего было выполнено 55 станций. Гидрохимические работы включали в себя определение растворенного кислорода, кремния растворенного, фосфора растворенного неорганического, а также нитритного, нитратного и аммонийного азота. Все определения биогенных элементов выполняли по стандартным методикам (Руководство ..., 2003).

Для выделения ВМ использовали гидрологические и гидрохимические данные, а также учитывали расположение станций. При классификации ВМ мы опирались на обобщение сведений о ВМ, приведенное в статье (Pisareva et al., 2015). Однако, ввиду высокой межгодовой и сезонной изменчивости, характерные диапазоны и температуры, и солености, полученные в августе 2019 г., для ряда ВМ несколько отличались от приведенных в статье (Pisareva et al., 2015). В Чукотском море выделены 7 основных ВМ: аляскинская и анадырская прибрежная (АПВ), сибирская прибрежная (СПВ), водная масса, формирующаяся при таянии льда (ТЛВ), берингоморская летняя (БЛВ), зимняя водная масса (ЗВ), остаточная зимняя (ОЗВ) и атлантическая (АВ).

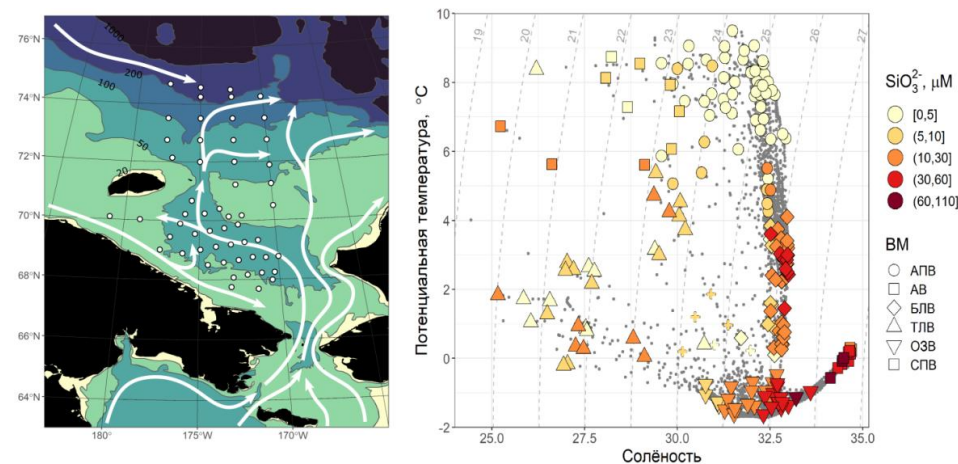


Рисунок – Схема расположения гидролого-гидрохимических станций НИС «Профессор Леонидов» в Чукотском море (слева); TS-диаграмма (справа). Серые точки – все наблюдавшиеся значения в рейсе в 2019 г. Крупные символы соответствуют пробам воды, в которых проводили определение гидрохимических параметров; цвет символа соответствует концентрации минерального растворенного кремния. Форма символа отражает водную массу (Кодрян и др., 2023).

В поверхностном слое южной части исследуемой акватории в августе 2019 г. преобладала АПВ, распространяясь на север до 73 °с.ш. В проливе Лонга и к юго-востоку от о. Врангеля в поверхностном слое наблюдалась СПВ. Поверхностные воды на большей части северной акватории ЧМ относились к ТЛВ. Все три ВМ имеют значительные отличия по физическим характеристикам, однако похожи по гидрохимическим параметрам. В исследованный период у этих трех ВМ были очень близкие значения насыщения воды кислородом (медианные значения 107–124 %); в них близка к аналитическому нулю концентрация нитратного азота. При этом АПВ несколько отличалась от ТЛВ и СПВ менее высокими значениями концентрации минерального растворенного кремния (медианные значения 1.2, 8.4 и 9.2 μM в АПВ, ТЛВ и СПВ, соответственно) и минерального растворенного фосфора (медианные значения 0.43, 0.71 и 0.67 μM в АПВ, ТЛВ и СПВ, соответственно).

В придонном слое в южной части моря преобладала БЛВ, и так же, как и АПВ, она распространялась на север до 73° с.ш. Одной из ее особенностей было высокое содержание аммонийного азота у дна (максимальное значение 12.6 μM), что, по всей видимости, связано с высокой первичной продукцией в южном мелководном районе ЧМ и, как следствие, большим потоком органического вещества на дно.

ЗВ и ОЗВ наблюдались на горизонтах от 20 до 130 м в северной части моря и к юго-востоку и востоку от о. Врангеля и характеризовались более высоким содержанием кремния (медианное значение 29.5 μM), чем БЛВ (медианное значение 22.5 μM). В августе 2019 года наблюдалось нехарактерное расположение АВ, которая была обнаружена уже на 117–137 м. Также ее отличительной особенностью было высокое содержание кремния (до 97 μM), низкое насыщение воды кислородом (местами 25 %) и низкие значения избытка фиксированного минерального азота относительно фосфора (N^*) (до $-24.0 \mu\text{M}$). Максимуму кремния соответствовал максимум нитратного азота (до 19.1 μM) и фосфатов (до 2.95 μM). Низкая концентрация кислорода и низкое значение N^* позволяют предположить, что накопление минерального кремния в этой трансформированной ВМ происходило при обмене с поровыми водами донных осадков. Высокое содержание кремния могло сформироваться за счет длительного нахождения данной ВМ в нехарактерном для нее районе с глубинами 120–130 м, где поток кремния из донных отложений в воду относительно высок. В августе-сентябре 2018 г. в северной части ЧМ также наблюдалось высокое содержание кремния в придонных водах в этом же районе, но значения составляли до 80 μM (А.С. Важова, персональное сообщение). АВ также наблюдалась в придонном слое на станциях с глубинами более 140 м, но в ней содержание кремния было заметно ниже (17.3–53.0 μM), и насыщение воды кислородом было существенно выше (от 42 до 68 %).

Литература

Орлов А.М., Бензик А.Н., Ведищева Е.В. и др. Рыбохозяйственные исследования в Чукотском море на НИС «Профессор Леванидов» в августе 2019 г.: некоторые предварительные результаты // Труды ВНИРО. 2019. Т. 178. С. 206–220.

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промыслов районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО. 2003. 202 с.

Pisareva M.N., Pickart R.S., Spall M.A. et al. Flow of pacific water in the western Chukchi Sea: Results from the 2009 RUSALCA expedition // Deep-Sea Res. I. 2015. V. 105. P. 53–73.

Кодрян К.В., Кивва К.К., Зубаревич В.Л., Педченко А.П. Водные массы западной части Чукотского моря в августе 2019 года и их гидрохимические особенности // Океанология. 2023. Т. 63. № 2 (в печати).

АНАЛИЗ СРЕДНЕКЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ЯПОНСКОМ МОРЕ В КОНТЕКСТЕ ПРОГНОЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ И ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Кокоулина М.В.^{1,2}, Куркина О.Е.¹, Талипова Т.Г.^{2,3}, Куркин А.А.^{1,2},
Пелиновский Е.Н.^{2,3}

¹Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, kokoulinamaria97@gmail.com, oksana.kurkina@mail.ru, aakurkin@gmail.com

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, tgtalipova@mail.ru, pelinovsky@gmail.com

³ФИЦ Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, г. Нижний Новгород.

Внутренние волны, существование которых обусловлено плотностной дифференциацией водных слоев в толще океана, ответственны за многие происходящие в океане процессы. Они могут распространяться на сотни километров, оказывая влияние на экосистему и части подводных гидротехнических сооружений (Woodson, 2019; Chakrabarti, 2005; Cai et al, 2003, 2008; Osborne, 2002). Формы нелинейных внутренних волн в стратифицированном океане хорошо описываются стационарными решениями уравнения Гарднера (Grimshaw et al., 2004). Модель на основе уравнения Гарднера дает возможность на основе интегральных экзогенных параметров-коэффициентов произвести экспресс – оценки типов стационарных волн, описание их эволюции и возможные амплитуды.

В настоящей работе для оценки влияния максимальной сезонной разницы в стратификации вод Японского моря на параметры внутренних волн используются карты информативных параметров стратификации плотности, рассчитанные по усредненным данным цифрового климатологического атласа с открытым исходным кодом WOA18 (World Ocean Atlas 2018) (Boyer et al., 2019) за летний и зимний периоды с разрешением $1/4^\circ$. Показано, что основные качественные особенности географического распределения линейных параметров (скорости распространения длинных волн и дисперсии) внутренних волн в Японском море не изменяются от сезона к сезону, однако при этом они достаточно контрастны, и скорость, и дисперсия волн летом всюду выше, чем зимой. Географические распределения коэффициентов квадратичной (α) и кубической (α_1) нелинейностей использованы для определения ветвей и предельных амплитуд возможных уединенных солитоноподобных внутренних волн (Рисунок *а*), которые могут появляться в Японском море. Если коэффициент кубической нелинейности в уравнении Гарднера отрицательный, то солитоны по абсолютной величине ограничены сверху модулем амплитуды толстого или столбообразного солитона (Рисунок *а*, нижняя полуплоскость). Если же он положительный (рис. 1а, верхняя полуплоскость), то солитоны, полярность которых противоположна знаку коэффициента квадратичной нелинейности, ограничены по абсолютной величине снизу модулем амплитуды алгебраического солитона. Карты распределения возможных типов солитонов в Японском море представлены на Рисунке *б*, *в*. Полученные результаты могут использоваться при настройке численных экспериментов для оценки динамических эффектов с точки зрения наносов и подводных сооружений, расчета орбитальных скоростей, оценки расстояния переноса нейтральных и инертных частиц в потоках, индуцированных длинными короткопериодными волнами.

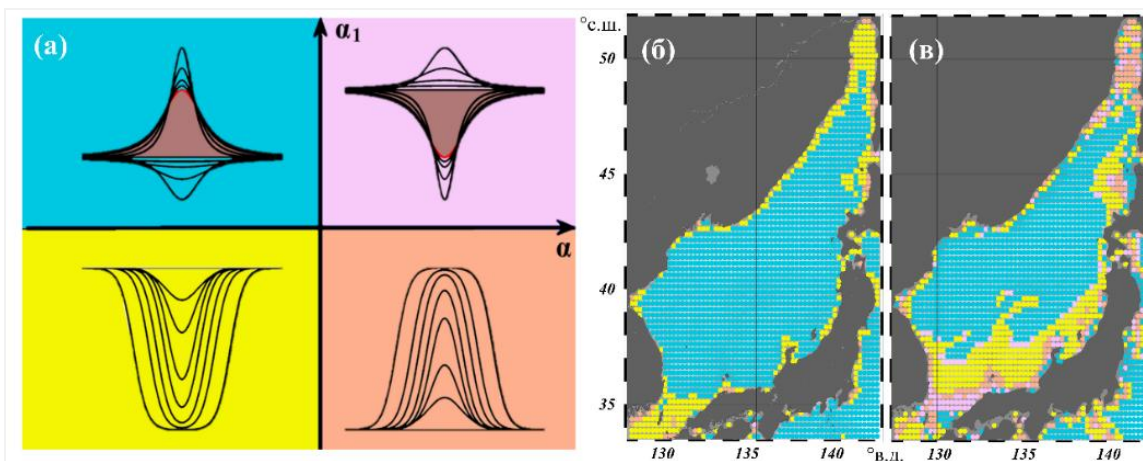


Рисунок. а – Возможные типы солитонов на плоскости параметров квадратичной и кубической нелинейности (α , α_1); географическое распределение по возможным типам солитонов летом (б) и зимой (в). Возможные типы обозначены цветом. Карты построены с использованием программного обеспечения Ocean Data View [Schlitzer 2021].

Работа выполнена при поддержке Лаборатории нелинейной гидрофизики и природных катастроф ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, грант Министерства науки и высшего образования РФ соглашение № 075-15-2022-1127 от 01.07.2022 г.

Литература

- Boyer, T. P.; Garcia, H. E.; Locarnini, R. A.; Zweng, M. M.; Mishonov, A. V.; Reagan, J. R.; Weathers, K. A.; Baranova, O. K.; Seidov, D.; Smolyar, I. V. World Ocean Atlas 2018. [indicate subset used]. NOAA National Centers for Environmental Information. Temperature, salinity. <https://www.ncei.noaa.gov/archive/accession/NCEI-WOA18>. - 2018.
- Cai S., Long X., Gan Z. A method to estimate the forces exerted by internal solitons on cylindrical piles //Ocean Engineering. 2003. Т. 30. №. 5. С. 673-689.
- Cai S., Long X., Wang S. Forces and torques exerted by internal solitons in shear flows on cylindrical piles //Applied Ocean Research. 2008. Т. 30. №. 1. С. 72-77.
- Chakrabarti S. Handbook of Offshore Engineering (2-volume set) //Elsevier. 2005.
- Grimshaw R, Pelinovsky E., Talipova T., Kurkin A. Simulation of the transformation of internal solitary waves on oceanic shelves. //J. Phys. Oceanogr. 2004. V. 34. P. 2774-2791
- Osborne A. R. Nonlinear ocean wave and the inverse scattering transform //Scattering. – Academic Press. 2002. С. 637-666.
- Schlitzer R., Mieruch S. Ocean Data View – 2021.
- Woodson C. B. The fate and impact of internal waves in nearshore ecosystems //Annual Review of Marine Science. 2018. Т. 10. С. 421 - 441.

МЕЗОМАСШТАБНЫЙ ПЕРЕНОС СОЛЁНОСТИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНУЮ ЧАСТЬ ЯПОНСКОГО МОРЯ И ЕГО ВАРИАЦИИ С 1994 по 2018 гг.

Кузнецова Н.В., Степанов Д.В.

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

Японское море (ЯМ) известно своей сложной динамикой, где мезомасштабные вихри играют значительную роль в формировании его гидродинамической структуры и термохалинной стратификации. Вихри ответственны за перенос тепла, соли и других примесей на значительные расстояния. Важно оценить вклад вихрей в формирование водных масс ЯМ. В рамках настоящего исследования оценивается вклад мезомасштабных вихрей в формирование потока соли из южной в северо-западную часть ЯМ, а также связь этого потока с изменением «солесодержания» 400 метрового слоя в этой части моря. Для анализа были использованы данные скорости геострофических течений, базы данных спутниковой альтиметрии SMEMS (Mertz, 2017), а также океанского реанализа GOF3.1 (Chassignet, 2007) за период с 1994 по 2018 гг.

В качестве количественной оценки интенсивности мезомасштабной динамики может быть использована вихревая кинетическая энергия (ВКЭ): $ВКЭ = 0,5 \cdot \overline{(u'^2 + v'^2)}$, где u, v – суточные значения зональной и меридиональной компоненты геострофических течений, а u', v' их аномалии по отношению к скользящему среднему с окном 90 сут. Черта сверху обозначает среднемесячное осреднение. Анализ сезонной изменчивости ВКЭ, осредненной в слое от 0 до 400 м, показал, что в течении года ее максимальные значения (до $1,4 \times 10^{-1} \text{ м}^2/\text{с}^2$) наблюдаются в южной части, а минимальные (до $1,2 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}^2$) – в северной (севернее зоны Субполярного фронта $\sim 41^\circ$ с.ш.) части ЯМ. Осенью, в структуре геострофической циркуляции, отчетливо проявляется ветвь течения с юго-западной границы в северо-западную часть моря. Вдоль этой ветви ВКЭ достигало максимальных значений (до $9 \times 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}^2$) по сравнению с другими сезонами, что указывает на интенсификацию мезомасштабной динамики (Рисунок б).

Предполагается, что в этой зоне формируется вихревой поток соли, который может быть ответственен за формирование вариаций запаса соли в северо-западной части ЯМ, а соответственно и за формирование промежуточных вод моря. Для подтверждения этого предположения были использованы данные океанского реанализа GOF3.1. Для оценки вихревого потока соли (ВПС), использовались следующие соотношения: $\int \overline{S' u'} dz, \int \overline{S' v'} dz$, где S – солёность. Анализ ВПС подтвердил наличие квази-зонального вихревого переноса соли из юго-западной в северо-западную часть ЯМ. Для анализа вариаций зональной компоненты этого потока был оценен вихревой перенос соли (F) через меридиональное сечение (на долготе 136.1° в.д., а широта изменялась от 41.84° до 42.84° с.ш.) в соответствии с соотношением: $F = \int \int \overline{S' \cdot u'} dz d\varphi$, где φ – широта, а z – глубина от 0 до 400 м. Согласно оценкам, вариации F близко согласуются с вариациями ВКЭ. Кроме этого, представленный выше анализ показал, что с мезомасштабной динамикой связан перенос соли из южной в северо – западную часть ЯМ.

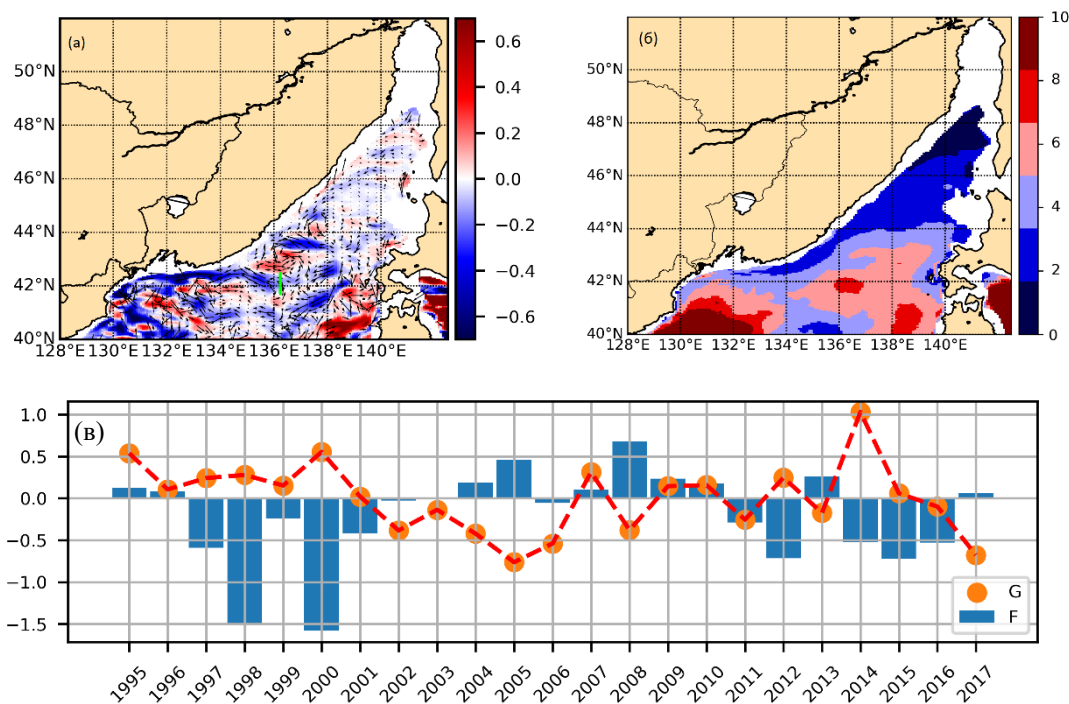


Рисунок – (а) – поле вихревого потока соли, обозначено стрелками [$\text{psu} \cdot \text{m}^2 / \text{c}$], а цветом обозначена его зональная компонента, в октябре 2002 г. Зеленым отрезком обозначено меридиональное сечение (136.1° в.д. и от 41.84° до 42.84° с.ш.), через которое оценивался вихревой перенос соли. (б) – средне-многолетняя (с 1994 по 2018 гг) пространственная структура вихревой кинетической энергии на единицу массы [$10^{-3} \text{ м}^2 / \text{с}^2$], осредненная в слое от 0 до 400 м, по данным GOFS3.1 осенью. (в) – вариации вихревого переноса соли F [$10^3 \text{ м}^3 \cdot \text{psu} / \text{c}$] через меридиональное сечение (см. Рисунок а) в сентябре, а значения G [$10^3 \text{ м}^3 \cdot \text{psu} / \text{c}$] в феврале с 1995 по 2017 гг.

Согласно оценкам $G = \frac{\partial}{\partial t} (\iiint \bar{S}^i d\varphi d\lambda dz)$, где φ от 40° до 43.5° с.ш., а λ – долгота от 129° до 135° в.д., z от 0 до 400 м, во второй половине 90-х годов, повышенный вихревой перенос соли в западном направлении ($F < 0$) в конце года сопровождался высоким G в начале следующего года. С другой стороны, в начале 2000-х, значительному понижению солесодержания в северо-западной части ЯМ в начале года предшествовало отсутствие вихревого переноса соли в западном направлении.

Таким образом, мезомасштабные вихри в конце года могут быть ответственны за формирование вихревого потока соли из юго-западной в северо-западную часть ЯМ. Интенсификация этого потока может приводить к росту солесодержания 400-м слоя в северо-западной части ЯМ, а с ослаблением этого потока связаны периоды распреснения 400-м слоя в северо-западной части ЯМ.

Литература

Mertz F. For Sea Level SLA products. Copernicus Marine Service / F. Mertz, V. Rosmorduc, C. Maheu, Y. Faugere // CMEMS, GLORYS. 2017. V. (1.1). P. 1–51.

Chassignet E. P. The HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) data assimilative system. Journal of Marine Systems, 65(1-4 SPEC. ISS.) / E. P. Chassignet, H. E. Hurlburt, O. M. Smedstad, G. R. Halliwell, P. J. Hogan, A. J. Wallcraft, et al // GOFS3.1. 2007. P. 60–83.

КОНТРАСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ, ПЕРЕНОСЯЩИХ ВОДЫ РЕКИ ТУМАННАЯ

Липинская Н.А., Салюк П.А.

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

Одним из наиболее распространённых методов для исследования субмезомасштабных вихрей (СМВ) в океане, являются измерения со спутника (Алексанин и др., 2008). В данной работе исследование сосредоточено на изучении проявлений вихрей в видимом и ИК спектральных диапазонах и не касается использования микроволнового диапазона.

Для исследований океанских вихрей часто используются данные, полученные из ИК изображений (Алексанин и др., 2004), однако, для некоторых районов, в определенный сезон, проявления вихрей в тепловых контрастах могут быть слабыми или же отсутствовать вовсе (Кубряков и др., 2016). В случаях, когда на ИК изображениях не удастся идентифицировать вихри в связи с малыми контрастами в полях температуры поверхности моря (ТПМ), могут быть использованы данные в видимом диапазоне, где контраст может быть существенным за счет вклада оптически-активных компонентов морской воды внутри и вне вихря.

Целью данной работы является определение дистанционно оцениваемых параметров из видимого и ИК диапазонов электромагнитного излучения, по которым возможно получить наибольшие контрасты для исследования СМВ, обнаруженных в южной части Залива Петра Великого в районе влияния вод реки Туманной, в ходе.

Для определения наиболее контрастной характеристики СМВ был проведен сравнительный анализ в полях ТПМ, концентрации хлорофилла-а (хл-а) и спектров коэффициентов яркости моря (RRS) на разных длинах волн полученных со спутниковых данных 2 уровня спектрорадиометров MODIS – Terra/Aqua в полях био-оптических характеристик из видимого спектрального диапазона и ТПМ.

Для каждого обнаруженного вихря был рассчитан показатель SNR, как отношение разницы среднего значения параметра в вихре и вне его, к сумме стандартного отклонения в вихре и вне его.

Сравнив полученные SNR для ТПМ и концентрации хл-а выявлено, что в $\sim 70\%$ случаях $SNR(chl)$ больше чем $SNR(sst)$ (Рисунок *а*), а оптимальным спектральным диапазоном для идентификации СМВ из Rrs будет 531-555 нм (Рисунок *б*). Результаты сравнительного анализа позволяют сделать вывод, что наиболее контрастной характеристикой для СМВ в исследуемом районе будет являться именно концентрация хл-а.

Слабое проявление в температурных контрастах также подтверждается на экспедиционных данных полученных серии прибрежных экспедиций ТОИ ДВО РАН, в сентябре 2009 года, через вихрь, Температурный градиент между станциями не превышал 0,7 градусов С, тогда как по данным солёности были видны явные очаги распреснения, которым соответствуют и повышенные концентрации хл-а и окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ), что соответствует вихревым структурам в точках зондирования.

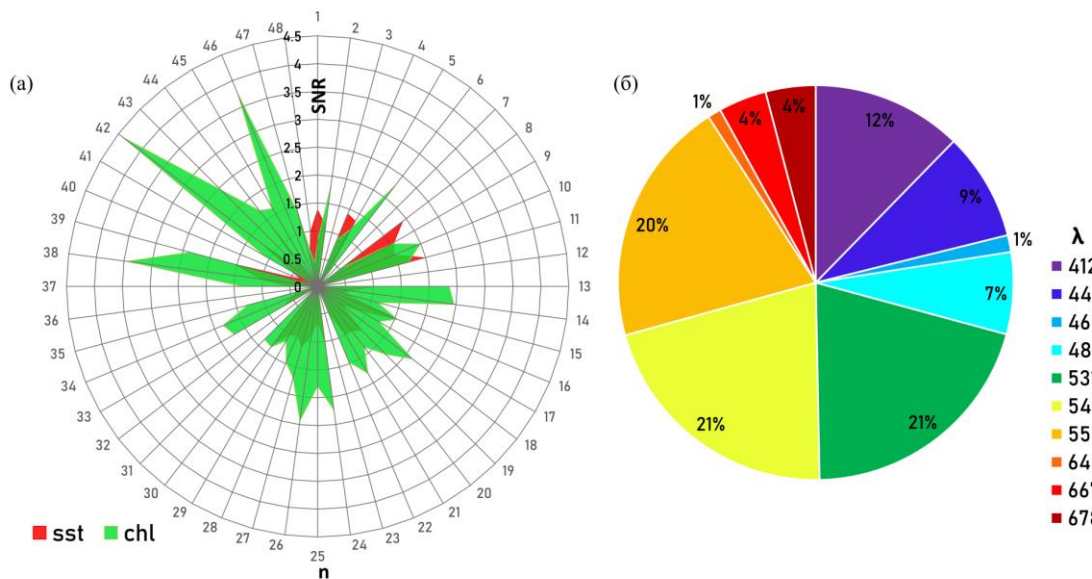


Рисунок – Диаграммы повторяемости проявлений СМВ в ТПМ и концентрации хл-а (а) и Rrs на разных длинах волн (б).

Хорошая контрастность в оптических характеристиках может быть дополнительно обусловлена влиянием речного стока реки Туманная, и выносом с нее взвешенных веществ и ОРОВ. Для подобных СМВ использование спутниковых измерений по цвету моря будет наиболее информативным для идентификации и эволюции вихрей. Однако, стоит учитывать, что фитопланктон является пассивно-плавающим и в результате границы и форма вихрей могут быть размыты по гидродинамическим причинам. Вследствие чего, исключать использование данных по ТПМ не стоит, оптимальным будет использование информации как в полях ТПМ, так и в концентрации хл-а, что также увеличит пространственно-временное покрытие изучаемых явлений и даст возможность дополнительной интерпретации получаемых результатов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20099, <https://rscf.ru/project/22-27-20099/>, и за счет Министерства профессионального образования и занятости населения Приморского края, соглашение № 2-Н от 25 мая 2022 г.

Литература

Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Автоматическое выделение вихрей по спутниковым инфракрасным (ИК) изображениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Т. 1. № 1. С. 382-386.

Алексанин А.И., Загуменнов А.А., Автоматическое выделение вихрей океана и расчет их формы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 2. С. 17-21.

Кубряков А.А., Белоненко Т.В., Станичный С.В., Влияние синоптических вихрей на температуру морской поверхности в северной части Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 34-43.

НОВЫЕ РАЙОНЫ СТРУЙНЫХ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ У ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 1-ОГО ЭТАПА 125 РЕЙСА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

Малахова Т.В.¹, Макаров М.М.², Сырбу Н.С.³, Стецюк А.П.¹, Будников А.А.⁴,
Хурчак А.И.¹, Кучер К.М.², Заговенкова А.Д.⁴,
Легкодимов А.А.³, Иванов М.В.³.

¹ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

²Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

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

⁴Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва, t.malakhova@imbr-ras.ru

Основной целью работ было проведение детальной гидроакустической съемки и комплексного биогеохимического исследования струйных метановых газовыделений, расположенных на шельфе у южного побережья Крыма, в рамках 1-ого этапа 125 рейса НИС «Профессор Водяницкий» (2 – 28 ноября 2022 г.). Выбранный для исследований район является одним из наименее изученных в Чёрном море в отношении распределения мест выхода пузырькового метана, а также газо- и флюидонасыщенности донных отложений. В связи с этим, в рамках экспедиции решались задачи локализации, определения активности, генезиса и средообразующей роли метановых сипов.

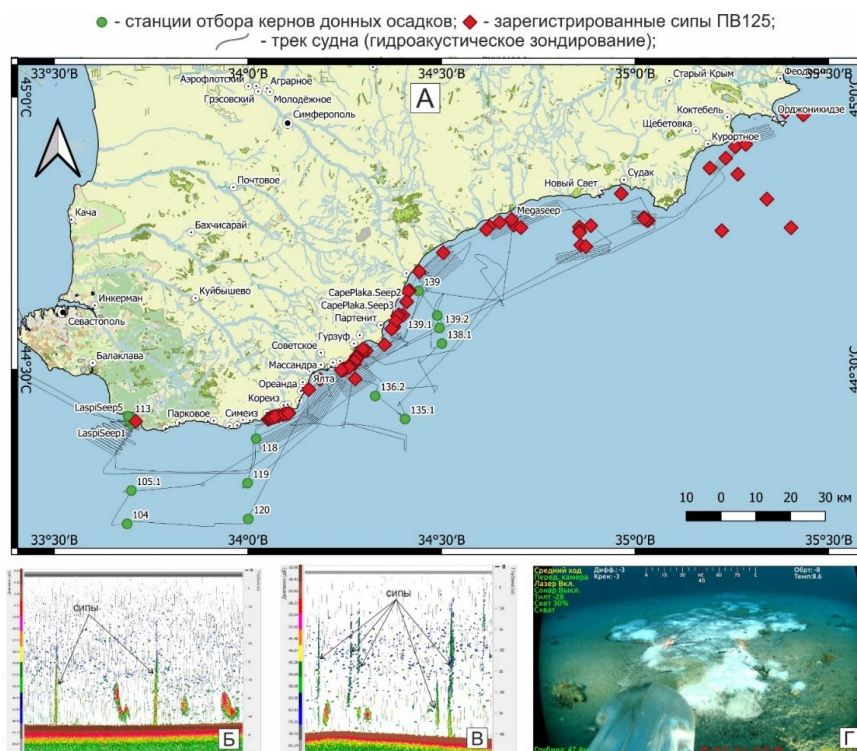


Рисунок – Маршрут экспедиции, гидроакустические галсы, точки зарегистрированных гидроакустических аномалий и точки отбора проб воды и донных осадков на площадках газовыделений (А); эхограммы метановых струйных газовыделений в районе мыса Мартьян (Б, В); бактериальные маты в бухте Ласпи (Г)

Для подробной гидроакустической съемки было выбрано 14 площадок от бухты Ласпи до Феодосийского залива, которые захватывали глубины от 30 до 80

метров (Рисунок А). Общая протяженность гидроакустических галсов составила более 1000 километров, что соответствует площади обследованного дна более 7 км². Гидроакустическая съемка велась одновременно двумя эхолотами (Simrad EK-500 и Furuno FCV-1100), что позволило достоверно идентифицировать обнаруженные акустические аномалии как выходы газа (более 200 отдельных факелов на глубинах от 35 до 60 метров, Рисунок А).

Анализ данных, полученных в ходе множественных гидроакустических зондирований одного и того же полигона, позволил оценить временную изменчивость активности факелов на интервале от нескольких часов до нескольких дней. Показано, что сипы непостоянны во времени и имеют пульсирующий характер. Это может быть связано, в том числе, с изменением гидролого-гидрофизических характеристик придонного слоя воды, которые регистрировались мультипараметрическим зондом AANDERAA RCM 9.

С целью изучения структуры и морфологии дна, а также биологического разнообразия в районах струйных газовыделений проведены работы при помощи телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) Ровбилдер РБ 300 (Россия). Общая продолжительность погружений составила около 30 часов. На участке "Ласпи" были обнаружены плотные белые микробные маты в виде округлых и удлинённых пятен и другие морфоструктуры, которые могут свидетельствовать о газонасыщенности донных осадков (Рисунок Г). На основании полученных гидроакустических данных были определены места детальных гидро- и геохимических исследований. Был выполнен пробоотбор колонок донных осадков 2-метровой ударной трубкой на 13 станциях, а также прецизионный отбор верхнего 50-см слоя осадка колоночным пробоотборником на 5 площадках газовыделений.

Состав газового флюида представлен метаном, этаном, пропаном, водородом, гелием и сероводородом. На восходящий глубинный флюид могут указывать аномалии гелия на ст. 136.2 и ст. Мегасип. Сероводород в осадках был обнаружен во всех исследованных образцах (0.12 - 0.65 ppm), максимальная концентрация CH₄ достигала 698 мкмоль/дм³. Также показано, что в донных осадках районов газовыделений концентрация ртути была в 2 и более раз выше по сравнению с условными фоновыми районами. Максимум концентрации достигал 170 нг/г в осадках бухты Ласпи.

Для исследования влияния метановых сипов на газовый состав водного столба были выбраны 3 газовыделяющих района (Ласпи, мыс Мартьян, мыс Плака), на которых были заложены вдольбереговые трансекты, состоящие каждая из 4 станций. Повышенные концентрации CH₄ были измерены в придонном слое воды на всех 4 станциях трансекты на площадке газовыделений мыс Мартьян (максимум 23 нмоль/л).

В результате исследований обнаружены новые районы мелководной пузырьковой разгрузки. На данном этапе исследований полученные результаты свидетельствует о глубинной разгрузке метана, которая сопровождается выделением сопутствующих эндогенных газов и ртути. Для установления активности и периодичность, а также генезиса пузырькового газа необходимо проводить дополнительные исследования в другие гидрологические сезоны.

Работа выполнена по теме государственного задания «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (проект 121031500515-8). Проведенные исследования были выполнены в Центре коллективного пользования «НИС Профессор Водяницкий» ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ.

ПРИЛИВНЫЕ ТЕЧЕНИЯ И ВОДООБМЕН В ПРОЛИВЕ ЛАПЕРУЗА

Марыжихин В.Е.¹, Шевченко Г.В.^{1,2}

¹Сахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), г. Южно-Сахалинск,
jonyr.27@mail.ru

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск,
Shevchenko_zhora@mail.ru

Особенности водообмена через пролив Лаперуза между Японским и Охотским морями, воды которых существенно различаются по своим характеристикам, а также сезонная изменчивость гидрологических условий представляют большой научный интерес. По некоторым аспектам этой проблемы, прежде всего по вопросу наличия в северной части пролива противотечения течению Соя, до настоящего времени не установилось единой точки зрения. Так, еще в конце XIX века выдающийся русский ученый С.О. Макаров установил, что имеет место постоянный поток из Японского моря в Охотское, при этом в результате взаимодействия приливной волны с подводной возвышенностью в районе скалы Камень Опасности происходит подъем холодной воды и вынос ее в юго-восточную часть Татарского пролива (Макаров, 1950). Однако в некоторых более поздних исследованиях (Леонов, 1948; Danchenkov et al., 1999) констатировалось наличие противотечения.

В 1995-2000 годах проводилось совместное исследование кормовой базы и условий окружающей среды водных биоресурсов в проливе Лаперуза и прилегающих водах Японского и Охотского морей Сахалинского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО») и Hokkaido Central Fisheries Experimental Station (HCFES) (Пропп и др., 2019). Программа работ включала повторные океанологические съемки на стандартизированной сети разрезов и инструментальные измерения скорости течений. В частности, на основе этих измерений было показано, что в проливе наблюдаются аномально сильные приливные течения, достигающие скорости 6 узлов (Шевченко и др., 2005). Очевидно, что при таких скоростях приливного потока, более сильного у мыса Крильон и уменьшающегося в южной части пролива, результаты океанологических съемок сильно зависят от того, на какой фазе прилива они были выполнены.

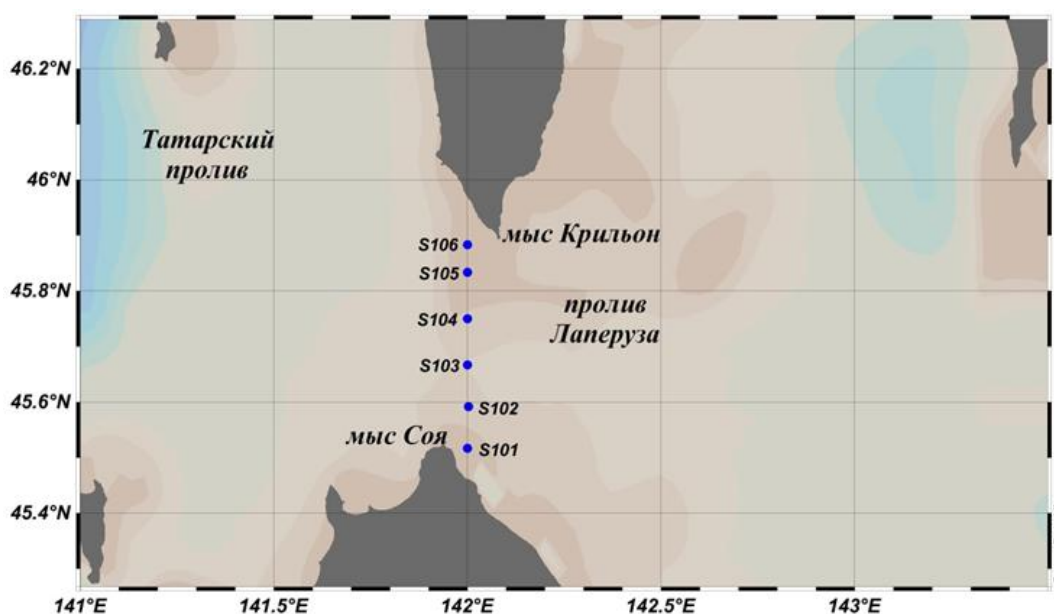


Рисунок – Схема станций стандартного океанологического разреза S1

В данной работе предпринята попытка сгруппировать океанологические съемки, выполненные на стандартном океанологическом разрезе S1 (всего 47 экспедиций) по фазам прилива. Наибольшее внимание уделялось съемкам 1995–1997 годов, когда количество рейсов в данном районе было наибольшим.

Установлено, что во время фазы прилива, когда в исследуемом районе приливная волна распространяется из Охотского моря в Японское, на вертикальных распределениях температуры и солености воды на разрезе S1 наблюдается картина, соответствующая наличию в северной его части потока холодной и менее соленой воды из залива Анива в юго-восточную часть Татарского пролива.

Такая картина наблюдается чаще всего в зимний период, когда уровень в Охотском море выше, чем в Японском, и противотечение течению Соя однозначно существует, что подтверждается наличием потока охотоморской воды с низкой соленостью вдоль западного побережья полуострова Крильон на север (Шевченко и др., 2018). Температура воды в северной и южной частях разреза различается более чем в два раза – у полуострова Крильон она менее 3°C, а вблизи японского берега более 8°C. Градиент солености также очень велик – вблизи мыса Соя значения параметра более 34, а у российского побережья менее 32,5 psu.

В теплый период года уровень в Японском море выше, чем в Охотском, что обеспечивает поток теплого течения Соя вдоль северного берега о. Хоккайдо. Однако на фазе прилива, также как и зимой, наблюдаются значительные различия в значениях океанологических параметров в северной и южной части разреза. Так, температура в район мыса Крильон составляла около 6°C, а у мыса Соя в три раза выше. Соленость на самой северной станции была очень низкой для изучаемого района, около 32 psu, тогда как на южных станциях соответствовала многолетним нормам. На фазе отлива или слабого приливного потока охотоморская вода на разрезе не наблюдается.

Таким образом, на основании анализа распределений океанологических параметров на разрезе S1, очевиден вывод о формировании потока охотоморской воды и в холодный, и в теплый период года в юго-восточную часть Татарского пролива под действием приливов. При этом может сложиться ложное впечатление о наличии двух противоположно направленных потоков в проливе Лаперуза, то есть о присутствии постоянного противотечения течения Соя, хотя летом он отсутствует.

Литература

- Леонов А.К. 1948. Водные массы Японского моря. Метеорология и гидрология 6: 61-78.
- Макаров С. О. 1950. Океанографические работы. М.: изд-во «Географгиз», 280.
- Пропп Л. Н., Гаврина Л. Ю. Сезонные вариации гидролого-гидрохимических параметров и хлорофилла-а в проливе Лаперуза (Соя) и прилегающих районах Охотского и Японского морей в 1996–1997 гг. // Труды СахНИРО. 2019. № 15. С.243-279.
- Шевченко Г.В., Кантаков Г.А., Частиков В.Н. 2005. Анализ данных инструментальных измерений течений в проливе Лаперуза. Известия ТИНРО, 140: 203-227.
- Шевченко Г.В., Частиков В.Н., Марыжихин В.Е. Сезонные вариации морских гидрологических характеристик у юго-западного побережья острова Сахалин. Метеорология и гидрология. 2018. 12: 98-104.
- Dantchenkov M. A., Aubrey D., Riser S. 1999. Oceanographic features of La Perouse Strait. PICES Sci. Reports. Sidney, BC, Canada, 12: 159–171.

ФОРМИРОВАНИЕ АПВЕЛЛИНГА У ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОСТРОВА САХАЛИН ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЕТРА

Марыжихин В.Е.¹, Шевченко Г.В.^{1,2}

¹Сахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), г. Южно-Сахалинск,
jonyr.27@mail.ru

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск,
Shevchenko_zhora@mail.ru

Явление прибрежного апвеллинга представляет значительный интерес в связи с тем, что в результате подъема богатых биогенными веществами глубинных вод существенно возрастает продуктивность в районах, где он наблюдается (Духова, Сапожников, 2014). Ввиду его важности для функционирования экосистем прибрежных акваторий, механизмы формирования апвеллинга, в том числе ветрового, давно и хорошо изучены (Hill and Johnson, 1974). Наибольшее значение имеет апвеллинг, формирующийся в результате продолжительного действия сгонных ветров сезонного характера, например, территорий с муссонным климатом (тихоокеанское побережье Дальнего Востока). Механизм проявления апвеллинга у юго-западного побережья Сахалина до настоящего времени не изучен, что и является целью данной работы. Материалами для настоящего исследования послужили океанологические данные, собранные сотрудниками Сахалинского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО») у юго-западного побережья острова Сахалин.

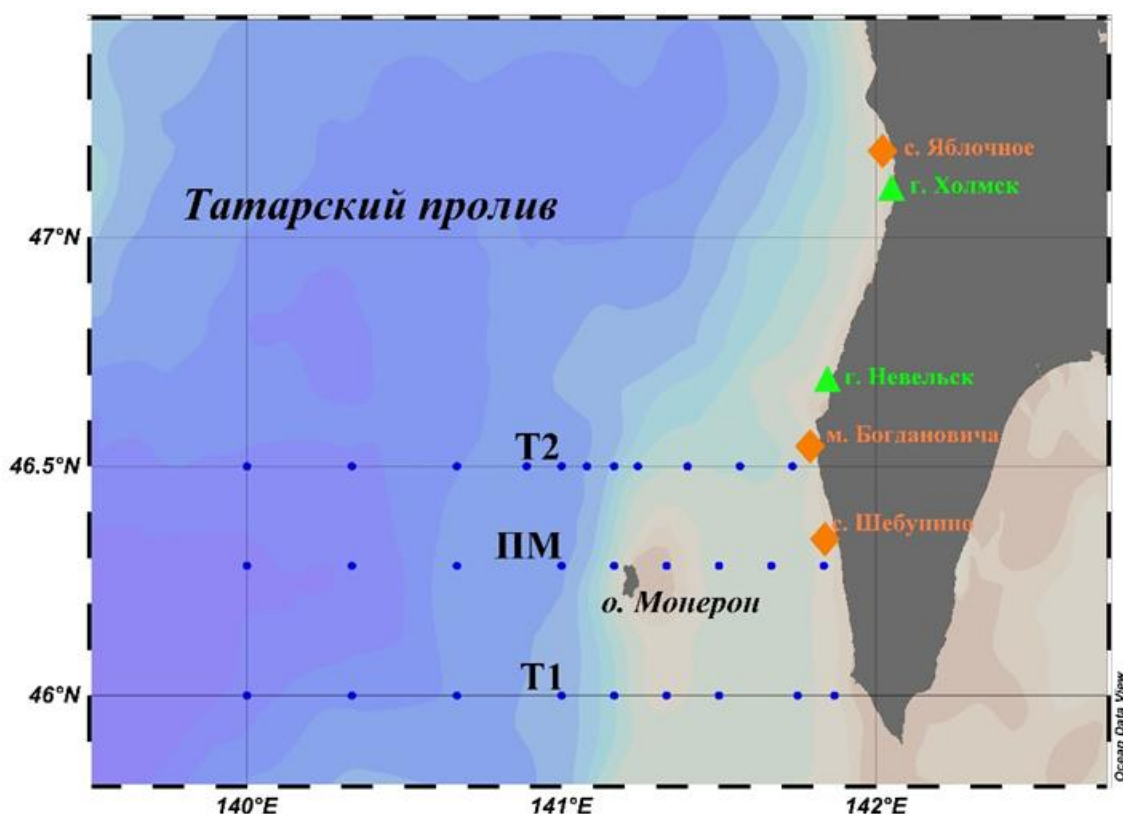


Рисунок – Положение станций стандартных океанологических разрезов Т1, Т2 и поселок Перепутье–остров Моноeron–мыс Олимпиады (ПМ). Показано положение прибрежных измерителей температуры морской воды (оранжевые ромбы) и береговых метеорологических станций (зеленые треугольники)

Инструментальные измерения температуры морской воды и гидростатического давления получены в районе сел Яблочное, Шебунино и мыса

Богдановича в период 2020–2022 гг. Также использовались материалы судовых океанологических съемок, выполненных в 1995–1999 гг. на стандартных разрезах T1 и T2, а также средних многолетних распределений температуры и солёности на восточной части разреза поселок Перепутье–остров Монерон–мыс Олимпиады.

Кроме этого, применялись усредненные ежемесячно данные спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря в Татарском проливе (1998–2021 гг.), полученные при помощи имеющейся в филиале спутниковой приемной станции TeraScan.

Для анализа метеорологических условий использовались данные о скорости и направлении ветра на береговых метеорологических станциях городов Холмск и Невельск, а также карты пространственного распределения приземного атмосферного давления в северо-западной части Тихого океана. Эти данные получены с сайтов общего пользования (www.rp5.ru, www.ncdc.noaa.gov).

В результате проведенных исследований показано, что сезонный ветровой апвеллинг формируется у юго-западного берега острова Сахалин в осенний период (октябрь-декабрь) под действием ветров северного и близкого к нему румбов, характерных для осенне-зимнего сезона (зимний муссон). Выражено это явление в изучаемом районе существенно слабее, чем в северной части Татарского пролива (Шевченко и др., 2011).

В теплый период года, когда преобладают ветра южного румба нагонного характера (летний муссон), условия для формирования ветрового апвеллинга у юго-западного побережья Сахалина возникают эпизодически. Как правило, эти ситуации случаются 4–5 раз за сезон. Понижения температуры достигают 10–12°C, их продолжительность колеблется в пределах от 3 до 10 суток. Наиболее значимые ситуации отмечены при прохождении циклонов южнее острова Сахалин, при этом формируются сгонные ветра восточного и близких к нему румбов, которые и являются причиной резкого понижения температуры воды в прибрежной зоне. Менее продолжительные понижения температуры могут иметь место и при прохождении над изучаемым районом атмосферных фронтов.

Литература

Духова Л.А., Сапожников В.В. Гидрохимические показатели первичной продукции в зонах Перуанского и Канарского апвеллингов // Труды ВНИРО. 2014. Т.152. С.85–100.

Шевченко Г.В., Вилянская Е.А., Частиков В.Н. Сезонная изменчивость океанологических условий в северной части Татарского пролива // Метеорология и гидрология. 2011. № 1. С. 78 -91.

Hill R.B., and Johnson J.A. A theory of upwelling over the shelf break// Journal of Physical Oceanography. 1974. Vol. 4. P. 19-26.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ВОД В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОРЯ УЭДДЕЛЛА

Мухаметьянов Р.З.^{1,2}, Кречик В.А.^{1,3}, Фрей Д.И.^{1,2,4}

¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, rinat0233@mail.ru

²Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный

³Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

⁴Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

В северо-западной части моря Уэдделла, омывающего берега Антарктиды, расположен бассейн Пауэлла. С запада от него расположен пролив Брансфилда, с севера его ограничивает хребет Саут Скотия, отделяющий его от моря Скотия, а с востока его границу обозначает Южное Оркнейское плато. Бассейн Пауэлла является связующим звеном между водами моря Уэдделла, пролива Брансфилда и моря Скотия как с точки зрения динамики вод в этом районе, так и с биологической точки зрения, ведь в этой акватории происходит распространение и локализация антарктического криля (Спиридонов и др., 2020), который является важнейшим звеном трофической цепи экосистемы Антарктики. Бассейн Пауэлла также имеет немаловажное значение для распространения Антарктической донной воды (ААДВ), которая обеспечивает вентиляцию абиссали Мирового океана (Gordon et al., 2001; Orsi et al., 2002). Но, несмотря на свое важное значение, море Уэдделла в целом, и бассейн Пауэлла в частности относятся к наименее изученным районам Мирового океана. Так по данным открытой базы данных WOD18 в бассейне Пауэлла было выполнено всего лишь три полноценных гидрологических разреза за всю историю наблюдений, не считая отдельных станций. В связи с чем, в январе-феврале 2022 года в данной акватории была проведена масштабная гидрологическая съемка, включавшая разрез от Антарктического полуострова до Южных Оркнейских островов (Морозов и др., 2022). На станциях разреза проводились зондирования STD и ADCP профилографами от поверхности до дна. Это позволило получить новые данные о структуре вод в столь малоизученном районе. Получены были данные как о термохалинной структуре вод, так и о структуре скорости течений круговорота Уэдделла в этом районе. Согласно литературным данным, этот круговорот в северо-западной части моря должен состоять из трех основных компонентов: Антарктическое прибрежное течение, Антарктический склоновый фронт и фронт Уэдделла (Thompson, Neuwold, 2005). Однако контактные измерения позволили обнаружить лишь два из них: Антарктическое прибрежное течение, локализованное на шельфе и Антарктический склоновый фронт верхней части материкового склона. Скорости в обоих течениях составляли 10-15 см/с как по данным погружного, так и по данным бортового профилографа течений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ 21-77-20004.

Литература

Морозов Е.Г., Флинт М.В., Орлов А.М. и др. Гидрофизические и экосистемные исследования в атлантическом секторе Антарктики (87-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // Океанология. 2022. Т. 62. № 5. С. 825–827. DOI: 10.31857/S003015742205015X

Спиридонов В.А., Залота А.К., Яковенко В.А., Горбатенко К.М. Состав популяции и транспорт молоди антарктического криля в районе бассейна Пауэлла (северо-западная часть моря Уэдделла) в январе 2020 г. // Труды ВНИРО. 2020. Т. 181. С. 33–51.

Gordon A.L., Visbeck M., Huber B. Export of Weddell Sea deep and bottom water // J. Geophys. Res. 2001. V. 106. № C5. P. 9005–9018.

Orsi, A.H., Smethie W.M., Bullister J.L. On the total input of Antarctic Waters to the deep ocean: A preliminary estimate from chlorofluorocarbon measurements // *J. Geophys. Res.* 2002. 107(C8). 3122. doi:10.1029/2001JC000976

Thompson F., Heywood K. Frontal structure and transport in the northwestern Weddell Sea // *Deep-Sea Research Part I.* 2008. V. 55. P. 1229–1251.

КОНТАКТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ И ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУР ГВИНЕЙСКОГО КУПОЛА В АВГУСТЕ 2022

Остроумова С.А.¹, Кречик В.А.^{1,2}, Смирнова Д.А.^{1,3}, Фрей Д.И.^{1,4,5}, Баширова Л.Д.^{1,2}, Кулешова Л.А.¹

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,
ost.sophisticated@gmail.com*

²*Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград,
myemail.gav@gmail.com*

³*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
moscowedadas@gmail.com*

⁴*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, dima.frey@gmail.com*

⁵*Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный*

Экваториальная область Атлантического океана характеризуется сложной системой поверхностных и подповерхностных течений, формируемых пассатами. Интенсивные поверхностные течения чередуются по направлениям на запад и восток. Основными компонентами этой системы циркуляции в северном полушарии являются Северное экваториальное течение и Северное экваториальное противотечение, проходящие между 11° и 13° с.ш. и 7° и 8° с.ш. соответственно. Эти течения образуют циклоническую циркуляцию, которая запускает механизм поднятия вод, формируя океанический апвеллинг – Гвинейский купол (ГК) (Stramma et al., 2005; Stramma and Schott, 1999). По данным натурных измерений вертикальная термохалинная структура купола проявляется характерным поднятием изотерм, которое особенно заметно в термоклине (Voituriez, 1981).

В ходе 62-го рейса НИС «Академик Иоффе» с 20 по 22 августа 2022 года через Гвинейский купол был выполнен разрез, включавший в себя 15 станций, расположенных в квазимеридиональном направлении с юга на север. Работы выполнялись STD-зондом Idronaut 320 и погружным доплеровским профилографом скоростей течений TRDI WorkHorse Monitor 300 кГц. Измерения проводились до глубины 1000 м, среднее расстояние между станциями составило 65 км.

Оценка пространственного распределения абсолютной динамической топографии и скоростей геострофических течений проводилась на основе массива данных SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_OBSERVATIONS_008_046, доступном на Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, <http://marine.copernicus.eu>). Данные уровня обработки L4 представлены на равномерной сетке с пространственным шагом 0.25° по долготе и широте и шагом по времени в одни сутки.

На карте поверхностных геострофических течений, полученной на основе данных спутниковой альтиметрии, отчетливо прослеживаются два основных для района течения: Северное экваториальное противотечение и Северное экваториальное течение. Эти интенсивные поверхностные струи также хорошо прослеживаются по данным натурных измерений. Распределение восточной компоненты скоростей течений на основе контактных измерений показывает максимальные значения в основной струе Экваториального противотечения (до 10 см/с в ядре). В ядре Северного экваториального течения максимальные значения скорости достигали 27 см/с.

Вертикальное распределение термохалинных характеристик в районе ГК определяется системой течений. Под действием экмановской накачки, проявляющейся в виде океанического апвеллинга, толщина верхнего квазиоднородного слоя в северной части разреза уменьшалась до 20 м. Ключевую

роль для трехмерной циркуляции океана в этом районе также играют антарктические воды, занимающие глубинный и придонный слой экваториальной Атлантики (Morozov et al., 2021); известно, что динамика верхнего слоя океана может существенно влиять на циркуляцию вод на различной глубине, вплоть до абиссальных гравитационных течений. В южной части выполненного разреза наблюдалось присутствие Антарктических промежуточных вод (ААПВ) с минимальной температурой 4.7 °С и соленостью 34.6 psu. По мере продвижения с юга на север ААПВ трансформировалась, что сопровождалось увеличением значений температуры и солености.

Работа поддержана грантом РФФ 22-77-10004.

Литература

Morozov E. G., Tarakanov R. Y., Frey D. I. Bottom Gravity Currents and Overflows in Deep Channels of the Atlantic Ocean Observations, Analysis, and Modeling. – Springer Nature, 2021.

Stramma L., Hüttl S., Schafstall J. Water masses and currents in the upper tropical northeast Atlantic off northwest Africa // Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2005. – Т. 110. – №. C12. <https://doi.org/10.1029/2005JC002939>

Stramma L., Schott F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. – 1999. – Т. 46. – №. 1-2. – С. 279-303. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(98\)00109-X](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(98)00109-X)

Voituriez B. Les sous-courants équatoriaux nord et sud et la formation des dômes thermiques tropicaux // Oceanologica Acta. – 1981. – Т. 4. – №. 4. – С. 497-506.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО АЛГОРИТМА К ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ИНСТРУМЕНТА ЦВЕТА ОКЕАНА OLCI ДЛЯ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ

Скороход Е.Ю.¹, Чурилова Т.Я.¹, Суслин В.В.², Ефимова Т.В.¹,
Моисеева Н.А.¹

¹ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, elenaskorokhod@ibss-ras.ru, tanya.churilova@ibss-ras.ru, tefimova@ibss-ras.ru, moiseeva@ibss-ras.ru

²ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, slava.suslin@mhi-ras.ru

Контроль за состоянием водной среды особенно важен для акваторий рекреационного назначения, акваторий подверженных влиянию промышленных и бытовых стоков и районов развития марикультуры.

Ключевым методом оценки состояния морских экосистем в настоящее время является дистанционное зондирование Земли из космоса, позволяющее получать данные с высоким пространственным разрешением в режиме близкому к реальному времени. Используемые алгоритмы преобразования показателей спектральной яркости моря в спутниковые продукты постоянно дорабатываются и показывают хороший результат для океанических вод (case-1), в которых основной вклад в общее поглощение света вносит фитопланктон (Mobley et al., 2004). В отличие от океанических вод в прибрежных водах (case-2) основной вклад в общее поглощение света вносит окрашенное растворенное органическое вещество, обладающее высокой пространственной вариабельностью наряду с другими компонентами.

Биооптические продукты OLCI Level-2 (L2) обладают пространственным разрешением ~300 м (в то время как у большинства сканеров оно составляет ~1 км). Высокое пространственное разрешение важно как для отслеживания локальных аномалий, так и в целом для получения большего массива данных, так как часть из них может выпадать из общего массива из-за влияния берега на спутниковые измерения.

Данные *in situ* были получены в результате многолетнего мониторинга вблизи Севастопольской бухты и в научно-исследовательских рейсах №106 и №113 на НИС «Профессор Водяницкий» вдоль Крымского полуострова. Отбор проб и их обработку проводили в соответствии с (Jeffrey and Humphrey, 1975; Neeley et al., 2018, Mannino et al., 2019;).

Сопоставление доступных продуктов OLCI L2 с результатами натуральных наблюдений выявило их низкую точность, в том числе для продукта CHL_{NN} (концентрация хлорофилла-*a* восстановленная при помощи нейросети), который был рассчитан специально для вод case-2. Для получения продуктов, обладающих высокой точностью к данным OLCI L2 с атмосферной коррекцией NASA был применен региональный трех-канальный алгоритм (Suslin and Churilova, 2016), в котором были учтены региональные особенности биооптических показателей вод, полученные на массиве многолетних натуральных измерений в прибрежных водах Черного моря. Входными параметрами стали значения показателя спектральной яркости ($R_{rs}(\lambda)$) на длинах волн 490, 510 и 560 нм, а сам алгоритм основан на разделении поглощения света на две составляющие: поглощение света пигментами фитопланктона ($a_{ph}(490)$) и поглощение света неживым взвешенным и окрашенным растворенным органическим веществом ($a_{CDM}(490)$) на длине волны 490 нм.

В результате применения регионального трех-канального алгоритма (Suslin and Churilova, 2016) мы получили следующий набор продуктов: концентрацию

хлорофилла-*a* (C_a от 0,13 до 1,5 мг·м⁻³, среднее значение составило 0,48 мг·м⁻³), показатель поглощения света пигментами фитопланктона ($a_{ph}(490)$ от 0,010 до 0,066 м⁻¹, среднее значение 0,026 м⁻¹), показатель поглощения света неживым взвешенным и окрашенным растворенным органическим веществом ($a_{CDM}(490)$ от 0,023 до 0,090 м⁻¹, среднее значение 0,044 м⁻¹) и показатель поглощения света всеми оптически активными компонентами ($a_{tot}(490)$ от 0,037 до 0,14 м⁻¹, среднее значение 0,073 м⁻¹) на длине волны 490 нм. Были предложены и рассчитаны дополнительных два параметра – зона фотосинтеза (Z_{eu} , от 23 до 57 м, среднее значение 36 м) и спектральные свойства приходящего на глубину излучения (λ_{max} , от 503 до 542 нм, среднее значение 525 нм).

Провели валидацию регионального алгоритма с учетом четырех статистических показателей (в соответствии с Seegers et al., 2018): статистическое смещение (*Bias*) находилось в диапазоне от 1,1 до 1,4, средняя абсолютная ошибка (*MAE*) составила от 1,0 до 1,6, медианное абсолютное отклонение (*MdAD*) – от 1,0 до 1,6 и среднеквадратическое отклонение (*RMSE*) – от 0,01 до 0,02 м⁻¹ и 0,27 мг·м⁻³ для C_a . Точность дополнительных параметров: *Bias* 1,0 и 1,0, *MAE* 1,1 и 1,0, *MdAD* 1,1 и 1,0 и *RMSE* 4,4 м и 6,1 нм для Z_{eu} и λ_{max} соответственно. Наивысшая точность продуктов достигается, когда показатели *Bias*, *MAE* и *MdAD* стремятся к единице, а *RMSE* – к нулю.

Таким образом, сопоставление алгоритмов и оценка их точности показала, что применение регионального алгоритма к данным OLCI L2 в прибрежных водах обеспечивает большую точность продуктов. Региональный алгоритм в комплексе с *in situ* измерениями можно использовать для экологического мониторинга и оценки состояния прибрежных акваторий Черного моря

Проведение in situ измерений выполнено в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС технологий» (№ 121040100327-3), разработка регионального алгоритма проведена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22–27–00790 «Развитие оперативного контроля экологического состояния акваторий: усовершенствование регионального трехканального алгоритма для оценки показателей качества и продуктивности оптически контрастных вод с широким диапазоном тропности на основе спутниковых данных и спектральных биооптических измерений in situ».

Литература

- Jeffrey S.W., Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochemie Und Physiologie Der Pflanzen. 1975. №167, P. 191–194.
- Mannino A., Novak M.G., Nelson N.B., Belz M., Berthon J.-F., Blough N.V, Boss E., Bricaud A., Chaves J., Del Castillo C., Del Vecchio R.D, D'Sa E.J., Freeman S., Matsuoka A., Miller R.L., Neeley A., Röttgers R., Tzortziou M., Werdell J., ... Werdell P.J. Measurement Protocol of Absorption by Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) and other Dissolved Materials. – Dartmouth: IOCCG, 2019. – 77 p.
- Mobley C.D., Stramski D., Bissett W.P., and Boss E. Optical Modeling of Ocean Water // Oceanography. 2004. №17, P. 60–68.
- Neeley A.R., Mannino A., Boss E., D'sa E.J., Freeman S., Fry E., Mueller J.L., Pegau S., Reynolds, R.A., Roesler C., Rottgers R., Stramski D., Twardowski M., Ronald J., Zaneveld V. Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Absorption Coefficient. – Dartmouth: IOCCG, 2018. – 83 p.
- Seegers B.N., Stumpf R.P., Schaeffer B.A., Loftin K.A., Werdell P.J. Performance metrics for the assessment of satellite data products: an ocean color case study // Optics Express. 2018. N26, P. 7404-7422.

Suslin V.V., Churilova T.A. Regional algorithm for separating light absorption by chlorophyll-a and coloured detrital matter in the Black Sea, using 480–560 nm bands from ocean colour scanners // International Journal of Remote Sensing. 2016. №37, P. 4380–4400.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ЯПОНСКОГО МОРЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ТАЙФУНОВ В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНИХ 10 ЛЕТ

Смирнова Д.А.^{1,2}, Медведев И.П.²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
moscowdadas@gmail.com

²Институт океанологии им. П.П. Шуршова РАН, г. Москва, *medvedev@ocean.ru*

Для северо-западной части Тихого океана, где расположено Японское море, тайфуны — обычное явление (Мамедов и др., 1975). Смена атмосферных режимов осенью и весной в этом районе приводит к активному образованию циклонов разной интенсивности. Самые сильные тайфуны (4-й и 5-й категорий) вызывают экстремальные колебания уровня моря, которые наносят вред береговой инфраструктуре и хозяйственным объектам. Так, после прохождения друг за другом циклонов Майсак и Хайшен были разрушены дороги, временно остановлена работа южнокорейской АЭС, пострадали суда России, Японии, КНДР. Для проведения эффективных мер по укреплению и защите побережья необходимо знать локальные особенности акватории и характер колебаний уровня моря, возникающих под воздействием атмосферных структур. Изменения уровня моря, которые фиксируются береговыми самописцами, складываются из приливов, низко- и высокочастотных колебаний, проявляющихся в виде штормовых нагонов и сгонов, сейш, инфрагравитационных волн (Medvedev et al., 2022). Особый интерес представляют случаи, когда тайфуны перемещаются по приблизительно одинаковой траектории или следуют параллельно друг другу с разницей в несколько дней. В таких случаях на остаточную реакцию уровня моря накладывается воздействие нового циклона. Оба случая будут рассмотрены в рамках данного исследования.

С 2012 года над акваторией Японского моря было зафиксировано 9 тайфунов 4-й и 5-й категорий с минимальным атмосферным давлением 906 гПа (Конг-Рей, 2018 г.) и максимальной скоростью ветра 287 км/ч (Санба, 2012 г.) (портал NOAA). Для анализа их воздействия на уровень моря были взяты циклоны Санба (2012 г.), Чаба (2016 г.), пары Трами – Конг-Рей (2018 г.), Майсак – Хайшен (2020 г.). Тайфуны Трами и Конг-Рей прошли по параллельным траекториям: первый — над архипелагом Японских островов, второй — над Корейским полуостровом и акваторией Японского моря. Вихри Майсак и Хайшен к северу от Корейского пролива перемещались практически по одной траектории. Колебания уровня моря были взяты с береговых самописцев в Рудной Пристани, Преображении, Владивостоке, Пусане и Хамаде. Для Пусана отсутствовали данные уровня моря во время прохождения тайфуна Чаба, для Владивостока — во время вихря Санба. Отдельные пропуски в рядах уровня моря были заполнены с помощью линейной интерполяции. Исследование основывается на результатах гармонического, статистического и спектрально-временного анализов. Предвычисленные приливы исключались из рядов после гармонического анализа, основанного на методе наименьших квадратов (Pawlowicz et al., 2002), и в дальнейшем не анализировались. Низкочастотные колебания выделялись с помощью скользящего среднего с окном 3 часа.

Тайфун Санба (11-18.09.2012) пересек Корейский полуостров, прошел над Владивостоком и Преображением и разрушился над материком. Пик его мощности наблюдался над Восточно-Китайским морем (907 гПа, 287 км/ч). Характер низкочастотного изменения уровня моря был примерно одинаковым на всех станциях: с 15 до 17 сентября наблюдался сгон (до -25 см относительно среднего уровня), после в течение суток зафиксирован резкий подъем среднего

уровня, максимум до 36 см относительно среднего уровня в Хамаде. Тайфун Чаба (24.09-07.10.2016) подошел к Японскому морю 5 октября значительно ослабевшим (970 гПа, 130 км/ч). Он прошел вблизи пары южных станций и вызвал нагон в Хамаде 28 см. На северных станциях средний уровень поднялся на 5–15 см. Тайфуны Трами (20.09-03.10.2018) и Конг-Рей (27.09-07.10.2018) в районе Японского моря прошли параллельными путями. Атмосферное давление в центре вихря Конг-Рей над Корейским проливом 9 октября составляло 979 гПа, скорость ветра достигала 111 км/ч. Для тайфуна Трами к юго-востоку от о. Кюсю 30 сентября были зафиксированы значения 950 гПа и 157 км/ч соответственно. Наибольший низкочастотный отклик циклон Трами вызвал на северных станциях несмотря на то, что проходил над Японскими островами и ближе всего были станции Хамада и Пусан. Тайфун Конг-Рей на северных станциях вызвал сопоставимый по амплитуде подъем уровня (около 20 см), тогда как в Хамаде амплитуда отклика на второй циклон увеличился в 2 раза (до 41 см относительно среднего уровня моря). Между нагонами зафиксирован сгон от -14 до -22 см относительно среднего уровня моря на разных станциях. Тайфуны Майсак (26.08-07.09.2020) и Хайшен (30.08-10.09.2020) над акваторией Японского моря прошли по практически одинаковой траектории. Несмотря на то, что они относятся к 4-й категории, низкочастотный отклик уровня моря на них был в 2–3 раза сильнее для южной группы станций (Хамада, Пусан), потому что к Корейскому проливу они подошли более сильные, чем предыдущие. Атмосферное давление над Корейским проливом составляло 960 и 952 гПа соответственно, а скорость ветра была зафиксирована 148 и 157 км/ч соответственно.

Характер высокочастотных колебаний на станциях менялся от события к событию. Их максимальный размах наблюдался во время тайфунов Майсак и Хайшен. В Преображении он составлял 185 см при прохождении первого вихря и 145 см во время второго, в Рудной Пристани 71 см и 62 см соответственно. Следующие по величине высокочастотные колебания были вызваны тайфуном Конг-Рей с размахом более 80 см в Рудной Пристани и более 70 см в Преображении, в то время как вихрь Трами вызвал значительные высокочастотные колебания только в Рудной Пристани (размах 45 см) во время нагона. Циклон Санба вызвал заметные колебания в Пусане (55 см) и в Рудной Пристани (33 см). Самый слабый высокочастотный отклик вызвал тайфун Чаба. Максимальный размах колебаний уровня моря зафиксирован в Хамаде (41 см). Сильные высокочастотные колебания уровня моря — это инфрагравитационные волны, которые являются результатом взаимодействия ветровых волн. Таким образом, тайфуны Майсак и Хайшен создали наиболее благоприятные условия для резонанса ветровых волн на северных станциях. В Пусане наблюдаются инфрагравитационные волны в большинстве случаев с меньшей амплитуды, кроме циклона Санба.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0004).

Литература

- Мамедов Э.С., Павлов Н.И. Тайфуны. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 144 с.
- Medvedev I.P., Rabinovich A.B., Šepić J. Destructive coastal sea level oscillations generated by Typhoon Maysak in the Sea of Japan in September 2020 // Scientific Reports. 2022. V. 12. № 8463. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12189-2>
- Pawlowicz R., Beardsley B., Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE // Computers & Geosciences. 2002. V. 28. №. 8. P. 929-937. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(02\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(02)00013-4)
- Портал NOAA Historical Hurricane Tracks: <https://coast.noaa.gov/hurricanes/#map=4/32/-80> (Дата обращения: 26.06.2022)

ВЫДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СКОРОСТИ ПОТОКА АНТАРКТИЧЕСКОЙ ДОННОЙ ВОДЫ В КАНАЛЕ ВИМА ПО СПЕКТРАЛЬНОМУ АНАЛИЗУ

Смирнова Д.А.^{1,2}, Фрей Д.И.^{2,3,4}, Медведев И.П.^{2,4}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
moscowdadas@gmail.com

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

³ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь,
dima.frey@gmail.com

⁴Московский физико-технический институт РАН, г. Долгопрудный,
medvedev@ocean.ru

В рамках вопроса глобального изменения климата очень важно изучение океанических водных масс, обеспечивающих перераспределение энергии и теплообмен океана и атмосферы (Buckley et al., 2015). Одна из таких ключевых водных масс — Антарктическая донная вода. Она образуется в море Уэдделла и по абиссальным котловинам через систему глубоководных разломов и проходов распространяется по всему Мировому океану. Изучение Антарктической донной воды именно в узких каналах наиболее эффективно и доступно на сегодняшний день. Такие области ограничены в пространстве, то есть их возможно охватить относительно частыми контактными измерениями. Также из-за ускорения потока антарктических вод в каналах погрешности датчиков малы по сравнению с измеренными скоростями. Канал Вима, соединяющий Аргентинскую и Бразильскую котловины, является основным путем распространения водной массы в Западную Атлантику, откуда она поступает в северную и восточную части океана (Mogozov et al., 2021). Заякоренные станции, поставленные в этом районе в разные годы за 40 лет, позволяют описать временную изменчивость течений и выделить отдельные компоненты, влияющие на нее.

Для анализа потока Антарктической донной воды в канале Вима и возможных причин его изменчивости было взято несколько наборов данных скорости течений за разные годы: 1979-81 гг., 1991-92 гг., 2005-07 гг., составляющих в сумме 14 временных рядов. Самые короткие записи охватывали около 4 месяцев, продолжительность самых длинных превышала 23 месяца. Анализировались данные с горизонтов от 470 до 4625 м. Непосредственно в русле канала, на глубине ниже 4500 м, было установлено 6 датчиков. Обработка данных проводилась с помощью ротарного спектрального анализа (Thomson et al., 2014). В зависимости от частоты было выделено несколько компонент скорости потока: приливы с известными частотами гармоник (Pugh et al., 2014); инерционные колебания, частота которых рассчитана по формуле $f = 2\omega \sin\varphi$, где ω — угловая скорость вращения Земли, φ — широта; низко- и высокочастотные колебания, разделенные по инерционной частоте f согласно (Thomson et al., 2014). На широте канала Вима $\varphi = 31^\circ$ ю.ш. период инерционных колебаний составляет 23.3 ч.

Построенные энергетические спектры показывают, что в канале существуют четко выраженные приливные течения с периодами около 12 ч. Они наблюдаются на всех горизонтах независимо от расположения заякоренных станций. Еще один широкий энергетический пик, полученный на некоторых горизонтах на спектрах движений против часовой стрелки, имеет период от 15 до 33 ч с центральным периодом 23 ч. Это результат взаимодействия суточных приливов и инерционных колебаний. То, что на спектрах движений по часовой стрелке он значительно меньше и уже, подтверждает теоретическое представление о направлении инерционных движений в южном полушарии против часовой стрелки (Liao et al., 2016). В большинстве случаев совместное влияние суточного прилива и

инерционных колебаний ослабляется с глубиной. Это происходит в основном за счет затухания последних. Особенно отчетливо оно проявляется на седловине канала Вима (31.26° ю.ш.) и в его русле (станции на широте 31.14° ю.ш., 30.88° ю.ш., 30.67° ю.ш.). На станциях, установленных на склонах канала, влияние инерционных колебаний прослеживается до самого нижнего горизонта измерений. Возможно, на распространение этих движений в канале Вима влияет топография дна, размеры и форма канала. Низкочастотная изменчивость скорости потока Антарктической донной воды не имеет четкой периодичности. Над склонами канала долгопериодная изменчивость скорости имеет практически одинаковый характер на всех горизонтах в слое 2990–3911 м. В русле ниже по течению относительно седловины канала (31.26° ю.ш.) в придонном слое (горизонт 4425 м) скорость низкочастотных течений в 2–5 раз сильнее по сравнению с толщиной океана (глубина 2900 м). Характер высокочастотной изменчивости на станциях различается, однако общая черта заключается в отсутствии отдельных отчетливых энергетических пиков. В целом энергетические спектры колебаний скорости потока Антарктической донной воды имеет форму «красного шума».

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-77-10004.

Литература

Buckley M. W., Marshall J. Observations, inferences, and mechanisms of the Atlantic Meridional Overturning Circulation: A review // *Reviews of Geophysics*. 2016. V. 54. №. 1. P. 5-63.

Liao G., Zhou B., Liang C., Zhou H., Ding T. et al. Moored observation of abyssal flow and temperature near a hydrothermal vent on the Southwest Indian Ridge // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2016. V. 121. №. 1. P. 836-860. <https://doi.org/10.1002/2015JC011053>

Morozov E. G., Tarakanov R. Y., Frey D. I. *Bottom Gravity Currents and Overflows in Deep Channels of the Atlantic Ocean Observations, Analysis, and Modeling*. – Springer Nature, 2021.

Pugh D., Woodworth P. *Sea-level science: understanding tides, surges, tsunamis and mean sea-level changes*. – Cambridge University Press, 2014.

Thomson R.E., Emery W.J. *Data analysis methods in physical oceanography* // Newnes. 2014.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРИТИЯ В МОРСКОЙ ВОДЕ

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

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

Тритий – радиоактивный изотоп водорода с периодом полураспада 12,26 года. Естественный тритий образуется в верхних слоях атмосферы в результате взаимодействия атомов атмосферного азота и кислорода с космическими лучами высокой энергии. Образующиеся при этом, атомы ^3H , переходят в молекулы воды в результате реакций обмена и окисления, а затем в виде дождевой воды тритий попадает на земную поверхность, вызывая постоянный низкий уровень ^3H в окружающей среде. Искусственный тритий образуется при работе реакторов, при переработке отработанного топлива и при испытаниях ядерного оружия. Тритий в морской воде в основном присутствует в виде тритиевой воды (НТО) и используется в качестве индикатора для оценки радиоактивного загрязнения и циркуляции воды в океане. Активность трития обычно указывается в тритиевых единицах (TU), где $1 \text{ TU} = 1$ атом трития на 10^{18} атомов водорода или $1 \text{ TU} = 7,15$ ($0,1192 \text{ Бк/кг}$) распадов в минуту (dpm) на 1 кг (1 л) воды. Тритий в морской воде не может быть измерен напрямую с помощью жидкосцинтилляционного счётчика из-за его низкой концентрации в окружающей среде ($<10 \text{ TU}$) и низкой энергии β -излучения ($E_{\beta} = 5,52 - 5,70 \text{ кэВ}$), поэтому перед измерением требуется обогатить пробы. Сейчас таким методом является электролитическое обогащение, для проб морской воды коэффициент обогащения составляет 30 и более. Концентрация в поверхностных морских пробах варьируется от 1 TU до 5 TU. В придонных слоях мирового океана концентрация может опускаться до 0 TU.

В рейсе на НИС “Академик Опарин” (рейс №65, с 26.11.22 по 29.12.22) были отобраны пробы морской воды в Японском, Охотском морях и северо-западной части Тихого океана, район работ представлен на картинке ниже.

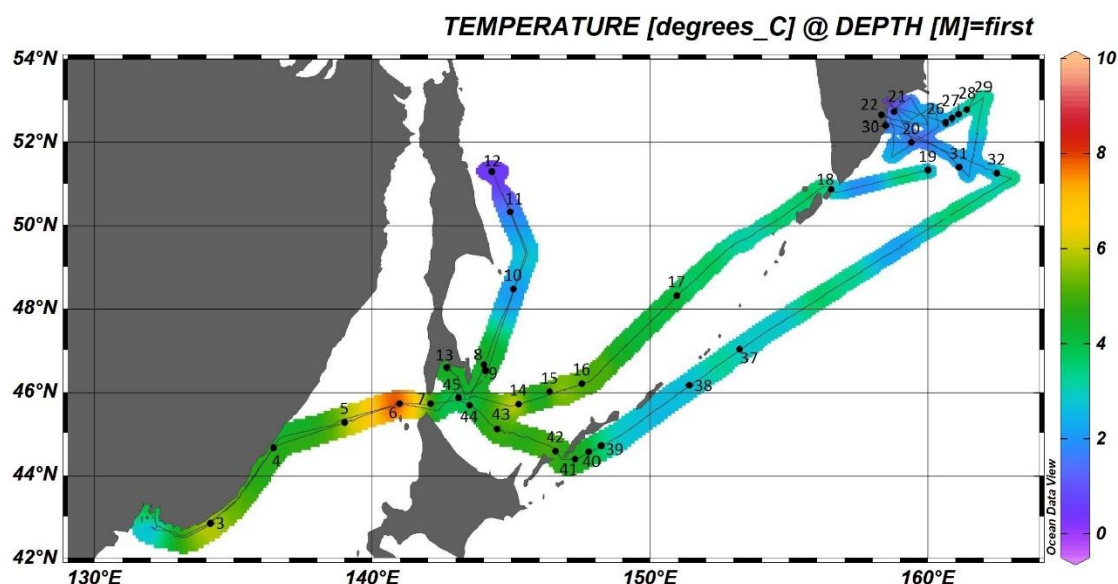


Рисунок – Карта с расположением станций отбора проб

Все измерения β -активности исследуемых проб были выполнены ультранизкофонным жидко сцинтилляционным $\alpha\beta$ -спектрометром QUANTULUS

1220 фирмы PerkinElmer. Главным преимуществом сцинтилляционного счётчика является низкий уровень фона и высокая эффективность до 30%. Коэффициент обогащения проб составил 30. Результаты работ по измерению концентрации ^3H представлены ниже в таблице.

Таблица
Концентрация ^3H в морской воде

	Японское море	Охотское море	Северо-западная часть Тихого океана
Минимум, TU	0.77	0.75	0.13
Максимум, TU	0.97	1.9	0.96
Среднее, TU	0.9	1.34	0.49

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ЛАГРАНЖЕВОВОГО ПЕРЕНОСА В ВИХРЯХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО НА ОСНОВЕ LTRANS

Солонец И.С., Файман П.А., Дидов А.А.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, solonec.ira@gmail.com, pfauman@poi.dvo.ru, didov.aa@poi.dvo.ru

В районе залива Посъета (Залив Петра Великого, Японское море) произведено моделирование трехмерной адвекции пассивных маркеров на основе модельного поля скорости ROMS и пакета Lagrangian TRANSport (LTRANS) (North et al., 2011). Особенность трехмерной адвекции в океане в том, что значения вертикальной скорости на несколько порядков меньше горизонтальных.

Модель циркуляции залива Петра Великого с горизонтальным разрешением 600 метров хорошо зарекомендовала себя при воспроизведении вихрей (Fauman et al., 2019).

Проведена настройка параметров пакета LTRANS для расчетов на институтском высокопроизводительном вычислительном кластере, подобраны оптимальные интервалы времени вывода следов траекторий, а также адаптирован численный код, учитывающий наличие береговой линии вблизи пятна маркеров.

Рассмотрен эпизод 2009 года в период с августа по сентябрь, когда вблизи устья реки Туманная сформировался циклонический субмезомасштабный вихрь (Fauman et al., 2023). Произведён расчёт и визуализация траекторий маркеров, выбранных на равномерной сетке в прямоугольном пятне, вертикально пересекающим циклонический вихрь от поверхности, до глубины 20м. Разработан алгоритм расчёта и визуализации полученных траекторий. Установлено, что маркеры сперва собираются в верхнем ядре вихря, а затем покидают его по периферии вихря (Рисунок).

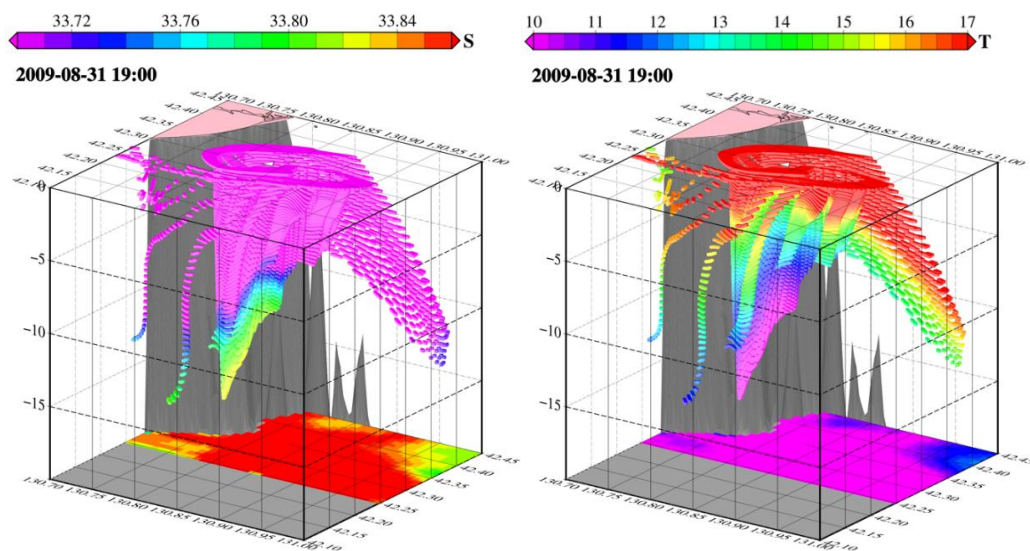


Рисунок – Фрагменты эволюции пятна примеси вблизи субмезомасштабного циклонического вихря. Показаны следы каждой из траекторий за предыдущий час от указанного на картах. Цветом показаны текущие значения модельной солености и температуры

Рассмотрена задача моделирования переноса пассивных маркеров, имитирующих воды реки Туманная. В ходе эксперимента начальное пятно, состоящее из 552 пассивных маркеров, выбиралось на горизонте 1м в районе устья реки Туманная. Удалось показать, что за контрольный период времени расчёта 14 дней некоторые из трассеров могут достигать западной границы полуострова Гамова, что ранее было показано в экспериментах с 2D адвекцией.

В дальнейшем на основе модели ROMS и отлаженного пакета LTRANS планируется исследовать прибрежный апвеллинг, наблюдаемый в районе между полуостровом Дунай и мысом Поворотный.

Литература

North E.W., Adams E.E., Schlag S., Sherwood C.R., He R., Socolofsky S. Simulating oil droplet dispersal from the Deepwater Horizon spill with a Lagrangian approach. AGU Book Series: Monitoring and Modeling the Deepwater Horizon Oil Spill: A Record-Breaking Enterprise. 2011.

Fayman P. A., S. V. Prants, M. V. Budyansky, M. Yu. Uleisky. Coastal summer eddies in the Peter the Great Bay of the Japan sea: In situ data, numerical modeling and Lagrangian analysis// Continental Shelf Research – 2019. – Vol. 181. – P. 143-155. – DOI 10.1016/j.csr.2019.05.002. – EDN FBJLUW.

Fayman P.A., Salyuk P.A., Budyansky M.V., Burenin A.V., Didov A.A., Lipinskay N.A., Ponomarev V.I., Udalov A.A., Morgunov Y.N., Uleisky M.Yu., Shkrama S.S. Transport of the Tumen River water to the Far Eastern Marine Reserve (Posyet Bay) based on in situ, satellite data and Lagrangian modeling using ROMS current velocity output // Marine Pollution Bulletin. 2023 [отправлено в печать]

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ РЕФРАКЦИЯ ЗВУКА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЧЕРЕЗ СИНОПТИЧЕСКИЙ ВИХРЬ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Сорокин М.А., Петров П.С., Дидов А.А., Будянский М.В., Голов А.А.,
Моргунов Ю.Н.

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

Точность решения задач акустической дальнометрии ключевым образом зависит от полноты поля скорости звука вдоль акустической трассы. Зачастую неоднородности поля скорости звука в океане существенно влияют на траектории распространения звука, что приводит к т.н. задержкам модальных компонент акустического сигнала.

В работе рассматривается влияние синоптического вихря на лучевые траектории модальных компонент импульсного акустического сигнала. Произведена оценка удлинения лучевых траекторий относительно геодезической линии, соединяющей источник акустических сигналов и приемник. Показано влияние крупномасштабных гидрологических неоднородностей на время распространения модальных компонент акустического сигнала.

Учет данного явления позволит повысить точность решения задач дальнометрии, поскольку даже в случае наличия на акустической трассе синоптического вихря по-прежнему возможно провести практически однозначное соответствие между пиками импульсной характеристики и теоретически рассчитанными временами прихода модальных компонент акустического сигнала, что является очевидным практическим применением такого подхода.

Литература

Ralph N. Baer, Propagation through a three-dimensional eddy including effects on an array // The Journal of the Acoustical Society of America. 1981. №69, P.70-75.

Сорокин М.А., Петров П.С., Каплуненко Д.Д., Степанов Д.В., Моргунов Ю.Н. Оценка влияния синоптических вихрей на точность решения задач акустической дальнометрии // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 4 (34). С. 53-60.

РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ В ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПОВЕРХНОСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Сумкина А.А.^{1,3}, Иванов В.В.^{2,3}, Кивва К.К.¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, alexandrasumkina@gmail.com, kivva@vniro.ru

²Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, vladimir.ivanov@aari.ru

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

В Баренцевом море в последние десятилетия наблюдается значительное изменение климата (Smedsrud et al., 2013). Перераспределение тепла за счет турбулентных потоков явного и скрытого тепла оказывает влияние на взаимодействие океана и атмосферы (Суркова, Романенко, 2021). Интенсивность турбулентных потоков в зимний сезон способно влиять на развитие полярных циклонов, на адвекцию тепла и влаги. Ранее показано, что на севере, северо-востоке и востоке БМ наблюдается увеличение теплоотдачи с поверхности моря (Сумкина и др., 2022). Предполагается, что значительный вклад в это увеличение теплоотдачи вносится турбулентным теплообменом. Величина турбулентного потока в основном зависит от разности температуры поверхности моря (ТПМ) и температуры воздуха (ТВ), а также от скорости ветра. Цель данного исследования – характеристика изменчивости разности температур воздуха и поверхности воды в Баренцевом море.

Использованы данные по ТВ на 2 м и ТПМ атмосферного реанализа Европейского центра по среднесрочному прогнозированию погоды ERA5 (Европейский реанализ, версия 5). Анализ выполнен для интервала с 1979 по 2019 гг. Для каждого месяца года рассчитана средняя разница между ТВ и ТПМ.

Максимальная средняя разница между ТВ и ТПМ наблюдается с декабря по март. Величина разницы в северо-восточной, северной частях моря составляет от -10 до -14 °С, в районе Центральной возвышенности от -4 до -6 °С, в районе поступления Атлантических вод от -5 до -8 °С. В апреле наблюдается четкое разграничение величин разницы: в северной части составляет от -9 до -11 °С, а в южной – от -2 до -4 °С. В мае по всей акватории моря отмечается резкое уменьшение разницы между температурами до -4 °С. В июне-августе разность между ТВ и ТПМ, составляет от 0 до -2 °С. В сентябре-октябре по всей акватории отмечается увеличение разницы между ТВ и ТПМ, величина разности составляет от -4 до -6 °С. В ноябре разница между температурами резко увеличивается в северо-восточной и северной частях моря – до -13 °С, а на юге составляет от -4 до -6 °С.

Рассчитан линейный тренд разности между ТВ и ТПМ. Статистически значимые величины линейного тренда наблюдаются в зимние месяцы в северной и северо-восточной части моря, а также в некоторые месяцы в западной части. В южной части моря линейный тренд разности ТВ и ТПМ во все месяцы близок к 0 °С за год. Максимальный линейный тренд наблюдается в северо-восточной и северной частях моря с декабря по февраль (0,2–0,4 °С за год). Максимальные значения линейного тренда сосредоточены приблизительно вдоль 78° с.ш. В марте-апреле в северо-восточной и северной частях моря разница уменьшается на 0,1–0,2 °С за год. С мая по сентябрь по всей акватории величина линейного тренда разности между ТВ и ТПМ близка к 0 (от $-0,05$ до 0,05 °С за год). При этом в июне на большей части акватории за исключением южных районов, а также в июле и августе на севере моря тренд статистически значим при уровне значимости 0,05. В октябре только в северной части моря отмечается статистически значимое уменьшение разности между ТВ и ТПМ приблизительно

на 0,1 °С за год, на остальной акватории линейный тренд близок к 0. В ноябре разность между ТВ и ТПМ в северной и северо-восточной части моря имеет отрицательный тренд с величиной около 0,2 °С за год.

Таким образом, результаты работы показали наличие статистически значимого положительного тренда разности между ПТВ и ТПМ для большинства месяцев года. Наиболее выражен положительный тренд в северной и северо-восточной частях моря, в южной тренд близок к 0.

Финансирование: Проект РНФ: 19-17-00110-П

Литература

Сумкина А. А., Кивва К. К., Иванов В. В. Анализ изменений параметров зимнего теплового баланса Баренцева моря / Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса : материалы X международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов, Москва, 10–11 ноября 2022 года. Федеральное агентство по рыболовству, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии». Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии. 2022. С. 397–399.

Суркова Г. В., Романенко В. А. Изменение климата и теплообмен между атмосферой и океаном в Арктике на примере Баренцева и Карского морей // Проблемы Арктики и Антарктики. 2021. Т. 67. №. 3. С. 280–292.

The role of the Barents Sea in the Arctic climate system / Smedsrud L.H. [et al.] // Reviews of Geophysics. 2013. Vol. 51(3). P. 415–449. <https://doi.org/10.1002/rog.20017>

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПРИПАЙНОГО ЛЬДА МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Тимофеева А.Б., Шаратунова М.В.

*Арктический и Антарктический Научно-Исследовательский Институт, г.
Санкт-Петербург, tianna@aari.ru*

В Арктике развивается процесс потепления и оказывает существенное влияние на весь режим развития ледяного покрова. Смещаются сроки начала ледообразования, изменяется возрастной состав льда, процессы таяния и другие режимные характеристики в российских арктических морях претерпевают изменения (Юлин А.В. и др., 2019). Некоторые авторы подчеркивают значительное усиление процессов потепления, изменение термохалинной структуры вод Северного Ледовитого океана и уменьшение ледяного покрова с 2005 года (Алексеев Г.В. и др., 2015; Ашик И.М. и др., 2015). Толщина морского льда (ТМЛ) также является важной характеристикой, ее колебания являются чувствительным индикатором климатических изменений. Для оценки ТМЛ используются данные различных методов измерений, как непосредственно контактных, так и дистанционных. К последним относят измерения, выполняемые с помощью гидролокатора, направленного вверх, на подводных лодках (Rothrock, D. A. et al, 1999; Rothrock, D. A. et al, 2003), данные измерений электромагнитного зондирования с помощью специального оборудования (Haas, C., 2003, Haas, C., Howell, S., 2015) а также данные спутниковых наблюдений. Большинство современных исследований ТМЛ основаны на численном моделировании и информации, полученной с помощью спутниковой радиолокационной альтиметрии (Kwok, R.; Untersteiner, N., 2011; Ricker, R. et al, 2015; Stroeve, J.C. et al, 2018). Результаты всех исследований свидетельствуют о том, что морской лед Арктики становится тоньше. Об этом также свидетельствуют косвенные оценки ТМЛ по возрастному составу ледяного покрова (Егоров А.Г., 2020). Однако оценки ТМЛ основанные на данных спутникового дистанционного зондирования и численного моделирования характеризуются некоторой степенью неопределенности и требуют верификации с помощью контактных измерений. Подобные сравнения были сделаны, например, по результатам ледовых исследований во время экспедиции "Трансарктика" (Смоляницкий В.М. и др., 2020). Однако сравнение и верификация результатов контактных измерений межгодовых изменений затруднены из-за их неравномерности и локальности.

На ряде наземных полярных станций Росгидромета накоплены результаты контактных измерений толщины припая (ТП). Измерения ТП проводились в соответствии с Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам (РД 52.10.842-2017), достаточно точны и являются уникальным источником информации, представляя значительный интерес из-за длительного ряда наблюдений в одних и тех же режимных условиях из года в год. Архив измерений толщины льда на припаяе формируется и хранится в ААНИИ.

В работе были проанализированы данные по приземной температуре воздуха (ПТВ) и ТП с ноября по май, до 2020 года включительно с начала регулярных измерений (конец 30-х годов). Год начала наблюдений различается по станциям. Было проведено сравнение и оценка данных наблюдений за современный 15-летний период (2005-2020) с данными наблюдений до 2004 года (с 1930-40-х годов). С 2005 года ТП на момент максимального развития (максимальная ТП) уменьшилась на 13% в Карском море, на 9% в Восточно-Сибирском море (ВСМ), на 5% в морях Лаптевых и Чукотском по сравнению с предшествующим периодом. Процесс нарастания толщины льда стал значительно медленнее, а переход между последовательными возрастными градациями

сместился на 1-2 декады (в некоторых точках на 3-4 декады) на более поздний срок. ПТВ на всех полярных станциях с 2005г. в среднем на 2,7°C выше, чем за предыдущий период. Наиболее значительные изменения (1,4-6,1°C) наблюдаются в осенний период (октябрь-декабрь), наименьшая разница по сравнению с предыдущими десятилетиями на всех станциях наблюдается в летние месяцы. Поскольку ПТВ является одним из определяющих факторов нарастания толщины льда, в работе рассмотрена ее корреляция с суммой градусо-дней мороза (СГДМ). В среднем по станциям СГДМ снизилась на 14%; все рассматриваемые 15 зимних сезонов с 2005 г можно классифицировать как мягкие, ни на одной из станций зимы не соответствовали критериям суровой. Повторяемость мягких зим увеличилась на 36-95% по станциям. Снижение СГДМ хорошо согласуется с изменениями средне-сезонных значений (за ноябрь-май) и максимальных значений толщины припайного льда на станциях.

Литература

Алексеев Г.В., Радионов В. Ф., Александров Е.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е. Изменение климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1(103), С. 32-42.

Ашик И.М., Иванов В. В., Кассенс Х., Махотин М.С., Поляков И.В. Основные результаты океанологических исследований Северного Ледовитого океана в последнее десятилетие // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1(103), С. 42-56.

Егоров А.Г. Изменение возрастного состава и толщины зимнего ледяного покрова арктических морей России в начале XXI в. Проблемы Арктики и Антарктики. 2020;66(2):124-143. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-2-124-143>

РД 52.10.842-2017 Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях и постах. Часть I. Гидрологические наблюдения на береговых станциях и постах. Введен взамен предыдущего. Дата введения 2018-07-01

Смоляницкий В.М., Тюряков А.Б., Фильчук К.В., Фролов И.Е. Сравнительный анализ прямых измерений толщин льда и высот снега, наблюдений Cryosat-2 и численных оценок системы PIOMAS. Проблемы Арктики и Антарктики. 2020; 66(3):337-348. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-3-337-348> 1607–1623, <https://doi.org/10.5194/tc-11-1607-2017>, 2017b.

Юлин А.В., Тимофеева А.Б., Павлова Е.А., Шаратунова М.В., Хотченков С.В. Межгодовая и сезонная изменчивость ледовитости российских арктических море в современном климатическом периоде, Труды ГОИИ № 220. стр. 44-60. М. 2019 ISSN: 0371-7119

Haas, C., Howell, S. (), Ice thickness in the Northwest Passage. *Geophysical Research Letters*. 42., 2015, 10.1002/2015GL065704.

Haas, C., Late-Summer Sea Ice Thickness Variability in the Arctic Transpolar Drift 1991–2001 Derived from Ground-based Electromagnetic Sounding, *Geophys. Res. Lett.*, 31, 2004, L09402, [doi:10.1029/2003GL019394](https://doi.org/10.1029/2003GL019394).

Kwok, R.; Untersteiner, N. The thinning of Arctic sea ice. *Phys. Today* 2011, 64, 36–41.

Ricker, R., Hendricks, S., Girard-Ardhuin, F., Kaleschke, L., Lique, C., Tian-Kunze, X., Nicolaus, M., and Krumpen, T.: Satellite observed drop of Arctic sea ice growth in winter 2015–2015, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 3236–3245, <https://doi.org/10.1002/2016GL072244>, 2017a.

Rothrock, D. A., Yu, Y. and Mayakut, G .A. Thinning of Arctic Sea Ice Cover. *Geophys. Res. Lett.* 26, 1999, pp. 3469-3472.

Rothrock, D., Zhang, J. & Yu, Y. The Arctic Ice Thickness Anomaly of the 1990s: A Consistent View from Observations and Models. *J. Geophys. Res.* 108, 2003, [doi:10.1029/2001JC001208](https://doi.org/10.1029/2001JC001208).

Stroeve, J.C., Schroeder, D., Tsamados M., Feltham, D. Warm winter, thin ice?. *The Cryosphere*. 12., 2018, 1791-1809. [10.5194/tc-12-1791-2018](https://doi.org/10.5194/tc-12-1791-2018).

МЕТОД РАСЧЁТА ВЕКТОРНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ МОДОВЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Тыщенко А.Г., Козицкий С.Б., Петров П.С.

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

Моделирование акустических полей является важной и хорошо изученной задачей. Однако достаточно мало внимания уделяется расчётам векторных акустических полей. С одной стороны, задача кажется простой, имея акустическое поле, векторное поле может быть получено его численным дифференцированием по всем пространственным координатам, однако на практике такое оказывается невозможным ввиду больших шагов сетки. Модовые параболические уравнения позволяют избежать этой проблемы, позволяя дифференцировать компоненты поля отдельно, улучшая численную стабильность.

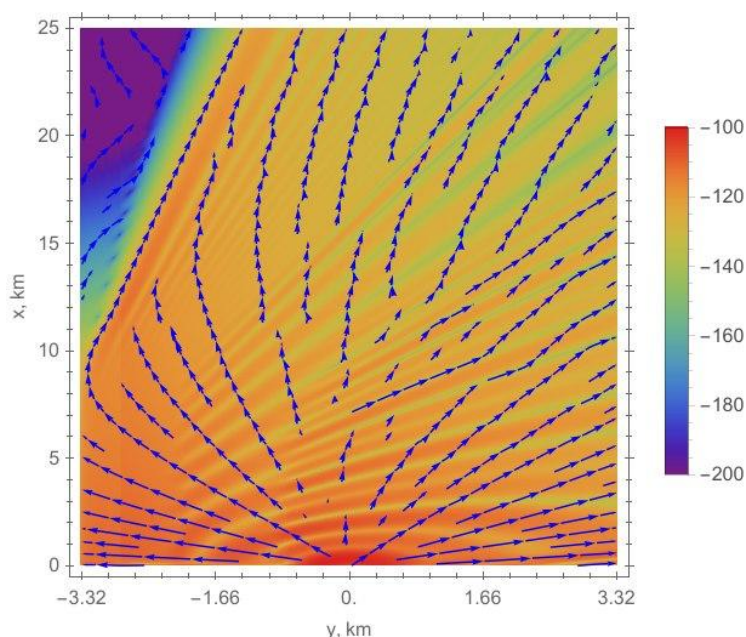


Рисунок – Контурный график модуля плотности потока энергии в клиновидном волноводе на частоте 25 Гц и поток векторного поля плотности потока энергии

Литература

F. B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter, and H. Schmidt. Computational oceanacoustics. Springer, New-York et al, 2011.

А. Г. Тыщенко, О.С. Заикин, М.А. Сорокин, П.С. Петров. Комплекс программ для расчета акустических полей в мелком море на основе метода широкоугольных модовых параболических уравнений. Акустический журнал, 67(5):533–541, 2021. 29

ПЕРЕПИСЬ И СВОЙСТВА МЕЗОМАСШТАБНЫХ КУРИЛЬСКИХ ВИХРЕЙ В 1993 – 2021 ГГ.

Удалов А.А., Будянский М.В., Пранц С.В.

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

Регион Курило-Камчатского желоба имеет высокую исследовательскую значимость. Это область богатая различными биоресурсами, а также является активной зоной промысла в РФ. Имеет значимое влияние на погоду и климат из-за конвергенции субарктических и трансформированных субтропических вод. Является одним из самых сейсмически активных регионов в мире. Значимость этого региона не исчерпывается только вышесказанными примерами, но они в достаточной степени показывают её научную ценность. Настоящая же работа будет посвящена не менее важной проблеме, а именно исследованию мезомасштабных Курильских вихрей (КВ). Несмотря на важную роль КВ в переносе тепла, солей, биогенных веществ, а также в рыбном промысле, наши знания о свойствах и динамике этих крупномасштабных образований в северо-западной части Тихого океана до сих пор имеют существенные пробелы (Prants et al., 2021).

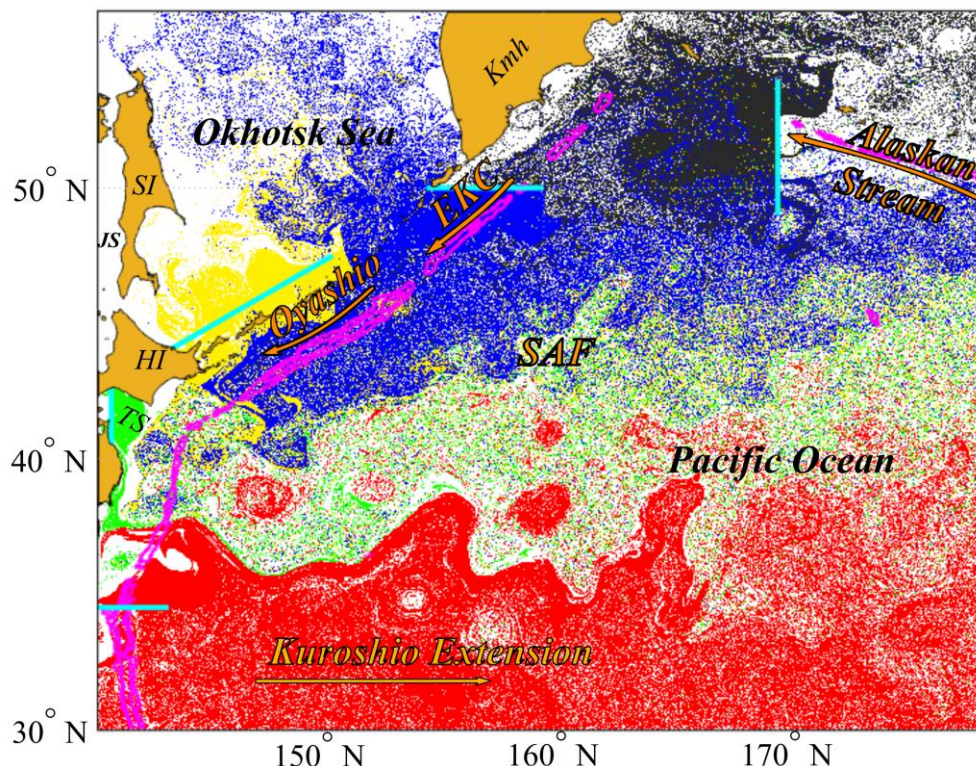


Рисунок – На О-карте в качестве примера показано пространственное распределение вод в зоне Курисио-Оясио и прилегающей территории на 1 октября 2020 г. Красным цветом отмечены частицы происхождения Курисио, пересекающие отрезок с координатами (34,5° с.ш. 139°-144° в.д.), синий цвет (частицы Оясио, пересекающие отрезок 50° с.ш., 155°-160° в.д.), желтый цвет (частицы охотского происхождения, пересекающие отрезок 44°-47,5° с.ш. , 144°-151° в.д.), черный цвет (частицы Аляскинского потока, которые пересекли сегмент (49° - 54 с.ш., 170° в.д.), зеленый цвет (частицы Японского моря, которые пересекли пролив Цугару на 40-43° с.ш., 141,55° в.д.) Происхождение «белых» частиц установить не удалось либо потому, что они не пересекли ни один из указанных отрезков, или потому, что для этого не хватило трех лет

Используя данные альтиметрии в промежуток с 1 января 1993 по 31 декабря 2021 гг., мы провели систематический учет КВ с помощью алгоритма автоматического отслеживания вихрей AMEDA (Le Vu et al., 2018). Мы разделили КВ на четыре группы по месту их образования по отношению к Курило-

Камчатскому желобу и обнаружили сильную неоднородность пространственного распределения курильских циклонов и антициклонов. Были изучены и проанализированы различные кинематические свойства КВ. Установлено, что впадина играет роль вихревого проводника для долгоживущих вихрей, при этом сравнительно небольшое число КВ имеет возможность ее пересечь. Самая высокая частота встречаемости антициклонов наблюдалась вдоль желоба, особенно в районе к востоку от пролива Буссоль, тогда как циклоны чаще встречались вдоль океанской стороны желоба. Среди наблюдаемых долгоживущих КВ более 90% имели вихри с параметром нелинейности больше единицы, что свидетельствует о том, что большинство КВ представляют собой когерентные вихри, переносящие воду с ее свойствами.

Используя Лагранжевы методы (Prants et al., 2017) и алгоритм AMEDA (Le Vu et al., 2018), мы рассчитали в ядрах КВ относительную концентрацию пассивных частиц разного происхождения: субтропическая вода Куроисио, субарктическая вода Ойясио и Аляскинского струйного течения, охотоморская вода и трансформированная субтропическая вода из Японского моря. Это позволило обнаружить перенос субтропических вод в ядрах КЭ на север и субарктических вод на юг на расстояние порядка 1000 км и более.

Литература

Le Vu B., Stegner A., Arsouze T. Angular Momentum Eddy Detection and Tracking Algorithm (AMEDA) and Its Application to Coastal Eddy Formation. // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2018. 35(4), 739-762

Prants, S.V., Uleysky M.Yu., Budyansky M.V. Lagrangian oceanography: large-scale transport and mixing in the ocean. Berlin // New York. Springer Verlag. 2017. 271 p.

Prants S.V., Budyansky M.V., Uleysky M.Yu., Kulik V.V. Lagrangian fronts and saury catch locations in the Northwestern Pacific in 2004-2019 // J. Marine Systems. 2021. V. 222. Art. No. 103605.

ОЦЕНКА БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Федорова А.Г., Василевская Л.Н.

*Дальневосточный Федеральный университет, г. Владивосток,
fedorova.ag@dvfu.ru, lubavass@mail.ru*

Погодно-климатические условия являются важнейшим из факторов окружающей среды, определяющим условия проживания человека в том или ином районе. Как следует из Третьего оценочного доклада Росгидромета... «экстремальные погодные и климатические явления – периоды аномально высоких и низких температур, тайфуны, наводнения, засухи и другие – отражают нарастающую климатическую изменчивость, приводят к повышению заболеваемости и смертности людей, негативно сказываются на психическом здоровье и благополучии населения» (Третий оценочный доклад, 2022).

Для характеристики биоклиматических условий требуется определить уровень дискомфорта климата, который оценивается с помощью различных индексов. Наиболее распространенными являются индексы, учитывающие температурное, температурно-влажностное, температурно-влажностно-ветровое состояние атмосферы; помимо этого, рассчитываются индексы патогенности и изменчивости климата (Бокша В.Г., 1989). В работе (Бухарова М.Г. и др., 2022;) произведена оценка индекса патогенности на ряде метеостанций Приморского края во время летнего муссона, что позволило охарактеризовать степень раздражающего действия погодного комплекса на организм человека в условиях муссонного климата. Другие авторы (Лисина И.А. и др., 2022) представили результаты пространственно-временного анализа этого же индекса патогенности для территории Приморского края за последнее десятилетие. Ими показано, что наиболее оптимальные условия для организма человека наблюдаются на станциях континентальной группы в теплую часть года с апреля по октябрь, а для прибрежной группы – в сентябре-октябре и в марте-апреле. А вот самые неблагоприятные воздействия погодных условий на самочувствие и здоровье человека наблюдаются в г. Владивосток, что объясняется особыми физико-географическими условиями этой станции и резкой выраженностью как зимней, так и летней фазы дальневосточного муссона.

Помимо вышеперечисленных биоклиматических индексов следует уделять особое внимание потенциалу самоочищения атмосферы, который на фоне усиливающегося антропогенного загрязнения, ослабевает. И это, в свою очередь, будет сказываться на здоровье населения, особенно в крупных промышленных агломерациях. К примеру, в работе (Федорова А.Г. и др., 2022) показано, что наиболее неблагоприятные для очищения атмосферы метеорологические условия создаются летом, что обусловлено повышенной влажностью и небольшими скоростями ветра. Подобные заключения базировались на расчетах коэффициента потенциала самоочищения атмосферы (Сторожилова Е. Ю., 2016).

Цель настоящей работы: анализ биоклиматических условий Приморского края по степени климатической комфортности, критерием оценивания которых служила эквивалентно-эффективная температура. В основу анализа положены результаты осредненных в масштабе месяца многолетних восьмисрочных наблюдений (с 1966 по 2021 гг.) на 11 метеорологических станциях Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Источником информации являются сведения о метеорологических величинах, полученные с сайта ВНИИГМИ МЦД (<http://meteo.ru>)

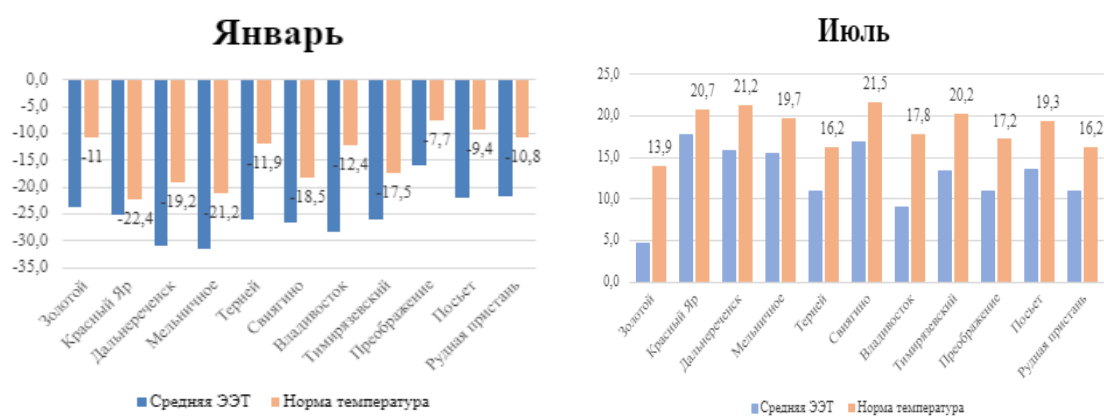
Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ), являясь комплексным показателем тепловой чувствительности человека (раздетого до пояса),

складывается под влиянием трех метеорологических факторов (температуры воздуха, влажности воздуха и скорости ветра); она рассчитывалась по формуле А. Миссенарда:

$$\text{ЭЭТ} = 37 - \frac{37 - t}{0,68 - 0,0014f + \frac{1}{1,76 + 1,4V^{0,75}}} - 0,29t \left(1 - \frac{f}{100}\right), \text{ (Сергеева Г.А., 2007)}$$

где t – температура воздуха, °С; V – скорость ветра, м/с; f – относительная влажность, %.

ЭЭТ рассчитывалась для каждой станции следующим образом: по восьмисрочным метеовеличинам определялись среднесуточные, затем среднемесячные значения температуры, скорости ветра и относительной влажности воздуха для каждого года. На рисунке представлены уже осредненные за весь период исследования месячные значения ЭЭТ за центральные месяцы основных календарных сезонов:



Из 11 пунктов по многолетним данным январские значения ЭЭТ всегда ниже обычной средней температуры воздуха – сказываются низкие температуры и сильные ветры, обусловленные зимним муссоном. Разница между ЭЭТ и средней многолетней температурой варьирует от $-2,9^{\circ}\text{C}$ до $-16,0^{\circ}\text{C}$. Меньше всего эти температуры отличаются в Красном Яре (станция находится на севере края, она защищена от сильных ветров сопками). Во Владивостоке эти различия самые значительные – при относительно высокой январской температуре ($-12,4^{\circ}\text{C}$) ЭЭТ на 16°C ниже. Основные причины: сильные ветры и относительно высокая (по сравнению с другими станциями) влажность воздуха.

Значения ЭЭТ летом, как и в январе, ниже среднемесячных. На прибрежных станциях (Золотой, Терней, Владивосток) большие разности, т.е. уменьшение комфортности климата, объясняется охлаждающим воздействием моря, значительной влажностью. Самые комфортные условия летом наблюдаются в континентальной части края (Красный Яр, Свягино, Дальнереченск и Мельничное), значения ЭЭТ здесь достигают $16-18^{\circ}\text{C}$.

В последние годы, правительство Приморского края задало тенденцию на развитие туристических направлений внутри региона. Немаловажную роль в этом играет определение комфортного для туристов периода и местности (для отдыха с подходящими условиями). ЭЭТ, как параметр комфортности местности для человека, является подходящим. Существует перспектива его применения и использования для дальнейших исследований.

Литература

Бокша В.Г. Справочник по климатотерапии. Киев: Здоровья. 1989. 206 с.

Бухарова М. Г., Л. Н. Василевская, И. А. Лисина Е. Ю. Поталова Индекс патогенности как индикатор муссонности климата в Приморском крае// Спутник. Естественные и технические науки. – 2022. – №6 (169). – С. 197-199.

Лисина И.А., Василевская Л.Н., Лебедева О.И., Волкова Д.И. Исследование пространственно-временного распределения общего индекса патогенности климата Приморского края за 2011–2020 гг. // Тихоокеанская география. 2022. № 4. С. 72–81.

Ткачук С.В. Сравнительный анализ биоклиматических индексов для прогноза с использованием мезомасштабной модели// Учёные записки №20, метеорология, 2011. С. 109-118.

Третий оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Москва: Росгидромет. 2022. С. 562.

Сторожилова Е. Ю. Оценка способности атмосферы к самоочищению на территории Белгородской области //Магистерская диссертация. 2016

Сергеева Г.А. Оценка биоклиматических условий по рассчитанным значениям показателей климатической комфортности (на примере Волгоградской области). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук, 2007. 25 с.

Федорова А.Г., Василевская Л. Н. Оценка способности атмосферы к самоочищению на юге Приморского края // Материалы региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных по естественным наукам, Владивосток, 15-30 апреля 2022 г., С. 271-274.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЙОНА ВЫБРОСА МОРСКОГО МУСОРА НА СЕВЕРНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Фетисов С.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, mr.fetiss@gmail.com

Искусственный интеллект и методы машинного обучения (МО) всё чаще применяют в науках о Земле для прогнозирования, классификации и кластеризации натуральных данных различных исследований. На данный момент модели МО активно используются для оценки загрязнения Мирового океана (Lei et al., 2023). Особенно это касается прибрежной зоны, где комплексность гидрофизических условий затрудняет эффективное использование традиционных численных моделей (van Sebille et al., 2020).

В данной работе исследуются послештормовые выбросы морского мусора на берег Самбийского полуострова. Согласно определению ООН (UNEP, 2016), морским мусором считается только материал антропогенного происхождения. Однако многочисленные наблюдения подтверждают, что морской мусор выбрасывается с большим количеством биоты в виде водорослей, палок и листьев. Биота вместе с антропогенным мусором образуют корку на берегу (Esiukova, 2017; Fetisov and Chubarenko, 2021). Такому явлению дали название брос (Chubarenko and Stepanova, 2017).

Основная цель данной работы – на основании предшествующих метеорологических и гидрофизических условий открытого моря спрогнозировать в какой район будет выброшен морской мусор и определить, какая из двух предлагаемых моделей решает эту задачу лучше. Для сравнения точности прогнозирования использовались две модели машинного обучения: искусственная нейронная сеть (ИНС) и свёрточная нейронная сеть (СНС).

Район исследования общей длиной 37 км расположен в юго-восточной части Балтийского моря на северном побережье Самбийского полуострова от мыса Таран (54.9602° с.ш., 19.9788° в.д.) на западе до корня Куршской косы на востоке. В этом районе с 2011 по 2020 г. зафиксировано более 150 бросов, из которых для обучения моделей было отобрано 103 наиболее репрезентативных случая.

Для прогнозирования места броса анализировались метеорологические (скорость и направление ветра) и гидрофизические (высота и направление преобладающей волны, период волнения, крутизна волны, скорость и направление поверхностных течений) параметры, которые затем использовались для обучения моделей МО. Образование броса происходит при определенных условиях, меняющихся во времени. Наиболее крупные бросы наблюдаются после штормов с преобладанием ветра западных румбов и изменением направления подхода волн и ветра на северное по мере стихания шторма. Проведенный корреляционный анализ показал, что наиболее значимыми параметрами для формирования броса являются скорость ветра, направление ветра, значительная высота волны, среднее направление волны (Фетисов и др, 2021). В дополнение к ним, для обучения моделей были добавлены скорость и направление поверхностных течений, период волнения и крутизна волны. Каждый параметр состоит из 120 значений, что соответствует 5 суткам. Набор таких параметров является признаковым описанием для броса.

Место выброса при прогнозировании определялось решением задачи бинарной классификации. Для этого исследуемая территория была разделена на 2 участка, класс 0 и класс 1 соответственно. В качестве разделителя двух классов выступает мыс Гвардейский. Каждый брос был промаркирован одним из классов

в соответствии с местом его наблюдения, что являлось целевой переменной в данной задаче.

Точность прогнозирования двух рассматриваемых моделей на валидационном наборе данных представлена на графике. Максимальная точность прогнозирования составила 72% для модели СНС и 64.24% для модели ИНС. Это можно объяснить тем, что модель СНС позволяет лучше находить нелинейные связи между двумерным признаковым описанием и целевой переменной.

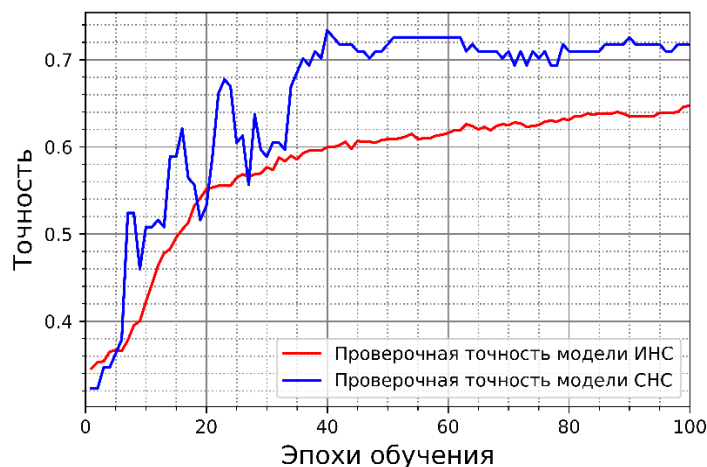


Рисунок – График сравнения точности прогнозирования моделей ИНС и СНС

В дальнейшем планируется использовать модель СНС для создания системы прогнозирования массовых выбросов морского мусора. Однако необходимо повысить точность прогнозирования за счет более тонкой настройки гиперпараметров нейронной сети и увеличения количества входных данных благодаря новым натурным наблюдениям. Также планируется модернизация полученной модели до мультиклассовой классификации, что позволит повысить географическую точность.

Автор выражает благодарность Есюковой Е.Е. за предоставление данных натурных наблюдений. Работа выполнена в рамках проекта РНФ №19-17-00041.

Литература

- Фетисов С.В., Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е. Анализ метеорологических и гидрофизических факторов массового вымывания морского мусора на берег Самбийского полуострова (Балтийское море) // Процессы в геосредах. 2 (28), С. 1146-1154. 2021
- Chubarenko, I., Stepanova, N., 2017. Microplastics in sea coastal zone: Lessons learned from the Baltic amber. Environmental Pollution 224, 243–254. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.085>
- Esiukova, E., 2017. Plastic pollution on the Baltic beaches of Kaliningrad region, Russia. Marine Pollution Bulletin 114, 1072–1080. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.001>
- Fetisov, S., Chubarenko, I., 2021. Marine Litter Stormy Wash-Outs: Developing the Neural Network to Predict Them. Pollutants 1, 156–168. <https://doi.org/10.3390/pollutants1030013>
- Lei, L., Pang, R., Han, Z., Wu, D., Xie, B., Su, Y., 2023. Current applications and future impact of machine learning in emerging contaminants: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 1–19. <https://doi.org/10.1080/10643389.2023.2190313>
- van Sebille, E., Aliani, S., Law, K.L., Maximenko, N., et. al, 2020. The physical oceanography of the transport of floating marine debris. Environ. Res. Lett. 15, 023003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d7d>
- UNEP. Marine Plastic Debris and Microplastics-Global Lessons and Research to In-Spire Action and Guide Policy Change; United Nations Environment Program: Nairobi, Kenya, 2016. Available online: www.unep.org, www.grida.no.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА АБИССАЛЬНОГО ПОТОКА АНТАРКТИЧЕСКИХ ВОД В РАЗЛОМЕ РОМАНШ

Фрей Д.И.^{1,2,3}, Кречик В.А.^{1,4}, Баширова Л.Д.^{1,4}, Остроумова С.А.¹,
Смирнова Д.А.^{1,5}, Кулешова Л.А.¹, И.Ю. Дудков^{1,4}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, *dima.frey@gmail.com*

²Московский физико-технический институт РАН, г. Долгопрудный

³Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

⁴Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия,
tyemail.gav@gmail.com

⁵Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
moscowdadas@gmail.com

Значительное ускорение абиссальных потоков в узких глубоководных каналах, разломах и желобах является ключевой особенностью придонной циркуляции Мирового океана. На большой территории Атлантического океана, где подобные потоки активно исследуются несколько десятилетий (Morozov et al., 2021), этот абиссальный слой представлен Антарктической донной водой (ААДВ) с потенциальной температурой $\theta < 2^\circ\text{C}$ (Baines and Condie, 1998). Эта вода образуется на шельфе Антарктики в холодный осенне-зимний период. За счет большой плотности она распространяется в абиссали океана на север вплоть до средних широт Северного полушария. Актуальность исследования гравитационных потоков антарктических вод проявляется как в глобальном масштабе, в частности для климатических оценок перераспределения наиболее холодных полярных вод океаном, так и во многих региональных задачах на стыке различных дисциплин.

С динамической точки зрения особенно интересными представляются потоки ААДВ в разломах Срединно-Атлантического хребта (Morozov et al., 2018). В экваториальной части хребта разлом Романш является основным разломом, по которому наиболее холодные антарктические воды поступают в восточную Атлантику. Самой глубокой точкой этого разлома является впадина Вима; ее максимальная глубина составляет 7856 м (Metcalf et al., 1964). Также вдоль разлома расположено несколько похожих впадин, остающихся на данный момент безымянными. Цепочка этих впадин влияет на придонный поток и приводит к его расщеплению на отдельные струи. Малоизученность разлома Романш, отсутствие качественных данных по рельефу дна в открытых базах данных и малое количество натурных наблюдений в придонном слое затрудняет исследования динамики гравитационного течения в разломе. В связи с этим в центральную часть разлома в августе 2022 г. была организована экспедиция Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН на НИС «Академик Иоффе».

Во время экспедиции было выявлено интенсивное гравитационное течение в центральной части разлома Романш на входе во впадину Вима, а также собраны новые данные о термохалинной и кинематической структурах этого гравитационного течения (Frey et al., 2023). Было показано, что поток ААДВ разделяется на ветви, распространяющиеся по трем отдельным каналам сложной конфигурации. Установлено, что северный канал разлома является основным путем поступления наиболее холодных и плотных донных вод во впадину Вима. Помимо этого, вертикальная структура течения представлена двумя отдельными потоками, разделенными слоем, в котором отсутствуют интенсивные течения. Общий перенос ААДВ через разлом Романш был оценен в 1.40 Св; скорости, превышающие 10 см/с, были обнаружены на глубинах более 5 000 м.

Работа поддержана грантом РФФ 22-77-10004.

Литература

Baines, P. G., Condie, S. Observation and modelling of Antarctic downslope flows: A review // In S. S. Jacobs & R. F. Weiss (Eds.), *Ocean, ice, and atmosphere: Interactions at the Antarctic continental margin*. 2018. V. 75, pp. 29–49. Antarctic Research Series. <https://doi.org/10.1029/AR075p0029>

Frey, D. I., Krechik, V. A., Bashirova, L. D., Ostroumova, S. A., Smirnova, D. A., Kuleshova, L. A., Ponomarenko, E. P., Morozov, E. G., Ligi, M., Dudkov, I. Yu., Sivkov, V. V. Multiple abyssal jets flowing into the Vema Deep, Romanche Fracture Zone // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2023. 128, e2022JC019434. <https://doi.org/10.1029/2022JC019434>

Metcalf, W. G., Heezen, B. C., Stalcup, M. C. The sill depth of the mid-Atlantic ridge in the equatorial region // *Deep Sea Research Part I*. 1964. V 11, 1–10. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(64\)91078-2](https://doi.org/10.1016/0011-7471(64)91078-2)

Morozov E. G., Tarakanov R. Y., Frey D. I. *Bottom Gravity Currents and Overflows in Deep Channels of the Atlantic Ocean Observations, Analysis, and Modeling*. – Springer Nature, 2021.

Morozov, E. G., Tarakanov, R. Y., Frey, D. I., Demidova, T. A., Makarenko, N. I. Bottom water flows in the tropical fractures of the northern Mid-Atlantic Ridge // *Journal of Oceanography*. 2018. 74(2), 147–167. <https://doi.org/10.1007/s10872-017-0445-x>

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА НА ПОВЕРХНОСТИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA5

Шевченко Г.В.^{1,2}, Ложкин Д.М.¹

¹Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии, г. Южно-Сахалинск,
shevchenko_zhora@mail.ru

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

Исследование основано на данных реанализа ERA5 по коротковолновой радиации (short wave radiation flux – SWRF), длинноволновой радиации (long wave radiation flux – LWRF) и радиационного баланса (рассчитывался как сумма SWRF и LWRF с учетом того, что последний параметр, отражающий излучение тепла из океана в атмосферу, имеет отрицательный знак), взятых с сайта открытого доступа <https://cds.climate.copernicus.eu>. Эти данные основаны, в свою очередь, преимущественно на спутниковых наблюдениях за морской поверхностью и состоянием атмосферы, а также на моделировании процессов в системе океан–атмосфера. Пространственное разрешение данных составляло четверть градуса, временное – 1 месяц. Период исследования – с 1998 по 2021 гг. Область исследования была ограничена координатами 42 – 66 ° с.ш. и 135 – 180 ° в.д. Эта область включала северо-западную часть Тихого океана, Охотское море, западную часть Берингова моря и северную и центральную части Японского моря. В этих акваториях происходят, главным образом, нагульные миграции и зимовка тихоокеанских лососей.

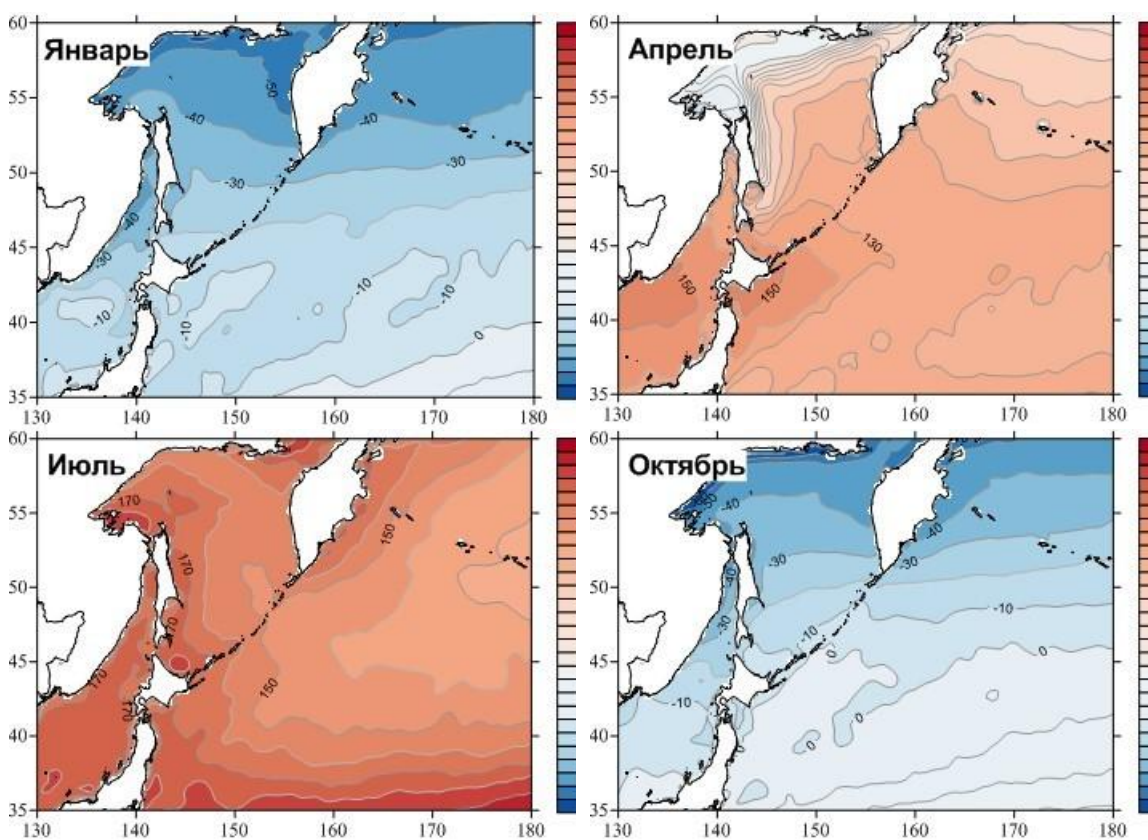


Рисунок – Средние многолетние пространственные распределения радиационного баланса (в Вт/м²) в январе, апреле, июле и октябре

Максимальных (по абсолютной величине) значений радиационный баланс достигает летом, в северо-западной части Охотского моря. В этот период самые

низкие показатели на северо-востоке изучаемой акватории, в районе Алеутской гряды. Весной значения параметра также положительные, и уже в апреле весьма велики. Исключение составляет северо-западная часть Охотского моря, где потери тепла связаны с таянием остатков ледяного покрова. Осенью пространственное распределение радиационного баланса характеризуется закономерным изменением параметра с широтой – в северной части они отрицательные (излучение тепла в атмосферу превышает поток солнечной радиации), в южной положительные. Нулевая изолиния проходит примерно по параллели 45 ° северной широты. Самые низкие значения наблюдаются вблизи северного и северо-западного берегов Охотского моря, наиболее высокие – в удаленной части СЗТО. Зимой наблюдается сходная картина, только отрицательные значения параметра на севере района увеличиваются, а нулевая изолиния смещается на юго-восток.

Однонаправленные тенденции в изменениях радиационного баланса наиболее ярко проявляются в Охотском море. Зимой и весной они положительные (в центральной и в северной частях этого бассейна), летом и осенью отрицательные на его северном и северо-западном шельфе. Положительные значения рассматриваемого параметра в холодный период года в Охотском море, вероятно, связаны со снижением его ледовитости на протяжении последних десятилетий.

Пространственное распределение первой моды ЕОФ характеризуется высокими значениями на юго-западе района, убывающими в северо-восточном направлении. Пространственные изменения второй моды имеют иной характер, наибольшие положительные значения отмечены на юго-востоке изучаемой области, в СЗТО, они уменьшаются в северо-западном направлении, и на акватории Охотского моря и в Татарском проливе Японского моря принимают отрицательные значения. Временная функция главной моды хорошо описывается годовой гармоникой с амплитудой 0,4 Вт/м², имеющей максимум в июле и минимум в январе.

Полученные результаты используются для обоснования изменчивости поля ТПО и совершенствования прогнозов сроков и условий нагульных и нерестовых миграций тихоокеанских лососей.

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA5

Шевченко Г.В.^{1,2}, Ложкин Д.М.¹, Цхай Ж.Р.¹

¹Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Южно-Сахалинск, shevchenko_zhora@mail.ru

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

Берингово море, в особенности его западная часть, является важным районом для российского рыболовства, в частности, на его российском побережье добывается значительный объем тихоокеанских лососей. Это определяет интерес к изучению особенностей термического режима в данном бассейне, происходящих в нем процессах на фоне глобального потепления и их влиянию на основные объекты российского рыболовства (Кровнин и др., 2018; 2021), а также в целом на экосистему арктической части Тихого океана (Baker et al., 2020). Многие важные вопросы, касающиеся особенностей сезонных и межгодовых вариаций температуры поверхности на различных участках моря (ТПМ), существенно отличающихся по своим физико-географическим характеристикам до настоящего времени недостаточно изучены. В то же время в последние годы появились информационные ресурсы, позволяющие провести всесторонний пространственно-временной статистический анализ широкого набора гидрометеорологических параметров, в том числе температуры поверхности моря. Таким образом, основной целью данной работы было изучение пространственно-временной изменчивости термических условий в поверхностном слое всей акватории Берингова моря на основе данных реанализа за 1998–2021 гг.

Для оценки особенностей пространственно-временной изменчивости ТПМ выбран массив данных реанализа ERA5. Пространственное разрешение данных составляет четверть градуса, дискретность - один месяц. Первичный анализ проведен методом естественных ортогональных функций (Багров, 1959). Также в каждой пространственной ячейке для каждого месяца были рассчитаны средние многолетние значения ТПМ, отражающие сезонные изменения термических условий на изучаемой акватории. Методом наименьших квадратов определены коэффициенты линейного тренда ТПМ на всей акватории Берингова моря. Рассмотрены наиболее значительные отклонения от средних многолетних значений (аномалии) температуры поверхности моря.

Анализ средних многолетних пространственных распределений ТПМ показал, что на протяжении значительного периода с ноября по июнь изменения параметра в Беринговом море носят преимущественно зональный характер: температура воды в поверхностном слое уменьшается от островов Алеутской гряды в северном направлении, и достигает наименьших значений в Анадырском заливе и акватории, прилегающей к Берингову проливу. В теплый период характер изменений термических условий иной – наиболее теплая вода обнаруживается на западе (у побережья Камчатки, в частности, в Карагинском заливе) и востоке (у берегов Аляски, прежде всего, в заливе Нортон Саунд) изучаемой акватории. В центральной части моря, в особенности на северном, вблизи Берингова пролива, и южном участках (в центральной части Алеутской гряды) выявлены более холодные воды.

Пространственное распределение первой моды разложения поля ТПМ по ЕОФ сходно со средним многолетним в теплый, а второй – в холодный период года. Пространственная функция второй моды положительна в мелководных районах Берингова моря и отрицательна в глубоководной части, прилегающей к

Алеутским островам, что отражает различие в термическом режиме этих акваторий.

Годовой ход ТПМ, усредненных для каждого месяца по всей площади Берингова моря, характеризуется максимумом в августе (около 10 °С) и минимумом в марте (1 °С). В его колебаниях явно доминирует годовая гармоника со средней амплитудой 4,5 °С и фазой 221°, вклад полугодовой составляющей существенно меньше, ее амплитуда составляет 1,2 °С, а фаза равна 63°.

Берингово море испытывает наибольшее влияние глобального потепления по сравнению с другими дальневосточными морями. Особенно оно проявляется в летний период, когда примерно на 75 % его акватории значения коэффициента линейного тренда выше 0,5 °С/10 лет, а в западной части Анадырского залива и в вершине залива Нортон Саунд достигают максимальных 3 °С/10 лет. Слабее всего тенденция к повышению теплосодержания поверхностного слоя воды выражена зимой.

Показано, что значительные аномалии ТПМ формируются на акватории Берингова моря, и могут занимать значительные площади, сопоставимые с площадью всего бассейна. Количество положительных и отрицательных аномалий примерно одинаково, они формируются в различные сезоны года. Резкие отклонения термических условий от обычных могут представлять существенную угрозу для условий обитания пелагических рыб.

Полученные результаты могут быть использованы для обоснования изменчивости поля ТПМ и совершенствования прогнозов сроков и условий нагульных и нерестовых миграций тихоокеанских лососей в Беринговом море.

Литература

Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // Труды Центрального института прогнозов. 1959. Вып. 74. С. 3–24

Кровнин А.С., Котенев Б.Н., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. Дальние связи в атмосфере и океане как основа долгосрочного рыбопромыслового прогнозирования // Тр. ВНИРО. 2018. Т. 173. С. 33–65.

Кровнин А.С., Кивва К.В., Мурый Г.П., Сумкина А.А. Влияние климатических факторов на межгодовые колебания запасов камчатской горбуши в 2014–2020 гг. // Вопросы рыболовства. 2021. Т. 22, №4. С. 35–45.

Baker M.R., Kivva K.K., Pisareva M.N., Watson J.T., Selivanova Ju. Shifts in the physical environment in the Pacific Arctic and implications for ecological timing and conditions // Deep-Sea Res. II. 2020. Vol.177. 104802. DOI: 10.1016/j.dsr2.2020.104802.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕТАНА В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

Щербакова К.П.^{1,2}, Космач Д.А.^{1,2}, Черных Д.В.^{1,2}, Шахова Н.Е.^{1,2},
Семилетов И.П.^{1,2}

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, г.
Владивосток, *Kseniya.Shcherbakova@poi.dvo.ru*

²Национальный Томский исследовательский государственный университет, г.
Томск

Восточно-Сибирский шельф (ВСШ), сформированный в результате трансгрессии моря в раннем голоцене, является самым широким и мелководным шельфом Мирового Океана. На ВСШ сосредоточено более 30% мирового запаса органического углерода в виде основных парниковых газов – метана (CH₄) и углекислого газа, (CO₂) законсервированного в толще подводной мерзлоты (ПМ) в свободной форме или в виде газовых гидратов (Shakhova et al., 2019 Steinbach et al., 2021). В результате прогрессирующей деградации ПМ, в современный биогеохимический цикл могут быть вовлечены гигантские количества CH₄ и CO₂, что может привести к труднопредсказуемым климатическим последствиям.

Многолетние данные, собранные в результате комплексных экспедиционных исследований в морях Восточной Арктики, показали, что в районах дестабилизации подводной мерзлоты происходит массивный пузырьковый перенос CH₄ из донных отложений через водную толщу в атмосферу в районах разгрузки-сипах. Количество CH₄, поступающего из сипов, определяется степенью деградации ПМ и может изменяться на пять порядков от 0,001 до 1000 грамм с кв. м в сутки (Chernykh et al., 2020, Shakhova et al., 2015).

Представление об источниках, способствующих наблюдаемой эмиссии метана, является предпосылкой для прогнозирования на ближайшие десятилетия. Однако генезис CH₄, переносимого сипами, в настоящее время не ясен. Следует различать 1) микробный источник CH₄, образующийся в неглубоких отложениях во время раннего диагенеза или при таянии подводной вечной мерзлоты, 2) залежи предварительно сформированного метана, такие как метан, высвобождающийся при разложении газовых гидратов, и 3) термогенный (природный) газ. Для определения источника CH₄ в представленной работе был применен анализ стабильных изотопов метана $\delta^{13}\text{C}$, δD позволяющий получить информацию о его генезисе.

В работе представлены данные, полученные в море Лаптевых в ходе экспедиции SWERUS- C3, проведенной в летний период 2014 г. на борту ледокола Oden, а также данные, полученные в различных экспедициях с 2007 по 2013 гг. Наблюдаемые в 2014 г. концентрации растворенного в воде CH₄ варьировались от 3 до 1500 нмоль, а его средняя концентрация составляла 151 нмоль, что является перенасыщением водной толщи на 3800%. Изотопный состав CH₄ сиповых областей показал сильные вертикальные и горизонтальные градиенты, указывающие на термогенную природу газа: $\delta^{13}\text{C-CH}_4=$

$$= (-42.6 \pm 0.5) / (-55.0 \pm 0.5) \text{‰}, \delta\text{D-CH}_4 = (-136.8 \pm 8.0) / (-158.1 \pm 5.5) \text{‰} [2].$$

Ранние результаты (2007-2012гг) были получены совместно с группой Томаса Рокмана и Селии Сапарт из Утрехтского университета (Sapart et al., 2017).

Сравнение этих результатов дает основание предположить межгодовую изменчивость мощности тех или иных источников, что проявляется в изменении изотопного почерка метана в одних и тех же сипах. В докладе обсуждаются опубликованные и неопубликованные (экспедиция ISSS-2016 г.) авторские результаты.

Литература

Chernykh, D. Sonar estimation of methane bubble flux from thawing subsea permafrost: A case study from the Laptev sea shelf / D. Chernykh, V. Yusupov, A. Salomatin, D. Kosmach, N. Shakhova, E. Gershelis, A. Konstantinov, A. Grinko, E. Chuvilin, O. Dudarev, A. Koshurnikov, I. Semiletov // *Geosciences (Switzerland)*. – 2020. – V. 10, № 10. – P. 1-14.

Sapart, C. J. The origin of methane in the East Siberian Arctic Shelf unraveled with triple isotope analysis / C. J. Sapart, N. Shakhova, I. Semiletov, J. Jansen, S. Szidat, D. Kosmach, O. Dudarev, C. van der Veen, M. Egger, V. Sergienko, A. Salyuk, V. Tumskey, J.L. Tison, T. Rockmann // *Biogeosciences*. – 2017. – Vol. 14, № 9, P. 2283-2292

Shakhova, N. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice / N. Shakhova, I. Semiletov, V. Sergienko, L. Lobkovsky et al. // *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 373, № 2052. – 13 p.

Shakhova, N. Understanding the Permafrost–Hydrate System and Associated Methane Releases in the East Siberian Arctic Shelf / N. Shakhova, I. Semiletov, E. Chuvilin // *Geosciences (Switzerland)*. – 2019. – Vol. 9.

Steinbach, J. Source apportionment of methane escaping the subsea permafrost system in the outer Eurasian Arctic Shelf / J. Steinbach, H. Holmstrand, K. Shcherbakova, D. Kosmach, V. Brüchert, N. Shakhova, A. Salyuk, C. J. Sapart, D. Chernykh, R. Noormets, I. Semiletov, Ö. Gustafsson // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2021. – Vol. 118, № 10. – e2019672118.

СЕКЦИЯ 2. Геология, геофизика и геохимия океана

МОРФОДИНАМИКА ЛАГУННОЙ ЧАСТИ КУРШСКОЙ КОСЫ ОСЕНЬЮ 2022 ГОДА

Ефимова К.А.

*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград,
ksyu.efimova.99@inbox.ru*

Лагунные берега представляют интерес для исследователей морфологии природных ландшафтов. Несмотря на свою относительную стабильность, берега заливов иллюстрируют главные преобразовательные процессы: абразию и аккумуляцию. Берег Куршского залива является частью Национального парка «Куршская коса». Невзирая на особый статус особо охраняемой природной территории, лагунный берег отличается малой степенью изученности. В настоящее время систематический мониторинг береговых процессов на этой территории не проводится; представляемое исследование имеет целью ликвидировать данный пробел.

Были заложены 4 контрольных реперных точки: две в пос. Морское (Rp 1, Rp 2), две в пос. Рыбачий (Rp 3, Rp 4). Наблюдения проводились период с сентября по ноябрь. Измерения морфометрических характеристик береговых форм рельефа (превышений и горизонтальных проложений) производились при помощи электронного тахеометра Sokkia серии 50RX. Для отрисовки профилей использовался пакет визуализации данных "ggplot2" на языке программирования Python.

Исследование демонстрирует ежемесячные изменения морфологии береговой зоны со стороны Куршского залива. Побережье лагунной части Куршской косы регулярно подвергается ветро-волновой переработке. В отличие от морского берега, заливной берег лишен периодического пополнения песчаным материалом (Бадюкова, 2009), что сказывается на масштабах и темпах размыва. Средняя скорость размыва составляет до 2,5-3,3 м/год (Бадюкова, 2009). В пос. Морское, располагающимся в северной части косы, на обеих реперных точках зафиксировано уменьшение ширины пляжевой зоны (Рисунок 1). Относительно сентября, в среднем, урез воды отступил на 3 м в ноябре. Аналогичная ситуация зафиксирована в пос. Рыбачий, в южной части косы. Здесь урез воды отступил на 3,2 м в среднем (для двух площадок).

Берег в реперной точке 1 характеризуется стабильным положением призаливной террасы, выраженной бровкой абразионного уступа, достигающего высоты 1,5 м относительно уреза воды. Пляж, постепенно сокращавшийся в сентябре-октябре, в ноябре вначале подвергся размыву, а затем произошла аккумуляция 5-метрового по ширине невысокого вала. Профиль пляжа в реперной точке 2 к ноябрю тоже приобрел новые структуры в виде двух штормовых уступов, что свидетельствует об активной ветро-волновой деятельности на данной территории. Небольшое понижение в тыловой части пляжа, в целом, сохраняло свою ширину (5 м), однако менялось его состояние: от обводненного до частично высохшего. Вблизи уреза воды здесь располагался вал. В октябре было зафиксировано два вала, но, располагающийся в тыловой части, был утрачен, что свидетельствует о проникновении прибойного потока в тыловую часть пляжа и преследующем процессе размыва.

Репера 3 и 4 характеризуются наличием абразионного уступа, выработанного в поверхности призаливной террасы (Rp 3, высота 1,5 м) и в теле молодой поросшей древесной растительностью дюны (Rp 4, высота 4 м). На репере 3 за сентябрь-октябрь произошло сокращение ширины пляжа и

перестройка его профиля с образованием в ноябре вала. На репере 4 в октябре так же произошел размыв пляжа и отступление уреза воды на 4 м. Пляж оканчивался понижением, отделяющимся от Куршского залива невысоким валом. К середине ноября урез воды сместился к тыловой части косы на 0,5 м. Вновь, как и в сентябре, появляется штормовой уступ, фиксирующий периодическую интенсификацию волновой деятельности.

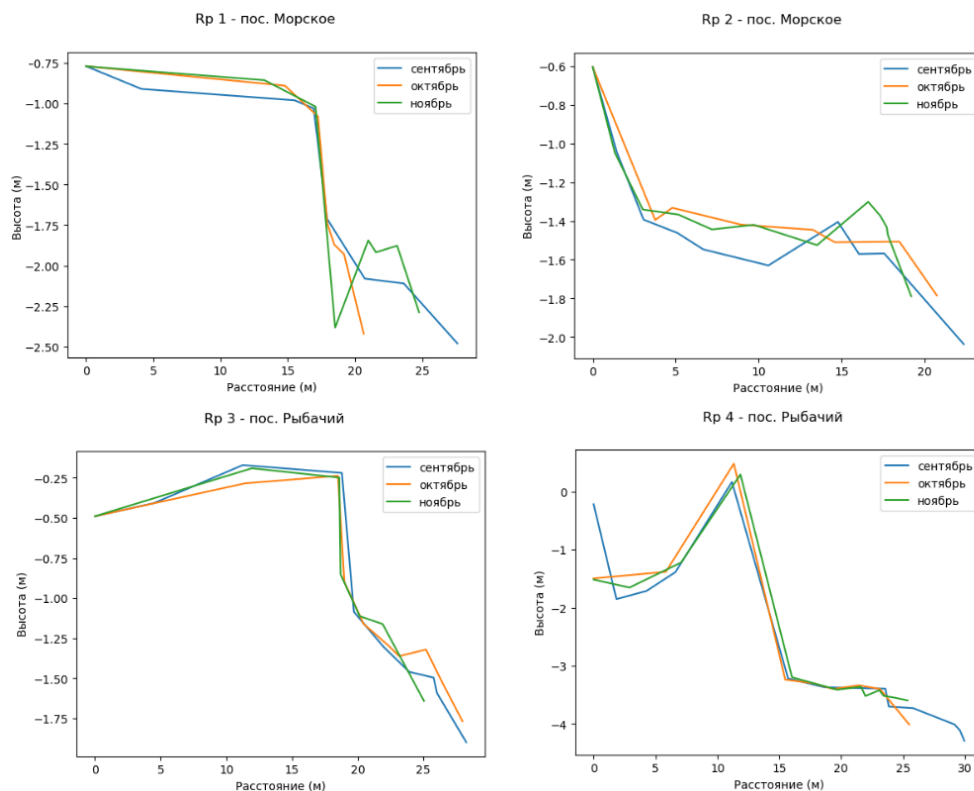


Рисунок – Анализ морфодинамики рельефа лагунного берега Куршской косы

Во многом состояние ландшафта лагунного берега зависит от гидрометеорологических факторов, а именно – от направления и силы ветра, а также от количества выпадающих осадков. Они контролируют масштабы волнения и сгонно-нагонные явления, вызывающие размыв берега Куршского залива. Наибольшая интенсивность размыва зафиксирована в южной части заливного берега косы, что согласуется с результатами исследований, основанных на анализе топографических карт (Жиндарев и др., 2020). Наибольшей степенью воздействия отличаются западные ветра (Жиндарев и др., 2020). В сентябре и октябре преобладали западные ветра, в ноябре – ветра восточного направления. Накопление песчаного материала в пос. Морское (Rr 1, Rr 2) может быть обусловлено вдольбереговым течением, переносящим наносы в северном направлении (Дьяченко и др., 2001).

Исходя из полученных данных, можно утверждать, что лагунный берег обладает высоким уровнем активности преобразовательных процессов. В целом, изменения профиля берега Куршского залива в осенний период происходили в два этапа: в октябре был зафиксирован размыв и перераспределение песчаного материала, а в ноябре – его намыв и перемещение в тыловую часть пляжа.

Литература

Бадюкова Е. Н. и др. Особенности современной динамики лагунных берегов Куршской косы, юго-восток Балтики // Литодинамика донной контактной зоны океана. М.: ГЕОС. – 2009. – С. 124-130.

Дьяченко Т. А., Чубаренко Б. В. Геоморфологические изменения подводного склона заливного берега российской части Куршской косы за период 1955-1994 гг. и их особенности в районах открытых дюн //в печати. – 2001.

Жиндарев Л. А., Лукьянова С. А., Бадюкова Е. Н. Современная динамика лагунных берегов Куршской и Вислинской кос (Юго-Восточная Балтика) //Балтийский регион-регион сотрудничества-2019. – 2020. – С. 278-291.

ФОНОВЫЕ (ДОИНДУСТРИАЛЬНЫЕ) КОНЦЕНТРАЦИИ РТУТИ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ШЕЛЬФА ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ

**Ким Д.В., Аксентов К.И., Астахов А.С., Саттарова В.В., Иванов М.В.,
Алаторцев А.В.**

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

Быстрые климатические изменения наиболее чутко проявляются в арктическом регионе. Наблюдаемое потепление создает перспективы для освоения территорий высоких широт и интенсификации эксплуатации Северного Морского пути, что неизбежно приведет к поступлению загрязняющих веществ в прибрежные акватории и накоплению их в донных отложениях. Так же донные отложения являются ретроспективным интегрированным показателем изменения окружающей среды. Одним из опасных поллютантов является ртуть, оказывающая нейротоксическое воздействие. Геологи оценили содержание ртути в почве в областях вечной мерзлоты и обнаружили, что в них содержится примерно в два раза больше ртути, чем в остальной почве, а также океанах и атмосфере вместе взятых (Schuster et al., 2018). При таянии вечной мерзлоты возможно дополнительное поступление ртути в арктические морские экосистемы. Обширные области восточной Сибири заняты вечной мерзлотой, которая в настоящее время деградирует и тем самым талый материал может выноситься в акваторию шельфа. В отсутствие прямых наблюдений оценку динамики поступления ртути возможно провести лишь по донным отложениям.

В нашей работе поставлена цель оценить геохимический фон ртути в донных отложениях, то есть те концентрации, которые были накоплены в доиндустриальный период. Для этого были выбраны керны донных отложений, которые датированы радиоизотопным методом на основе свинца-210 (Рис. 1). Определение ртути выполнено на атомно-абсорбционном спектрометре РА915М с пиролитической приставкой ПИРО915+. Элементный состав определялся рентген-флуоресцентным способом на спектрометре Delta DPO 2000 Olympus. Точность определения проверялась по международным стандартам донных отложений HISS-1, MESS-4, PACS-3, BCR-277. Органический углерод определялся в центре коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН на атомно-абсорбционном спектрометре Shimadzu TOC-L с приставкой для анализа твердых проб SSM-5000A. Для полученных аналитических данных была выполнена z-стандартизация и проведена обработка основными статистическими методами (корреляционный, кластерный и факторный анализы).

Изучаемые керны донных отложений сложены в основном алевритопелитовыми частицами, доля песка увеличивается в отложениях, распространенных на внутреннем шельфе в зонах влияния крупных рек (Лена, Индигирка, Колыма). Окисленный слой (от коричневого до светло-коричневого) залегает в поверхностных горизонтах мощностью от первых сантиметров на внутреннем шельфе и до 30-50 сантиметров на внешнем шельфе и склоне. Доля биогенных компонентов (диатомовые, радиолярии, спикулы губок) возрастает в донных отложениях Чукотского моря. Современные скорости осадконакопления на внутреннем шельфе составляют 0,15-0,20 см/год, на внешнем шельфе и глубоководных частях уменьшаются до 0,02-0,05 см/год (Астахов и др., 2021; Вологина и др., 2016; 2023).

В распределение ртути наблюдается тренд увеличения концентраций ртути в донных отложениях от внутреннего (глубина менее 50 м) шельфа к склону. Фоновые концентрации ртути в донных отложениях внутреннего шельфа

изучаемых морей находится на уровне 20-32 мкг/кг. Исключение составляют донные отложения внутреннего шельфа юго-восточной части моря Лаптевых (станции LV83-29 и LV83-32) (Рис. 1), концентрации ртути в которых составляют 38-39 мкг/кг. Здесь обнаружены железо-марганцевые образования, что говорит о специфических геохимических условиях, в которых ртуть может дополнительно сорбироваться гидроокислами железа и марганца. Донные отложения внешнего шельфа (от 50 до 200 м) характеризуются повышенным уровнем ртути с концентрациями 40-56 мкг/кг, при этом максимальная концентрация 66 мкг/кг обнаружена в Восточно-Сибирском море. Глубоководные отложения опробованы на слонах моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря, где концентрации ртути составили 32-34 мкг/кг и 41-50 мкг/кг соответственно.

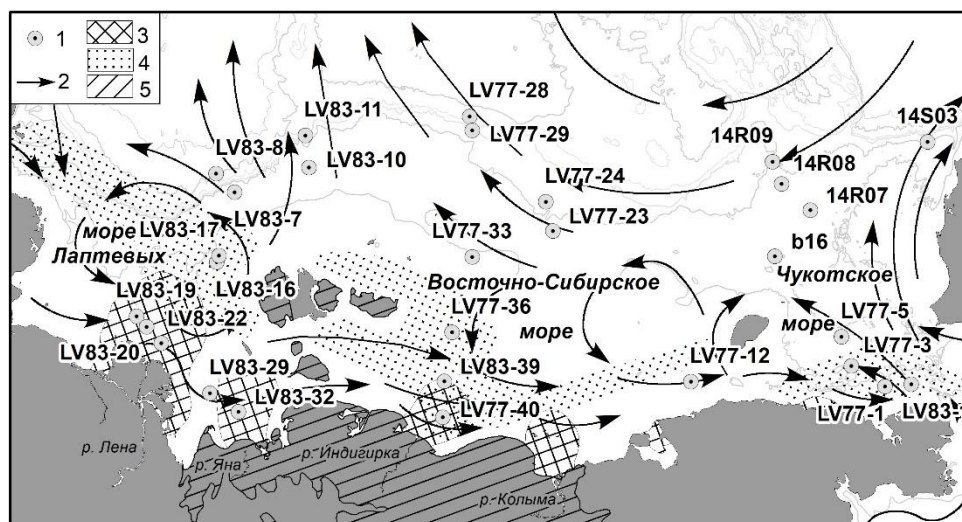


Рисунок – Карта-схема района исследований. 1 – станции отбора донных отложений; 2 – поверхностные течения; 3 – зона интенсивного судоходства (Национальный атлас... 2007); 4 – вынос реками и приливно-отливными течениями промышленных, портовых, военных отходов, сточные воды (Национальный атлас... 2007); 5 – повсеместное развитие ледового комплекса (Дударев и др., 2016)

Распределение по гранулометрическим фракциям указывает на аккумуляцию ртути в тонкодисперсных фракциях (<2 и 2-8 мкм) с концентрациями 60-80 мкг/кг. В песчаных фракциях концентрации минимальны и соответствуют уровню 4-12 мкг/кг.

На основе представленных данных следует, что уровень фоновых концентраций ртути зависит от литолого-фациальных условий осадконакопления. При этом для внутреннего шельфа, на который предполагается большее антропогенное в будущем, концентрации ртути имеет малую изменчивость и находятся на уровне 20-30 мкг/кг. Проведенные исследования создают предпосылки для пересмотра и создания новых нормативов для санитарно-гигиенической оценки компонентов окружающей среды в инженерных изысканиях и экологическом мониторинге.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-77-10017, <https://rscf.ru/project/18-77-10017/>

Литература

- Астахов А.С., и др. Роль ледяного покрова в формировании химического состава донных осадков восточносибирского шельфа // Геохимия. 2021. Т. 66. № 6. С. 526–540.
 Дударев О.В., и др. Современный литоморфогенез на восточно-арктическом шельфе России. Томск: Томский политехнический университет, 2016. 192 с.

Вологина Е.Г. и др. Реконструкция условий позднеголоценового осадконакопления по данным комплексного анализа колонки донных отложений Чукотского моря // Доклады Академии наук. 2016. Т. 469. № 5. С. 597–601.

Вологина Е.Г., и др. Вещественный состав позднеголоценовых отложений южной части Чукотского моря // Океанология. 2023. Т. 63. № 1. С. 84–94.

Национальный атлас России: в 4 т. Т. 2. Природа. Экология. М.: Роскартография, 2007. 495 с.

Schuster P.F. et al. Permafrost Stores a Globally Significant Amount of Mercury // Geophys. Res. Lett. 2018. V. 45. № 3. P. 1463–1471.

ГЕТИТОВЫЕ КОРКИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Колесник О.Н.¹, Карабцов А.А.², Съедин В.Т.¹, Колесник А.Н.¹

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

²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Железомарганцевые образования (ЖМО) на дне океана – это стяжения в рыхлых осадках (конкреции) и наросты на твердой поверхности горных пород (корки), которые состоят из природных оксигидроксидов железа и марганца и содержат значительное количество меди, кобальта, никеля и других стратегически важных металлов. ЖМО считаются одним из основных видов твердых полезных ископаемых океана.

Среди морей России особенно широким развитием ЖМО характеризуется Японское море. В той его части, которая представляет собой исключительную экономическую зону России, отмечено десять перспективных районов (Астахова, Лопатников, 2017).

Материалом для исследования послужили двенадцать образцов ЖМО из Японского моря. Образцы драгированы со склонов безымянной вулканической постройки на крупной подводной возвышенности Криштофовича (плато Уллын) в 30-м рейсе НИС «Первенец» (1978 г., станция 1635, глубина моря – 1300–1350 м) (рис. А). Аналитические работы проводились в ДВГИ ДВО РАН по стандартным методикам (Михайлик и др., 2014). Минеральный состав ЖМО определялся методом порошковой рентгеновской дифракции. В расшифровке дифрактограмм использовался программный комплекс, поставляемый вместе с дифрактометром (последнее обновление программного комплекса проводилось в 2012 г.). Химический состав определялся методами плазменной спектроскопии и гравиметрии.

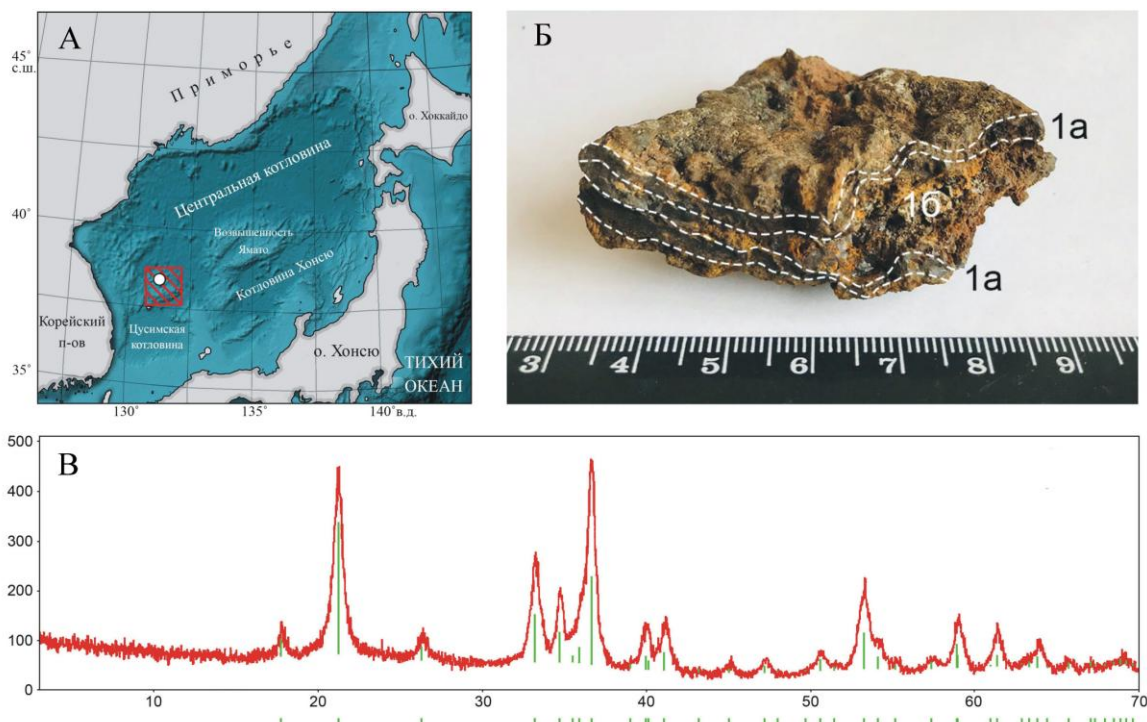


Рисунок – Место обнаружения, общий вид и состав гетитовых корок Японского моря
А – карта дна Японского моря с указанием наиболее крупных морфологических элементов его внутренней части, в том числе возвышенности Криштофовича с вулканической постройкой, на которой драгирован фактический материал (красный квадрат с белым кружком). Б – внешнее строение корки (обр. 1635/7-3): 1а — гетит, плотная разновидность; 1б — гетит, землистая

разновидность. В – дифрактограмма вещества корки (обр. 1635/7-3): зеленые линии – пики дифракции рентгеновского излучения от стандартного гетита; ось абсцисс – угол 2θ , град; ось ординат – интенсивность, имп/с

В итоге впервые для Японского моря описаны гетитовые (Рисунок Б, В) гидротермально-осадочные корки. По сравнению с обычными для региона тодорокит-бернесситовыми гидротермально-осадочными корками (Штеренберг и др., 1986; Можеровский и др., 1989; Горшков и др., 1992; Астахова, Введенская, 2003; Батулин, 2012; Михайлик и др., 2014; Волохин и др., 2020; Астахова, 2018, 2021; и др.) эти корки, вероятно, более высокотемпературные и формировались ближе к месту выхода гидротермального раствора на поверхность морского дна. Вещество, которое накапливалось в корках гидрогенным путем после затухания гидротермальных процессов, фиксируется по высокому содержанию тория, редкоземельных элементов, положительной аномалии церия и отрицательной аномалии европия.

Обнаружение гетитовых корок позволяет дополнить список тех гидротермально-осадочных образований, которые получили развитие на вулканических постройках Японского моря. Кроме тодорокит-бернесситовых корок, это гидротермальные зеленые глины (непрерывный ряд минералов от нонтронита до глауконита и селадонита), бариты, фосфориты (франколит) (Астахова, 2021; Липкина и др., 1987).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 23-27-00004).

Литература

- Астахова Н.В. Гидротермальный рудогенез Японского моря // Геология и геофизика. 2021. Т. 62. № 9. С. 1191–1203.
- Астахова Н.В. Железомарганцевые корки Центральной котловины Японского моря // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 5. С. 384–396.
- Астахова Н.В., Введенская И.А. Химический состав и генезис железомарганцевых образований подводных вулканов и возвышенностей Японского моря // Вулканология и сейсмология. 2003. № 6. С. 36–43.
- Астахова Н.В., Лопатников Е.А. Марганцевые руды Японского моря (экономическая зона России) // Природа. 2017. № 12. С. 45–51.
- Батулин Г.Н. Геохимия гидротермальных железомарганцевых корок Японского моря // Доклады Академии наук. 2012. Т. 445. № 2. С. 179–184.
- Волохин Ю.Г., Ханчук А.И., Михайлик П.Е., Михайлик Е.В. Минеральный состав марганцевых корок вулкана Беляевского (Японское море) // Доклады Российской академии наук. Науки и Земле. 2020. Т. 491. № 2. С. 31–36.
- Горшков А.И., Березовская В.В., Батулин Г.Н., Сивцов А.В. Природа железомарганцевых корок с подводных гор Японского моря // Океанология. 1992. Т. 32. № 3. С. 542–549.
- Липкина М.И., Дриц В.А., Ципурский С.И., Устинов В.И., Стрижев В.П., Якушева И.Н., Черкашин В.И. Высокожелезистые диоктаэдрические слоистые силикаты из гидротермальных пород и осадков вулканических построек Японского моря // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1987. № 10. С. 92–111.
- Михайлик П.Е., Михайлик Е.В., Зарубина Н.В., Баринов Н.Н., Съедин В.Т., Леликов Е.П. Вещественный состав и распределение РЗЭ в железомарганцевых корках подводных возвышенностей Беляевского и Медведева (Японское море) // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 5. С. 3–16.
- Можеровский А.В., Грамм-Осипов Л.М., Волкова Т.И., Можеровская Л.В. Минералогические особенности железо-марганцевых образований Японского моря // Новые данные по геологии западной части Тихого океана / Под ред. Ю.И. Коновалова. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1989. С. 135–139.
- Штеренберг Л.Е., Александрова В.А., Габлина И.Ф., Леликов Е.П., Сивцов А.В., Степанец М.И. Состав и строение марганцевых корок Японского моря // Тихоокеанская геология. 1986. № 1. С. 125–128.

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНЫХ ДЕФОРМОГРАФОВ

Лисовицкий А.С., Московченко Л.Г.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток,
lisovitskii.as@students.dvfu.ru, moskovchenko.lg@dvfu.ru

В работе проводится мультифрактальный 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).

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 (Bak et al., 1988). 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». Деформографы расположены следующим образом: первый ориентирован в направлении С-Ю и находится на песчаном основании; второй - в направлении З-В и находится на песчаном основании; третий аналогичен первому, но расположен на скальном основании. Для анализа выбраны данные, полученные в спокойный в сейсмическом отношении период 01.01 - 31.01.2021 и активный период 15.01 – 15.03.2022, сразу после которого произошло землетрясение магнитудой 7.3 балла (глубина 41 км, 37.713°N 141.579°E, Япония). Полученные данные были обработаны процедурой децимации, а затем подвергнуты специальной фильтрации для удаления сбросов напряжения устройств.

Анализ временных рядов проводится с помощью метода MF-DFA, состоящего из нескольких этапов.

1 этап: Вычислить флуктуационный профиль

$$Y(k) = \sum_{i=1}^k [z(i) - \bar{z}] \quad (1)$$

2 этап: Разделить профиль $Y(k)$ на непересекающиеся сегменты равной длины s . Аналогичная процедура повторяется с противоположного конца.

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

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

$$F_q(s) \equiv \left\{ \frac{1}{s} \sum_{v=1}^{2N_s} [F^2(v, s)]^{q/2} \right\}^2 \quad (4)$$

где q – может принимать только действительное значение.

Значение $h(0)$, нельзя определить напрямую, используется логарифмическая усредняющая процедура

$$F_0(s) \equiv \exp \left\{ \frac{1}{4N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} \ln[F^2(v,s)] \right\} \quad (5)$$

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 экспоненты, экспонента сингулярности, обобщенные фрактальные размерности)

$$F_q(s) \sim s^{h(q)}; \tau(q) = h(q) * q - 1; h(q) = \frac{d\tau(q)}{dq} \quad (6)$$

В результате была получена серия графиков, описывающих поведение мультифрактальных характеристик временных рядов каждого деформографа в спокойный и активный периоды. На графики добавлены даты и энергии произошедших землетрясений:

$$E = 10^{\frac{3}{2}M+4.8}, \quad (7)$$

где E – энергия землетрясения, Дж; M – магнитуда землетрясения.

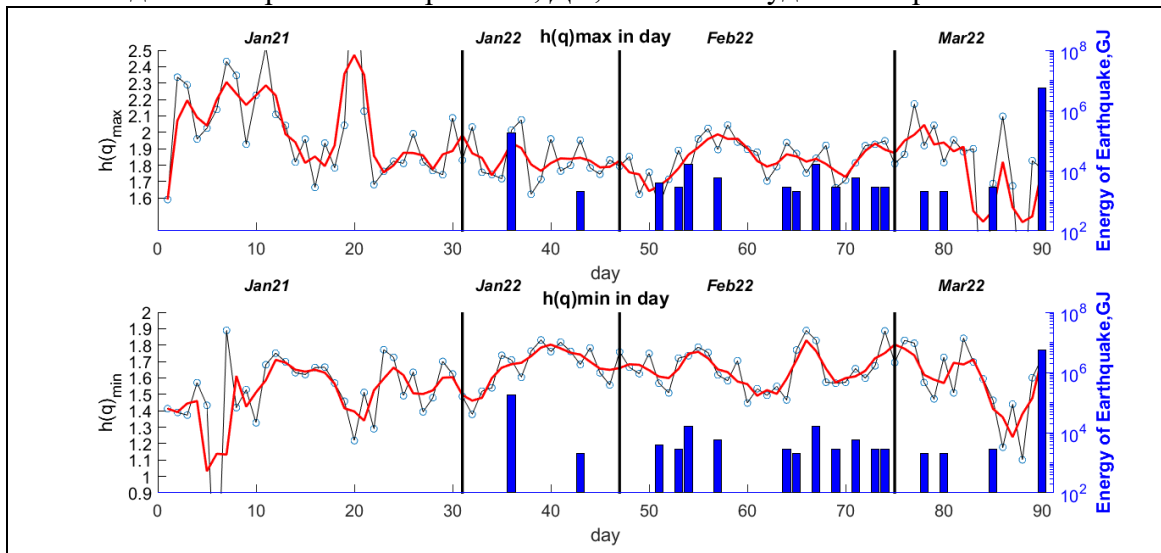


Рисунок – Поведение обобщенных фрактальных размерностей временного ряда второго деформографа

По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

1. Значения обобщенных фрактальных размерностей уменьшаются перед землетрясением ≥ 7 баллов.
2. Отмечается необычное поведение $h_{q_{min}}$, $h_{q_{max}}$ в спокойный период, что, возможно, связано с высокой частотой дискретизации деформографов в данный период времени.
3. Данные всех трех деформографов демонстрируют снижение $h_{q_{max}}$ и повышение $h_{q_{min}}$ в активный период относительно спокойного периода.

Данные выводы нуждаются в уточнении, для чего необходимо провести расчеты для больших промежутков времени и изучить большее количество землетрясений. Результаты исследования возможно использовать для увеличения прогностической информации о надвигающихся землетрясениях.

Литература:

Крылов С. С., Бобров Н.Ю. Фракталы в геофизике // СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2004. – 132 с.

Долгих Г.И, Привалов В. Е. Лазерная физика // Фундаментальные и прикладные исследования. Владивосток: ООО «Рея», 2016. – 352с.

Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality // Phys. Rev. B. 1988. –P. 364–374

ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНОГЕННОЙ ПОСТРОЙКИ ГОРЫ СЕСТРА В ЮЖНОМ ПРИМОРЬЕ

Малышева Е.Н.

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток,
rumbum@yandex.ru*

Гора Сестра расположена в Находкинском городском округе Южного Приморья. Гора Сестра и представляет собой одиночный изолированный карбонатный массив высотой около 300 м с эллипсоидальным основанием. По палеонтологическим данным возраст определен как кемптенский (средняя пермь) (Котляр и др., 1989; 1990).

Органогенная постройка горы Сестра – одно из наиболее интересных мест, где на протяжении довольно длительного времени существовали условия, благоприятные для жизнедеятельности рифообразующих организмов. В известняках обнаружены многочисленные остатки ископаемых организмов – фораминиферы, моллюски, криноидеи, сфинктозоа, кораллы, водоросли, губки. Изученные ископаемые ассоциации большей частью представлены организмами, захороненными на месте обитания и являющимися частью различных органогенных построек. Нами проводилось специальное палеоэкологическое исследование всех организмов, особое внимание уделялось сфинктозоа. В результате изучения ископаемых комплексов удалось выяснить, что на массиве горы Сестра образовались настоящие рифовые постройки. В строении построек отчетливо выделяются ранняя и зрелая стадия развития. На ранней стадии формировались небольшие фации банки, образованные моллюсками, брахиоподами, фузулинидами. Судя по степени сохранности, можно предположить, что они не подвергались транспортировке и захоронились на месте своего обитания. Органогенная банка находилась на небольшой глубине и не выходила в зону базиса действия волн. Зрелая стадия характеризуется формированием фаций биострома, биогерма и рифа.

Первому этапу развития соответствуют слои с мелкими фораминиферами и фузулинидами и в небольшом количестве брахиоподами и гастроподами (Котляр и др., 1990; Беляева, Тащи, 1996). Позже на них нарастали криноидеи, мшанки, водоросли, кораллы, губки.

Небольшие биостромы-линзовидные тела мощностью до 3 метров, представленные органогенными светло-серыми известняками обнаружены в нижней части массива, непосредственно на вышеперечисленных слоях. Для них характерны остатки колониальных и одиночных кораллов, сфинктозоа, губок, мшанок, криноидей, моллюсков, одиночных сфинктозоа и гидроидных. Организмы сохранились как в прижизненной форме, так и встречаются обломки их частей. Судя по хорошей степени сохранности остатков ископаемых организмов, их неокатанной форме, можно предположить, что они захоронились на месте своего обитания. Очевидно, постройка сформировалась на небольшой глубине, но не выходила в зону влияния волн.

Постепенно появляются сооружения биогермного типа, представленные светло-серыми каркасными, пористыми известняками. Для этого этапа рифообразования характерно развитие сфинктозоа (Беляева, Тащи, 1996). Они представлены одиночными видами и колониями мелких и крупных размеров. (Бойко и др., 1991; Беляева, Тащи, 1996).

В самой верхней части постройки обнаружены фации настоящего рифа (ядра, склона и лагуны). Формирование рифовых известняков происходило в мелководной зоне моря на относительном поднятии, на незначительном удалении

от берега, о чем свидетельствует наличие терригенного материала. В строении ядра решающая роль принадлежит водорослям, кораллам, губкам, сфинктозоа. Среди всех рифостроителей преобладают водоросли. Лагунные фации представлены серыми и тёмно-серыми слоистым известняками со значительной примесью глинистого материала. Встречаются водоросли, мелкие фораминиферы, обломки криноидей. Рифовый склон сложен органогенно-обломочными известняками, включающими обломки и целые скелеты организмов, которые обитали в вышеперечисленных фациях. Предрифовая зона характеризуется наличием известняков брекчиевидной текстуры, интенсивно выщелоченных, с привнесом терригенного материала, и наличием достаточно крупной фауны криноидей.

Работа выполнена в рамках темы НИР ДВГИ ДВО РАН (№ 0270-2016-0001).

Литература

Беляева Г.В., Тащи С.М. Органогенные постройки верхней перми Приморья // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 15. № 3. С. 50-67.

Бойко Э.В., Беляева Г.В., Журавлева И.Т. Сфинктозоа фанерозоя территории СССР. - М.: Наука. 1991. - 222 с.

Котляр Г.В., Захаров Ю.Д., Кропачева Г.С., Пронина Г.П., Чедия И.О., Бурого В.И. Позднепермский этап эволюции органического мира. Мидийский ярус СССР. - Л.: Наука. 1989. - 184 с.

Котляр Г.В., Кропачева Г.С., Соснина М.И., Пронина Г.П., Чедия И.О. Зональное расчленение морских верхнепермских отложений Южного Приморья // Новые данные по биостратиграфии палеозоя и мезозоя юга Дальнего Востока. Сборник научных трудов. Владивосток, 1990. С. 104–115.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЫСЯЧЕЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА НА ПОБЕРЕЖЬЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ

Новосёлова Ю.В.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
г. Владивосток, rybiakova@poi.dvo.ru

Материалом исследования послужили донные отложения Японского моря, отобранные на возвышенностях Первенец (кern LV 53-27, 41°54/с.ш., 132°33'/в.д.) и Ямато (кern LV 53-23, 40°18/с.ш., 134°19'/в.д.).

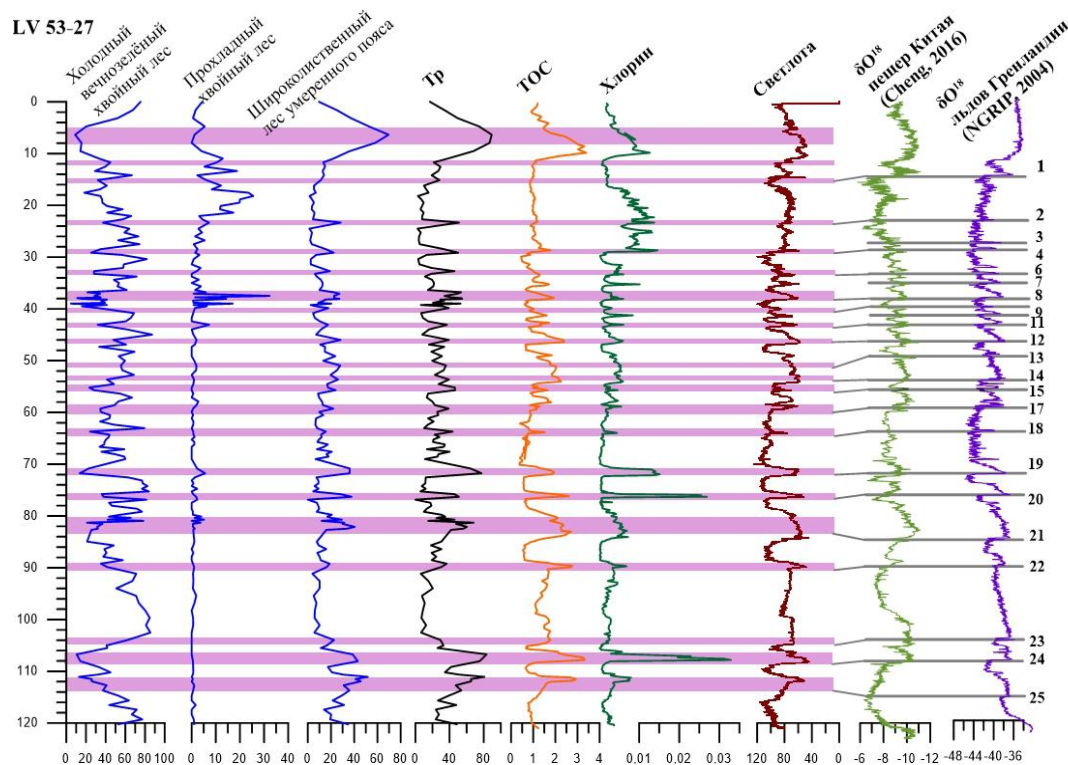


Рисунок – Корреляция тысячелетних изменений растительности, климата и продуктивности вод (ТОС (%), Хлорин (мг/г), Светлота) Японского моря с изменениями интенсивности Восточного Азиатского летнего муссона (светло-зелёная кривая) и с Дансгор-Ошгер интерстадиалами 1-25 (фиолетовая кривая) кернов LV 53-27

При литологическом изучении материала было обнаружено 25 тёмных слоёв в осадке керна LV 53-27 и 27 аналогичных тёмных слоёв в осадке керна LV 53-23. Методом спорово-пыльцевого анализа было изучено 300 осадочных образцов и на основе полученных данных определены основные типы древесной растительности.

Обработка проб проводилась по стандартной методике В.П. Гричука с применением тяжёлой жидкости. Коэффициент Тр рассчитывался по формуле $Tr = 100 \times Tw / (Tw + Tc)$, где Tw — сумма теплолюбивых древесных таксонов, а Tc — сумма древесных таксонов, устойчивых к холодным условиям (Igarashi & Oba, 2006). Мы дополнительно использовали показатели продуктивности (содержание хлорина и общее содержание органического углерода в осадках (ТОС)), показатель светлоты осадка. Возрастные модели отложений кернов LV53-27 и LV53-23 были установлены по корреляции измеренных параметров: светлота, содержание хлорина и магнитная восприимчивость, с хорошо датированными записями цвета и магнитной восприимчивости керна MD01-2407 (Yokoyama et al.,

2007, Kido et al., 2007). Затем мы выявили корреляцию резких изменений светлоты отложений кернов LV53-23 и LV 53-27 с Дансгор-Ошгер событиями, которые датированы и были выявлены в ледовом керне Гренландии (Seierstad et al., 2014) и с изотопно-кислородной записью сталагмитов пещер Китая (Cheng et al., 2016). Детали построения возрастных моделей изученных кернов ранее опубликованы Горбаренко С.А. (Gorbarenko et al., 2023).

Мы сравнили полученные высокоразрешающие записи климатических изменений во времени, основанные на пыльцевых данных двух кернов с изменениями продуктивности моря и с известными тысячелетними синхронными изменениями климата, которые были установлены во льдах Гренландии и также в Восточной Азии (Cheng et al., 2016; NGRIP members, 2004). Мы выявили, что эпизоды распространения на побережье Японского моря широколиственной растительности были связаны с значительными потеплениями регионального климата и часто эти климатические изменения одновременно сопровождалось увеличением продуктивности моря и это обусловило образование ряда тёмных осадочных слоёв в донных отложениях моря в периоды потеплений. Также мы показали, что региональные потепления климата как правило были синхронными с Дансгор-Эшгер интерстадиалами и также связаны с усилением интенсивности Восточного Азиатского летнего муссона. В течении интерстадиалов 1, 2 и 4 (около 15, 24 и 28 т.л.н.) наблюдались резкие региональные потепления, которые были причиной развития широколиственных лесов на побережье. В течении интерстадиалов 8, 12 и 14 (около 38, 46-47 и 54 т.л.н.) отмечено распространение широколиственного леса и одновременно увеличение продуктивности вод и также формирование отчётливых тёмных слоёв пелита в условиях потепления климата. Вероятно, эти изменения климата были обусловлены усилением интенсивности Восточного Азиатского летнего муссона. В период интерстадиалов 18, 19 и 20 (64, 72 и 76 т.л.н.) наблюдалось распространение широколиственной растительности в регионе и одновременно резкое увеличение продуктивности вод и седиментация тёмных отложений на дне в условиях регионального потепления.

Таким образом мы впервые детально показали связь тысячелетних изменений растительности на прилегающей суше Японского моря, и связь колебаний продуктивности поверхностных вод и процесса седиментации тёмных/светлых пелитовых слоёв в море с изменениями интенсивности Восточного Азиатского летнего муссона и с Дансгор-Ошгер циклами.

Работа выполнена при поддержке гос. темы №121021700342-9 Минобрнауки РФ и гранта РФФИ 22-17-00118.

Литература

Cheng H., Sinha A., Spotl C., Chen S., Kelly M., Kathayat G., Wang X., Li X., Kong X., Wang Y., Ning Y., Zhang H. The Asian monsoon over the past 640,000 years and ice age terminations // *Nature*. 2016. V. 534. P. 640-645.

Gorbarenko, S., Shi, X., Bosin, A. A., Liu, Y., Vasilenko, Y., Yanchenko, E., Kirichenko, I., Utkin, I., Artemova, A., Malakhova, G. Highly resolved East Asia Monsoon changes inferred from Sea of Japan sediments // *Global and planetary change*. 2023. V. 220. P. 1-11.

Igarashi, Y. & Oba, T. Fluctuations in the East Asian monsoon over the last 144 ka in the northern Pacific based on a high-resolution pollen analysis of MAGES core MD01-2421 // *Quaternary Science Revs.* 2006. V. 25. P. 1447-1459.

Kido, Y., Minami, I., Tada, R., Fujine, K., Irino, T., Ikehara, K., Chun, J.-H. Orbital-scale stratigraphy and high-resolution analysis of biogenic components and deep-water oxygenation conditions in the Japan Sea during the last 640 kyr. // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. V. 247. P. 32–49.

North Greenland Ice Core Project members. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period // *Nature*. 2004. V. 431. P. 147–151.

Seierstad, I.K., Abbott, P.M., Bigler, M., Blunier, T., Bourne, A.J., Brook, E.J., Buchardt, S. L., Buizert, C., Clausen, H.B., Cook, E., Dahl-Jensen, D., Davies, S.M., Guillevic, M., Johnsen, S.J., Pedersen, D.S., Popp, T.J., Rasmussen, S.O., Severinghaus, J.P., Svensson, A.M., Vinther, B.M. Consistently dated records from the Greenland GRIP, GISP2 and NGRIP ice cores for the past 104 ka reveal regional millennial-scale $\delta^{18}\text{O}$ gradients with possible Heinrich event imprint // *Quat. Sci. Rev.* 2014. V. 106. P. 29–46.

Yokoyama, Y., Kido, Y., Tada, R., Minami, I., Finkel, R. C. & Matsuzaki, H. Japan Sea oxygen isotope stratigraphy and global sea-level changes for the last 50,000 years recorded in sediment cores from the Oki Ridge // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. V. 247. P. 5–17.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАЛЕООКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РАЙОНЕ ТРАНСФОРМНОГО РАЗЛОМА ЧАРЛИ-ГИББС НА ГРАНИЦЕ ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА И ГОЛОЦЕНА

Радзиня А.¹, Кулешова Л.А.², Баширова Л.Д.^{1,2}, Пономаренко Е.П.²,
Пугачёва Т.Л.^{1,2}

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград,
radzinaanna1@gmail.com

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,
lubov_kuleshova@mail.ru

Район трансформного разлома Чарли-Гиббс является естественным коридором, посредством которого осуществляется основной глубинный водообмен между бассейнами восточной и западной частей Северной Атлантики. Данные бассейны изолированы друг от друга сегментами Срединно-Атлантического хребта. Так, из Ньюфаундлендского бассейна через зону разлома на восток проникает придонное течение Северо-западной глубинной воды (СЗГВ), над ним движется противотечение Северо-восточной глубинной воды (СВГВ), пересекающее Срединно-Атлантический хребет с востока на запад (Shor et al., 1980). Сильно расчлененный рельеф зоны трансформного разлома обуславливает сложную гидродинамическую обстановку в придонном слое, что, в свою очередь, делает данный район привлекательным не только для изучения современных гидрологических условий, но и для палеоокеанологических исследований. На сегодняшний день опубликованы ценные сведения о придонной палеоциркуляции вод и особенностях осадконакопления в разломе Чарли-Гиббс (Kuijpers et al., 1998; McCave, Hall, 2006; Баширова и др., 2017), однако все также остается много неопределенностей, в частности в отношении распределения и свойств глубинных водных масс во время ледниковых интервалов, а также на границах климатических стадий. Настоящее исследование посвящено реконструкции палеоокеанологических параметров в районе трансформного разлома Чарли-Гиббс во время последнего ледниково-межледникового перехода по данным комплексного изучения донных осадков. В качестве материала исследования послужила колонка АСВ-53-К1 (52°37.080' с.ш., 33°34.726' з.д., глубина моря 3851 м, длина 465 см), отобранная в северном канале разлома Чарли-Гиббс, на вершине канального контуритового дрифта, в 53 рейсе ПС «Академик Сергей Вавилов» (2021) (Пономаренко и др., 2022; Skolotnev et al., 2023). Стратиграфическое расчленение колонки выполнено на основе литологического описания осадков, данных о содержании полярного вида планктонных фораминифер *Neogloboquadrina pachyderma (sin)*, результатов подсчета зерен ледового разноса, а также с учетом трех радиоуглеродных датировок, полученных методом ускорительной масс-спектрометрии для последних 11.2 тысяч лет. Согласно принятой возрастной модели, осадки колонки были накоплены в течение позднего плейстоцена и голоцена. По резкому снижению процентного содержания раковин *N. pachyderma (sin)* и зерен ледового разноса, а также увеличению содержания карбоната кальция и органического углерода в осадках колонки АСВ-53-К1 был выбран интервал (260–330 см), соответствующий переходу от холодных ледниковых условий позднего плейстоцена к теплым межледниковым (ранний голоцен). В исследуемом интервале выделены экологические группы бентосных фораминифер, которые, главным образом, связаны с последовательной сменой условий региональной биопродуктивности (поступление органического вещества (ОВ) на дно), а также с изменением содержания растворенного углекислого газа и бикарбонат-иона в придонных водах (агрессивность среды). В нижних горизонтах колонки,

накопленных во время более холодных ледниковых условий, выявлены три доминирующих вида БФ: *Pullenia quinqueloba*, *Melonis pompilioides* и *Oridorsalis umbonatus*. Также к преобладающим по численности отнесены виды *Eggerella bradyi* и *Globocassidulina subglobosa*. Данные виды способны обитать в условиях низкого потока ОБ на дно (Fariduddin, Loubere, 1997; Fontanier et al., 2002; Gupta et al., 2006). Кроме того, известно, что виды *O. umbonatus*, а также *E. bradyi* могут питаться сильно измененным ОБ (Poli et al., 2005; Gupta et al., 2006). В осадках, соответствующих переходу к теплым межледниковым условиям, к числу доминирующих относятся вид *Epistominella exigua* и представители рода *Uvigerina*, свидетельствующие об установлении более продуктивных условий (увеличение поступления ОБ на дно). Также в большом количестве встречаются раковины вида *Lobatula lobatula*.

Экспедиционные исследования, определение содержания органического углерода и карбоната кальция в осадках проведены в рамках государственного задания ИО РАН (тема №FMWE-2021-0012). Микропалеонтологический анализ, обобщение и интерпретация данных выполнены при поддержке Российского научного фонда (грант №22-17-00170).

Литература

- Баширова Л.Д., Дорохова Е.В., Сивков В.В., Андерсен Н., Кулешова Л.А., Матуль А.Г. Палеотечения в районе разлома Чарли-Гиббс в позднечетвертичное время // *Океанология*. – 2017. – Т. 57. – №. 3. – С. 491–502.
- Пономаренко Е.П., Баширова Л.Д., Пугачёва Т.Л. Условия осадконакопления в районе разлома Чарли-Гиббс в позднем плейстоцене–голоцене // *Сборник статей по материалам всероссийской научной конференции (с международным участием). Динамика экосистем в голоцене.*, Санкт-Петербург, 17–21 октября 2022 года / Отв. ред. Д.А. Субетто, – Спб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2022. – С. 125–128.
- Fariduddin M., Loubere P. The surface ocean productivity response of deeper water benthic foraminifera in the Atlantic Ocean // *Marine Micropaleontology*. – 1997. – Vol. 32. – P. 289–310.
- Fontanier C., Jorissen F.J., Licari L. et al. Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: faunal density, composition, and microhabitats // *Deep-Sea Research I*. – 2002. – Vol. 49. – P. 751–785.
- Gupta A.K., Sarkar S., Mukherjee B. Paleooceanographic changes during the past 1.9 Myr at DSDP Site 238, Central Indian Ocean Basin: Benthic foraminiferal proxies // *Marine Micropaleontology*. – 2006. – Vol. 60. – P. 157–166.
- Kuijpers A., Troelstra S.R., Wisse M. et al. Norwegian Sea overflow variability and NE Atlantic surface hydrography during the past 150,000 years // *Marine Geology*. – 1998. – Vol. 152. – P. 75–99.
- McCave I.N., Hall I.R. Size sorting in marine muds: Processes, pitfalls, and prospects for paleoflow-speed proxies // *Geochem. Geophys. Geosyst.* – 2006. – Vol. 7. – No 10. – P. 2–32.
- Poli M.S., Meyers P.A., Thunell R.C., Capodivacca M. Glacial-interglacial variations in sediment organic carbon accumulation and benthic foraminiferal assemblages on the Bermuda Rise (ODP Site 1063) during MIS 13 to 10 // *Paleoceanography*. – 2012. – Vol. 27. – PA3216.
- Shor A., Lonsdale P., Hollister C.D., Spencer D. Charlie-Gibbs fracture zone: bottom-water transport and its geological effects // *Deep-Sea Res.* – 1980. – Vol. 27A. – P. 325–345.
- Skolotnev S., Sanfilippo A., Peyve A. et al. Crustal accretion along the northern Mid-Atlantic Ridge (52°–57°N): preliminary results from expedition V53 of r/v Akademik Sergey Vavilov // *Ofioliti*. – 2023. – Vol. 48. – No. 1. – P. 13–30.

ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Ревенко М.А.^{1,2}, Сырбу Н.С.¹

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

²*Дальневосточный Федеральный Университет, г. Владивосток, mashasharrevenko@gmail.com*

Физико-химическая специфика природных газогидратов такова, что они способны аккумулировать большое количество газа в незначительных объемах и, следовательно, имеют значительный ресурсный потенциал. Однако все оценки ресурсов гидратов природных газов определены приблизительно.

В Японском море газогидраты обнаружены на склонах островов Сахалин, Хонсю и Хоккайдо и в Цусимской котловине. Газогидратоносные перспективные площади закартированы вдоль всего западного склона Японского архипелага и в северо-восточной части Японского моря и контролируются зонами распространения пород смешанного состава (Геология..., 2004). Комплексы пород смешанного состава, видимо за счет своей повышенной пористости и трещиноватости, являются хорошими коллекторами для газогидратов.

Газогидраты Южно-Татарского прогиба.

В северной части Японского моря газогидраты обнаружены в пределах юго-западного склона о. Сахалин в зонах разных сейсмических аномалий, которые закартированы методом непрерывного сейсмопрофилирования (Operation Report..., 2013, 2014, 2015). Впервые газогидраты в северной части Японского моря (Татарский пролив) были открыты в рейсе 59 НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2012 г. на юго-западном верхнем склоне о. Сахалин. В 2013–2015 гг. район распространения газогидратов был расширен. Газовые «факелы» располагались на глубинах моря главным образом в интервале 100–300 м, единичные обнаруживались до глубины 600 м. Газогидраты представлены, как правило, тонкими линзами и прослоями, а также изометричными включениями (Шакиров, 2018). Как было установлено в других районах Мирового океана, оползневые и турбидитные осадочные толщи, распространенные в Южно-Татарском осадочном бассейне, часто являются коллекторами газогидратов

Газогидратоносные осадки в северной части Японского моря (Татарский пролив) представляли слои мощностью до 1 м, причем газогидраты сформированы термогенным метаном со средним изотопным составом углерода около –43 ‰. Источником термогенного метана, вероятно, являются газо- и угленосные толщи с вкладом газов подстилающих отложений (Шакиров и др., 2016).

Газогидратоносная провинция Садо–Окусири.

В северо-восточной части Японского моря газогидраты обнаружены на станции глубоководного бурения 796 в прибрежье о. Хоккайдо (Гинсбург, Соловьев, 1994). Станция расположена на восточном склоне южной части тектонического хребта Окусири, основание склона которого контролируется надвигом (Гинсбург, Соловьев, 1994).

Массивные тела газогидратов открыты у подножия о. Садо в 2004 г. (Matsumoto, Hiromatsu, 2011) в осадочном бассейне Уэцу, приуроченном к неоген-четвертичному прогибу. Осадочный бассейн Уэцу (нефтегазоносный) расположен в восточной части Японского моря и частично охватывает западную часть о. Хонсю. Центральную часть осадочного бассейна составляет впадина Ниигата. Здесь сосредоточено более 90 % запасов нефти и 70 % запасов газа Японии. Газогидраты, открытые японскими учеными в 2004 г. у подножия склона о. Садо в бассейне Уэцу, стали началом открытия серии газогидратных скоплений вдоль

всего западного подножия островов Хонсю и Хоккайдо и наряду с присахалинской провинцией являются на сегодняшний день самым значительным скоплением газогидратов в дальневосточных морях. Здесь обнаружены морфоструктуры 0.3–0.5 км в диаметре и 30–40 м глубиной (покарки), содержащие газогидраты. Глубинным сейсмическим и придонным эхозондированием выявлены структуры газонасыщения – «газовые каналы», или «chimney», в количестве не менее 3000 вдоль восточной окраины Японского моря.

В 2013 г. Япония осуществила первую в мире пробную добычу морского газового гидрата, пробная глубина добычи составила 1006 м (Yamamoto, 2014), пробная добыча продолжалась 6 дней, общий объем природного газа составил $12 \cdot 10^4 \text{ м}^3$, среднесуточная добыча газа составила $2 \cdot 10^4 \text{ м}^3$, совокупная добыча 1245 м^3 (Yamamoto et al., 2014).

Желоб Нанкай в Японском море — одно из самых первых разведанных месторождений газогидратов в мире, расположено на глубине свыше 600 м. Здесь, во впадине Нанкай (находящейся всего в 60 км от берегов Японии параллельно японскому архипелагу с глубиной моря в районе работы судна, равной 950 м), между полуостровом Кий и Сикоку, с 1995 г. по 2000 г. были проведены фундаментальные исследования по поиску гидрата метана.

Цусимский газогидратоносный район.

Газогидраты здесь были открыты (2007 г.) с использованием поршневого трубчатого пробоотборника научной организацией KIGAM. Затем ими было проведено бурение в Цусимской котловине (UBGH) в рамках Корейской национальной программы по исследованию газогидратов (Kang et al., 2009).

Перспективный газогидратоносный район впервые Приморского континентального склона установлен на склоне зал. Посьета (континентальный склон зал. Петра Великого, Японское море) литологическими и газогеохимическими исследованиями (Шакиров и др., 2019). Эти результаты были получены в комплексной геологогеофизической экспедиции на НИС «Академик Опарин» (рейс № 54, 21.09 – 31.10.2017 г., руководитель рейса к.г.-м.н. М.Г. Валитов).

Исследования выполнены в рамках рабочей группы ВЕСТПАК по комплексному изучению газовых гидратов и потоков метана в Индо-Тихоокеанском регионе (CoSGas).

Литература

- Геология и полезные ископаемые шельфов России: Атлас. М.: Науч. мир, 2004. 108 с
- Operation Report of Sakhalin slope gas hydrate Project 2012, RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 59 / Y.K. Jin et al. (Eds) Korea Polar Res. Inst., Incheon, 2013. 163 p.
- Operation Report of Sakhalin slope gas hydrate Project II, 2013, RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 62/ H. Shoji et al. (Eds) New Energy Resources Res. Center, Kitami Inst. of Technology, 2014. 111 p.
- Operation Report of Sakhalin slope gas hydrate Project II, 2014, RV Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 67 / Y.K. Jin et al. (Eds) Korea Polar Res. Inst., Incheon, 2015. 121 p.
- Шакиров Р.Б. Газогеохимические поля морей Восточной Азии. М.: ГЕОС, 2018. 341 с.+1 вкл.
- Шакиров Р.Б., Сырбу Н.С., Обжиров А.И. 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. 2016. № 1. С. 68–81.
- Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. Л.: ВНИИОкеангеология, 1994. 86 с.
- Matsumoto R., Hiromatsu M. Fluid flow and evolution of gas hydrate mounds of Joetsu basin, eastern margin of Japan Sea: constraints from high-resolution geophysical survey by AUV // Proceedings of the 7th Intern. Conf. on Gas Hydrates (ICGH 2011), Edinburgh, Scotland, UK, July 17–21, 2011. <http://www.pet.hw.ac.uk/icgh7/papers/icgh2011Final00468.pdf>

Yamamoto K. Methane hydrate offshore production test in the Eastern Nankai Trough: a milestone on the path to real energy resource. Proceedings of 8th International Conference on Gas Hydrates. Beijing: ICGH8 Organization; 2014.

Yamamoto, K., Terao, Y., Fujii, T., Ikawa, T., Seki, M., Matsuzawa, M., & Kanno, T. Operational overview of the first offshore production test of methane hydrates in the Eastern Nankai Trough. Offshore Technology Conference. 2014. doi:10.4043/25243-ms

Kang D-H, Yoo D.G., Bahk J.J., Ryu B.J., Koo N.H., Kim W.S., Park K.S., Park K.P., Kim J.S. The occurrence patterns of gas hydrates in the Ulleung Basin, East Sea // J. Geol. Soc. Korea. 2009. Vol. 45(2). P. 143–155. (In Korean with Engl. abstr.)

Шакиров Р. Б., Обжиров А. И., Шакирова М. В., Мальцева Е. В. О газогидратах окраинных морей Восточной Азии: закономерности генезиса и распространения (обзор) // Геосистемы переходных зон, 2019, т. 3, № 1, с. 65–106.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АУТИГЕННОЙ КАРБОНАТНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ РАКОВИН ФОРАМИНИФЕР В УСЛОВИЯХ ГОЛОЦЕНОВЫХ МЕТАНОВЫХ ЭМИССИЙ В ОХОТСКОМ МОРЕ

Романова А.В.¹, Плетнев С.П.²

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток,
sandra_ru@bk.ru

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

Открытие огромных скоплений метана в кристаллических газогидратах вечной мерзлоты и осадках океана дает основания полагать, что термобарические условия их образования и сохранности могли нарушаться и вызывать восходящие потоки (эмиссии) освобожденного метана в гидросферу и атмосферу. В настоящее время появляется все больше палеобиогеохимических доказательств, что нормальный ход природного процесса развития Земли неоднократно прерывался резкими климатическими изменениями и многие исследователи связывают эти события с метановыми эмиссиями в прошлом. Хорошим трассером регистрации таких событий служат негативные сдвиги (экскурсы) в изотопной записи соотношения изотопов C^{13} и C^{12} , фиксируемые в раковинах ископаемых фораминифер. В ископаемых раковинах отрицательные значения $\delta^{13}C$ изменчивы и достигают -40 ‰. Существуют различные гипотезы такой высокой вариабельности изотопных данных между живыми и ископаемыми раковинами. Цель данного исследования – выявить причины и механизм избирательного накопления аутигенного метанпроизводного карбоната на раковинах отдельных видов планктонных и бентосных фораминифер из юго-западной части Охотского моря. Выполненная работа включает детальное изучение внутренней и внешней стенок раковин бентосных и планктонных фораминифер с разной степенью обрастания аутигенным карбонатом с помощью световой и сканирующей микроскопии. Энергодисперсионный микроанализ (ЭДС) позволил получить информацию о элементном составе на внутренней и внешней поверхности стенки раковин. Проведен анализ изотопного состава ископаемых раковин (C^{13}/C^{12}). Материалом для исследования послужили раковины бентосных и планктонных фораминифер (0.4-1 мм) из колонки LV 50-05, отобранной на подводном склоне Северо-Восточного Сахалина с глубины 785 м во время рейса на НИС «Академик Лаврентьев» в июне 2010 г. Колонка донных отложений отобрана в зоне активного выхода метана (Плетнев и др, 2020). Были отобраны планктонные *Neogloboquadrina pachyderma*, бентосные *Nonionellina labradorica*, *Uvigerina parvocostata*, *Elphidium batialis*, *Cassidulina sp.* из горизонтов: 20-30 см, 210-215 см, 470-475 см. Раковины фораминифер хорошей сохранности, отобранных в слое 20-30 см подобны раковинам живых фораминифер. Они блестящие, прозрачные, с гладкой поверхностью. «Стекланный» внешний вид делает морфологические особенности, такие как камеры, швы и даже поры уверенно диагностируемыми под стереомикроскопом. На снимках сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) на наружных и внутренних стенках раковин отсутствуют аутигенные зерна и кристаллы, поры открытые, а стенки раковин в поперечном разрезе однородны с четко определенным контуром. По данным ЭДС стенка раковины состоит из низкомагнезиального кальцита (содержание $MgCO_3$ 0.2 wt%); повышенных значений магния не зафиксировано. Значения $\delta^{13}C$ планктонного вида *N. pachyderma* 0.82, бентосных *Nonionellina labradorica* -0.86, *Uvigerina parvocostata* -1.42, *Elphidium batialis* -2.53, *Cassidulina spp* -1.04. В слое 210-215 см раковины характеризуются промежуточной степенью обрастания, отмечаются умеренные диагенетическими изменения характерного белого или желтого цвета под

стереомикроскопом. Поверхность стенки раковин шероховатые, менее прозрачные и гладкие по сравнению с раковинами из слоя 20-30 см. Раковины *N. labradorica* покрыта МДАК в большей степени. Результаты ЭДС показывают неравномерное покрытие кальцитом с повышенным содержанием магния на внутренней и внешней стенке. Нарост аутигенного карбоната кальция имеет «морозоподобную» структуру на стенках раковин. На внешней стенке раковин диагностируется начало нарастания вторичного кальцита в областях пор. Микроморфологические признаки (резко очерченные швы и поры) слабо диагностируются, а стенки раковин в поперечном сечении остаются однородными. Значения $\delta^{13}\text{C}$ планктонного вида *N. pachyderma* -12.63, бентосных *Nonionellina labradorica* -22.93, *Uvigerina parvocostata* -1.34, *Elphidium batialis* -3.24, *Cassidulina sp.* - 5.80. Для раковин, слоя 470-475 см, характерно увеличение степени обрастания внешних и внутренних стенок аутигенным карбонатом. В стереомикроскопе раковины, подвергшиеся интенсивным диагенетическим изменениям имеют характерный цвет от желтого до темно-коричневого. Встречаются раковины темно-серые с черными точечными вкраплениями. Исследования СЭМ-ЭДС выявили, что кристаллы кальцита с высоким содержанием магния покрывают внешние и внутренние стенки, образуя сплошную корку. Слой аутигенного карбоната на внутренней стенке раковин вида *N. labradorica* отличается большей мощностью, чем у других видов. Кальцит с высоким содержанием магния полностью закупоривает поры. Раковины планктонного вида *N. pachyderma* полностью теряют морфологические признаки, устье обрастает полностью, поры и камеры не идентифицируются. Раковины *N. pachyderma* и *N. labradorica* характеризуются максимальной степенью обрастания. Внешняя аутигенная корка их раковины содержит различные инородные микрообъекты (кремнитстые створки диатомей и др.), что вероятно будет влиять на результаты геохимических анализов. На внутренней стенке раковин всех изученных видов диагностируются железосульфидные включения. Значения $\delta^{13}\text{C}$ планктонного вида *N. pachyderma* -24.81, бентосных *Nonionellina labradorica* -23.70, *Uvigerina parvocostata* -5.98, *Elphidium batialis* -10.96.

С помощью геохимии стабильных изотопов $\delta^{13}\text{C}$, оптической и сканирующей электронной микроскопии получены результаты изменения характера признаков аутигенной карбонатной минерализации раковин различных видов фораминифер в зависимости от интенсивности влияния метановых просачиваний, что отражается на морфологических изменениях структуры стенки раковин фораминифер, а также их изотопном составе. Проведенные исследования позволяют разработать региональные актуалистические критерии для оценки воздействия метановых потоков на морфологическое строение и геохимический состав ископаемых раковин. Понимание специфических диагенетических режимов областей морских метановых дегазаций, влияющих на сообщество фораминифер и состав аутигенных минералов, послужит основой для выработки критериев реконструкции подобных геологических процессов в древних осадочных бассейнах.

Литература

Плетнев С.П., Ву Ю., Романова А.В., Аннин В.К., Уткин И.В., Верещагина О.Ф. Негативные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ раковин бентосных фораминифер: голоценовая история метановых событий в центральной части Охотского моря // Геология и геофизика. - 2020. Т. 61. №4. С. 527-545.

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ МЕТАН-ПРОИЗВОДНЫХ КАРБОНАТОВ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Рубан А.С.

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

Метан-производные карбонаты представляют собой уникальные архивы данных, позволяющих реконструировать биогеохимические условия карбонатообразования, оценивать временные изменения состава и интенсивности просачивания флюида, а также выявлять источники углекислоты. Это становится возможным благодаря тому, что карбонаты способны наследовать изотопный состав «материнского» углерода, а также захватывать различные редокс-чувствительные элементы (Hood, Wallace, 2018; Smrzka et al., 2021; Zhou et al., 2016). Ранние исследования морских карбонатов были сосредоточены в основном на исследовании содержания магния, стронция, железа и марганца, однако анализ микроэлементного состава предоставляет более ценную информацию о формировании карбонатной минерализации в условиях просачивания углеводородсодержащих флюидов.

Изученные карбонатные образования были отобраны в западной части континентального склона моря Лаптевых. Изотопный состав углерода и кислорода в карбонатах определялся на масс-спектрометре Delta V Plus (Thermo Fisher Scientific). Концентрации микроэлементов измерялись методом масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) с использованием прибора ELAN DRC-e. Валовой минералогический состав аутигенных карбонатов изучался с помощью рентгеновского дифрактометра Bruker D2 Phase.

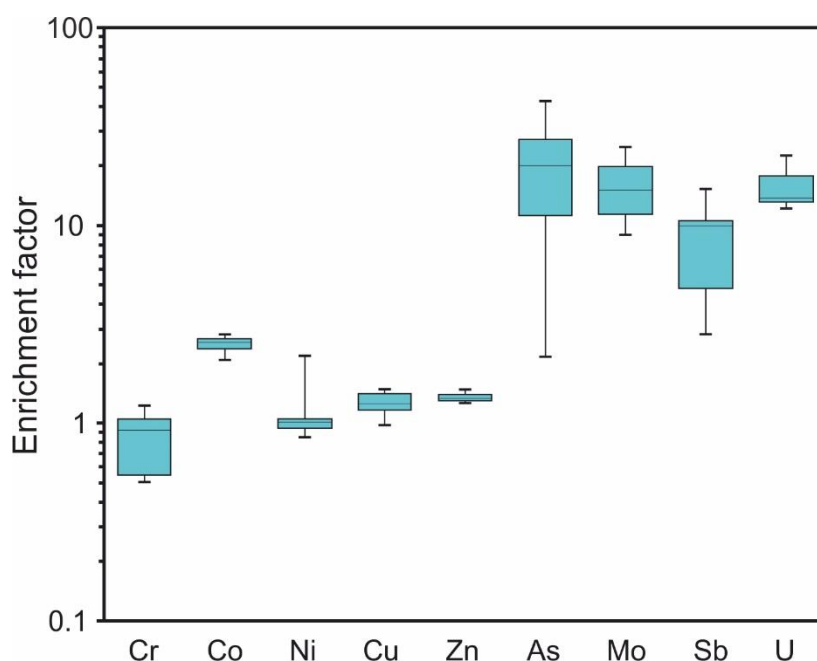


Рисунок – Диаграмма размаха, демонстрирующая разброс значений факторов обогащения некоторых микроэлементов в изученных карбонатах

Изученные карбонаты представлены изометричными корками, сферическими или эллиптическими конкрециями и вытянутыми цилиндрическими стяжениями размером до 10 см в диаметре. Согласно данным рентгенодифракционного анализа, суммарное содержание карбонатных минералов, представленных главным образом Mg-кальцитом, а также доломитом и кутногорит, варьирует в пределах от 32,8 % до 52,1 %. Обломочная фракция

представлена кварцем, полевыми шпатами, глинистыми минералами, амфиболами, пироксенами.

Низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ изученных карбонатов (от 50,6 до 32,4‰) свидетельствуют о том, что их формирование происходило в результате анаэробного окисления метана. Полученные значения $\delta^{13}\text{C}$ можно разделить на две группы: 1-я группа со значениями $\delta^{13}\text{C}$ от –35,8 до –32,4‰ и 2-я группа со значениями $\delta^{13}\text{C}$ от –50,6 до –41,9‰. Резко отрицательные значения $\delta^{13}\text{C}$ карбонатов 2-й группы указывают на то, что источником углерода является биогенный метан, тогда как значения $\delta^{13}\text{C}$ 1-й группы, вероятно, свидетельствуют о смешении биогенного метана с углеродом из других источников, наиболее вероятным из которых является термогенный метан. Сейсмические данные демонстрируют наличие многочисленных акустических аномалий с признаками газонасыщенности и горизонта BSR в отложениях континентального склона моря Лаптевых (Bogoyavlensky et al., 2022), что в совокупности с изотопным составом карбонатного углерода и кислорода может свидетельствовать о наличии газовых гидратов метана в осадочном чехле континентального склона моря Лаптевых

Карбонаты демонстрируют слабое обогащение кобальтом (Co), умеренное и сильное обогащение мышьяком (As), молибденом (Mo) и сурьмой (Sb) и сильное обогащение ураном (U). Интересно, что обогащение As превышает обогащение Mo, а отношение $(\text{Mo}/\text{U})_{\text{EF}}$ варьирует от 0,6 до 1,8 и указывает на близкую степень обогащения Mo и U. As, Sb и Co коррелируют с содержанием пирита, что указывает на роль сульфидов железа в накоплении некоторых редокс-чувствительных микроэлементов. Существует две гипотезы, объясняющие обогащение осадков и карбонатов метановых сипов такими микроэлементами, как Mo, As, Sb: (1) оксигидроксиды железа (Fe) и марганца (Mn) сорбирует микроэлементы из морской воды и осаждаются с их последующими захоронением («particle shuttle effect»; Tribovillard et al., 2013); (2) углеводородсодержащие флюиды способствуют восходящей миграции микроэлементов из более глубоких осадочных горизонтов (Cangemi et al., 2010). Однако первая гипотеза не может объяснить сильное обогащение карбонатов ураном. Таким образом, (i) обогащение U и Co, (ii) низкие значения $(\text{Mo}/\text{U})_{\text{EF}}$ и (iii) отсутствие корреляций между железом, марганцем и Mo, As, Sb указывают на то, что восходящие метаносодержащие флюиды играли решающую роль в обогащении изученных карбонатов As, Mo, Sb, U, Co. Однако дополнительный вклад от «челночного» переноса оксигидроксидами Fe и Mn нельзя исключать.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0010).

Литература

- Bogoyavlensky, V., Kishankov, A., Kazanin, A., Kazanin, G. Distribution of permafrost and gas hydrates in relation to intensive gas emission in the central part of the Laptev Sea (Russian Arctic). *Marine and Petroleum Geology*. 2022. 138, 105527.
- Cangemi, M., Di Leonardo, R., Bellanca, A., Cundy, A., Neri, R., Angelone, M. Geochemistry and mineralogy of sediments and authigenic carbonates from the Malta Plateau, Strait of Sicily (Central Mediterranean): Relationships with mud/fluid release from a mud volcano system. *Chemical Geology*. 2010. 276, 294–308.
- Hood A. van S., Wallace M.W. Neoproterozoic marine carbonates and their paleoceanographic significance // *Global and Planetary Change*. 2018. 160. P. 28–45.
- Smrzka D., Zwicker J., Lu Y., Sun Y., Feng D., Monien P., Bohrmann G., Peckmann J. Trace element distribution in methane-seep carbonates: The role of mineralogy and dissolved sulfide // *Chemical Geology*. 2021. 580. P. 120357.
- Tribovillard, N., du Châtelet, E.A., Gay, A., Barbecot, F., Sansjofre, P., Potdevin, J.L.. Geochemistry of cold seepage-impacted sediments: Per-ascensum or perdescensum trace metal enrichment? *Chemical Geology*. 2013. 340, 1–12.

Zhou C., Guan C., Cui H., Ouyang Q., Wang W. Methane-derived authigenic carbonate from the lower Doushantuo Formation of South China: Implications for seawater sulfate concentration and global carbon cycle in the early Ediacaran ocean // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2016. 461. P. 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.08.017>

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН БЮДЖЕТНЫМИ СЕЙСМОСТАНЦИЯМИ

Рябинкин К.С.^{1,2}, Пупатенко В.В.²

¹*Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, kostya-rowan@mail.ru*

²*Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск, pvv2.dv@gmail.com*

Сведения о сейсмичности используются как исходные данные для различных тектонических, геофизических и геодинамических построений. В практическом аспекте они могут использоваться также в задачах оценки активности разломов и сейсмической опасности территории.

В настоящее время стационарная сеть сейсмостанций в Приамурье и Приморье обеспечивают возможность надёжной регистрации на прибрежных территориях землетрясений лишь с магнитудой, превышающей значение порядка 2.5 (Сафонов и др., 2019). Расширение сети стационарных сейсмических станций затруднено высокой стоимостью оборудования и не менее высокими затратами на создание, обустройство и обслуживание полноценных пунктов наблюдения.

Одним из возможных решений задачи расширения сейсмической сети и кратного увеличения её возможностей может стать использование бюджетных сейсмостанций. Такая сейсмостанция разработана в ИТиГ ДВО РАН в 2021 г. В качестве датчиков использованы геофоны GS-One с собственной частотой 4,5 Гц. Регистратор построен на платформе Ардуино, оснащён 24-битным АЦП. Решается вопрос передачи данных через Интернет. В литературе неоднократно рассматривались возможность и особенности использования низкочастотных геофонов для сейсмического мониторинга (Navskov, Alguacil, 2010). Выбранная конфигурация позволила при себестоимости компонентов и датчиков порядка 30 тыс. рублей добиться уровня помех лишь на 15–30 дБ выше модели низкого шума NLNM для диапазона частот 2–40 Гц. Таким образом, разработанные бюджетные сейсмостанции могут использоваться наравне с обычными короткопериодными сейсмометрами в местах с относительно высоким уровнем микросейсмического шума, в том числе, в прибрежных регионах.

К настоящему времени собранные прототипы бюджетных сейсмостанций работают в г. Хабаровске и на геофизическом полигоне ТОИ ДВО РАН «Мыс Шульца» (п-ов Гамова, Приморский край). Обслуживание последней проводится совместно с ТОИ ДВО РАН. Выполнено сравнение работы прототипа с оборудованием на сейсмостанции г. Хабаровска, обслуживаемой ЕГС РАН, подтверждены характеристики датчиков и АЦП, заявленные их производителями. Сейсмостанцией на полигоне «Мыс Шульца» зарегистрированы десятки землетрясений на локальных и региональных расстояниях.

Организация сети разработанных бюджетных сейсмостанций не потребует больших финансовых затрат, но позволит развить сейсмологический мониторинг прибрежных территорий Приамурья и Приморья, обеспечив фактический материал для решения различных задач сейсмологии и геодинамики.

Литература

Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Коваленко Н.С. Сейсмичность региона Приамурье и Приморье. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2019. 104 с.

Navskov J., Alguacil G. Instrumentation in Earthquake Seismology. Netherlands: Springer, 2010. 365 p.

ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ В ИНДИЙСКОМ ОКЕАНЕ

Савельева Е.Э.^{1,2}, Сырбу Н.С.¹

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

²*Дальневосточный Федеральный Университет, г. Владивосток
eva89146517052@yandex.ru*

Внимание всего мира к энергетическим потребностям будущего привлекают газовые гидраты из-за их высокой плотности энергии, чистоты (низкий уровень выбросов углерода) и огромного количества ресурсов. Газовые гидраты становятся потенциальным топливным ресурсом и многообещающей альтернативной формой энергии на ближайшие десятилетия.

Разведка газогидратов в Индийском океане осуществляется под эгидой Национальной программы по газогидратам (NGHP), которая представляет собой сообщество нефтегазовых компаний и научно-исследовательских институтов, возглавляемых Министерством нефти и природного газа Индии. На сегодняшний день в индийских морских бассейнах были проведены две экспедиции (NGHP-01 и 02).

Программа Индии по добыче газогидратов 01 началась в 1997 году ученые пересмотрели существующий набор геофизических, геологических, геохимических и микробиологических данных с целью оценки ресурсного потенциала газогидратов на индийском шельфе с последующей разработкой технологии безопасной добычи газа из газогидратов. Тщательно изучив более 50000 линейных километров одноканальных сейсмических записей, удалось обнаружить вероятные местоположения газовых гидратов на обеих окраинах Индии (Kastner et al., 1998). В 2006 году были проведены повторные исследования. Батиметрия, температура морского дна, содержание общего органического углерода, толщина осадочных пород, скорость осаждения, геотермальный градиент вновь указали на хорошие перспективы газогидратов вдоль индийской окраины (Sain et al, 2012). В газовых гидратах в пределах индийской исключительной экономической зоны прогнозируется ~1900 триллионов кубических метров метана (Collet et al., 2008). Этот объем газа более чем в 1500 раз превышает нынешние запасы природного газа в Индии.

Крупные высокообогащенные залежи газовых гидратов были обнаружены в Бенгальском заливе Индийского океана, в нефтегазоносном бассейне Кришна-Годавари. Открытие сделано в рамках программы «Газогидраты Индии» с участием ученых Индии и Японии при содействии Геологической службы США. Это первое открытие потенциально продуктивного скопления газогидратов в Индийском океане. Оно приурочено к отложениям крупнозернистых песчаников, типу породы, которая облегчает технику извлечения газа из газогидратных залежей.

Бассейн Кришна-Годавари является крупным газодобывающим бассейном, расположенным вдоль восточного побережья Индии и включающим дельтовые и меж дельтовые районы рек Кришна и Годавари. Отбор керна во время экспедиции NGHP-01 подтверждает наличие подповерхностных залежей газогидрата в бассейне, которые могут быть связаны с глубинными источниками метана. Газогидрат в богатых глиной мелкозернистых отложениях бассейна распределен в виде вкраплений, заполняющих поры, вытесняющих зерна в виде массивных жильных структур или в сочетании того и другого. По предварительным оценкам, общий ресурс газогидратов в разведанном районе шельфа Кришна-Годавари составляет 13.7 трлн. куб. футов (Gaurav, Yadav, 2021). Полевые и лабораторные исследования указывают на наличие заполняющего поры и трещины газогидрата

с насыщенностью до 80% в более крупных отложениях (в основном песке). Также измерения давления в керне показывают, что максимальная концентрация газогидрата составляет около 85% на участках NGHP-02-17, -19 и -22 (Yadav et al., 2019)

В Адаманском бассейне во время экспедиции NGHP-01, был обнаружен газогидрат, распределенный в слое вулканического пепла (Collett et al., 2008). Данные бурения и каротажа также подтвердили наличие залежей гидратов слоя толщиной 30 м на глубине 1895 м. Насыщенность гидратом ~ 30%. Средняя насыщенность газогидратами в Адаманском бассейне составляет всего 5% от, общее количество газа, захваченного в виде, составляет около 1570 кубических метра (Shankar, Riedel, 2013).

По сравнению с другими бассейнами, в MN было проведено гораздо меньше работ, поскольку пробуренные скважины, керны и каротажные записи в этом бассейне показывают меньшую концентрацию газогидрата. Анализ каротажных записей скважин, измерения давления в керне и экспедиции NGHP-01 показывают, что газогидрат существует в виде рассеянного в мелкозернистых отложениях. Результаты геофизических исследований, указывают на то, что большая территория в бассейне богата газогидратами насыщенность меньше 20%. (Ojha, Ghosh, 2021).

Исследования выполнены в рамках рабочей группы ВЕСТПАК по комплексному изучению газовых гидратов и потоков метана в Индо-Тихоокеанском регионе (CoSGas).

Литература

- Collett et al. NGHP Expedition 01, Initial Reports of hydrocarbons, 2008.G.S. Roonwal. Seabed sulphides, gas hydrates, and hydrocarbon resources in the Andaman Sea, North-East Indian Ocean, 2009.
- Gaurav Dixit, Udham Singh Yadav. Challenges and Opportunities in Exploitation of Gas Hydrate Resources in Krishna Godavari Offshore Basin of India, 2021.
- Sain K., Ojha M., Satyavani N., Ramadass G.A., Ramprasad T., Das S., Gupta H. (2012). Gas-hydrates in Krishna-Godavari and Mahanadi Basins: New data. Journal of the Geological Society of India. 79. 10.1007/s12594-012-0094-z.
- Sain K., Ojha M. Gas-hydrates in Krishna-Godavari and Mahanadi Basins: New data, 2012.
- Sain K., Gupta H. (2012) Gas hydrates in India: Potential and Development. Gondwana Res., in press, doi:10.1016/j.gr.2012.01.007.
- Kastner, M., Kvenvolden, K. A. and Lorenson, T. D. Chemistry, isotopic composition and origin of a methane-hydrogen sulfide hydrate at the Cascadia subduction zone, 1998.
- Ojha M., Ghosh R. Gas Hydrate Potential Along The Eastern Continental Margin of India, 2021.
- Pawan Dewangan, T. Ramprasad. Gas Hydrate in the Krishna-Godavari Basin, India, 2009.
- Saad Bin Neyaz. Gas Hydrates in India - Origin, Distribution and Economic Potential, 2019.
- Shankar, U., Riedel, M. Heat flow and gas hydrate saturation estimates from Andaman Sea, 2013.
- Yadav, U. S., Shukla, K. M., Ojha, M., Kumar, P. and Shankar, U. Assessment of gas hydrate accumulations using velocities derived from vertical seismic profiles and acoustic log data in Krishna-Godavari Basin, 2019.

ПЕРВИЧНОЕ СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧУКОТСКОЙ КОТЛОВИНЫ ЧУКОТСКОГО МОРЯ

Селютин С.А., Колесник А.Н.

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

Выполнен анализ 25 кернов осадков, отобранных в Центрально-Чукотской котловине (впадине) Чукотского моря (рис.). Анализ носил предварительный характер, основывался главным образом на данных о текстуре, цвете, химическом составе осадков и выполнялся с целью аргументированного подбора материала для дальнейших детальных (микропалеонтологических, минералогических и др.) исследований.

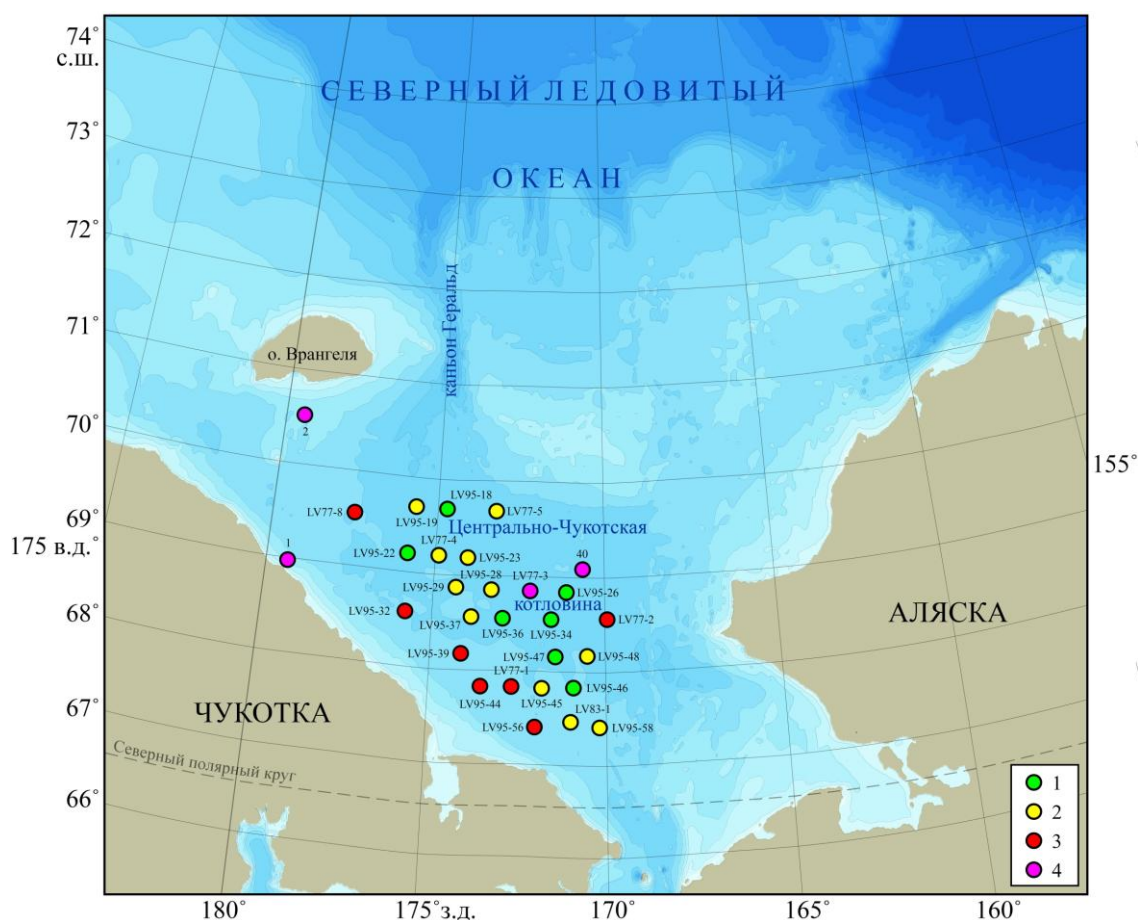


Рисунок – Карта Чукотского моря со станциями пробоотбора

1–3 – керны осадков, отобранные в рейсах НИС «Академик М.А. Лаврентьев» 2016–2021 гг. и проанализированные в рамках настоящего исследования на предмет перспективности для дальнейших детальных исследований: 1 – перспективные; 2 – малоперспективные; 3 – неперспективные; 4 – сопоставительные керны: 40 (Саидова, 1994); 1, 2 (Гусев и др., 2009); LV77-3 (Astakhov et al., 2020)

Текстура и цвет осадков фиксировались в экспедиционных условиях с помощью колориметрической установки на базе фотоаппарата Canon EOS 6d Mark с объективом Canon EF 50mm f/1.2L USM (Япония) (Колесник, Босин, 2021) в соответствии с международными стандартами (ISO 3664:2009; ISO 3668:2017). Информация о цвете записывалась в координатах CIE 1976 L*a*b*. Химический состав определялся методом рентгенофлуоресцентного сканирования с помощью спектрометра Olympus Vanta (США) (Гуленко и др., 2020). На заключительном

этапе работы по подбору перспективного для исследований материала предпринимались попытки привязать проанализированные керны к датированным и в целом подробно изученным кернам осадков Чукотского моря (Саидова, 1994; Гусев и др., 2009; Astakhov et al., 2020).

В итоге выделено три группы кернов с разной степенью пригодности для детальных исследований (рис.). Перспективным оказался материал из центральной части Центрально-Чукотской котловины. Здесь имеет место преимущественное накопление осадков разной зернистости со скоростью 5–50 см в 1000 лет при мощности голоценовых отложений 5 м и более (Куликов и др., 1970; Павлидис, 1982). Распределение колориметрических и геохимических характеристик в перспективном материале носит закономерный характер и хорошо соотносится с картиной, наблюдаемой в сопоставительных кернах. В частности, в перспективном материале отчетливо прослеживаются основные периоды (временные интервалы от среднего голоцена до настоящего времени), выделенные при палеорекострукции ледяного покрова Чукотского моря и связанные главным образом с интенсивностью поступления в бассейн теплых тихоокеанских вод через Берингов пролив и их смешением с холодными водами Сибирского прибрежного течения (Stein et al., 2017; Astakhov et al., 2020).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 21-17-00081).

Литература

Гуленко Т.А., Волков В.Г., Лопатников Е.А. Сканирующее устройство экспресс анализа кернов. Патент на полезную модель RU 197194 U1, 10.04.2020. Заявка № 2020101560 от 15.01.2020.

Гусев Е.А., Андреева И.А., Аникина Н.Ю., Бондаренко С.А., Деревянко Л.Г., Ключиткина Т.С., Поляк Л.В., Полякова Е.И., Попов В.В., Степанова А.Ю. Стратиграфия позднекайнозойских осадков Чукотского моря по результатам неглубокого бурения // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. 1. М.: ГЕОС, 2009. С. 89–103.

Колесник А.Н., Босин А.А. Мобильное устройство для определения цветовых характеристик горных пород. Патент на изобретение RU 2741268 С1, 22.01.2021. Заявка № 2020115938 от 20.04.2020.

Куликов Н.Н., Лапина Н.Н., Семенов Ю.П., Белов Н.А., Спиридонов М.А. Стратификация и скорости накопления донных отложений Арктических морей СССР // Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. Л.: Гидрометеиздат, 1970. С. 34–41.

Павлидис Ю.А. Обстановка осадконакопления в Чукотском море и фациально-седиментационные зоны его шельфа // Проблемы геоморфологии, литологии и литодинамики шельфа. М.: Наука, 1982. С. 47–76.

Саидова Х.М. Экология шельфовых сообществ фораминифер и палеосреда голоцена Берингова и Чукотского морей. М.: Наука, 1994. 94 с.

Astakhov A.S., Shi Suefa, Darin A.V., Kalugin I.A., Hu Limin, Tsoy I.B., Kolesnik A.N., Obrezkova M.S., Alatortsev A.V., Babich V.V., Plotnikov V.V. Reconstructing ice conditions in the southern Chukchi Sea during the last millennium based on chemical composition of sediments and diatom assemblages // Marine Geology. 2020. V. 427. № 106220.

ISO 3664:2009 Graphic technology and photography – Viewing conditions. 34 p.

ISO 3668:2017 Paints and varnishes – Visual comparison of colour of paints. 8 p.

Stein R., Fahl K., Schade I., Manerung A., Wassmuth S., Niessen F., Nam S.-I. Holocene variability in sea ice cover, primary production, and Pacific-Water inflow and climate change in the Chukchi and East Siberian Seas (Arctic Ocean) // Journal of Quaternary Science. 2017. V. 32. № 3. P. 362–379.

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА САХАЛИНА

Сигеев И.А., Прошкина З.Н.

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

6 февраля 2023 года с интервалом в девять часов на юго-востоке Турции произошли два мощных землетрясения. Эпицентр первого, с магнитудой 7,8 ($\pm 0,1$), находился в районе Шехиткамилль в Газиантепе (Турция), эпицентр второго, с магнитудой 7,5 ($\pm 0,1$), — в районе Экинёзю в Кахраманмараше (Турция).

Данные события были началом повышенной сейсмической активности по всему Земному шару, а так же поводом задуматься о том, готовы ли населенные пункты в сейсмически активных зонах Дальнего востока к подобным событиям. Одной из подобных зон является остров Сахалин, расположенный в зоне активных литосферных процессов, способных вызывать землетрясения в земной коре и в более глубоких горизонтах планеты.

Целью данной работы является изучение глубинного строения сейсмически опасного района и выявления закономерности расположения очагов землетрясений в пределах западного шельфа Сахалина. Данные по сейсмичности акватории Татарского пролива и оконтуривающей суши за последние 100 лет были взяты из электронного каталога National Earthquake Information Center Геологической службы США (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>). Эпицентры землетрясений были наложены на карту местности, а проекции гипоцентров были вынесены на профиль ГСЗ (ПР-18) (Глубинное... ,1971), простирающийся с юга на север вдоль западного побережья острова Сахалин. Итог данной работы представлен ниже.

На карте видно множество зафиксированных землетрясений, в том числе три крупных:

- Невельское землетрясение 2 августа 2007 г., $M=6,2$; $H=5$ км. Ярким геодинамическим эффектом стал подъем морского дна и прибрежной территории на 0,5–1,5 м (Левин, 2009).

- Монеронское землетрясение 5 сентября 1971 г., $M=7,3$; $H=18$ км.

- Углегорское землетрясение 5 августа 2000 г., $M=6,8$, $H=10$ км;

Первые два сейсмических события связаны с глубинным разломом, разделяющим вулканические блоки Пионерского и Монеронского поднятий. Глубина гипоцентров указанных землетрясений совпадает с направлением погружения разлома от Пионерского блока в сторону Монеронского с образованием роя землетрясений (Рисунок б).

Как видно на рисунке, к мысу Ламанон от континентального склона протягивается зона глубокофокусных землетрясений, которая накладывается на коровые землетрясения в районе г. Углегорска. Нарушение горизонтальной слоистости на сейсмическом разрезе (Рисунок б) в районе м. Ламанон может свидетельствовать о коллизионных процессах между крупными литосферными блоками Охотоморским и Евразийским.

Наряду с сейсмически активными областями на западном шельфе Сахалина отмечается участок, где сейсмические события отсутствуют. Этот участок приурочен к Красногорско-Ильинскому поднятию и примыкающей к нему с востока островной суше, представленной самым узким местом Сахалина – перешейком Поясок. На разрезе её можно наблюдать в зоне между отметками 200 и 300 км, где наблюдается нарушение выдержанности слоёв. Можно предположить, что здесь существует напряжение в земной коре, впоследствии способное привести к мощному землетрясению. Изучение глубинного строения

помогло бы понять является ли этот блок асейсмичным, либо в нем длительное время накапливаются напряжения, а так же уточнить механизмы и источники разрушительных событий на западном шельфе Сахалина.

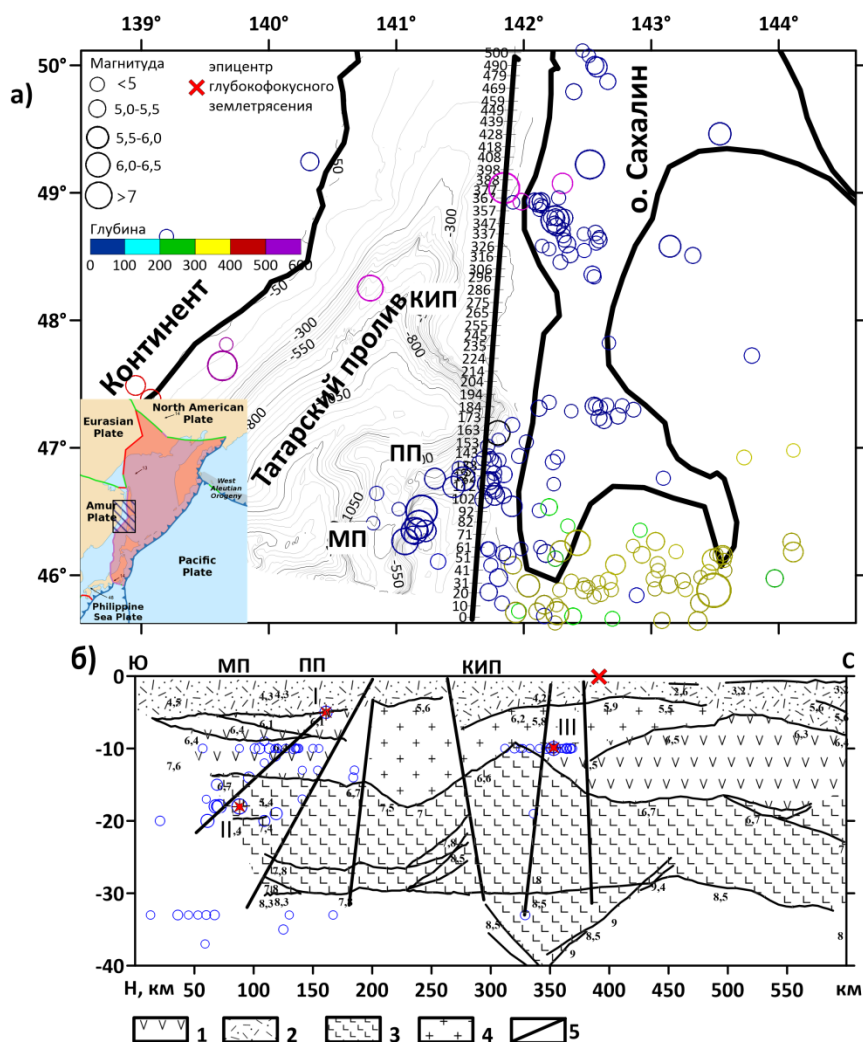


Рисунок – а) Карта района исследования и положение профиля ГСЗ совместно с сейсмичностью за период 1920 по 2020 гг, б) Разрез по профилю ГСЗ с вынесенными гипоцентрами землетрясений. I – Невельское землетрясение 2007 г. II – Монеронское землетрясение 1971 г. III – Углегорское землетрясение 2000 г. 1- вулканогенные породы, 2 – вулканогенно-осадочные породы, 3- базальтовые породы, 4 – гранитные породы, 5 – предполагаемые разломы. МП – Монероское поднятие, ПП – Пионерское поднятие, КИП- Красногорско-Ильинское поднятие. На врезке обозначение района работ.

Литература

Глубинное сейсмическое зондирование земной коры Сахалино-Хоккайдо-Приморской зоны / Ред. С.М. Зверев, Ю.В. Тулина. М.: Наука, 1971. 285 с.

Левин Б.В. Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 года, о. Сахалин. М.: Янус-К, 2009. 204 с.

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ О. ПАРАМУШИР, АПРЕЛЬ-МАЙ 2021 Г.

Телегин Ю.А., Окулов А.К., Бовсун М.А., Канталин В.А.

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

Основная цель работы – выявление газогеохимических особенностей исследуемого района в системе дно-вода-атмосфера, установление факторов, влияющих на распределение газов и определение потенциальных источников образования фоновых и аномальных полей концентраций.

В результате работы выполнено газогеохимическое опробование кернов и водной толщи на акватории припарамуширского района Охотского моря, а также попутные измерения в поверхностном слое воды и придном слое атмосферы. Существенно расширены газогеохимические исследования данного района, получены новые данные по распределению углеводородных газов, выполнено литологическое описание кернов. Газонасыщенные осадки характеризуются неоднородным составом, присутствием запаха сероводорода. Обнаружены аномальные концентрации углеводородных газов в донных отложениях и метана в водной толще. Выявленные аномалии в донных отложениях приурочены к геологическим структурам, а данные, полученные для водной толщи, указывают на изменения концентрации углеводородов в динамике, маркируют пути разгрузки газа из донных отложений в водную толщу, а также возможную вулканическую деятельность.

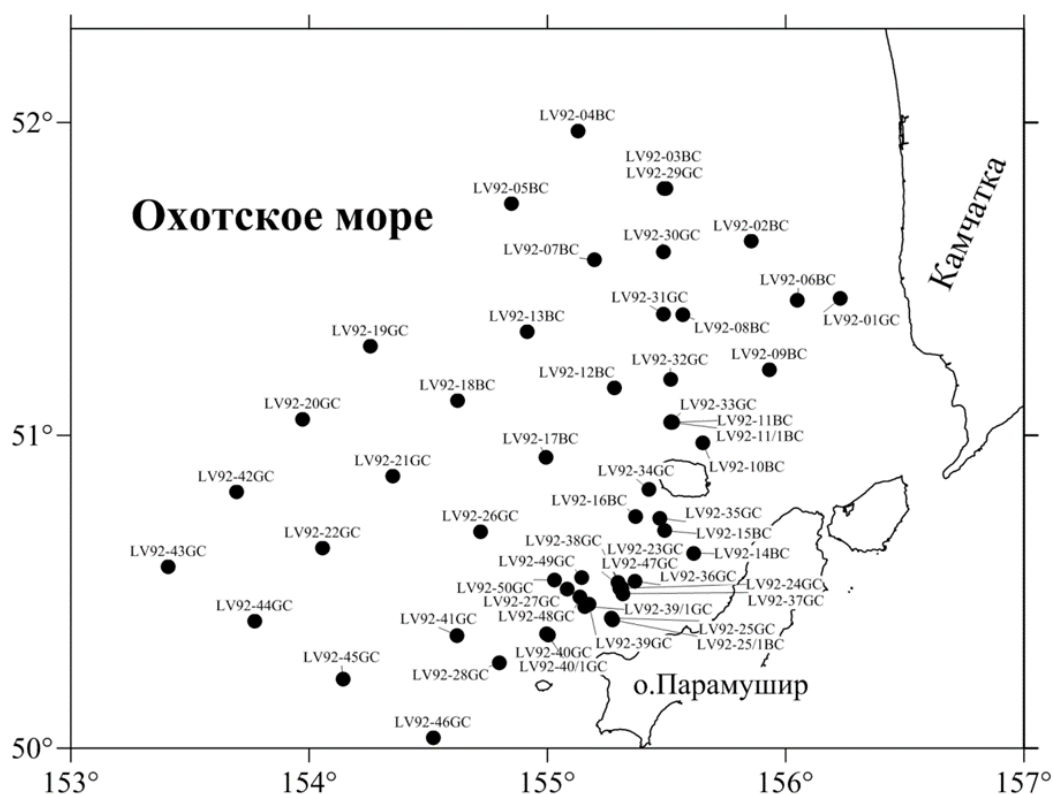


Рисунок – Расположение станций газогеохимического опробования донных отложений

Работа выполнена в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН «Исследование и мониторинг климатически активных веществ, явлений и процессов в дальневосточных морях и их прибрежных зонах» (рег. номер 122110700009-1).

ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАНА В РИНГАХ ЮЖНОГО АТЛАНТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ

Холмогоров А.О.¹, Савельева Е.Э.², Рогожина Е.А.², Ревенко М.А.²

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, *kholmogorov.ao@poi.dvo.ru*

²Дальневосточный Федеральный Университет, г. Владивосток

В настоящее время дискуссия о роли метана как наиболее чувствительного индикатора процессов изменения климата остается одной из наиболее обсуждаемых тем в науках об океане. Информация о количестве поступающего в атмосферу метана крайне противоречива. Рассматриваются модели от незначительных выбросов до взрывоопасных выбросов, ведущих к глобальной катастрофе. Данные, касающиеся динамики потока метана, ограничены, и мало что известно о факторах, контролирующих его

Газогеохимическая съемка позволяет оценить изменчивость содержания метана в морской воде по горизонтам, выявить источники поступления газов и оценить их характер, а также получить информацию для дальнейшей оценки связи фоновых и аномальных газогеохимических полей с геологической и экологической обстановкой. Обнаруженная в 87 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (АМК87) в январе 2022г. в открытом океане в рингах Южного Атлантического течения в слое 50-200м локальная область повышенных концентраций метана (10-12 нМ/л) с горизонтальным масштабом 100км превышает средние значения растворенного метана для Атлантики (5.7 нМ/л) более, чем в два раза. Полученные результаты распределения метана позволяют по-новому оценить роль течений в глобальном переносе метана.

Отбор проб воды производился двумя способами: насосом из носового кингстона (уровень забора воды 4 м от поверхности моря) на ходу судна, а также на станциях батометрами на отдельных горизонтах от 2 до 500м. Концентрация метана в пробах определялась методом «HeadSpace» (Vereshchagina et al., 2013), анализ проводился на газовом хроматографе «Кристалл Люкс 4000». Расчет концентраций метана, растворенного в морской воде, производился по методике (Yamamoto et al., 1976) в модификации (Wiesenburg, Guinasso, 1979). Общее количество проб составило 418шт.

Применение комплексного подхода к рассмотрению вопроса переноса метана на стыке газогеохимии и океанологии (Kholmogorov et al., 2023; Morozov et al., 2022) показало определяющую роль течений при переносе растворенного метана от его источников, по данным экспедиционных исследований и в сравнении результатами моделирования происхождения различных водных масс.

Среднее значение концентрации метана в приповерхностном слое (горизонт 4м) в районе рассматриваемой вихревой пары составило 6.5 нМ/л, что выше среднего значений по Атлантическому океану 5.7 нМ/л, - согласно исследованиям в рейсе АМК87. Сопоставление полученных газогеохимических результатами моделирования происхождения различных водных масс (Morozov et al., 2022) четко показывает, что повышенные концентрации метана 6.5-7.6 нМ/л содержатся в водах северного происхождения, тогда как южные теплые воды характеризуются меньшими значениями концентрации метана – 4.4-6.4 нМ/л. При этом в области слияния северных и южных вод наблюдается локальный максимум метана 7.6 нМ/л.

В вихревой паре повышенные концентрации метана обнаружены на внешних краях изучаемой области (Рис.) на горизонтах 0-100м: в южном ринге максимальные концентрации метана 4.67нМ/л обнаружены на горизонте 15м в

районе 43.5°W, в северном ринге максимальные концентрации метана 6.78нМ/л обнаружены на горизонте 70м в районе 46°W. Абсолютный максимум метана 12.91 нМ/л выявлен на границе между вихрями на горизонте 100м, в центрах вихрей показатель концентрации метана (4 нМ/л) ниже среднего значения по Атлантическому океану.

На основе метода Лагранжевого анализа с интегрированием назад по времени в работе (Morozov et al., 2022) показано, что южные воды принесены в район рассматриваемых вихрей с шельфа Аргентины и Мальвинского бассейна, тогда как северные воды принесены с шельфа Бразилии. В этих районах существуют придонные источники метана (Anka et al., 2014; Baristeas et al., 2012; Kostadinoff, 2001; Mahiques et al., 2017).

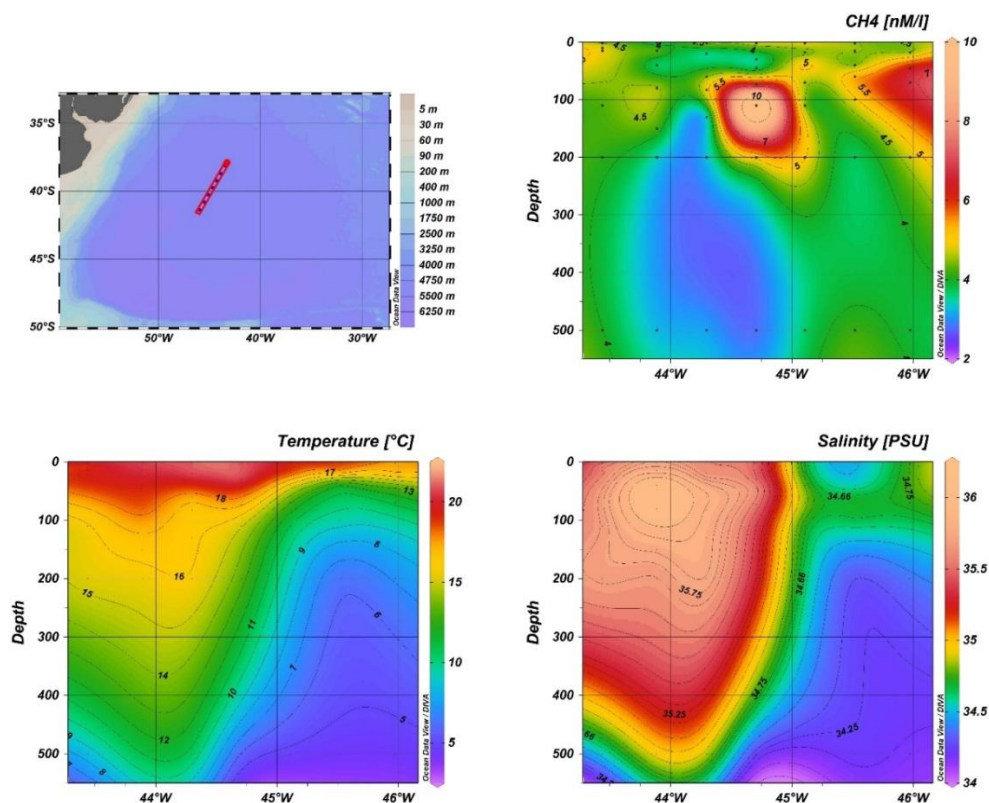


Рисунок – Разрез метана, температуры и солености в районе вихрей

Сопоставление результатов показало, что растворенный в морской воде метан от придонных источников на шельфе Аргентины и Мальвинского бассейна, а также на шельфе Бразилии переносится течениями в район слияния Мальвинского и Бразильского течений, где образуется пара вихрей противоположного знака. При этом переносимый в рингах Мальвинского и Бразильского течений метан образует область максимальных концентраций под нижней границей пикноклина в слое 50-200м в зоне слияния вихрей, где наблюдаются максимумы скоростей векторов течений.

Литература

Anka Zahie, Loegering J., Rolando di Primio, Marchal Denis, Rodríguez J. F., Eduardo Vallejo. Distribution and origin of natural gas leakage in the Colorado Basin, offshore Argentina Margin, South America: seismic interpretation and 3D basin modelling. 2014. *Geologica Acta* 12(4):269-285.

Baristeas, N., Anka, Z., di Primio, R., Rodriguez, J. F., Marchal, D., Dominguez, F., Vallejo, E., 2012. Distribution of hydrocarbon leakage indicators in the Malvinas Basin, Offshore Argentine Continental Margin. *Marine Geology*, 332–334, 56-74.

Kostadinoff Jose. Methane hydrate on the Argentine continental margin. 2001. Revista de la Asociacion Geologica Argentina 56(3):392-395.

Mahiques Michel Michaelovitch, Schattner Uri, Michael Lazar, Paulo Yukio Gomes Sumida, Luiz Antonio Pereira de Souza. An extensive pockmark field on the upper Atlantic margin of Southeast Brazil: spatial analysis and its relationship with salt diapirism. 2017Heliyon 3(2).

Kholmogorov, A.; Ponomarev, V.; Syrbu, N.; Shkorba, S. Dissolved Methane Transport in the Tatar Strait and the Deepest Basin of the Japan (East) Sea from Its Possible Sources. Water 2023, 15, 821.

Morozov, E.G.; Frey, D.I.; Krechik, V.A.; Latushkin, A.A.; Salyuk, P.A.; Seliverstova, A.M.; Mosharov, S.A.; Orlov, A.M.; Murzina, S.A.; Mishin, A.V.; et al. Multidisciplinary Observations across an Eddy Dipole in the Interaction Zone between Subtropical and Subantarctic Waters in the Southwest Atlantic. Water 2022, 14, 2701.

ДИАТОМОВАЯ ЛЕТОПИСЬ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИМОРЬЯ В РАЙОНЕ ОЗЕРА ПТИЧЬЕГО

Элбакидзе Е.А.

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток,
Ekato21@mail.ru

Исследование голоценовых отложений юго-западного побережья Приморья, находящегося в контактной зоне суша-море, весьма интересны, поскольку могли зафиксировать этапы послеледниковой трансгрессии Японского моря (Пушкарь и др., 1979; Хотинский, 1977; Lozhkin, 2022). Материалом для исследования послужила колонка скв. Тальми, пробуренной со льда в северной части мелководного оз. Птичье (42°31'37"N 130°44'27"E). Вскрытые отложения представлены синевато-черными глинами алеврито-пелитового состава и глинистыми песками (верхние 2.5 м) с включением раковин моллюсков. Методом диатомового анализа было изучено 40 проб. По раковинам моллюсков получены радиоуглеродные датировки, свидетельствующие о том, что отложения накапливались в среднем голоцене (Микишин и др., 2008). Изученная диатомовая флора представлена 135 видами и внутривидовыми таксонами, которые представлены разными экологическими группами: морские пелагические (МП), морские неритические (МН), морские сублиторальные планктонные (МСП), морские сублиторальные бентосные (МСБ), солоноватоводные планктонные (СВП), солоноватоводные бентические (СВБ) и пресноводные (ПВ). Также выделена группа переотложенных таксонов (ПО). Основываясь на неоднократной смене доминирующих таксонов и изменений в экологической структуре комплексов, было выделено три диатомовых зоны и четыре подзоны.

Комплекс tDZ1 (1330–1005 см) характеризуется доминированием таксонов из групп МСБ (до 61.1%) и МН (до 40.2%). Наиболее обильны из МСБ-группы – *Tryblionella compressa* (29.7%), представитель песчаных мелководий *Diploneis smithii* (25.4%), *Diploneis subcincta* (18.1%). Суммарный процент ПВ-группы составляет (38.2%) – *Pinnularia brevicostata* (13.5%), *Epithemia adnata* (6,6%). Диатомеи группы ПО (19.3%) представлены *Aulacoseira praegr anulata* (19.1%). Изменение численности представителей доминирующих экологических групп, позволило выделить в интервале, охарактеризованном комплексом tDZ1, две подзоны. Доминирующую группу подзоны tDZ1.1 (1330–1190 см) составляют МСБ виды (до 53.0%), среди них высокие оценки обилия имеют – *D. smithii* (до 25.4%) и *D. subcincta* (до 18.1%). Субдоминантами являются группа МН (40.2%) – *Actinoptychus senarius* (до 21.0%). Комплекс tDZ1.2 (1190–1005 см) характеризуется доминированием видов МСБ (до 61.1%) высокими оценками обилия отмечены – *T. compressa* (29.7%), *D. smithii* (25.1%), на фоне постепенного увеличения числа группы МН (36.3%) – *A. senarius* (19.3%), показателя высокопродуктивных вод, спор *Chaetoceros* ssp. (11.2%) и южно-бореальный планктонный *Cyclotella striata* (10.8%). Зона tDZ2 (1005–460 см) фиксирует доминирование групп МН (70.2%) и МСБ (50.8%). Особенно отмечаются – *A. senarius* (59.3%), *Porosira glacialis* (15.9%), *D. smithii* (32.5%), *T. compressa* (21.3%). Суммарное количество встреченных ПВ форм (20.2%) доминант – *E. adnata* (8.7%). Из группы ПО (16.3%) доминирует – *Aulacoseira praedistans* (12.9%). В осадках зоны tDZ2, по уменьшению числа доминантов (МСБ) и росту численности группы МН выделены две подзоны. Концентрация створок в осадках подзоны tDZ2.1 (1000–780 см) резко снижается. Доминантами комплекса является группа МН (54.8%) – *A. senarius* (25.9%), *Thalassiosira angulata* (12.3%), *Porosira glacialis* (12.2%) и МСБ (50.8%) – *D. smithii* (32.5%), *T. compressa* (14.6%), эпифит *Arachnoidiscus ehrenbergii* (11.5%). Массово встречены представители группы ПВ (12.6%) на фоне роста числа СВП (10.6%) – *Melosira nummuloides* (11.97%) и МСП видов (9.24%) – литоральная *Odontella aurita* (9.2%), также встречены ПО виды (8.1%) планктонная озерно-речная

A. praegratulata (8.7%). Комплекс подзоны tDZ2.2 (780–460 см). Доминантами являются группа МН (70.2%) – *Actinoptychus senarius* (59.3%), *P. glacialis* (15.9%), *Thalassiosira tenera* (9.7%) на фоне уменьшения количества МСБ видов (47.1%) – *D. smithii* (25.6%), *T. compressa* (21.3%) и роста группы-ПВ (20%) – эপিфит *E. adnata* (8.7%), ПО (16.3%) представлены озерно-речной – *A. praedistans* (12.9%). Наблюдается увеличение МСП видов (13.10%) – *O. aurita* (13.0%) и СВП видов (12.9%) – *Melosira nummuloides* (12.0%).

В осадках зоны tDZ3 (460–165 см) отмечается относительное уменьшение концентрации створок. Фиксируется понижение количества МН видов (52.0%) – *Actinoptychus senarius* (23.0%), *Chaetoceros* ssp. (13.7%), *Thalassiosira tenera* (7.7%), *P. glacialis* (6.1%), и рост группы-МСБ (48.8%) – *D. smithii* (26.5%), *A. ehrenbergii* (7.7%) и *T. compressa* (7.7%). Группа ПВ (21.7%) и ПО (11.7%) представлена – *Stauroneis phoenicenteron* (4.6%) и планктонной *A. praegratulata* (11.5%) соответственно.

Спорово-пыльцевой анализ отложений скважины показал на преобладание в их спектрах пыльцы деревьев и кустарников (48–68 %), среди которых обильны представители широколиственных пород деревьев, в основном *Quercus* (30–53 %). Среди пыльцы мелколиственных пород чаще отмечается *Betula* (14–25 %). Содержание пыльцы трав и кустарничков (21–39 %) плавно возрастает снизу вверх по разрезу, в основном, за счет полыни и злаков (Верховская и др., 1995).

Результаты исследования позволили восстановить условия осадконакопления в палеоводоеме, существовавшие на побережье Японского моря в районе оз. Птичьё. Обилие МН таксонов во всех диатомовых зонах свидетельствует о том, что осадконакопление происходило в бухте. Зона tDZ1 свидетельствует о формировании отложений во время активного повышения уровня моря в среднем голоцене, о чем говорит доминирование представителей МСБ группы. Рост количества неритических таксонов во время формирования зоны tDZ2 свидетельствует о максимальном повышении уровня Японского моря в голоцене, возможно превышавшего его современное положение. По составу диатомей, к сожалению, нельзя установить на сколько метров повышался уровень моря или озера. Уменьшение числа створок МН группы и увеличение числа МСБ группы выше по разрезу (tDZ3), свидетельствует о понижении уровня моря и обмелению бухты. Обмеление приводило к значительному прогреву воды в летний период, что подтверждается присутствием тропической диатомеи *Terpsinoë americana*. Присутствие створок пресноводных диатомей, в том числе и переотложенных таксонов, в осадках скважины говорит о влиянии речного стока, повышенные содержания которых связаны с наводнениями на водосборном бассейне реки Туманной. Комплексы диатомей отражают фациально-сукцессионные фазы своего развития, а именно: закрытая мелководная бухта→открытая более глубокая бухта→закрытая мелководная бухта.

Литература

Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Гвоздева И.Г. и др. Голоцен побережья юго западного Приморья // Научное обозрение, 2008. № 1, С. 8–27.

Пушкарь В.С. Биостратиграфия осадков позднего антропогена юга Дальнего Востока (по данным диатомового анализа). М.: Наука, 1979. 140 с.

Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 182 с.

Lozhkin, A. V., Cherepanova, M. V., Anderson, Glukhoye Lake: Middle to Late Holocene environments of Kunashir Island (Kuril Archipelago, Russian Far East) // Boreas. 2022, Vol. 51, No. 2. P. 364–384. <https://doi.org/10.1111/bor.12565>. ISSN 0300-9483.

Верховская Н.Б., Кундышев А.С. Растительность побережья залива Петра Великого в оптимальную фазу голоцена // Комплексное изучение разрезов голоценовых отложений побережья залива Петра Великого (Японское море). М.: Багира-Пресс. 1995. С. 8–17.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАНИТОИДОВ ВОЗВЫШЕННОСТИ МЕДВЕДЕВА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Якимов Т.С.

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

Включения гранитоидов нередко встречаются в составе эруптивных брекчий и в виде включений в вулканических породах жерловой фации вулканов, что играет исключительно, важную роль в установлении геодинамической обстановки. В Японском море данные гранитоиды известны на возвышенности Медведева (Леликов и Маляренко, 1994).

Японское море – крайнее море, расположенное между Евразийским континентом и островами Сахалин, Хокайдо и Хонсю. Проливами Невельского и Лаперуза сообщается с Охотским морем, проливом Цугару с Тихим океаном и Корейским проливом с Восточно-Корейским морем. Половину площади занимает Центральная глубоководная котловина, к которой примыкают также глубокие впадины - Хонсю и Цусимская разделенные подводными возвышенностями (Геология ..., 1987).

Возвышенность Медведева представляет собой вулканическую постройку конусообразной и овальной формы, вытянутой в северо-восточном направлении, подошва которой расположена на глубине 3000 м, а вершина на -1100 м. Длина основания составляет порядком 17 км при ширине в 12 км. Склоны расчленены ложбинами, радиально расходящимися от ее вершины. Возвышенность слагают следующие вулканические породы: базальты, андезито-базальты, андезиты, трахиандезиты, трахидациты, эруптивные брекчии и туфы. В составе эруптивных брекчий и в виде включений в вулканических породах жерловой фации возвышенности встречаются гранитоиды, представленные кварцевыми диоритами, гранодиоритами, биотитовыми гранитами и плагиогранитами (Леликов и Маляренко, 1994).

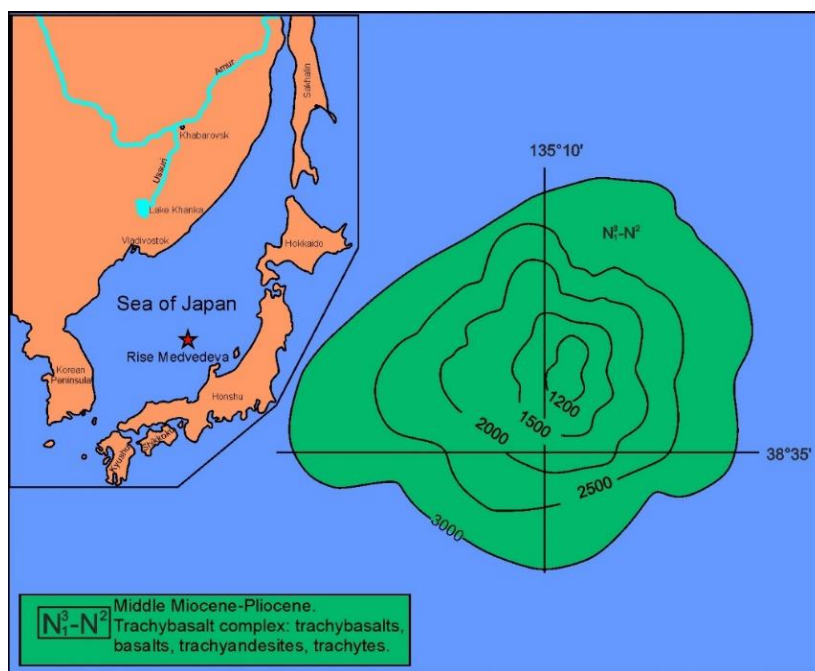


Рисунок – Схема возвышенности Медведева с дополнениями (Леликов и Маляренко, 1994)

Микроэлементный ИСП-МС и рентгенофлуоресцентный анализы проводились в ЦКП УрО РАН “Геоаналитик” согласно стандартным методикам (Чашин и др. 2021, Горбунова и др. 2015).

Эффузивные породы образуют толеитовую и щелочные серии. Тем самым отражая эволюционную природу вулканитов связанную с щелочным и толеитовым магматизмом (Съедин, 2010).

Породы обогащены LILE, LREE по сравнению с NMORB, отмечаются минимумы по Ta (Nb), Ti, Zr, Rb и Ba, максимум по Th. Что в сочетании с обогащением наиболее несовместимыми элементами может свидетельствовать о вкладе материала субконтинентальной литосферы или континентальной коры. Вулканиты характеризуются низкими значениями Ce/Pb 4.9–14.5 и Pb/Ce 0.06–0.2, что также соответствует вовлечению малого количества терригенного материала (White, Duncan, 1996). Nb/U базальтов составляет 71-77, трахиандезитов (13), что превышает значение базальтов океанических островов (OIB) (Hofmann, 1997), следовательно источник исследованных вулканитов был более обогащен чем OIB, а вторые располагаются вблизи континентальной коры (Nb/U-7). Δ Nb для базальтов составляет в среднем 0.57, для трахиандезитов 0,06, что указывает на мантийный источник (Fitton и др., 1997).

Граниты и диориты по коэфф. Fe*(2,7–11,06) (Frost и др. 2001) являются железистыми и образуют щелочно-известковую и известково-щелочную серии. Рост Na₂O+K₂O и Fe* сопровождается увеличением SiO₂. На диаграммах Дж. Пирса гранитоиды находятся в полях островодужной обстановке, при этом находятся вблизи внутриплитной. В этих породах не наблюдается аномалия Eu/Eu* (0.99–1.47) всегда приближается к единице, что может указывать на то, что при образовании этих пород ведущим фактором было фракционирование темноцветных минералов и они являются мантийными дериватами. Возраст базальтоидов составляет 11.4–12.2 млн. лет (Съедин, 1987), в свою очередь гранитоиды датируются 12.2 млн. лет (Леликов и Маляренко, 1994).

Таким образом полученные результаты согласуются с литературными данными и позволяют установить комагматичность вулканитов с гранитоидами, имеющими геохимические черты А-типа формировавшиеся в условиях пост-рифтогенеза.

Литература

Геология дна Японского моря / И. И. Берсенев, Е. П. Леликов, В. Л. Безверхний [и др.]; Издано по решению Редакционно-издательского совета Дальневосточного научного центра АН СССР. – Владивосток: Дальневосточный научный центр АН СССР, 1987. – 140 с.

Горбунова Н.П., Татарникова Л.А. Многоканальный спектрометр СРМ-35 - новые возможности силикатного рентгенофлуоресцентного анализа. Ежегодник-2014. Труды ИГГ УрО РАН, выпуск 162, с 235-237. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2015

Леликов Е. П, Маляренко А. Н. Гранитоидный магматизм окраинных морей Тихого океана // Владивосток, Дальнаука, 1994. 268 с.

Съедин В.Т. Вулканизм Японского моря – индикатор кайнозойского рифтогенеза окраины Азии // Кайнозойский континентальный рифтогенез. Материалы Всероссийского научного симпозиума с международным участием, посвященного памяти академика РАН Н.А. Лигачева. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010. Т. 2. С. 138–142.

Съедин В.Т. Формационно-геохимические типы кайнозойских базальтоидов Японского моря // Докл. АН СССР. 1987. Т. 296. № 6. С. 1441-1447.

Чашин В.В., Петров С.В., Киселева Д.В., Савченко Е.Э. Платиноносность и условия образования сульфидного ЭПГ-Cu-Ni месторождения Нью-П Мончегорского плутона, Кольский полуостров, Россия // Геология рудных месторождений, 2021, т. 63, № 2, с. 99-131.

Fitton, J.G., Saunders, A.D., Norry, M.J., Hardarson B.S., and Taylor, R.N., 1997, Thermal and chemical structure of the Iceland plume: Earth and Planetary Science Letters, v. 153, p. 197–208

Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J., Frost, C.D., 2001. A geochemical classification for granitic rocks. Journal of Petrology 42, 2033–2048.

Hofmann, A. W. (1997). Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. *Nature* 385, 219–229

White, W. M. & Duncan, R. A. (1996). Geochemistry and geochronology of the Society Islands: new evidence for deep mantle recycling. In: Basu, A. & Hart, S. R. (eds) *Earth Processes: Reading the Isotopic Code*. Geophysical Monograph American Geophysical Union 95, 183–206

СЕКЦИЯ 3. Экология океана. Биоресурсы океана

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ ВОДНЫХ МАСС АРКТИЧЕСКОГО БАСЕЙНА ПО ЭКСПЕДИЦИОННЫМ ДАННЫМ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2021 Г.

Алексеева Н.К.^{1,2}, Лис Н.¹, Новихин А.¹, Весман. А.¹, Блошкина Е.¹,
Чернявская Е.¹, Гангнус И.³, Литина Е.¹

¹Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, nkalekseeva@aari.ru

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

³Московский государственный университет, г. Москва

Океан имеет уникальную способность поглощения и выделения углекислого газа, тем самым воздействует на равновесие карбонатной системы. Данная особенность позволяет регулировать количество углекислого газа, а буферная ёмкость служит индикатором изменений климата. Долговременное избыточное поглощение CO₂ (в последнее время происходит увеличение выбросов CO₂ в атмосферу) (Шапкина, 2022) может привести к снижению pH морской воды и «закислению океана» (Jiang et al., 2019). В связи с чем, нашим научным интересом в экспедициях являлось получение данных для оценки состояния карбонатной системы морской воды. Карбонатная система является результатом сложных химических реакций, связанных с растворением атмосферного углекислого газа (CO₂) в морской воде и характеризуется такими компонентами как общий растворенный CO₂, парциальное давление CO₂ (pCO₂) в воде, pH и общая щелочность, которая является удобной измеряемой характеристикой для мониторинга взаимодействия между химическим составом морской воды и биологической кальцификацией. Ее можно рассматривать как меру того, насколько морская вода устойчива к процессам изменяющим pH.

Дополнительными характеристиками служили степень насыщения вод кальцитом, арагонитом (Humphreys et al., 2022). В качестве оценки буферности морской воды использовался фактор Ревеля. Чем он выше, тем ниже буферная емкость океана и тем быстрее изменяется pCO₂ (Jiang et al., 2019).

В исследовании рассмотрены результаты двух международных экспедиций 2021 г., проведенных на борту НЭС «Академик Трешников» в Карском и Восточно-Сибирском морях. В период август-сентябрь была проведена экспедиция Arctic Century 2021, в период сентябрь-октябрь - NABOS 2021. Всего было отобрано и проанализировано 475 проб в ходе экспедиции Arctic Century 2021 и 468 проб - NABOS 2021. Отбор, обработка и анализ всех видов проб выполнялись в соответствии с нормативно-технической документацией, входящей в Перечень методик, внесенных в Государственный реестр методик количественного химического анализа (РД 52.10.743-2010 «Общая..., 2010). Исходными данными для расчета компонентов карбонатной системы были общая щелочность и pH. Общая щелочность определялась по методу, основанному на потенциометрическом титровании до заданной конечной точки (5,4 pH) с удалением выделяющегося диоксида углерода в процессе титрования. Параметры карбонатной системы рассчитывались с помощью программы Program Developed for CO₂ System calculations (Robbins et al., 2010). На основе полученных данных проведена оценка состояния карбонатной системы и буферности морской воды в исследуемых районах.

Литература

РД 52.10.743-2010 «Общая щелочность морской воды. Методика измерения титриметрическим методом» М. 2010

Шапкина И. М. Вопросы сохранения климата. Углеродный след //МИНОБРНАУКИ России Костромской государственной университет.2022.с. 109.

Humphreys M. P. et al. PyCO2SYS v1. 8: marine carbonate system calculations in Python //Geoscientific Model Development. 2022. 15 (1), p. 15-43.

Jiang LQ., Carter B.R., Feely R.A. et al. Surface ocean pH and buffer capacity: past, present and future. 2019. Sci Rep 9, p.18624.

Robbins L.L., Hansen M.E., Kleypas J.A. and Meylan S.C. CO2calcmdash. A user-friendly seawater carbon calculator for Windows, Max OS X, and iOS (iPhone): U.S. Geological Survey Open-File Report 2010.1280, p.17.

КАРБОНАТНАЯ СИСТЕМА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МЕЛКОВОДНЫХ БАССЕЙНАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

**Барабанщиков Ю.А., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Павлова Г.Ю.,
Швецова М.Г., Шкирникова Е.М., Рюмина А.А.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г.
Владивосток, e-mail: barabanshchikov.ya@poi.dvo.ru*

В настоящее время существует много независимых доказательств о глобальных изменениях Мирового океана, таких как уменьшение O_2 (Schmidtke et al., 2017, Breitburg et al., 2018), а также уменьшение pH (Dore et al., 2009) Эти изменения отчасти обусловлены ростом концентрации двуокиси углерода и эвтрофикацией шельфовых вод океана. Факт увеличения концентрации CO_2 в атмосфере обусловлены сжиганием ископаемого топлива, вырубке лесов и других изменений. На сегодняшний день предложено много технологий по сдерживанию роста CO_2 в атмосфере (Carbon free zone). Один из таких проектов имеет название «blue carbon» (UNEP, FAO, IOС). В этом проекте есть мелководные бухты, заросшие лугами zostеры морской, и они рассматриваются как перспективные бассейны по изъятию CO_2 из атмосферы, с последующим его захоронением в форме органического вещества (ОВ) в донных осадках. Эти экосистемы являются высокопродуктивными и биологически богатыми среды обитания, однако высокая продукция не является достаточным условием для извлечения атмосферного углекислого газа. Другим необходимым условием является захоронение этой биомассы в современных осадках. Эффективное формирование пелоидов представляет собой сложный диагенетический процесс превращения одних форм ОВ в другие, в том числе в неорганические формы углерода. Элементы карбонатной системы представляют собой общую характеристику неорганических форм углерода. Поэтому одним из индикаторов этих процессов является распределение параметров карбонатной системы по глубине осадков.

Карбонатная система морских осадков исследовалась с помощью двух параметров: измерение pH морского осадка при комнатной температуре в нетермостатируемых условиях с помощью ячейки безжидкостного соединения (Тищенко, 2001) и измерения щелочности поровой воды по методу Бруевича (Павлова и др., 2008), а также главные биогенные элементы (фосфаты, силикаты, нитриты и аммоний), концентрацию ионов основного солевого состава (Cl , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), гумины (HS), содержание органического углерода в твердой фазе осадка ($C_{орг}$). Ячейка для измерения pH калибровалась при разных температурах, что позволило сделать расчет карбонатной системы из результатов pH, полученных в нетермостатируемых условиях, и значений общей щелочности (TA). Расчетными параметрами были: $pH_{in situ}$, парциальное давление углекислого газа (pCO_2) и растворенный неорганический углерод (DIC – растворенный неорганический углерод).

В сентябре-октябре 2019 года были проведены геохимические исследования трех мелководных бассейнов залива Петра Великого: бухта Воевода, бухта Новгородская, залив Угловой. Бухты частично покрыты *Zostera marina L*, в заливе морские травы отсутствуют. На все бассейны оказывается сильное антропогенное воздействие. Бухты являются местом развития марикультур (Барабанщиков и др., 2015, Барабанщиков и др., 2018, Гаврилова, Кондратьева, 2018), а залив Угловой подвергается сбросу коммунальных стоков (Тищенко и др., 2021). Во всех исследуемых акваториях были подняты керны мелкоалевритовых илов разного цвета: серый цвет характерен для залива Угловой, для бухт Воевода и Новгородская цвет пелоидов был темно-серый, почти темный.

Концентрации продуктов диагенеза ОВ по глубине осадка в диапазоне 5 -30 см происходит резкое увеличение ТА, DIC, рСО₂ и уменьшение рН_{in situ}. Эти изменения являются более интенсивными для осадков бухты Воевода и Новгородская, что указывает на анаэробный характер диагенеза ОВ. Эти профили позволяют уточнить сложный характер процессов преобразования ОВ в донных осадках. Наиболее существенные изменения в концентрациях биогенных веществ относятся к верхнему горизонту донных осадков. В сравнении с придонной водой концентрации фосфатов в поровой воде осадков на горизонте 5 см увеличились в 2, 20 и 70 раз для залива Угловой и бухт Воевода и Новгородская, соответственно. Подобные сравнения были и для аммония и кремния.

По величине содержания органического углерода в верхнем слое осадков донные отложения этих экосистем располагаются в следующем порядке: 6.6, 5.7, и 1.1% в бухтах Воевода, Новгородская и залив Угловой, соответственно. Высокие концентрации ОВ, которые обеспечиваются зарослями zostеры, привели к тому, что основным процессом диагенеза донных отложений является анаэробное окисление ОВ по пути сульфатредукции. Об этом свидетельствуют вертикальные профили донных отложений, увеличение ТА, DIC, рСО₂ и снижение рН с глубиной. Зависимость DIC от ТА, близка к единице для всех изучаемых бассейнов, также указывает на анаэробный характер разложения ОВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ, №19-35-50042, №20-05-0081-а.

Литература

Барабанщиков Ю.А., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Волкова Т.И., Звалинский В.И., Михайлик Т.А., Сагалаев С.Г., Сергеев А.Ф., Тищенко П.П., Швецова М.Г., Шкирникова Е.М. Сезонные гидролого-гидрохимические исследования бухты Воевода (Амурский залив, Японское море) // Известия ТИНРО. 2015. Т. 180, С. 161-178.

Барабанщиков Ю.А., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Михайлик Т.А., Косьяненко А.А. Условия образования лечебных грязей в бухте Воевода (Амурский залив, Японское море) // Известия ТИНРО. 2018.Т. 192, С. 167-176.

Гаврилова Г.С., Кондратьева Е.С. Результаты хозяйственной деятельности и проблемы развития марикультуры залива Посьета (Японское море) в 2000-2015гг. Известия ТИНРО.Т.195. С. 229-243.

Павлова Г.Ю., Тищенко П.Я., Волкова Т.И. Интеркалибрация метода Бруевича для определения общей щелочности в морской воде // Океанология. 2008. Т. 48. № 3. С. 477-483

Тищенко П.Я., Вонг Чи Ши, Павлова Г.Ю, Джонсон В.К., Канг Д.-Дж, Ким К.-Р. Измерение рН морской воды с помощью ячейки безжидкостного соединения // Океанология. 2001. Т. 41. № 6. С. 849-859.

Breitbart, D., Levin, L.A., Oschlies, A., Gregoire, M., Chavez, F.P., Conley, D.J., Garcon, V., Gilbert, D., Gutierrez, D., Isensee, K., Jacinto, G.S., Limburg, K.E., Montes, I., Naqvi, S.W.A., Pitcher, G.C., Rabalais, N.N., Roman, M.R., Rose, K.A., Seibel, B.A., Telszewski, M., Yasuhara, M., Zhang, J. Declining oxygen in the global and coastal waters // Science. 2018. V. 359. P. 1-11.

Dore J.E., Lukas R., Sadler D.W., Church M.J., Karl D.M. (2009) Physical and biogeochemical modulation of ocean acidification in the central North Pacific // Proceed. Nat. Acad. Sci. 2009. V. 106(30). P. 12235-12240.

Schmidt S., Stramma L., Visbeck M. Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades // Nature. 2017. V. 542(7641) P. 335-339.

Tishchenko P., Pavlova G., Sagalaev S., Shvetsova M., Tishchenko P. Observations of carbonate system parameters in seawater using discrete samples, in surface waters by underway system and in sediments on a board of nR/V Hakuho Maru at June–July 2010 // Preliminary Report of the R/V Hakuho Maru KH-10-2 Cruise CARINA Expedition ASIAN GEOTRACES. 2010. P. 98-120.

АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЧАСТИЦАМИ МИКРОПЛАСТИКА СНЕГА, ПОДЛЕДНОЙ ВОДЫ И ЛЬДА В КУРШСКОМ ЗАЛИВЕ (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)

Бочерикова И.Ю.^{1,2}, Чубаренко И.П.¹.

¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва,

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград,
ibocherikova@yandex.ru

В настоящее время активно идут исследования загрязнения мелкими частицами пластика (микропластик, МП, < 5 мм) водной толщи, донных осадков и пляжевых отложений природных водоёмов, но исследований загрязнения пластиком льда или снега пока достаточно мало. Пластик составляет 60-80% всего морского мусора (Derraik.2002), а самой распространенной формой пластикового загрязнения являются волокна (более 95% (Lusher et al., 2015)). Балтийское море считается одним из самых загрязненных морей в мире (HELCOM, 2010), пластиковый мусор в больших количествах обнаруживается на пляжах и в поверхностном слое водной толщи. Но загрязнению пластиком снега или льда в Балтике совсем посвящено только одно исследование (Geilfus et al., 2019), где проведены оценки концентрации пластика во льду Ботнического залива.

Целью данного исследования является анализ загрязнения льда, снега и подледной воды в южной части Куршского залива (Калининградская область). Залив мелководен (средняя глубина 3.7 м, объём 6.2 км³), в него впадает множество рек с общим годовым расходом около 25 км³, в том числе крупная река Неман, приносящая 21 км³ вод ежегодно. При этом водообмен с морем через узкий Клайпедский пролив в северной части залива крайне ограничен, поэтому воды южной части залива практически пресные. На берегах залива расположены десятки небольших населённых пунктов. В таких условиях, Куршский залив потенциально может накапливать значительные уровни загрязнения.

Нами была выполнена экспедиция на Куршский залив для отбора проб льда, снега и подледной воды в феврале 2021г. Было отобрано по 5 проб льда, снега и подледной воды на 5 различных точках, на расстоянии более 300 м от берега. Из полученных проб было получено 37 фильтров для анализа пластикового загрязнения.

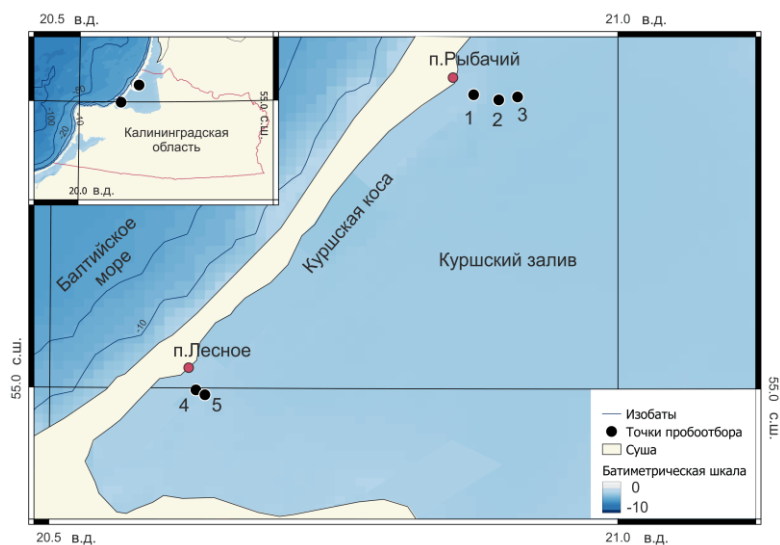


Рисунок – Карта станций отбора проб льда, снега и подледной воды в Куршском заливе (Калининградская область)

Частицы МП были обнаружены во всех полученных пробах. Средняя величина загрязнения частицами МП (0.3-5 мм), выраженная в количестве частиц на 1 л (талых или естественных) вод, составила 60.3 шт./л для снега, 67.9 шт./л для льда и 8.3 шт./л для подледной воды. Больше всего в пробах было обнаружено волокон (95% всех найденных частиц), пленки и фрагменты составляли 1% и 4% соответственно. Чаще всего встречались частицы МП в диапазоне размеров от 0.3 до 1 мм. Был проведен анализ по цвету частиц по загрузлённой цветовой шкале: прозрачный, белый, зелёный, синий, жёлтый, красный, коричневый и чёрный (Esiukova et al., 2020). Чаще всего встречались прозрачные и синие волокна (93% от всех частиц). Для идентификации частиц была выполнен анализ с помощью рамановской спектроскопии (Бочерикова и Чубаренко, 2022).

Таким образом, (I) лёд Куршского залива загрязнён частицами МП в разы сильнее подлёдных вод, что хорошо согласуется с другими исследованиями, при этом (II) уровень загрязнения подлёдных вод залива (в среднем 8.3 шт./л) более чем на два порядка выше, чем вод Балтийского моря (0.03 шт./л в том же размерном диапазоне (Zobkov et al., 2019)). Следовательно, мелководные приморские лагуны действительно являются накопителями пластикового загрязнения, причём не только донные осадки, но лёд на поверхности оказываются наиболее загрязнены.

Исследования проводятся при поддержке РФФ, грант № 19-17-00041.

Литература

Бочерикова, И.Ю. и Чубаренко И.П., 2022. Содержание микропластика во льду, снеге и подлёдной воде Куршского залива зимой 2021г. Океанологические исследования, 50(3), pp.102-117. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(3\).6](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(3).6)

Derraik J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: are view // Marine pollution Bulletin. 2002.Vol. 44. P. 842–852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)

Esiukova E. E., Zobkov M. B., Chubarenko I. P. Data on microplastic contamination of the Baltic Sea bottom sediment samples in 2015–2016 // Data in Brief. February, 2020. Vol. 28. No. 104887. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104887>.

Geilfus N.-X., Munson K. M., Sousa J., Germanov Y., Bhugaloo S., Babb D., Wang F. Distribution and impacts of microplastic incorporation within sea ice // Marine Pollution Bulletin. 2019. Vol. 145. 2019. P. 463–473. ISSN: 0025-326X. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.029>.

HELCOM. Hazardous substances in the Baltic Sea – an integrated thematic assessment of hazardous substances in the Baltic Sea. In: Baltic Sea Environment Proceedings. 2010. No. 120B.

Lusher A., Tirelli V., O'Connor I., Officer R. Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples // Scientific reports. 2015. <https://doi.org/10.1038/srep14947>.

Zobkov M. B., Esiukova E. E., Zyubin A. Y., Samusev I. G. Microplastic content variation in water column: the observations with novel sampling tool in stratified Baltic Sea // Marine Pollution Bulletin. 2019. Vol. 138. P. 193-205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.047>

ОФИУРЫ (ECHINODERMATA: OPHIUROIDEA) ШЕЛЬФА ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ И ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ

Варваренко Я.С.

Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский, uanavarvarenko1406@mail.ru

Офиуры или змеехвостки (Ophiuroidea: Echinodermata) – одни из обычных и широко распространённых гидробионтов. Для российской части Берингова моря, прибрежных вод Командорских, северных и средних Курильских о-вов известно 54 вида офиур (Список видов..., 2013). Цель данной работы – охарактеризовать видовой состав и встречаемость офиур в шельфовых водах Восточной Камчатки и западной части Берингова моря.

Материалом послужили сборы зообентоса за 1982–2021 гг. из коллекционного фонда КФ ТИГ ДВО РАН. Обработаны данные 180 станций (1259 экз.). Обнаружено 9 видов офиур: *Amphiodia craterodmeta* H.L. Clark, 1911; *Asteronux loveni* Müller et Troschel, 1842; *Gorgonocephalus eucnemis* (Müller et Troschel, 1842) (= *Gorgonocephalus caryi*, (Lyman, 1860)); *Ophiopenia tetracantha* H.L. Clark, 1911; *Ophiopholis aculeata* (Linnaeus, 1767); *Ophiura leptoctenia* H.L. Clark, 1911; *O. maculata* (Ludwig, 1886); *O. sarsii* Lütken, 1855 и *Stegophiura stuwitzii* (Lütken, 1857). Ниже приведены сведения о местах обнаружения и условиях обитания каждого из этих 9 видов.

Отряд Ophiurida (Müller & Troschel, 1840 sensu O'Hara et al., 2017)

Семейство Ophiuridae (Müller & Troschel, 1840)

***Ophiura sarsii* Lütken, 1855.** Широко распространен в северном полушарии (Атлантический, Северный Ледовитый и Тихий океаны). Обитает на глубинах от 3 до 3000 м. Встречается на самых разных грунтах (Стрататенко, 2021). Нами найден 1 экз. на одной станции в Авачинском заливе на глубине 73 м на гравийном и галечном грунте.

***Ophiura maculata* (Ludwig, 1886).** Локализуется в северной части Тихого океана (Берингово, Охотское и Японское моря), через Берингов пролив проникает в Чукотское море. Вид толерантен к разным грунтам, встречается на глубинах от 2 до 290 м. (Стрататенко, 2021). Обнаружено 175 экз., собранных на 23 станциях, большинство – в Авачинском заливе на глубинах 15–176 м и в прибрежье Командорских о-вов на глубинах 8–25 м преимущественно на скалах и камнях, лишь две – на песке. Встречен также в Кроноцком заливе на глубине 30 м и в Камчатском заливе возле м. Африка.

***Ophiura leptoctenia* H.L. Clark, 1911.** Распространен в дальневосточной акватории от Жёлтого до Берингова моря. Эврибатен, обитает в диапазоне глубин от 15 до 3000 м (Дьяконов, 1954). Обнаружено 80 экз., которые зарегистрированы на 9 станциях (преобладающее большинство – в Авачинском заливе на глубинах 88–155 м). Вид также найден в Кроноцком заливе на глубинах 80–130 м. Все экземпляры встречены на песчаных грунтах с заилением.

***Ophiopenia tetracantha* H.L. Clark, 1911.** Обитает в Чукотском море и во всех дальневосточных морях России, а также вблизи Алеутских о-вов. Держится на глубинах 20–150 м в основном на песчаных грунтах. Обнаружено 2 экз. на 2 станциях: в Кроноцком заливе на глубине 84 м в мелком песке с отдельными ракушками и в Авачинском заливе на глубине 100 м в крупном песке с заилением.

Семейство Ophiopyrgidae Perrier, 1893

***Stegophiura stuwitzii* (Lütken, 1857).** Согласно базе WoRMS (Stöhr et al., 2023) вид был обнаружен в Беринговом проливе у о-ва Св. Лаврентия. В коллекции зарегистрировано 5 экз. на 3 станциях: Берингово море (бух.

Анастасии), 37 м, грунт – ил, песок; побережье о. Медный (б. Корабельная), 20 м, песок; и б. Песчанная.

Отряд Amphilepidida (O'Hara, Hugall, Thuy, Stöhr & Martynov, 2017)

Семейство Amphiuridae Ljungman, 1867

Amphiodia craterodmeta H.L. Clark, 1911. Широко распространен в северной части Тихого океана от Японского до Берингова моря. Через Берингов пролив проникает в Чукотское море (Стрататенко, 2021). Обитает на глубинах от 7 до 1000 м (Дьяконов, 1954). В коллекции обнаружено 52 экз., найденных на 12 станциях: преобладающее большинство особей зарегистрировано в Авачинском заливе на глубинах 29–107 м. Также обнаружен в Кроноцком заливе на глубинах 22–110 м и в Камчатском заливе на глубине 110 м. Все экземпляры зарегистрированы на песчаных грунтах с плотным зеленым или серым заилием.

Семейство Ophiopholidae O'Hara, Stöhr, Hugall, Thuy & Martynov, 2018

Ophiopholis aculeata (Linnaeus, 1767). Широко распространен в северной части Атлантического океана, в Восточно-Сибирском море, в дальневосточных морях России и вдоль тихоокеанского побережья Северной Америки. Обитает от литорали до глубины 2000 м на разных грунтах, предпочитая каменистые. Исследовано 585 экз., собранных на 94 станциях. Повсеместно встречается вдоль восточного побережья Камчатки от о. Шумшу до о. Крагинский (наиболее многочислен в Авачинском заливе и у Командорских о-вов). Зарегистрирован на глубинах от 1 до 500 м в основном на каменистых (иногда песчаных) грунтах.

Отряд Euryalida Lamarck, 1816

Семейство Asteronychidae (Ljungman, 1867)

Asteronyx loveni Müller & Troschel, 1842. Данный вид космополит. Встречается как в тропических, так и в умеренных водах от Атлантического океана до Берингова моря. Живет на глубинах от 100 до 1800 м (Дьяконов, 1954). В коллекции обнаружено 2 экз. на 2 станциях в Камчатском заливе на глубинах 178 и 210 м.

Семейство Gorgonocephalidae Ljungman, 1867

Gorgonocephalus eucnemis (Müller & Troschel, 1842) (= *Gorgonocephalus caryi* (Lyman, 1860)). Вид встречается в северной части Атлантического и Тихого океанов, а также в Арктических морях. В коллекции обнаружено 29 экз. на 8 станциях: в Авачинском заливе - на глубинах от 3 до 144 м, в Карагинском заливе – на глубинах 49–72 м, возле м. Лопатка – на глубине 50 м. Большинство найдены на каменистых грунтах с «ракушей» и примесью гальки.

Самый распространённый вид на восточно-камчатском шельфе *Ophiopholis aculeata*, встречающийся от северных Курильских островов до Карагинского залива. Довольно часто встречаются виды *Ophiura maculata*, *O. leptoctenia*, *Amphiodia craterodmeta* и *Gorgonocephalus eucnemis*. Виды *Ophiura sarsii*, *Ophiopenia tetracantha*, *Stegophiura stuwitzii* и *Asteronyx loveni* отмечены единично.

Литература

- Дьяконов А.М. Офиуры (змеехвостки) морей СССР. М., Л.: АН СССР, 1954. 135 с.
Список видов свободноживущих беспозвоночных дальневосточных морей России // Исследования фауны морей. Спб.:ЗИН РАН, 2013. Т. 75. Вып. 83. 256 с.
Стрататенко Е.А. Биоразнообразие и структурно-функциональная значимость офиур (Ophiuroidea, Echinodermata) в морях Российской Арктики: Дисс...канд. биол. наук. СПб., 2021. 191 с.
Stöhr S., O'Hara, T., Thuy B. (Eds) (2021). World Ophiuroidea Database. *Gorgonocephalus caryi* (Lyman, 1860). Accessed at: <http://www.marinespecies.org/Ophiuroidea/aphia.php?p=taxdetails&id=124968>
Stöhr S., O'Hara, T., Thuy B. (Eds) (2023). World Ophiuroidea Database. *Stegophiura stuwitzii* (Lütken, 1857). Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=124944> on 2023-03-14

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД Б. НОВИК (О. РУССКИЙ) ПО СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЯХ

Дюрдеева А.А., Ким А.А.

Дальневосточный Федеральный университет, г. Владивосток,
dyurdeeva@gmail.com

Для мониторинга загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами необходимы эффективные индикаторы, среди которых наиболее удобными являются бурые водоросли-макрофиты. Они относятся к аккумулирующим организмам-индикаторам, связывающим и удерживающим микроэлементы полисахаридами, находящимися в межклетниках и стенках клеток слоевищ. Мониторинг загрязнения прибрежно-морских вод с их использованием проводится с начала 1970-х гг. (Phillips, 1977). В Приморском крае применение представителей отдела Phaeophyta как индикаторов загрязнения морской среды началось в 1976г. при изучении б. Рудной (Христофорова и др., 1981). Б. Новик (внутренняя бухта о. Русский) в связи с её долгой эксплуатацией военно-морским флотом оставалась практически не изученной. Для исследования её загрязнения нами использованы широко распространённые в зал. Петра Великого водоросли *Sargassum miyabei*.

Цель работы – оценить химико-экологическое состояние б. Новик по содержанию тяжелых металлов в талломах *S. miyabei*.

Сборы водорослей проводили в июле 2018 г. на 7 станциях вдоль морского побережья всей б. Новик, на литорали и верхней сублиторали (1–1,5 м). Каждая проба включала в себя 5–15 экземпляров, анализ проводился в трех повторностях. Талломы отмывали от взвеси морской водой, очищали от эпифитов, высушивали при температуре 85°C. Определение концентраций Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Pb, Cd производили методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (ААС) на приборе Shimadzu AA-6800. Пробоподготовку объектов анализа проводили методом мокрой (кислотной) минерализации, с полным разрушением органических веществ при нагревании с кислотами-окислителями. Данные о концентрациях элементов представлены как среднее \pm стандартное отклонение.



Рисунок – Станции отбора проб *S. miyabei* в б. Новик

Концентрации элементов варьировали в зависимости от места сбора: Fe - 59,0–306,1 мкг/г; Mn - 85,3–538,0 мкг/г; Zn - 8,7–16,6 мкг/г; Ni - 3,1–4,8 мкг/г; Cu - 0,8–7,6 мкг/г; Pb - 0,4–2,2 мкг/г; Cd - 1,1–1,7 мкг/г.

Ряд убывания концентрации тяжелых металлов в *S. miyabei* б. Новик: Mn>Fe>Zn>Ni>Cu>Cd>Pb. Заметна схожесть с порядком, зарегистрированным у бурых водорослей, собранных в бухтах Козьмина и Врангеля (Христофорова и др., 2015) и в Уссурийском заливе (Христофорова и др., 2020). Сходный порядок расположения элементов отражает соответствие всех видов бурых водорослей уровням накопления металлов.

Анализ экологической обстановки позволяет выделить м. Подножье с экстремально высокими концентрациями Fe (306,1±3,5 мкг/г), Mn (536,9±11,3 мкг/г), и самой высокой концентрацией Ni (4,8±0,2 мкг/г), что отличает его, как наиболее загрязненную станцию. Связанно это с тем, что сюда подходят боевые корабли, работающие на углеводородном топливе, выхлоп которых сопровождается выбросом никеля. Железо и марганец являются индикаторами терригенного влияния, обусловленного наличием мягких грунтов.

Среди остальных станций сбора в бухте выделяется экстремально высоким содержанием Cu (7,6±0,2 мкг/г), повышенным Zn (16,6±0,1 мкг/г), Pb (2,0±1,3 мкг/г) саргассумы б. Труда, долгое время бывшей «кладбищем» кораблей, что проявилось в антропогенном и техногенном влиянии на акваторию.

Повышенные концентрации Pb (2,2±0,8 мкг/г) и Ni (4,5±0,3 мкг/г), определены в водорослях, собранных у о. Папенберга, запирающего выход из бухты, что еще раз подтверждает загрязнение её вод.

Экстремальная концентрации Mn (538,0±216,1 мкг/г) установлена также в водорослях у м. Елагина, что обусловлено обилием взвеси, заливающей гальку мелководья в прибрежье мыса.

Водоросли с мыса между каналом и яхт-клубом отличались высоким содержанием Zn – индикатора антропогенного влияния (15,7±1,4 мкг/г), что, несомненно, вызвано обилием отдыхающих, располагающихся в палатках и на базах отдыха в этом районе.

Изменчивость концентраций кадмия в бурых водорослях из разных мест сбора была незначительной: разница между наибольшими и наименьшими величинами составила 1,2 раза. Повышенное содержание кадмия определено у м. Старицкого (1,7±0,2 мкг/г).

Сравнивая б. Новик с фоновыми акваториями (северо-западная часть Японского моря), можно отметить, что концентрации Zn, Ni, Cd в макрофитах бухты примерно такие же, несколько превышают фоновые значения концентрации Fe (68±14,6 мкг/г) и Pb (0,4±3,7 мкг/г), в то же время содержание Cu даже несколько ниже фона (2,0±6,5 мкг/г), за исключением б. Труда.

Литература

Христофорова Н. К., Богданова Н. Н., Обухов А. И. Использование бурых водорослей фукусов для индикации состояния прибрежно-морских вод // Сихотэ-Алинский биосферный район: принципы и методы экологического мониторинга. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1981. С. 118–127.

Христофорова Н. К., Гамаюнова О. А., Афанасьев А. П. Состояние бухт Козьмина и Врангеля (залив Петра Великого, японское море): динамика загрязнения тяжелыми металлами// Известия ТИНРО. 2015. № 180. С. 179–186.

Христофорова Н. К., Кобзарь А. Д., Григоров Р. А. Уссурийский залив: загрязнение прибрежных вод тяжелыми металлами и его оценка с использованием бурых водорослей// Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020. № 3. С. 116–125.

Phillips D. J. H. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments — a review // Environmental Pollution. 1977. Vol. 13, iss. 4. P. 317–381.

НЕКТОН ЧУКОТСКОГО МОРЯ: СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ

Емелин П.О.¹, Мазникова О.А.¹, Орлов А.М.^{3,4}

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

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

³Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

В результате анализа данных комплексных экосистемных исследований, проведенных в ИЭЗ РФ в Чукотском море в летне-осенний период с 2003 по 2020 гг. на судах НИС «ТИНРО» и НИС «Профессор Леванидов» (8 научно-исследовательских рейсов), были выявлены значительные межгодовые изменения биомассы тресковых рыб. Начиная с 2018 г., в районе исследований отмечено массовое перераспределение минтая *Gadus chalcogrammus* из Берингова моря, причиной которого наиболее вероятно стал заток теплых берингоморских вод через Берингов пролив, усилившийся за счет снижения влияния холодного лаврентьевского пятна и его смещения в сторону от Берингова пролива, а также, поступление с водными массами значительного количества кормового зоопланктона (Emelin et. al., 2022; Maznikova et. al., 2022). Биомасса минтая в южной части Чукотского моря выросла с 10,8 т в 2003 г. до 157,2 тыс. т. в 2020 г. Также, для акватории было зарегистрировано появление крупных особей тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* и снижение биомассы сайки *Voreogadus saida* (Maznikova et. al., 2023; Cooper et. al., 2023). В связи с выявленной высокой вариабельностью биомассы тресковых рыб, актуальной задачей дальнейших исследований стал комплексный анализ динамики изменений структуры сообщества нектона Чукотского моря.

Видовой состав нектона по данным разноглубинных и донных тралений в районе исследований в 2003-2020 гг. был представлен 81 видом костистых рыб, 1 видом рыбообразных, 1 видом хрящевых рыб и 3 видами головоногих моллюсков. Основным интегральным показателем, использованным для характеристики структуры нектона, была плотность биомассы на км². В качестве ядра сообщества можно выделить 23 вида нектонов, суммарная доля которых составляла от 84,6 до 99,9 % общей биомассы нектона. Данные были разделены на 10 пространственно-временных групп, в соответствии с районами исследований в различные годы: данные 2003, 2007, 2008, 2010, 2018, 2019, 2020 гг. для южной части Чукотского моря (до 71° с.ш.), данные 2019 г. в центральной части моря (между 71° с.ш. и 73°30' с.ш.) и данные 2018 и 2019 гг. в северной части моря (севернее 73°30' с.ш.). Для выявления сходств видовых структур нектона в этих пространственно-временных группах был использован неиерархический метод классификации – многомерное шкалирование, выполненное на основе матрицы коэффициента корреляции Пианки по биомассам видов, составляющих ядро сообщества (Иванов, Суханов, 2002; Суханов, Иванов, 2009).

Результаты классификации были следующими. Группы данных с наибольшим сходством видовой структуры нектона сформировали два кластера. Первый кластер был образован 2003 и 2007 гг. (южная часть Чукотского моря). В эти годы структура сообщества была монодоминантной, при этом доминирующим видом была сайка. Плотность биомассы сайки в 2003 и 2007 гг. составляла 3172,0 и 562,0 кг/км² соответственно, при суммарных показателях для всего нектона – 3238,1 кг/км² (2003) и 621,2 кг/км² (2007). Второй кластер также был образован видовыми структурами района южной части Чукотского моря, но в период 2018-2020 гг. В эти годы структура нектона в пределах района тоже была монодоминантной, но другой вид был доминантом – минтай. Плотность биомассы

минтай варьировала в диапазоне от 809,0 (2018) до 2001,7 (2020) кг/км², при суммарной биомассе всего нектона – 1412,1 кг/км² (2018) и 2300,2 кг/км² (2020).

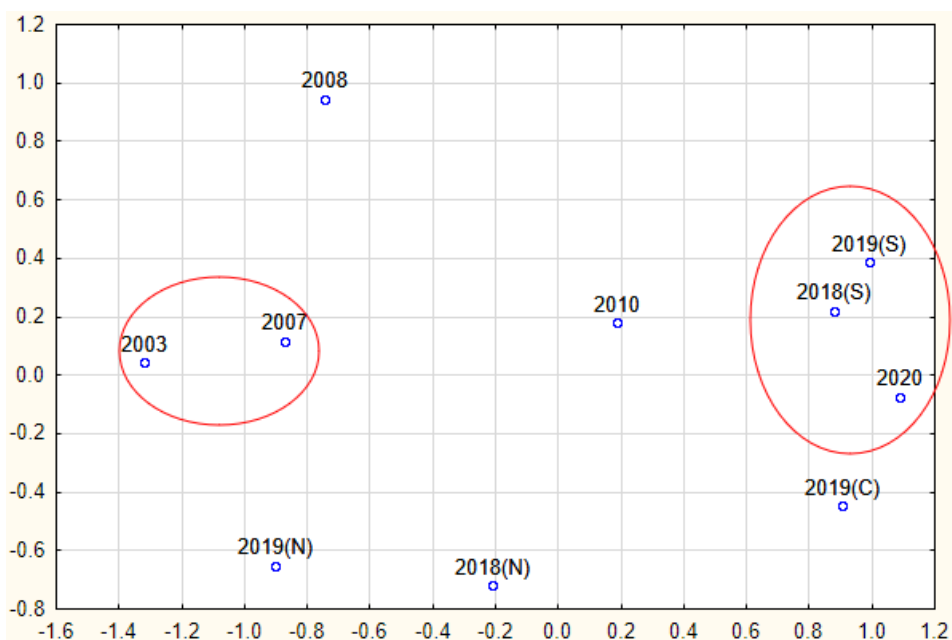


Рисунок – Классификация видовой структуры нектона Чукотского моря для пространственно-временных групп наблюдений. Для лет, в которых исследования проводились в различных частях акватории, районы обозначены как: (S) – южная часть, (C) – центральная, (N) – северная

Видовая структура нектона южной части Чукотского моря в 2008 и 2010 гг. не была схожей с кластером 2003 и 2007 гг., и кластером 2018-2020 гг. В 2008 и 2010 гг. биомасса сайки была низкой (17,4-266,9 кг/км²), при этом массовое перераспределение минтая из Берингова моря еще не началось, в связи с чем доля видов субдоминантов была значительно выше. Структура нектона в центральной части Чукотского моря в 2019 г. была наиболее сходной с наблюдаемой в южной части. В северной части моря в 2018 и 2019 гг. крупный минтай отсутствовал, и доминантом являлась сайка, а распределение биомассы видов субдоминантов не было сходным с таковым в структурах других пространственно-временных групп.

Литература

- Иванов О.А., Суханов В.В. Структура нектонных сообществ прикурильских вод. — Владивосток: ТИНРО-Центр, 2002. — 154 с.
- Суханов В.В., Иванов О.А. Сообщества нектона в северо-западной части Японского моря: монография. – Владивосток: ТИНРО-центр, 2009. – 282 с.
- Cooper D.W., Cieciel K., Copeman L., Emelin P.O., [и др.]. Pacific cod or tikhookeanskaya treska (*Gadus macrocephalus*) in the Chukchi Sea during recent warm years: Distribution by life stage and age-0 diet and condition // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2023. Vol. 208. 105241. DOI: 10.1016/j.dsr2.2022.105241
- Emelin P.O., Maznikova O.A., Benzik A.N., Sheibak A.Yu., Trofimova A.O., Orlov A.M. 2022. Invader's portrait: Biological characteristics of walleye pollock *Gadus chalcogrammus* in the western Chukchi Sea // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. Vol. 206. 105211. DOI: 10.1016/j.dsr2.2022.105211
- Maznikova O.A., Emelin P.O., Sheibak A.Yu., Nosov A.M., Orlov A.M. 2022. Can an invader support commercial fishing? A case study of walleye pollock *Gadus chalcogrammus* in the western Chukchi Sea // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. Vol. 207. 105222. DOI: 10.1016/j.dsr2.2022.105222
- Maznikova O.A., Emelin P.O., Baitalyuk A.A., Vedishcheva E.V., Trofimova A.O., Orlov A.M. Polar cod (*Boreogadus saida*) of the Siberian Arctic: Distribution and biology // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2023. Vol. 208. 105242. DOI: 10.1016/j.dsr2.2022.105242

ПОКОЯЩИЕСЯ СТАДИИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКОВ АМУРСКОГО ЗАЛИВА, ЯПОНСКОЕ МОРЕ

Зверева А.Ю.¹, Орлова Т.Ю.², Морозова Т.В.²

¹Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток,
zvereva.ay@students.dvfu.ru

²«Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского»
ДВО РАН, г. Владивосток, torlova06@mail.ru

Среди биотических компонентов морских экосистем микроводоросли – один из наиболее чувствительных элементов, реагирующих на изменения окружающей среды. Антропогенное загрязнение вод и изменение климата приводят к массовым вспышкам продуктивности фитопланктона («красным приливам»), в том числе и в Японском море.

Явления «красных приливов» напрямую связаны с массовым развитием динофлагеллат рода *Alexandrium* (Коновалова, 1990), продуцирующих токсины с паралитическими свойствами. Согласно литературным данным, покоящиеся стадии играют одну из важнейших ролей в инициации явления «красного прилива» и распространение видов. Поэтому исследование покоящихся стадий (цист) динофитовых водорослей позволяет не только изучать механизмы токсичного цветения, но и отслеживать изменения в обилии и видовом составе фитопланктона.

Целью работы является изучение видового состава покоящихся стадий (цист) динофитовых микроводорослей в современных поверхностных осадках Амурского залива Японского моря. В задачи исследования вошли описание покоящихся стадий, включая потенциально токсичные виды и виды, вызывающие цветение воды. Полученные данные важны для понимания долговременных изменений в структуре фитопланктона.

Исследования проводили в Амурском заливе на 17 станциях, расположенных вдоль западного побережья, включая бухту Перевозная, восточного побережья в черте г. Владивосток и открытой части акватории. Отбор осадков произведен по стандартным методикам (Anderson, 1982; Орлова 2009) с борта маломерного судна «Витязь» 2-3 июля 2022 г. (ЦКП, 2022). Латинские названия видов приводятся в соответствии с электронными базами данных AlgaeBase (AlgaeBase, 2022). Микроскопические исследования проб проведены на приборной базе ЦКП «Морской биобанк» ННЦМБ ДВО РАН (ЦКП, 2022).

Предварительно в исследованном районе обнаружены 26 морфотипов цист динофлагеллат, из которых видовая принадлежность установлена для 22-х, и 4 определены до рода. Также были идентифицированы некоторые виды диатомей. Ниже приведен список видов:

Порядок *Gonyaulacales*: 1. *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech 1995; 2. *Gonyaulax digitalis* (Pouchet) Kofoid 1911; 3. *Gonyaulax elongata* (Reid) Ellegaard, Daugbjerg, Rochon, J. Lewis & I. Harding 2003; 4. *Gonyaulax spinifera* (Claparède et Lachmann) Diesing 1866; 5. *Pyrophacus steinii* (Schiller) Wall et Dale 1971; 6. *Protoceratium reticulatum* (Claparède et Lachmann) Bütschli 1885;

Порядок *Gymnodiniales*: 1. *Polykrikos kofoidii* Chatton 1914; 2. *Polykrikos schwartzii* Bütschli 1873;

Порядок *Peridinales*: 1. *Diplopsalis lenticula* (Bergh) 1881; 2. *Diplopelta cf. parva* (Abe) Matsuoka 1988; 3. *Protoperidinium claudicans* (Paulsen) Balech 1974; 4. *Protoperidinium conicoides* (Paulsen) Balech 1973; 5. *Protoperidinium conicum* (Gran) Balech 1974; 6. *Protoperidinium leonis* (Pavillard) Balech 1974; 7. *Protoperidinium*

minutum (Kofoid) Loeblich 1970; 8. *Protoperidinium oblongum* (Aurivillius) Balech 1976;

Порядок *Thoracosphaerales*: 1. *Scrippsiella crystallina* (Lewis) 1991; 2. *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III (2 подтипа) 1976.

Среди обнаруженных видов присутствуют и вредоносные: *A. catenella complex* – продуцирующий сакситоксины, и *Protoceratium reticulatum* – продуцирующий есотоксины. Обе группы токсинов являются опасными для здоровья человека. Попадая в ЖКТ через морепродукты (чаще всего моллюсков-фильтраторов и рыб), они вызывают желудочно-кишечные и неврологические заболевания [6]. Отравление первой группой получило название «паралитического отравления моллюсками». Вторая группа вызывает «диаретическое отравление моллюсками», особенностью которого является гепатотоксичность, когда токсины в течение долгого времени могут накапливаться в печени, приводя к различным заболеваниям. Покоящиеся стадии этих видов были обнаружены вблизи бухты Перевозная и в западной черте г. Владивосток.

По количеству видов преобладающей группой являлся *Peridinales* (8 видов). Чаще других встречались цисты *Protoperidinium conicoides*, *P. conicum*, *Scrippsiella crystallina*.

Распределение видов было неравномерным, на станции на центральном разрезе Амурского залива и близ бухты Перевозная было зафиксировано наибольшее количество видов (10 (также 1 до рода) и 9 (также 3 до рода) соответственно). Наименьшее количество видов обнаружено в районе неподалеку от п-ов Песчаный (2 и 1 морфотип, определенный до рода).

Таким образом, было обнаружено 26 морфотипов покоящихся стадий динофлагеллят, представленные, в основном, цистами. Среди них были обнаружены принадлежащие к вредоносным микроводорослям *A. catenella complex* и *Protoceratium reticulatum*, также способными инициировать цветение вод.

Необходимы дальнейшие исследования на предмет количественного распределения численности с учетом вредоносных видов, и соотношения с данными более ранних исследований.

Литература

- Коновалова Г.В. “Красные приливы” и “цветение” воды в дальневосточных морях России и прилегающих акваториях Тихого океана // Биология моря. – 1999. – Т. 25. – № 4. – С. 263–273.
- Anderson D.M., Aubrey D.G., Tyler M.A., Coats D.W. Vertical and horizontal distributions of dinoflagellate cysts in sediments // Limnol. Oceanogr. – 1982. – Vol. 27. – P. 757–765.
- Орлова Т.Ю., Морозова Т.В. Покоящиеся стадии микроводорослей в поверхностных осадках залива Петра Великого Японского моря // Биология моря. – 2009. – Т. 35. – № 4. – С. 256–265.
- ЦКП «Морской биобанк» ННЦМБ ДВО РАН [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://marbank.dvo.ru/index.php/ru/?start=8> (дата обращения 30 декабря 2022)
- AlgaeBase. [Электронный ресурс] / Guiry, M.D. & Guiry, G.M. // World-wide electronic publication. – National University of Ireland, Galway. – 2022. – Режим доступа: <https://www.algaebase.org> (дата обращения 7 января 2023.)
- Орлова Т.Ю., Селина М.С. Токсичные микроводоросли фитопланктона дальневосточных морей России: морфогенетика, состав токсинов и покоящиеся цисты динофитовой микроводоросли *Alexandrium tamarense* // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. В рамках программы "Исследование природы Мирового океана" Федеральной целевой программы "Мировой океан", II этап (2003-2007 гг.). – Владивосток, 2007. – С. 223-238.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ (ПАУ) ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Игнатьева В.А.¹, Патрушев М.Г.², Кудряшова Ю.В.¹, Чижова Т.Л.¹

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

Владивосток, ignateva.va98@mail.ru, koudryashova@poi.dvo.ru,

chizhova@poi.dvo.ru

²*Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток, patrushev@ich.dvo.ru*

Залив Петра Великого (ЗПВ) - крупнейший из заливов в северо-западной части Японского моря, здесь расположена большая часть населенных пунктов, железные дороги, морские порты: Владивосток и Находка, предприятия горнодобывающей, судоремонтной, рыбообрабатывающей, энергетической, строительной, пищевой и легкой промышленности, хорошо развито сельское хозяйство. Основные источники загрязнения акватории – водосброс предприятий и коммунальных хозяйств в реки и другие водотоки, ливневая канализация, сбросы с судов, неорганизованные или незарегистрированные источники, аварийные ситуации, оседание взвешенных частиц из атмосферы. Донные отложения залива Петра Великого загрязнены ртутью, ТМ, пестицидами, ПАВ, НУ, а также ПАУ, которые являются суперэкоотоксикантами (Петрова, 1998). Эти вещества, обладая устойчивостью к деградации, накапливаются в донных отложениях перераспределяются во всех компонентах водной системы. ПАУ, входя в состав донных отложений, попадают в бентосные организмы (Ровинский и др., 1988) и через трофические цепи способны попадать в пищу человека. В России контролю подлежит только бенз(а)пирен, тогда как в США в список веществ, приоритетных для контроля, включены 16 ПАУ, а в Европе – 6 (Чижова и др., 2013). Содержание, распределение, и природа поступления ПАУ в донных отложениях залива Петра Великого изучена слабо.

Целью работы была оценка загрязнения донных отложений залива Петра Великого ПАУ и определение факторов, влияющих на распределение этих веществ в акватории.

Отбор проб донных отложений залива Петра Великого производился с помощью бокс-корера (box-corer) в рамках экспедиций ТОИ ДВО РАН в ноябре-декабре 2022. Образцы помещали в герметичные zip-пакеты и замораживали, затем лиофилизировали. Измельчение велось с использованием шаровой мельницы. В дальнейшем проводилась УЗ экстракция навески (10 гр) и анализ содержания ПАУ методом ВЭЖХ с флуоресцентным детектированием. Содержание органического углерода определялось методом ИК-спектроскопии.

Содержание ПАУ варьируется в пределах от 17,95 до 2071,22 мкг/кг. Наибольшая концентрация ПАУ наблюдается в Амурском и Уссурийском заливах и спадает в шельфовой зоне. Это связано с близостью городских и промышленных территорий г. Владивостока. Следует отметить, пятикратное увеличение содержания ПАУ в донных осадках бухты Десантная со стороны пляжа бухты Стеклянная (станция 85-19), что может быть связано с загрязнением от комплекса по переработке и утилизации твёрдых бытовых отходов города Владивосток, расположенного в непосредственной близости.

В донных отложениях преобладают полиарены с 4 кольцами (флуорантен, пирен, бенз[а]антрацен, хризен), меньше всего в донных осадках содержится нафталина, содержащего 2 бензольных кольца. В водной среде низкомолекулярные ПАУ, как правило, находятся в растворенной форме, а высокомолекулярные (4–6 колец) сорбируются на взвесь, что и обусловило их высокую долю в исследуемых донных отложениях (Чижова и др., 2013). Помимо

этого, низкомолекулярные соединения ПАУ более доступны для деградации микроорганизмами, что могло привести к уменьшению процентного содержания соединений с 2-3-мя кольцами.

Считается, что маркерные соотношения $BaA/(BaA+Chr)$ и $Flu/(Flu+Pyr)$ $>0,35$ и $>0,5$ соответственно указывают происхождения полиаренов, вследствие лесных пожаров или путём сжигания ископаемого топлива, значения $<0,2$ и $<0,4$ соответственно – свидетельствуют о петрогенном (нефтяном) происхождении (Yunker et al., 2022). Для всех исследуемых образцов донных отложений значения маркера $BaA/(BaA+Chr)$ указывали на преобладание ПАУ пирогенного происхождения. Значения $Flu/(Flu+Pyr)$ маркера идентифицировали, что большая часть ПАУ была продуктом сгорания биомассы и угля, что связано с наступлением отопительного сезона и значительными выбросами ПАУ при сжигании топлива в котельных и частных хозяйствах.

В целом сумма ПАУ хорошо коррелирует с содержанием в донных отложениях органического углерода, с увеличением количества органики в донных отложениях растёт и концентрация ПАУ, что свидетельствует о сорбции ПАУ на поверхности мелкодисперсных органических молекул и их совместном горизонтальном переносе (осаждении) (Ровинский и др., 1988).

Литература

Петрова В.И. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в донных осадках Мирового океана. С.-Петербург, 1998. 296 с.

Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Ленинград: гидрометеоиздат, 1988. 226 с.

Чижова Т.Л., Кудряшова Ю.В., Прокуда Н.А., Тищенко П.Я. Распределение ароматических углеводородов в воде, взвеси и донных отложениях рек залива Петра Великого. Владивосток: Вестник ДВО РАН, 2013. С. 149-155.

Yunker MB, Macdonald RW, Vingarzan R, Mitchell RH, Goyette D, Sylvestre S PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition // *Org Geochem* . - 2002. - №33. - С. 489–515.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Исакова Д.А.¹, Кудряшова Ю.В.², Чинова Т.Л.², Полоник Н.С.²

¹Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток,
isakova.da@students.dvfu.ru

²Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН

Залив Петра Великого является самым большим заливом российской части Японского моря. Вдоль береговой линии залива расположена большая часть населенных пунктов, морские порты Владивосток и Находка, различные предприятия тяжелой и легкой промышленности, развито сельское хозяйство. В прибрежные воды залива поступают сточные воды, содержащие многокомпонентные смеси загрязняющих веществ минерального и органического происхождения. Это негативно сказывается на окружающей среде.

Формирование донных отложений отражает всю совокупность процессов, протекающих как в водоеме, так и на его водосборной площади. Благодаря этому можно определить характер, степень и глубину проникновения в них загрязняющих веществ, изучить закономерности процессов самоочищения водоемов и водотоков, выявить источники вторичного загрязнения и учет воздействия антропогенного фактора на водные экосистемы.

Одним из индикаторов этих процессов является органическое вещество, которое поступает в донные отложения. Органическое вещество может иметь разное происхождение и разную степень трансформации. Органо-геохимические индексы на основе молекулярного состава алканов (насыщенных алифатических углеводородов) позволяют оценить генезис поступающего органического вещества, их источники, соотношение аквагенных и терригенных компонентов, степень преобразования и пути переноса осадочного материала.

Целью данной работы являлось установить источники алифатических углеводородов в донных отложениях залива Петра Великого и оценить их загрязнение нефтепродуктами.

Для выполнения данной работы в ходе экспедиций на НИС «Профессор Гагаринский» (рейс 83, 84 и 85 (2022г.)) было отобрано 25 образцов поверхностных донных отложений в Амурском и Уссурийском заливах, а также в зоне открытого шельфа залива Петра Великого.

Анализ общего органического углерода (Сорг) проводился методом высокотемпературного каталитического окисления. Определение n-алканов было выполнено с помощью метода газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием. Содержание нефтепродуктов определялось методом спектофлуориметрии (ПНД Ф 14.1:2:4.128-98).

Результаты показали, что массовая доля органического углерода изменялась от 0,2 до 2,7%. Максимальные значения концентраций органического углерода были обнаружены в Амурском заливе, что обусловлено большим речным стоком по сравнению с Уссурийским заливом и шельфом залива Петра Великого.

На большинстве станций состав алканов в донных отложениях имел мономодальное распределение с преобладанием соединений n-C₁₄ и n-C₁₆. Доминирование низкомолекулярных четных алканов является индикатором автохтонного происхождения органического вещества, продуцируемого микроорганизмами. Низкие значения индекса CPI также подтверждают автохтонный генезис. В донных отложениях некоторых станций Амурского залива алканы проявили бимодальное распределение с максимумами для n-C₁₄ и n-C₁₆ и в высокомолекулярной области C₂₅ – C₂₉ с преобладанием нечетных

гомологов, что свидетельствует о притоке терригенного органического вещества. Увеличенные значения молекулярных геохимических индикаторов (CPI и TAR) были показаны для станций, находящихся под влиянием речного стока (р. Раздольной и р. Туманной).

Концентрации нефтепродуктов варьировались от 3,7 до 184 мг/кг. Среднее содержание нефтепродуктов уменьшалось в следующем ряду: Уссурийский залив-Амурский залив-шельфовая зона залива Петра Великого, что отражает интенсивность рыболовецкого судоходства и морских грузоперевозок. Наибольшая концентрация была найдена на ст. 8519 рядом с бухтой Горностай, расположенной около внешнего рейда порта Владивосток, и обнаруженный максимум загрязнения, вероятно, связан со сливом нефтепродуктов и льяльных вод со стоящих на рейде различных судов.

Литература

ПНД Ф 14.1:2:4.128-98. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, срочных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «ФЛЮОРАТ-02» (М 01-05-2012)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ТИХООКЕАНСКОЙ УСТРИЦЫ *CRASSOSTREA GIGAS* ИЗ ЛАГУНЫ БУССЕ (ЗАЛИВ АНИВА, ОХОТСКОЕ МОРЕ)

Ким А.Ч., Шпакова Т.А., Чумаков Д.Е.

Сахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), г. Южно-Сахалинск,
stasy.kim89@yandex.ru

В последние годы в Сахалинской области не спадает интерес промысловиков и любителей-рыболовов к тихоокеанской устрице *Crassostrea gigas*. А потому за двадцатилетний период исследований произошли явные различия в состоянии запаса данного объекта. Об этом свидетельствуют изменения в биологических характеристиках, в том числе и в возрастных показателях устрицы за ряд лет. Потому правильное определение возраста устрицы имеет важнейшее значение для дальнейшего анализа состояния ее ресурса в лагуне Буссе.

Если для многих двустворчатых моллюсков, гребешков, например, чередование элементарных слоев возможно наблюдать на внешней поверхности раковины, то для устрицы, характер роста раковины которой отличается неравномерностью, наружная поверхность створок не предоставляет такой возможности. Поэтому наиболее надежными регистрирующими структурами для определения возраста *C. gigas* являются основные слои нарастания, отчетливо видимые на радиальных срезах раковин (Садыхова, 1971; Садыхова, 1972; Клезеваль и др., 1981).

В соответствие с методикой определения возраста двустворчатых моллюсков Садыховой И.Л. (1972) устрица представляет собой наиболее удобный объект для определения возраста по основным (годовым) слоям роста на срезе раковины в том случае, если обитает в районах с выраженными сезонными колебаниями условий среды, что характерно для лагуны Буссе.



Рисунок – Определение возраста устрицы из лагуны Буссе

Для определения возраста устрицы в лагуне Буссе был собран материал в 2012 и 2013 гг. на участке акватории близ протоки площадью около 1 км². Работы выполнялись при помощи ручного сбора на устричных банках, осушаемых во время отлива, и при помощи водолазов на глубинах 1–3 м методом площадочного учета (Скарлато и др., 1964; Левин, 1994). Всего было выполнено 31 станция в 2012 г. и 74 станций в 2013 г.

Для оценки индивидуального возраста данного вида были выполнены радиальные срезы верхней створки 123 особей с высотой раковины от 45 до 370 мм и массой створок от 9 до 1347 г. Срезы делали при помощи ножовки по

металлу, а также дисков с алмазным напылением. После этого проводили шлифовку срезов. Подсчет слоев нарастания производился на срезах в замковой области створки под лупой и бинокляром.

Каждая полоса обозначает время завершения полного цикла развития устрицы. Нарастание слоя роста начинается в марте–апреле и его интенсивность продолжает увеличиваться. Стоит отметить наличие дополнительных тонких полосок. Такие линии, вероятно, представляют собой периоды возмущений (аномалий), возникающие в течение года. Из-за мелководности температура воды в лагуне (в том числе в ее протоке) подвержена резким суточным и сезонным колебаниям. Сильные приливно-отливные течения и ветровое перемешивание водных масс приводят к значительному снижению их стратификации. По результатам наблюдений сотрудников «СахНИРО» температура воды в районе обитания устрицы в июне–сентябре 2013 г. колебалась от 7,1°C до 23,5°C. Соленость воды в данном районе изменялась от 27,2‰ на поверхности до 31‰ у дна. Содержание кислорода от 66,2 до 101,6%, величина рН от 7,69 до 8,60.

Согласно проведенным исследованиям, в природных условиях быстрый рост устрицы из популяции лагуны Буссе отмечен в течение первых 4 лет, но потом замедляется с пятого года и далее. Причины, по которым особи росли быстрее, как известно, связаны с температурой воды, а также наличием пищи (Orton, 1928; Andreu et al., 1956; Walne, 1958). На основании выведенной формулы (Ким и др., 2021) был определен возрастной состав устрицы лагуны Буссе в 2012 и 2013 гг. Выявлено, что нарастание веса створок в этом возрастном интервале описывается линейной зависимостью с высоким коэффициентом аппроксимации. В 2012 г. большинство моллюсков были в возрасте 5–8 лет. По 1–2% представляли собой старшие возрастные группы от 11 лет. В 2013 г. выделялись 2 группировки в возрасте 1–2 лет и 6–9 лет. Начиная с 12 лет, доля встречаемости особей не превышала 2%. Максимальный возраст достиг 29 лет. Из выше сказанного следует, что в межгодовом аспекте наблюдается закономерный сдвиг доминирующих возрастных групп.

Литература

Ким А.Ч., Ложкин Д.М. Промысел и биологическое состояние тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) в заливе Анива (остров Сахалин) // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: материалы XII Национальной (всероссийской) научно-практической конференции (28–29 апреля 2021 г.) : в 2 ч. Ч. I. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2021. С. 105–109.

Клезеваль Г.Л., Груе Х., Мина М.В. Способ оценки пригодности регистрирующих структур для подсчета слоев при определении возраста животных // Зоол. журн. 1981. № 60, вып. 12. С. 1869–1877.

Левин В.С. Промысловая биология морских донных беспозвоночных и водорослей. – С-Пб.: ПКФ "ОЮ-92", 1994. – 240 с.

Садыхова И.А. К определению возраста дальневосточной мидии *Crenomutilus grayanus* Dunker. В кн.: Основы биологической продуктивности океана и её использование. – М.: Наука, 1971. С. 246–263.

Садыхова И.А. Методика определения возраста двустворчатых моллюсков. – М.: Наука, 1972. – 39 с.

Скарлато О.А., Голиков А.Н., Грузов Е.Н. Водолазный метод гидробиологических исследований // Океанология. 1964. Т. 4, № 4. С. 707–719.

Andreu B., Arte P. Experiences preambles sur la fixation des larvaes et la croissance hivernale desjeunes huitres (*O. edulis*) des Rias Galicienenes // Rapports et Proees-Verbaux des Reunions du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer. 1956. V. 140. P. 17–22.

Orton J.H. On rhythmic periods in shell growth in *Ostrea edulis* with a note on fattening // J. Mar. Biol. Ass. U.K. 1928. V. 15. P. 365–427.

Walne P. Growth of oysters (*Ostrea erfulis* L.) // J. Mar. Biol. Ass. U.K. 1958. V. 37. P. 591–602.

ДАнные о СОДЕРЖАНИИ МИКРОПЛАСТИКА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ФИНСКОГО ЗАЛИВА (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ) ПО ДАННЫМ РЕЙСА АНС39

Кривошлык П.Н.^{1,2}, Чубаренко И.П.¹

¹Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва,
irina_chubarenko@mail.ru

²Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г.
Калининград, Poka20106@yandex.ru

Загрязнение частицами микропластика (МП) обнаруживается во всех средах Мирового океана (Ajith et al, 2020; Shim et al, 2015), Балтийское море не исключение (Есюкова, Чубаренко, 2019). В донных отложениях загрязнение неоднородно и до конца не ясны факторы, влияющие на накопление МП в них (Chubarenko et al, 2022). Это затрудняет проведение мониторинга морской среды и оценку уровня загрязнения в целом. Известно, что именно в донных отложениях накапливаются максимальные концентрации МП. Например, в песках прибойной зоны пляжа обнаруживаются от 9 до 258 шт. частиц МП на килограмм сухого веса песка (Кривошлык, Чубаренко, 2021; Chubarenko et al, 2020), в слое водорослей, покрывающих валуны на подводном склоне – 376 ± 404 шт./кг сух.веса (Esiukova et al, 2021), в то время как в глубоководных осадках Готландской впадины среднее по 53 пробам загрязнение составило 863 ± 1371 шт./кг сух.веса при максимальном значении 10 179 шт./кг сух.веса (Chubarenko et al, 2022). В данной работе рассматривается содержание микропластика (0,3 – 5 мм) в донных осадках Финского залива на основании анализа десяти проб, полученных в ходе 39 рейса нис «Академик Николай Страхов» по акватории Балтийского моря в мае 2019 года.

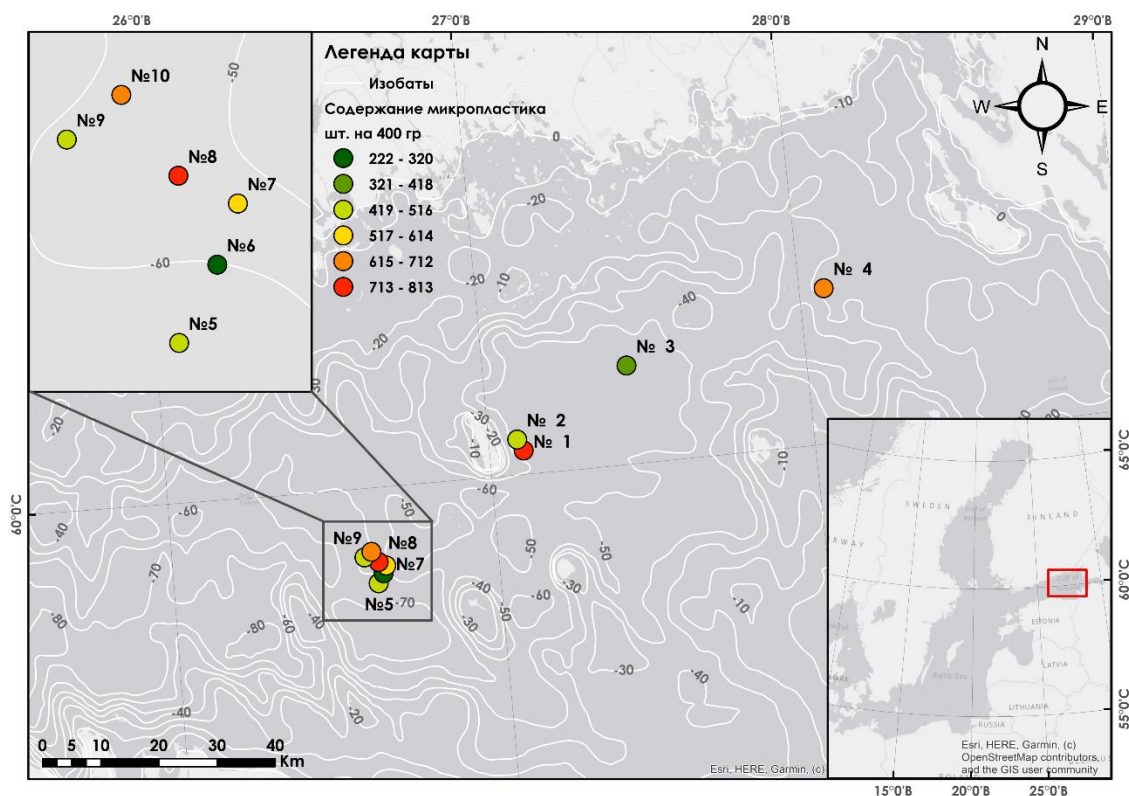


Рисунок – Карта расположения точек отбора проб и содержание частиц МП на каждой станции

Осадки обработаны при помощи модифицированного метода NOAA (Зобков, Есюкова, 2018), включающего в себя: 1) промыв пробы на ситах (333, 175 и 100 мкм) с добавлением ярких, легко различимых, контрольных пластиковых флуоресцирующих частиц; 2) удаление водорослей при помощи перекиси водорода (H₂O₂, 30%) и катализатора при температуре 75°C; 3) отстаивание в соляной кислоте (HCl, 4,5%) для окончательного удаления мелкого ракушняка; 4) сепарирование в растворе хлорида цинка (плотностью – 1,5 г/см³), слив на сита 175, 100 мкм; 5) сушка фильтров в накрытой чашке Петри. После сушки пробы просматривались на микроскопе с увеличением от 10^x до 40^x.

Всего в десяти пробах было обнаружено 5 413 предполагаемых частиц МП. Содержание МП на станциях варьировалось от 222 (ст.6) до 791 (ст.8) частиц в пробе, со средним значением 541±184 штук в образце. Исследование не обнаружило зависимости содержания частиц МП от глубины и типа осадка. 96,3% частиц по форме оказались нитями, 3,7% фрагментами. Распределение по размерам показало, что большинство частиц имеют длину 0,5-2 мм (69%), частиц размером 0,3-0,5 мм обнаружено 15,8%, частиц длиной 2-5 мм обнаружено 13,6%, частиц крупнее 5 мм обнаружено всего 1,6%. Большинство частиц МП оказалось прозрачными 76,2%, синих, зелёных, черных, красных, жёлтых, белых, частиц оказалось соответственно: 8,1%, 5,7%, 3,4%, 2,6%, 2,2%, 1,5%, самыми малочисленными частицами оказались коричневые частицы, 0,4%.

Если предположить, что синтетическая природа будет подтверждена для 90% частиц (предыдущие исследования для данного оператора), то результирующее загрязнение составит порядка 400 частиц МП (0,3-5 мм) на 400 г осадка, что хорошо согласуется с ранее полученными (Chubarenko et al, 2022) значениями для юго-восточной части Балтики.

Исследование выполнено при поддержке госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0012).

Литература

- Есюкова Е. Е., Чубаренко И. П. Микропластик в водной толще, донных осадках и песках пляжей юго-восточной части Балтийского моря: концентрации, распределение частиц по размерам и формам //Региональная экология. – 2019. – №. 2. – С. 16-29.\
- Зобков М. Б., Есюкова Е. Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов //Океанология. – 2018. – Т. 58. – №. 1. – С. 149-157.
- Кривошлык П. Н., Чубаренко И. П. СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ПЕСКАХ ПРИБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛЯЖА //Океанологические исследования. – 2021. – Т. 49. – №. 2. – С. 57-66.
- Ajith N. et al. Global distribution of microplastics and its impact on marine environment—a review //Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – Т. 27. – С. 25970-25986.
- Chubarenko I. et al. From macro to micro, from patchy to uniform: Analyzing plastic contamination along and across a sandy tide-less coast //Marine Pollution Bulletin. – 2020. – Т. 156. – С. 111198.
- Chubarenko I. et al. Microplastics distribution in bottom sediments of the Baltic Sea Proper //Marine Pollution Bulletin. – 2022. – Т. 179. – С. 113743.
- Esiukova E. E. et al. Marine macrophytes retain microplastics //Marine Pollution Bulletin. – 2021. – Т. 171. – С. 112738.
- Shim W. J., Thomposon R. C. Microplastics in the ocean //Archives of environmental contamination and toxicology. – 2015. – Т. 69. – С. 265-268.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОТОКИ ПАУ В ПЕЛАГИАЛИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Кудряшова Ю.В.

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

Загрязнение Мирового океана является одной из самых глобальных проблем современности в связи с поступлением в морскую среду огромного количества промышленных и бытовых стоков, а также интенсивным использованием океана как пути перевозок. Одними из самых распространенных загрязняющих веществ являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Эти органические соединения обладают высокой устойчивостью, токсичными, мутагенными и канцерогенными свойствами.

Для исследования особенностей вертикальной миграции ПАУ, их преобразования и факторов, определяющих изменение их содержание и композиции в северо-западной части Японского моря, в ходе экспедиции на НИС “Академик М.А. Лаврентьев” (рейс 79) произведен отбор проб взвешенных (ВПАУ) и растворенных ПАУ (РПАУ) на двух глубоководных станциях.

Полученные результаты показали, что концентрации ВПАУ изменялись в пределах между 0,87 нг/л и 1,71 нг/л, концентрации РПАУ варьировали от 5,56 нг/л до 15,11 нг/л. Наиболее высокие концентрации ПАУ были выявлены в мезопелагиали. Поскольку похожий характер распределения ПАУ в водной толще был обнаружен в районах Мирового океана с активной вертикальной динамикой вод, то найденное нами повышенное загрязнение мезопелагиали, вероятно, является следствием особенностей вертикальной циркуляции вод северо-запада Японского моря. Также возможной причиной мезопелагического накопления ПАУ могут являться биогеохимические условия. Слой на глубинах около 300 м северо-западной части Японского моря в работах некоторых авторов рассматривается как Промежуточные Воды Японского моря, характеризующиеся самыми высокими концентрациями растворенного кислорода ниже фотической зоны. Повышенное содержание кислорода способствует аэробной биодegradации и дефрагментации взвешенных частиц с последующим замедлением их осаждения, что вероятно приводит накоплению ПАУ на этом слое. Дegradация взвешенного материала и переход ВПАУ в растворимую форму подтверждается некоторым увеличением доли РПАУ в верхней части мезопелагиали.

Концентрации РПАУ во всех образцах превышали ВПАУ в несколько раз. Очевидно, что разница в содержании растворенного и взвешенного органического вещества, которое отличалось на порядок (концентрации взвешенного органического углерода составили от значений ниже уровня детектирования до 48,7 мкг/л; концентрации взвешенного углерода были от 0,93 мг/л до 1,51 мг/л), и связывание им молекул ПАУ, проявляющих гидрофобные свойства, обусловила такое фракционирование полиаренов в водной среде Японского моря. Вертикальные профили ПАУ показали различие с профилями концентраций органического углерода, которые резко уменьшались ниже глубины 50-100 м, что говорит о том, что ПАУ в водной толще проявляют значительную устойчивость по сравнению с лабильной частью органического вещества. Замедление скорости degradation ПАУ может быть вызвано ингибированием бактериальной активности из-за низких температур холодных субарктических вод, формирующих северную часть Японского моря. Помимо этого, поскольку исследуемые полиарены являются продуктами горения ископаемых топлив и биомасс, их устойчивость является следствием ассоциации с сажевыми частицами.

Значения седиментационных потоков ВПАУ в эпи+мезопелагиали (0-1000 м) и батипелагиали (1000~3500 м), рассчитанные с помощью полученных концентраций ПАУ и литературных данных, составили 2108 нг/м²день и 1133 нг/м²день (215,8 т/г и 116 т/г), а времени пребывания – 1,5 года и 6,8 лет, соответственно. Для РПАУ в батипелагиали значение скорости удаления из водной толщи 699 нг/м²день (71,6 т/г) было получено при допущении того, что скоростью осаждения этой фракции под действием гравитации можно пренебречь, и, соответственно, время пребывания этой фракции ПАУ принималось равным времени обновления глубинных вод, которое составило 82 года.

ФАУНА ЦЕРИАНТАРИЙ (ANTHOZOA: CNIDARIA) РОССИЙСКИХ МОРЕЙ

Липухин Э.В., Симакова У.В., Москаленко В.Н., Молодцова Т.Н.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, lipukhin.e@gmail.com

Одиночные кораллы из подкласса Цериантарии (Ceriantharia) представляют собой компактную, хорошо очерченную группу морских донных организмов. В настоящее время, в соответствии с результатами молекулярно-генетических исследований, Ceriantharia рассматривают в ранге подкласса класса Коралловых полипов (Anthozoa) типа Стрекающих (Cnidaria) (Stampar et. al., 2014, 2016; Forero Mejia et. al., 2020). Однако в литературе дискутируется, являются ли цериантарии сестринской группой к подклассу Octocorallia (Stampar et. al., 2014) или Hexacorallia (Forero Mejia et. al., 2020). В основном эта группа известна благодаря своей двусторонней симметрии, проявляющейся в расположении щупалец и мезентериев. Цериантарий часто используют в сравнительной зоологии как модель для объяснения перехода многоклеточных к двусторонней симметрии (Малахов, 2016).

Цериантарии распространены всесветно, в том числе в морях с неполной соленостью и эстуариях. Они обитают в широком диапазоне глубин (от 0 до 5000 м) (Stampar et. al., 2014). Благодаря хорошо развитой продольной мускулатуре цериантарии быстро прячутся в трубку, поэтому их сложно собирать традиционными орудиями лова (тралами и доночерпателями), и они лучше известны на мелководье, где их исследуют с использованием легководолазного оборудования.

Для морей России до настоящего времени отмечено три вида цериантарий, относящихся к 2 родам семейства Cerianthidae – *Cerianthus lloydii* в арктических морях и на Дальнем Востоке, *C. vogti* в море Лаптевых (Молодцова, 2012) и *Pachycerianthus solitarius* в Черном море. Только *C. vogti* известен с глубин более 500 м (Молодцова, 2012). В литературе (Stampar et. al., 2020) высказывалась точка зрения, что *C. lloydii*, широко распространенный в Арктических морях и сопредельных водах Тихого и Атлантического океана, представляет собой группу родственных видов. Основной целью нашей работы было проверить правомерность этой гипотезы.

Задачами работы являются (1) ревизия видового разнообразия подкласса Ceriantharia в морях России; (2) составление базы данных последовательностей участков генов малой субъединицы ядерной рибосомальной ДНК (18S) и I субъединицы цитохромоксидазы (COI) для оценки разнообразия и построение филогенетических реконструкций (3) уточнение целостности широко распространенного в Арктике вида *Cerianthus lloydii*.

В работе использовано 33 экземпляра 15 видов цериантарий из коллекций Института Океанологии РАН (ИО РАН) и Зоологического Института РАН (ЗИН РАН) из морей России, включая моря Российской Арктики (Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых), Черное море и Берингово море, а также несколько экземпляров *Cerianthus lloydii* из морей Северной Европы (Норвежское море, побережье Великобритании) и *Pachycerianthus solitarius* из Средиземного моря.

Определение полипов проводили по стандартной методике. Фиксированной животное вскрывали и исследовали расположение щупалец и мезентериев относительно единственного сифоноглифа. Для молекулярно-генетических исследований ДНК выделяли из щупалец с помощью прямого лизиса, при необходимости проводили дополнительную очистку на колонках (набор Cleanup Mini, Евrogen). ПЦР проводили с использованием фолмеровских праймеров LCO1490-HCO2198 для гена COI и TimA-1100R2 для гена 18S. Затем проводили

секвенирование по Сэнгеру. В качестве дополнительного материала мы использовали последовательности COI (121) и 18S (43) из баз данных GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) и BOLD (<http://www.boldsystems.org/>). Хроматограммы обрабатывали в программе CodoneCode Aligner (CodonCode Corporation, Dedham, Massachusetts). Выравнивание проводили с помощью алгоритма MAFFTaligner. Для проведения филогенетической реконструкции методом максимального правдоподобия использовали алгоритм Fast tree на основании GTR модели нуклеотидных замен с расчетом поддержек ветвей с помощью алгоритма SH-like local supports.

Морфологический анализ показал, что в исследованной коллекции из морей России присутствуют представители двух семейств: *Botrucnidiferidae* (*Botrucnidifer* sp1. из района Курильских островов (1000 м) и *Botrucnidifer* sp2. со склона Командорской Котловины (3300 м)), по-видимому, представляющие собой новые виды, и *Cerianthidae* (*Cerianthus lloydii* из мелководных (40-120 м) районов Арктического бассейна, Черного, Берингова моря, Курильских островов и Японского моря и *C. vogti* из моря Лаптевых). К сожалению, только часть сборов *Cerianthus lloydii* оказалась пригодной для молекулярно-генетических исследований.

Филогенетические реконструкции, полученные на основании анализа последовательностей генов 18S и COI, сходны. На обоих кладограммах цериантарии морей России образуют одну кладу с высокой поддержкой (>0,98). Находки из Белого, Карского, Лаптевых и Берингова моря относятся к одной кладе, достоверно генетически отличающейся от *Cerianthus lloydii* Северной Европы, а также Баренцева моря. В эту же кладу попадают последовательности образцов из канадской Арктики и моря Лабрадор, полученные из BOLD.. Образцы из Черного моря, ранее определяемые в ряде региональных сводок как средиземноморский *Pachycerianthus solitarius*, относятся к северо-европейской кладе *Cerianthus lloydii*. Сходство последовательностей участка COI, относящихся к образцам из Черного, Баренцева и Северного морей и пролива Скагеррак (Швеция) составляет 99,2-100%. При сравнении черноморских образцов с *Pachycerianthus solitarius* из Средиземного моря сходство составило менее 83%. Ряд последовательностей, опубликованных в BOLD, полученных для образцов из северо-западной Атлантики (о-в Ньюфаундленд), определенных при депонировании как *Pachycerianthus borealis*, формирует третью кладу (сходство 100%) из группы *Cerianthus lloydii*, сестринскую северо-европейской и арктической. Сходство между тремя кладами составляло менее 98,7%. По-видимому, группу видов, ранее определяемую как *C. lloydii* и *P. borealis*, следует рассматривать как самостоятельный род.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-24-00873).

Литература

- Малахов, В. В. (2016). Симметрия и щупальцевый аппарат книдарий. *Биология моря*, 42(4), 249-259.
- Молодцова Т.Н. 2012. *Ceriantharia*. Иллюстрированные определители свободноживущих беспозвоночных евразийских морей и прилежащих глубоководных частей Арктики. Т. 3 Стрекающие и гребневики. Под ред. Б.И. Сиренко – СПб.; М.; Товарищество научных изданий КМК, 2012: 182-187
- Forero Mejia, A.C.; Molodtsova, T.; Östman, C.; Bavestrello, G.; Rouse, G.W. Molecular phylogeny of *Ceriantharia* (Cnidaria: Anthozoa) reveals non-monophyly of traditionally accepted families. 2020. *Zool. J. Linn. Soc.* 2020, 190, 397-416.

Stampar, S.N.; Maronna, M.M.; Kitahara, M.V.; Reimer, J.D.; Morandini, A.C. Fast-evolving mitochondrial DNA in Ceriantharia: a reflection of hexacorallia paraphyly? PLoS One 2014, 9, e86612, doi:10.1371/journal.pone.0086612.

Stampar, S.N.; Reimer, J.D.; Maronna, M.M.; Lopes, C.S.; Ceriello, H.; Santos, T.B.; Acuña, F.H.; Morandini, A.C. Ceriantharia (Cnidaria) of the World: an annotated catalogue and key to species. ZooKeys 2020, 952, 1.

НОВЫЕ ВИДЫ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ ДЛЯ МОРСКОЙ ФАУНЫ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

Лисицына К.Н., Каменев Г.М.

*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
г. Владивосток, lisitsina_ksenia_1997@mail.ru*

Протяженные в широтном направлении и пересекающие несколько климатических зон Курильские острова уже многие десятилетия вызывают большой интерес у морских биологов (Сиренко, 1993). Они являются одним из центров видообразования морской донной фауны в северо-западной Пацифике и основным путем миграций фаун азиатского и американского континентов. Также Курильские острова являются естественным барьером, разделяющим глубоководные экосистемы Охотского моря и Тихого океана. В результате взаимодействия вод холодных и теплых течений, широтной зональности островов, вулканизма и ряда других факторов здесь создаются крайне разнообразные условия обитания для гидробионтов, которые привлекают внимание как исследователей, так и промысловиков (Кусакин, Лукин, 1995).

Планомерные и всесторонние исследования данного региона, включая гидробиологические, начались только после окончания Великой Отечественной войны, когда в состав СССР вошли южная часть о. Сахалин и Курильские острова (Скарлато, 1981; Сиренко, 1993). Уже в 1947-1949 гг. была организована комплексная Курило-Сахалинская экспедиция ЗИН АН СССР и ТИНРО на р/т «Топорок», во время которой было собрано около 40 проб бентоса в батимальной зоне южных Курил (Сиренко, 1993).

Начиная с 1949 г. обширные исследования дальневосточных морей СССР начал проводить организованный в 1946 г. Институт океанологии АН СССР (ИО РАН) (Скарлато, 1981; Сиренко, 1993). В период с 1949 по 1953 гг. ИО РАН провел 11 экспедиций на НИС «Витязь» в северо-западный район Тихого океана, которые собрали большое число траловых и дночерпательных проб донной фауны в районе Курильских островов. В экспедициях НИС «Витязь» основной упор был сделан на исследование глубоководных (свыше 5000 м) районов Тихого океана и океанических желобов. Однако большая часть материалов по двустворчатым моллюскам, собранных в районе Курильских островов на глубинах менее 5000 м, до последнего времени так и не были обработаны.

В 1970 г. во Владивостоке был организован Институт биологии моря Дальневосточного научного центра Академии наук СССР (ИБМ). Уже в период с 1969 по 1971 гг. в районе большой Курильской гряды были проведены 3 совместные гидробиологические экспедиции ИБМ-ТИНРО для исследования распределения кормовых объектов каланов в донных сообществах верхней сублиторали Курил (Сиренко, 1993), где был собран огромный гидробиологический материал на глубинах до 40 м. Впоследствии сотрудники ИБМ самостоятельно или совместно с сотрудниками ТИНРО и ТИБОХ приняли участие в 12 экспедициях, которые исследовали донную фауну различных районов Курильских островов до глубины 1000 м. Однако материалы по двустворчатым моллюскам из этих экспедиций в основном оставались не идентифицированными.

В 1981 году О. Г. Скарлато опубликовал единственную на данный момент сводку по фауне двустворчатых моллюсков дальневосточных морей России. В нее вошли результаты обработки всех имевшихся на тот момент материалов по *Bivalvia* из района Курильских островов, хранившихся в коллекции ЗИН. В данной работе было отмечено 124 вида двустворок в составе фауны Курил (Скарлато, 1981).

Впоследствии, после частичной обработки материалов, собранных ИБМ и ИО РАН, рядом исследователей были опубликованы отдельные работы, посвященные описаниям 9 новых как для науки, так и для данного региона видов (Каменев, Надточий, 2000; Kamenev, 1998, 1999, 2001, 2002, 2004a, б, 2007; Amano, Lutaenko, 2004).

За последние годы нами были обработаны обширные, неидентифицированные материалы по двустворчатым моллюскам, хранящиеся в коллекциях ИО РАН и ННЦМБ ДВО РАН. Так, было проведено определение двустворчатых моллюсков из 368 проб, собранных в ходе одной из наиболее масштабных экспедиций в район Курильских островов, организованной в 1987 г. ИБМ-ТИНРО на НИС «Тихоокеанский». Также были обработаны материалы 8 небольших отдельных экспедиций, в которых принимали участие сотрудники ННЦМБ ДВО РАН с 1985 по 2019 гг., в каждой из которых число проб, содержащих двустворчатых моллюсков, варьировало от 7 до 24.

По результатам обобщения имеющихся на данный момент всех литературных данных, а также результатов наших исследований, фауна двустворчатых моллюсков в районе Курильских островов на глубинах до 1000 м в настоящее время содержит 160 видов, из которых 38 видов (24 % от общего числа) были отмечены впервые в данном регионе. Из них 6 видов (около 4%) оказались новыми для науки. В составе фауны двустворчатых моллюсков Курил отмечено 11 эндемичных видов, что составляет около 7 % от общего числа видов.

Стоит отметить, что эти данные не являются окончательными, т.к. исследования в районе Курильских островов в основном проводились на глубинах до 1000 м, а также в глубоководных районах (свыше 5000 м). Из-за особенностей гидрологического и метеорологического режимов (наличия сильных течений и большого числа штормовых дней), а также сложного рельефа дна, представленного достаточно крутыми каменистыми склонами, сбор зоологического материала в данном регионе сильно затруднен. В связи с этим диапазон глубин от 1000 до 5000 м изучен крайне слабо. Именно поэтому, интерес исследователей привлекает изучение подводных склонов Курил на глубинах свыше 1000 м, где ожидаются находки большого числа новых для науки видов, многие из которых с высокой вероятностью могут оказаться эндемиками данного региона.

Данное исследование было поддержано проектом «Фундаментальные проблемы изучения и сохранения глубоководных экосистем в потенциально рудоносных районах Северо-Западной части Тихого океана», соглашение № 075-15-2020-796 (грант № 13.1902.21.0012).

Литература

- Каменев Г. М., Надточий В. А. *Mendicula ferruginosa* (Forbes, 1844) (Bivalvia, Thyasiridae) из дальневосточных морей России // *Ruthenica, Russian Malacological Journal*. 2000. Т. 10. Вып. 2. С. 147-152.
- Кусакин, О. Г., Лукин, В. И. Подводный мир Курил. Владивосток: Дальнаука, 1995. 205 с.
- Сиренко, Б.И. Распределение бентоса в некоторых участках материкового склона Курильской гряды. Фауна материкового склона Курильской островной гряды // *Исслед. фауны морей*. 1993. Т. 46 (54). С. 5-44.
- Скарлато, О.А. Двустворчатые моллюски умеренных вод северо-западной части Тихого океана // *Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим институтом АН СССР*. Вып. 126. 1981. 479 с.
- Amano K., Lutaenko K.A. New fossil and Recent *Limopsis* (Bivalvia) from the Northwestern Pacific // *Veliger*. 2004. Vol. 47. N 1. P. 13-20.
- Kamenev, G. M. Two new species of *Lampeia* (Bivalvia: Thraciidae) from the Northwestern Pacific, with notes on *Lampeia adamsi* (MacGinitie, 1959) // *Veliger*. 1998. Vol. 41. P. 259-273.
- Kamenev, G. M. Species of *Macoma* (Bivalvia: Tellinidae) from the Pacific coast of Russia, previously described as *Abrina* (Bivalvia: Semelidae) // *Malacologia*. 1999. Vol. 41. P. 209-230.
- Kamenev, G. M. Genus *Parvithracia* (Bivalvia: Thraciidae) with descriptions of a new subgenus and two new species from the Northwestern Pacific // *Malacologia*. 2002. Vol. 44. P. 107-134.
- Kamenev, G. M. New species of the genus *Abrina* (Bivalvia: Semelidae) from the Commander and Kuril Islands // *Malacologia*. 2004a. Vol. 46. P. 157-168.

Kamenev, G. M. New species of the genus *Kellia* (Bivalvia: Kelliidae) from the Commander Islands, with notes on *Kellia comandorica* Scarlato, 1981 // Malacologia. 20046. Vol. 46. P. 57-71.

Kamenev, G. M. Genus *Samacar* Iredale, 1936 (Bivalvia: Arcidae) with descriptions of a new subgenus and two new species from the Northern Pacific // Malacologia. 2007. Vol. 39. P. 297-320.

ОЦЕНКА МЕЖГОДОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРОДУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В МОРЯХ КАРСКОМ И ЛАПТЕВЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИЙ 2018 – 2021 ГГ.

Логинова Н.Б., Поважный В.В.

*Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, n.b.zakharova@yandex.ru*

Исследования, выполненные в последние два десятилетия в Северном Ледовитом океане (СЛО), выявили заметные изменения качественного состава ледового покрова, гидрофизических характеристик поверхностных вод, и, как следствие, видового состава биологических сообществ, развивающихся в водно-ледовой среде. Сокращение площади многолетних льдов и одновременное возрастание доли сезонных льдов и доли свободных ото льда водных пространств, в целом, привело к изменениям функционирования экосистемы пелагиали СЛО. В настоящее время, в его центральных районах нет постоянных наблюдений за динамикой современных процессов, однако важность получения такой информации трудно переоценить.

Серьезный прогресс в гидробиологических исследованиях моря Лаптевых, достигнутый с начала экспедиций «ЛАПЭКС/Трансдрифт», привел к уточнению параметров его углеродного цикла на основе измерений хлорофилла-А (хл-А). Чтобы лучше понять особенности углеродного цикла в море по данным измерений хл-А, большое значение имеют прямые измерения первичной продукции (ПП). Измерения ПП с использованием ^{14}C в море Лаптевых были выполнены фрагментарно (Tuschling, 2000; Sorokin and Sorokin, 1996), в то время как метод на основе кислородных оптодов оказался удобным и достаточно чувствительным для применения в арктических морях (Campbell et al., 2017).

Прямые измерения ПП нами были начаты в 2014 году и успешно выполнены в ходе экспедиций «Арктика-2018» (август – сентябрь 2018 г., 35 станций), «Трансарктика – 2019» (4 этап, август – октябрь 2019 г., 33 станции) и «Арктика – 2021» (август-сентябрь 2021 г., 16 станций) в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском и Карском. Район выполнения работ включал области материкового шельфа, и склона моря Лаптевых и пролив Шокальского, район желоба Св. Анны, материкового шельфа и склона Карского моря. Отбор проб для определения концентрации хл-А и фитопланктона осуществлялся батометрами Нискина в составе гидрологического комплекса «Розетта». Пробы хл-А определялись непосредственно на борту экстрактивным флуориметрическим методом с использованием 90% ацетона и флуориметра Turner Designs Trilogy (без подкисления). Определение ПП органического вещества производилось кислородной модификацией скляночного метода и было выполнено с использованием оптического датчика растворенного кислорода PreSens Fibox 4. Определение выполнялось непосредственно после отбора проб с использованием склянок прозрачного стекла объемом 250 мл. Склянки экспонировались в термостатированном люминостате при 100 мкЕ/м²/сек ФАР и 1 °С (поверхностный горизонт) и 16 мкЕ/м²/сек ФАР и -0,9 °С (слой максимума хл-А). Динамика концентрации кислорода определялась каждые 6 ч в течение 18 – 24 ч. Одновременно с продукционными измерениями были выполнены стандартные гидробиологические наблюдения за основными компонентами пелагических и донных экосистем. Выполненные измерения позволили оценить связь уровня продукции органического вещества с уровнем накопления запасных питательных веществ, липидов, в сетном планктоне, а также оценить долю органического вещества, потребляемого в донных экосистемах моря Лаптевых организмами микро- и макробентоса.

По данным прямых измерений валовой и чистой первичной продукции органического вещества планктона, выполненных в 2018 – 2021 гг., были оценены ее межгодовые колебания. Наибольшие значения валовой и чистой первичной продукции морей Карского и Лаптевых в летне-осенний период отмечались в 2018 г. в районе континентального склона. Минимальные значения данного показателя в указанном районе были отмечены в 2021 г. На шельфе морей Карского и Лаптевых первичная продукция органического вещества изменялась разнонаправленно и в целом была в 3 – 5 раз ниже значений, полученных в области континентального склона. Географические особенности распределения данного показателя объясняются активной гидродинамикой в области влияния Арктического вдольберегового течения, несущего воды Атлантического происхождения, богатые биогенными элементами. Межгодовые колебания показателя также могут быть связаны с изменениями интенсивности зимней конвекции в районе континентального склона.

В результате обработки проб мезозоопланктона в исследованных районах моря Лаптевых не было отмечено новых для района видов или не описанных ранее особенностей их распределения. На мелководном шельфе моря доминировали мелкие представители *pp. Pseudocalanus, Oithona, Drepanopus (Calanoida, Cyclopoida)*, а также представители желетелого и меропланктона. В северной части шельфа моря Лаптевых в сообществе было отмечено усиление роли крупных представителей *pp. Calanus* (в основном - *C. glacialis*). В области континентального склона и в глубоководной части моря в районе влияния Атлантических Водных Масс комплекс трех видов *pp. Calanus* абсолютно доминировал по биомассе, при этом по численности в пробах преобладали мелкие циклопы *pp. Oithona* и *Oncea*.

На основе измерений общей биомассы сетного планктона и содержания в нем общих липидов в осенний период предварительно был описан метод интегральной экспресс-оценки биопродуктивности Арктических морских экосистем. Было отмечено, что районам с высокой (более 1,5 г С/м²/сут) первичной продукцией планктона, оцененной по результатам прямых измерений, соответствует содержание общих липидов в сетном планктоне более 10 % от общей сырой биомассы. Высокая общая биопродуктивность планктона отмечается в Арктических морях в области материкового склона. Полученный результат позволяет оценивать базовые параметры цикла углерода Арктических морей по данным хорошо воспроизводимых стандартных измерений.

Литература

- Campbell K. et al. Net community production in the bottom of first-year sea ice over the Arctic spring bloom // *Geophysical Research Letters*. – 2017. – Т. 44. – №. 17. – С. 8971-8978.
- Sorokin Y. I., Sorokin P. Y. Plankton and primary production in the Lena River estuary and in the south-eastern Laptev Sea // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. – 1996. – Т. 43. – №. 4. – С. 399-418.
- Tuschling K. Zur Ökologie des Phytoplanktons im arktischen Laptevmeer: ein jahreszeitlicher Vergleich= Phytoplankton ecology in the arctic Laptev Sea: a comparison of three seasons // *Berichte zur Polarforschung (Reports on Polar Research)*. – 2000. – Т. 347.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА МАССОВОГО СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛОВ В ВОДЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО САХАЛИНА

Мазанова А.Д., Коренева Т.Г.

*Сахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), г. Южно-Сахалинск,
tochka6410@bk.ru*

Японское и Охотское моря у берегов юга Сахалина богаты запасами водных биологических ресурсов (Аминина и др., 2014; Калчугин и др., 2016). Сохранение стабильного функционирования прибрежных морских экосистем, вызывающих большой интерес в связи с использованием их биологических ресурсов, в условиях возрастающего антропогенного загрязнения является важнейшей экологической проблемой. В связи с этим, актуальность определения массового содержания фенолов – органических соединений ароматического ряда, входящих в список приоритетных загрязняющих веществ, связана с необходимостью объективной оценки экологического состояния и реальной степени техногенного воздействия на прибрежные морские воды Сахалина.

Цель работы – выявить особенности пространственно-временной динамики содержания фенолов в прибрежных морских водах южного Сахалина и оценить их качество.

Материалом для выполнения работы послужили результаты анализа 365 проб воды, отобранных на полигонах экологического мониторинга в период 2014–2022 гг. в Татарском проливе (Японское море) у юго-западного Сахалина и в заливе Анива (Охотское море) в южной части острова. Массовую концентрацию фенолов в воде измеряли флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» (ПНД Ф 14.1:2:4.182). При статистической обработке данных, включающих величины, находящиеся ниже предела обнаружения методики измерений, использовали половину (1/2) данной величины.

Результаты исследований показали, что массовая концентрация общих фенолов в прибрежных водах южного Сахалина изменяется в широких пределах – от значений, лежащих ниже предела обнаружения методики измерений ($<0,0005$ мг/дм³) до $0,0070$ мг/дм³ (Таблица). Минимальные среднесезонные значения концентрации фенольных соединений преимущественно характерны для придонных горизонтов относительно глубоководных (10 м) станций осенью и зимой, максимальные – для подповерхностных горизонтов мелководных станций (1 м) весной и летом. Повышение фенольного загрязнения весной приурочено к районам антропогенного воздействия и приходится на период таяния снежного и ледяного покрова, а летом – приурочено к участкам с обилием растительных организмов на донном грунте и гниющей водной растительности в условиях максимального прогрева водных масс. Наиболее загрязненным оказался полигон Шебунино в Татарском проливе. Среднее содержание фенолов, характеризующее воды данного полигона в изученный период, превысило предельно допустимую концентрацию (ПДК = $0,001$ мг/дм³), установленную для вод рыбохозяйственных водных объектов (Приказ Минсельхоза..., 2016) в 1,2 раза. Наиболее чистым является полигон Пригородное в заливе Анива, где среднее содержание поллютантов в воде находится ниже предела обнаружения методики.

Доля проб, не соответствующих нормативу по содержанию фенолов на полигонах Татарского пролива, составляла 20% от общего числа исследованных в этом районе проб. Максимальные количества фенольных соединений, в 7 раз превышающие ПДК, были зафиксированы в апреле 2022 г. на полигоне Шебунино. На полигонах залива Анива концентрация фенолов в воде превышала ПДК в 24% случаев от общего числа исследованных в этом районе проб. Максимальные количества фенольных соединений (2,1 ПДК) были отмечены в

сентябре 2016 г. на полигоне Таранай. Значения коэффициентов вариации, характерных для распределения полученных данных на полигонах Татарского пролива ($C_v = 0,91-1,68$) и залива Анива ($C_v = 0,63-1,0$) указывают на значительный разброс данных, связанных с наличием антропогенных и природных источников поступления загрязнителей в прибрежные воды.

На полигонах Татарского пролива межгодовая динамика среднего содержания фенолов в воде в изученный период характеризуется наличием двух пиков в 2019 и 2022 гг. (рисунок), превышающих ПДК в 1,6 и 1,3 раза, соответственно. На полигонах залива Анива содержание фенолов в воде соответствовало требованиям к их качеству.

Таблица.

Содержание общих фенолов в водах Татарского пролива и залива Анива, 2014–2022 г.

Район исследований	Полигон	Координаты		Массовая концентрация, мг/дм ³		ПДК, мг/дм ³
		с.ш.	в.д.	По полигону	По району	
Татарский пролив (Японское море)	Антоново, n=93	47°08'28"	142°03'27"	$\frac{<0,0005-0,0026^1}{0,0006 \pm 0,0005^2}$	$\frac{<0,0005-0,0070}{0,0008 \pm 0,0007}$	0,001
	Люблино, n=74	46°55'10"	141°59'42"	$\frac{<0,0005-0,0020}{0,0005 \pm 0,0005}$		
	Шебунино, n=83	46°32'42"	141°48'38"	$\frac{<0,0005-0,0070}{0,0012 \pm 0,0012}$		
Залив Анива (Охотское море)	Нечаевка, n=20	46°36'46"	142°49'30"	$\frac{<0,0005-0,0017}{0,0008 \pm 0,0005}$	$\frac{<0,0005-0,0021}{0,0006 \pm 0,0005}$	
	Пригородное, n=18	46°40'58"	142°54'53"	$\frac{<0,0005-0,0014}{<0,0005 \pm 0,0004}$		
	Юнона, n=21	46°36'39"	142°57'21"	$\frac{<0,0005-0,0020}{0,0008 \pm 0,0006}$		
	Утесное, n=8	46°36'06"	143°02'23"	$\frac{<0,0005-0,0016}{0,0007 \pm 0,0005}$		
	Аракуль, n=17	46°34'43"	143°12'41"	$\frac{<0,0005-0,0020}{0,0006 \pm 0,0006}$		
	Таранай, n=20	46°27'36"	142°25'52"	$\frac{<0,0005-0,0021}{0,0007 \pm 0,0006}$		
Буссе, n=11	46°30'39"	143°18'13"	$\frac{<0,0005-0,0019}{0,0005 \pm 0,0005}$			

Примечание: ¹ – диапазон значений; ² – среднее значение концентрации со стандартным отклонением.

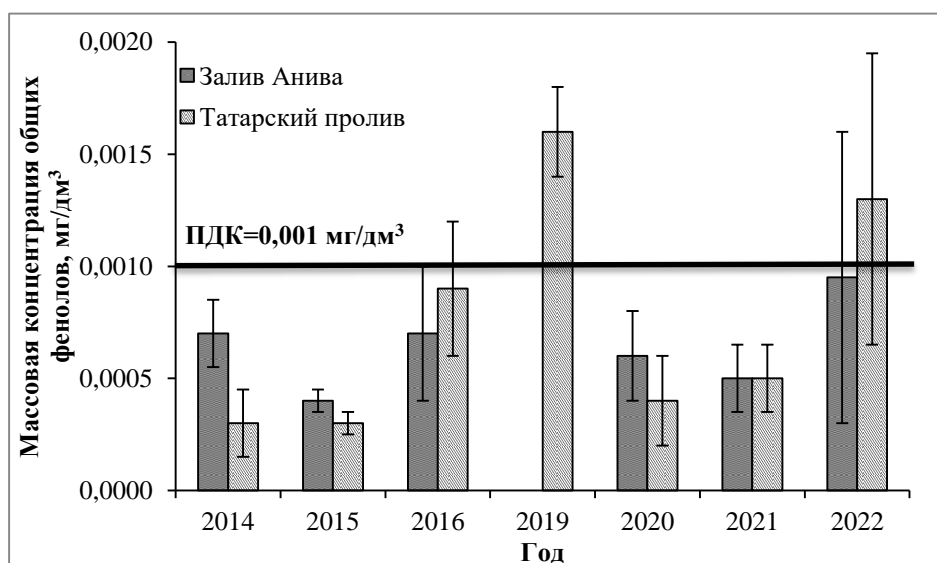


Рисунок – Динамика средних значений массовой концентрации общих фенолов в прибрежье Татарского пролива и залива Анива

Литература

Аминина Н. М., Вишневская Т. И., Галанин Д. А., Репникова А. Р., Гурулева О. Н. 2014. Характеристика промысловых запасов сахарины японской в заливе Анива (Охотское море). Известия ТИНРО, 178: 116–123.

Калчугин П. В, Бойко М. И., Соломатов С. Ф., Черниенко Э. П. 2016. Современное состояние ресурсов донных и придонных видов рыб в российских водах Японского моря. Известия ТИНРО, 184: 54-69.

ПНД Ф 14.1:2:4.182-02. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций фенолов в пробах природной, питьевой и сточной воды на анализаторе «Флюорат-02» // Разр. НПО «Люмэкс». – М. – 2010. – 29 с.

Приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями на 10 марта 2020 г.). [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения 01.03.2023 г.).

СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКАХ В МОРСКИХ И ПРЕСНОВОДНЫХ АКВАТОРИЯХ КРЫМА

Малахова Л.В., Войцеховская В.В., Малахова Т.В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, lobkoveronika@gmail.com

В 1960-1990-х годах в сельском хозяйстве и промышленности во всем мире широко использовали такие хлорорганические соединения (ХОС), как полихлорбифенилы (ПХБ) и хлорорганические пестициды (ХОП), к которым относится 1,1,1-трихлор-2,2-бис(4-хлорфенил)этан (ДДТ). В конце 20-го века ХОС были отнесены к опасным стойким органическим загрязнителям (СОЗ) и с того времени они запрещены к производству, что связано с выявленными у них свойствами токсичности, персистентности, накопления в биоте. Однако экстенсивное применение ХОС в прошлом привело к их значительному распространению в окружающей среде, устранить которое в настоящее время не представляется возможным. В связи с этим мониторинг ХОС необходим для выявления как остаточных концентраций, так и возможных источников их нового поступления. В качестве биоиндикаторов в программах мониторинга ХОС в Чёрном море успешно использовались двустворчатые моллюски. Брюхоногие – один из самых многочисленных классов моллюсков и составляют более 80% видового разнообразия. В водных экосистемах Крыма они широко распространены и имеют существенную экологическую значимость, но в качестве биомониторов им уделялось гораздо меньше внимания по сравнению с двустворчатыми моллюсками. Целью данной работы являлось определение хлорорганического загрязнения гастропод в морских и пресноводных акваториях Крыма. Объектами исследования были рапана *Rapana venosa*, которая является терминальным звеном в бентосной пищевой цепи в морских прибрежных акваториях Крыма, и прудовик *Lymnaea spp.*, широко распространенный в пресноводных акваториях Крыма. Рапану отбирали дайверы в прибрежной зоне на глубинах от 1.5 до 13 м в весенний и летний нерестовые сезоны с 2013 по 2021 гг. в районах, представленных на карте (Рисунок). Прудовиков отлавливали в 2020 г. в реке Чёрной. ХОС определяли в мягких телах гастропод целиком, у рапаны также отдельно для анализа отбирали образцы ноги, гонад, пищеварительной железы.

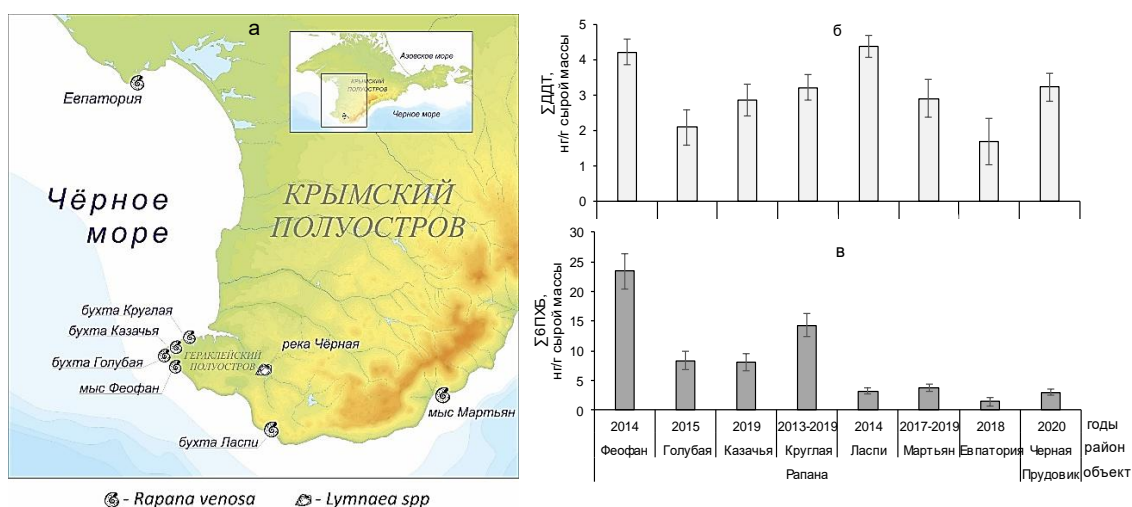


Рисунок – Схема расположения станций отбора рапаны и прудовиков (а), средняя концентрация суммы ДДТ и его метаболитов (б) и суммы 6 индикаторных конгенов ПХБ в мягких тканях гастропод

Пробоподготовку и определение ХОС в пробах моллюсков проводили в соответствии с руководством МВИ МН 2352–2005 на газовом хроматографе Varian 3800 (США) с детектором электронного захвата (ДЭЗ) до 2017 г. и затем - на Хроматэк Кристалл 5000 (Россия) с микро-ДЭЗ в ЦКП "Спектрометрия и Хроматография" ФИЦ ИнБЮМ. Были измерены концентрации ДДТ, ДДЭ и ДДД, а также шести индикаторных конгенов ПХБ (номера по IUPAC): 28, 52, 101, 153, 138 и 180. Для количественных расчётов использовали метод многоуровневой градуировки, для которой применяли стандартные образцы 6 конгенов ПХБ (Supelco) и хлорпестицидов ХОП-5 (ФХИ им. А. В. Богатского, г. Одесса), который включал ДДТ и его метаболиты. Концентрация ПХБ представлена как сумма концентраций индивидуальных конгенов, ХОП – сумма ДДТ, ДДЭ и ДДД в нг/г на сырую массу. В органах гастропод по ГОСТ 7636-85 экстракционно-гравиметрическим методом определяли содержание общих липидов. Были рассчитаны коэффициенты накопления (Кн) ХОС в прудовиках по формуле $K_n = C_g / C_w$, где C_g – концентрация ХОС в гидробионте, нг/г, C_w – концентрация ХОС в воде, нг/мл.

Факторами, влияющими на накопление ХОС в рапане были географическая локализация популяции, половая принадлежность особей, содержание липидов в органах и их физиологическая функция. В мягких тканях рапаны минимальные и максимальные средние уровни содержания Σ ДДТ в различных географических районах отличались в 2.5, Σ 6ПХБ – в 16 раз. Минимальная концентрация ХОС обнаружена в районе Евпатории, максимальная – у мыса Феофан. В Севастопольском регионе с повышенной техногенной нагрузкой, к которому относятся бухты Голубая, Казачья, Круглая и мыс Феофан, концентрация Σ 6ПХБ превышала содержание Σ ДДТ в среднем в 5.5 раз, в других районах - в 1.5 раза. Сравнение загрязнённости ХОС самок и самцов в бухте Круглой показало, что в ноге и печени концентрация Σ ДДТ и Σ 6ПХБ у самок была ниже, чем у самцов. Обнаружено дифференцированное накопление ХОС в органах рапаны: наибольшая концентрация определена в гонадах, что связано с повышенным содержанием липидов в них, минимальная – в ноге. На примере выборки из бухты Круглой показана существенная прямая корреляционная связь содержания ХОС с количеством общих липидов в тканях ($R^2_{\Sigma 6ПХБ} = 0.72$, $R^2_{\Sigma ДДТ} = 0.61$). В рапане для гептаХБ 180 определено статистически значимое увеличение концентрации с увеличением возраста от 2 до 10 лет, для других ХОС возрастных различий в накоплении не было определено (Малахова и др., 2014).

Несмотря на значительную разницу экологического статуса рапаны и прудовиков и более короткого жизненного цикла последних (два года), концентрация ХОС в прудовиках оказалась сравнимой с содержанием в рапане и составляла для Σ ДДТ 3.2, Σ 6ПХБ – 3.5 нг/г. В воде реки Чёрной в районе отбора прудовиков концентрация Σ ДДТ была равна 0.11, Σ 6ПХБ – 0.32 нг/л.

Кн в прудовиках составил $3 \cdot 10^5$ для Σ ДДТ и $1 \cdot 10^5$ для Σ 6ПХБ. Полученные Кн можно использовать практически для прогноза средних концентраций ХОС в воде реки в период жизненного цикла прудовиков, при условии известной концентрации загрязнителей в гидробионтах.

Результаты исследований показали возможность использования брюхоногих моллюсков в качестве биомониторных видов для изучения загрязнённости ХОС в морских и пресноводных водоемах Крыма.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

Литература

Малахова Л.В., Малахова Т.В., Егоров В.Н., Бондарев И.П. Накопление хлорорганических ксенобиотиков в органах разновозрастных особей рапаны *Rapana venosa* из бухты круглая (Севастопольский регион, Чёрное море) // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: материалы V Всерос. конф. по водной экотоксикологии, (Борок, 28 окт. - 1 нояб. 2014 г.)– Ярославль, 2014. – С. 23-27.

БАКТЕРИАЛЬНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛЕГКИХ ПРЕДЕЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ ДЛЯ НАКОПИТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР МЕТАНОТРОФНЫХ СООБЩЕСТВ ИЗ ПРЕСНОВОДНОГО И МОРСКОГО РАЙОНОВ ГАЗОВОЙ РАЗГРУЗКИ

Малахова Т.В., Хурчак А.И., Рылькова О.А.

*Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, 2, Севастополь,
t.malakhova@imbr-ras.ru, alenamyra@mail.ru, ol.rylkova@yandex.ru*

Метан и другие легкие предельные углеводороды (C_2 - C_5) являются важными звеньями в углеродном цикле. Микробное окисление легких предельных углеводородов (ЛПУ) происходит повсеместно в газонасыщенных осадочных отложениях как морских, так и пресноводных экосистем, представляя собой естественный биофильтр. Целью данной работы было сравнение окислительной активности бактериальной культуры аэробных метанотрофов пресноводного и морских районов пузырьковой углеводородной разгрузки.

В работе были использованы образцы верхнего слоя донного осадка из районов пузырьковых газовыделений в б. Ласпи и Тороповском водохранилище, отобранные в июне 2022 г. Образцы использовали в качестве инокулята для получения накопительной культуры метанотрофов и измерения потенциальной активности окисления ЛПУ. Определение концентраций ЛПУ в пузырьковом газе и поровой воде донных отложений проводили методом фазово-равновесной дегазации на хроматографе HP 5890 (“HewlettPackard”, США). Для получения накопительной культуры метанотрофов использовали минеральную среду MSM (Ruiz-Ruiz 2020) и демеркаптанизованную промышленную смесь ЛПУ со следующим составом CH_4 - 79,4 %; C_2H_6 -2,7%; C_3H_8 -0,8%; C_4H_{10} -0,1 % а C_5H_{12} – 0,1%. В газовую фазу флакона вводили смесь ЛПУ до концентрации CH_4 12 об. % и инкубировали на шейкере (120 об./мин) при температуре 25°C в течение месяца. На рис.1. показано изменение концентрации ЛПУ в инкубированных образцах осадка в течение первых 25 дней, а затем в отсаженной культуре бактериального сообщества спустя еще 2 месяца после инкубации. При сравнении морфологической структуры бактериальных сообществ в различных районах исследования использовали сканирующий электронный микроскоп (Hitachi SU3500, Япония), снабженный энергодисперсионным спектрометром. Для определения численности бактериальных клеток применяли метод проточной цитометрии (Gasol et al., 2000).

В б. Ласпи осадки были представлены мелкозернистыми светло-серыми песками, концентрация CH_4 в поровой воде нативных образцов донных осадков составляла 0,4 ммоль/дм³, в Тороповском водохранилище соответственно темными алеврито-пелитовыми илами, с концентрацией CH_4 равной 1,2 ммоль/дм³. Состав пузырькового газа в бухте Ласпи был близок к использованной смеси ЛПУ (CH_4 -89.8%; C_2H_6 -3%; C_3H_8 -0,0107%; C_4H_{10} -0,00083%). В углеводородном составе пузырькового газа из водохранилища преобладал метан, гомологи не детектировались.

В результате инкубационного эксперимента установлено, что скорость окисления гомологов C_3 - C_5 в пресноводных образцах была значительно ниже по сравнению с морскими образцами из б. Ласпи. В морфологической структуре бактериального сообщества выделены четыре основные группы (палочковидные, округлые, извитые и мицелиальные (тонкие нити) формы). В различных районах исследования наблюдались отличия в соотношении морфотипов. В морской акватории (б. Ласпи) доминировали палочковидные бактерии (51,1%), округлые клетки встречались в 23,3% случаев, реже регистрировали мицелиальные (12,1%) и извитые формы (3,5%). В пресноводном районе исследований (Тороповское

водохранилище) преимущественно были обнаружены нитевидные (35,2%); и палочковидные бактерии (31,9%); на долю округлых и извитых форм приходилось 22,1% и 9,9%, соответственно.

Ранее было показано, что аэробное метанотрофное сообщество осадков из точек газовыделений в б. Ласпи было представлено родами *Methyloprofundus*, *Methylomonas* и *Methylomarinum*, после инкубирования образцов на среде с метаном были дополнительно выявлены представители родов *Methylobacter* и *Methylicorpusculum* (Тихонова 2020). Изменения в составе бактериального сообщества в течение инкубационного периода также отражаются на способности к окислению гомологов C₄-C₅ в эксперименте с накопительной культурой из бухты Ласпи (рисунок слева).

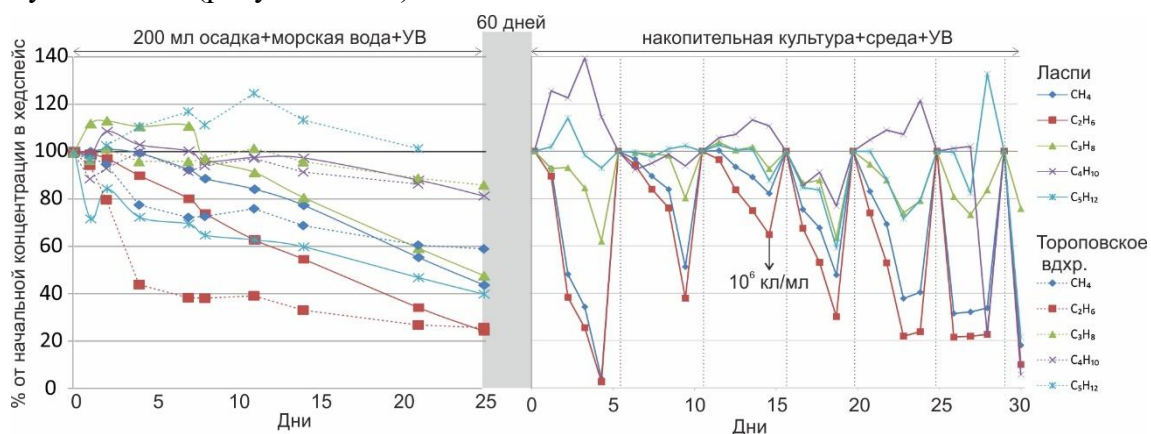


Рисунок – Изменение относительной концентрации ЛПУ в инкубированных образцах донных осадков из б. Ласпи и Торповского водохранилища (слева) и в отсаженной накопительной культуре из образца в б. Ласпи спустя 3 месяца (справа). Пунктирными линиями обозначены эпизоды добавления смеси ЛПУ в газовую фазу инкубационного объема

Рассчитанная скорость окисления CH₄ для образца осадка из б. Ласпи составила 0,12 ммоль CH₄/сут на дм³ осадка. Спустя 3 месяца инкубирования скорость увеличилась на порядок и составила 1,09 ммоль CH₄/сут. Измеренная с помощью проточной цитометрии плотность культуры равная 10⁶ кл/мл, позволила оценить окислительный потенциал одной бактериальной клетки – 7·10⁻³ ммоль CH₄/сут.

Работа выполнена в рамках темы госзадания № 121031500515-8 «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем».

Литература

Тихонова Е. Н., Гарновецкий И. Ю., Малахова Т. В., Гулин М. Б., Меркель А. Ю., Пименов Н. В. Идентификация аэробных метанооксиляющих бактерий в прибрежных осадках Крымского полуострова // Микробиология. 2020. Т. 89, № 6, С. 737-747.

Gasol, J.M. and Del Giorgio, P.A., Using flow cytometry for counting natural planktonic bacteria and understanding the structure of planktonic bacterial communities, *Scientia Marina*, 2000, vol. 64, pp. 197–224.

Ruiz-Ruiz, P., Gómez-Borraz, T.L., Revah, S. and Morales, M., 2020. Methanotroph-microalgae co-culture for greenhouse gas mitigation: Effect of initial biomass ratio and methane concentration. *Chemosphere*, 259, p.127418.

РАЗВИТИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ НА ДРЕВЕСИНЕ ПЛАВНИКА В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ В КАРСКОМ МОРЕ

Панькова И.Г., Кирцидели И.Ю., Ильюшин В.А., Гаврило М.В.
Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург,
inna2008@nextmail.ru

Обязательной составляющей как пресноводных, так и морских водных экосистем являются микроскопические грибы. Организмы Карского моря, омывающего берега островов архипелага Северная Земля, подвергаются экстремальным климатическим условиям Арктики. Однако имея высокий адаптационный потенциал, микромицеты, могут развиваться в таких экстремальных условиях, в том числе сохранять жизнеспособность и осваивать древесину плавника. Изучение видового состава микроскопических грибов и их особенностей, на древесине-плавнике, позволит лучше понять механизмы адаптации в экстремальных климатических условиях.

Нами были исследованы комплексы микроскопических грибов, развивающиеся на древесине-плавнике, отобранной у островов архипелага Северная Земля. Материалами для наших исследований послужили образцы, отобранные для микологического анализа в летний период 2022 гг. Нами был использован метод выделения чистых культур на стандартные и селективные плотные питательные среды. Идентификация видов проводилась как по культурально-морфологическим признакам, так и по регионам ITS (молекулярная идентификация).

Нами был определен видовой состав и таксономическое разнообразие комплексов микроскопических грибов на древесине-плавнике о.Северная Земля. Было идентифицировано 40 видов микроскопических грибов. Представители отдела *Mucoromycota*, отмечены единичными видами. Виды отдела *Basidiomycota* относятся к дрожжевому компоненту комплексов микроскопических грибов. На исследованных образцах плавника, преимущественно развиваются представители отдела *Ascomycota*, которые, как правило, вызывают мягкую гниль древесины. Самыми многочисленными из отдела *Ascomycota* являлись виды родов *Cadophora* и *Thelebolus*, затем следуют виды родов *Cladosporium* и *Phoma*. Полученные результаты подтверждают результаты других исследователей, так виды *Cadophora spp.*, являются одними из самых распространенных и адаптированных микромицетами в арктическом регионе.

Количество выделенных изолятов, позволяет нам сделать вывод о том, что они способны быстро колонизировать и разрушать древесину-плавник, используя широкий спектр ферментов, которые функционируют в экстремальных условиях Арктики.

Несмотря на то, что комплексы грибов на древесине-плавнике изначально формируются в условиях бореальных лесов, в которых основными видами грибов биодеструкторов древесины, являются представители группы афиллофоровых грибов (*Basidiomycota*), на древесине-плавнике с архипелага Северная Земля, последние не были отмечены. Это позволяет нам предположить, что экстремальные условия Арктики, такие как низкая температура, УФ, соленость воды, являются факторами снижающими жизнеспособность и ограничивающими развитие данной группы грибов в морях арктического региона. Происходит освоение древесины плавника аборигенными видами, можно предположить, что в процессе переноса плавника морскими водами от бореальной зоны (где производится лесозаготовка) до арктических морей, происходит последовательное снижение встречаемости базидиомицетов, типичных для

древесины бореальной зоны, и заселение древесины вторично-водными, водными микроскопическими грибами и почвенными изолятами (преимущественно аскомицетами). Культурально-морфологические методы позволяют оценить разнообразие и встречаемость микромицетов на древесном субстрате, однако молекулярные методы идентификации помогают уточнить видовой состав грибов и выявить истинное разнообразие микромицетов, населяющих морскую древесину.

Разложение древесины влияет на структуру сообществ микромицетов на данном субстрате. Разрушение структуры древесины сопровождается снижением видового разнообразия и увеличением встречаемости почвенных грибов, типичных для природной среды Арктики. Можно предположить, что значительная часть привнесенных с древесиной микромицетов способна сохранять жизнеспособность и переходить в почвы прибрежных арктических территорий. Вероятно, часть из них может переходить на деловую древесину в арктических поселениях, вызывая ее биодеструкцию.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ *FUCUS DISTICHUS* И *ALARIA ESCULENTA* ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)

Позолотина Л.А.^{1,2}, Климова А.В.²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, pozolotina@mail.ru

²Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, anna.klimovae@mail.ru

Авачинский залив – залив Тихого океана на юго-востоке полуострова Камчатка. Включает в себя открытую часть и закрытую – Авачинскую губу. По берегам которой располагается городская агломерация Петропавловск-Камчатский – Елизово – Вилючинск. В зоне контакта океана и суши наблюдаются наиболее отчетливые проявления антропогенного влияния на различные компоненты экосистемы. Основными источниками загрязнения прибрежной зоны здесь являются предприятия судоремонтной и рыбообрабатывающей промышленности, рыбопромысловые и транспортные суда, затонувшие плавсредства, ливневые и канализационные стоки. К числу приоритетных загрязняющих морские экосистемы веществ относят тяжелые металлы.

Образ жизни малоподвижных и прикрепленных бентосных организмов прибрежий благоприятствует использованию их в качестве объектов контроля за состоянием среды (Христофорова, 1989). Бурые водоросли являются признанными видами-мониторами (Chakraborty et al., 2014). Наличие массива данных о содержании металлов у разных видов водорослей позволяет корректно оценить степень загрязнения исследуемого района (Чернова, Коженкова, 2016). Цель работы заключалась в сравнительном анализе уровней металлического загрязнения Авачинского залива, полученных с помощью индикаторных видов бурых водорослей *Fucus distichus* и *Alaria esculenta*.

Образцы бурых водорослей *F. distichus* и *A. esculenta* собирали в мае – сентябре 2019, 2020 и 2021 гг. с разной периодичностью на 14 станциях в Авачинском заливе (бух. Бечевинская, бух. Вилючинская, мыс Налычево и мыс Маячный), в том числе в Авачинской губе (бух. Шлюпочная, мыс Вилкова, бух. Большая Лагерная, бух. Малая Лагерная, бух. Завойко, мыс Санникова, сопка Никольская, бух. Сероглазка, бух. Крашенинникова, бух. Безымянная). Собраны и проанализированы образцы водорослей из прибрежных вод особо охраняемых природных территорий (ООПТ): фукус – остров Беринга (национальный парк «Командорские острова»), в районе устья р. Кроноцкая (Кроноцкий государственный природный биосферный заповедник) и алария – остров Карагинский (статус ООПТ утрачен в 2010 г.).

Содержание металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni) в водорослях определяли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с микроволновой плазмой (Agilent Technologies AES-MP 4200). Подготовку образцов к микроэлементному анализу проводили методом кислотного разложения (Milestone Ethos UP). Контроль точности результатов измерений вели с использованием стандартных образцов ЛБ-1 (ГСО 8923-2007) и ЭК-1 (ГСО 8921-2007). Результаты измерений представлены в мкг/г сух. массы.

Описательную статистику и оценку статистических различий (*U*-критерий Манна-Уитни, $p < 0,05$) выполняли в программе GraphPad Prism 9.5.1. Дополнительно для водорослей из Авачинского залива рассчитывали природно-фоновый диапазон содержания металлов $Me_{15} \pm 2MAD_{15}$ (медиана \pm двойная медиана абсолютных отклонений от медианы из 15% наименьших значений

выборки). Расчетный природно-фоновый показатель сравнивали с эмпирическими данными, полученными для условно фоновых районов Восточной Камчатки.

В таблице приведены некоторые статистические показатели содержания металлов у бурых водорослей *F. distichus* и *A. esculenta* из Авачинского залива и условно фоновых районов Восточной Камчатки. Статистические различия в накоплении металлов между этими видами выявлены для Cu, Ni, Pb и Cd. При этом для *F. distichus* характерны более высокие уровни содержания Cu, Ni, Cd, чем для *A. esculenta*. В то же время у последнего вида определен повышенный уровень накопления Pb, как для внутренней части Авачинской губы, испытывающей постоянное антропогенное воздействие, так и для районов горла губы с активными водообменными процессами.

Таблица

Статистические показатели содержания металлов Zn, Cd, Cu, Ni, Pb у бурых водорослей Восточной Камчатки, мкг/г сух. массы

Вид	Показатель	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd
Авачинский залив						
<i>F. distichus</i> (n=64)	Mean	29,2	3,46	2,49	1,99	1,83
	Min-Max	3,01–55,1	1,15–11,6	0,004–15,3	0,01–6,33	0,34–4,56
	Me	30,9	2,92	1,91	1,42	1,78
	Me ₁₅ ±2MAD ₁₅	8,69±5,03	1,22±0,12	<0,004	<0,007	0,60±0,03
<i>A. esculenta</i> (n=66)	Mean	26,3	2,17	0,79	2,90	1,07
	Min-Max	9,4–56,9	0,70–9,19	0,004–5,33	0,01–10,7	0,01–3,26
	Me	25,0	1,78	0,38	3,26	1,02
	Me ₁₅ ±2MAD ₁₅	12,37±2,22	0,89±0,22	<0,004	<0,007	<0,01
Условно фоновые районы Восточной Камчатки						
<i>F. distichus</i> (n=10)	Mean	9,11	1,71	1,69	0,95	2,49
	Min-Max	4,1–15,1	0,01–5,97	0,004–3,56	0,01–3,46	0,97–3,74
	Me	9,30	1,11	1,58	0,93	2,41
<i>A. esculenta</i> (n=2)	Mean	17,07	1,51	1,60	1,30	0,87

Примечание. Mean – среднее; Me – медиана, Min-Max – диапазон содержаний, n – величина выборки.

Различия в накоплении Zn у двух видов водорослей отсутствовали, более того его максимальное содержание было отмечено как у *F. distichus*, так и у *A. esculenta*, в одних и тех же районах Авачинской губы – побережье у сопки Никольской и мыса Санникова. Уровень содержания Cd в исследуемых видах из условно фоновых районов был выше или сопоставим с районами Авачинской губы, испытывающих антропогенное влияние. Подобная особенность у бурых водорослей была отмечена в разных районах Дальнего Востока (Чернова, Коженкова, 2016).

Значения расчетного природно-фоновый показатель содержания металлов в водорослях и эмпирические данные из условно фоновых районов были сопоставимы у *F. distichus* только для Zn и Cu. Выявленная закономерность, вероятно, отражает высокую эссенциальную роль этих элементов в метаболизме водорослей. Однако использование расчетного показателя Me₁₅±2MAD₁₅ содержания Ni, Pb и Cd в фукусах без учета эмпирически полученных данных может привести в итоге к неверной интерпретации уровня загрязнения акватории. Для аналогичного сравнения у *A. esculenta* в настоящее время недостаточно данных.

Литература

Христофорова Н.К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами. Л.: Наука, 1989. 192 с.

Чернова Е.Н., Коженкова С.И. Определение пороговых концентраций металлов в водорослях-индикаторах прибрежных вод северо-западной части Японского моря // *Океанология*. 2016. Т. 56, № 3, С. 393–402.

Chakraborty S., Bhattacharya T., Singh G., Maity J.P. Benthic macroalgae as biological indicators of heavy metal pollution in the marine environments: a biomonitoring approach for pollution assessment // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2014. Vol. 100, P. 61–68.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МОРСКОЙ ТРАВЕ *ZOSTERA MARINA*, БУХТА ВОЕВОДА (АМУРСКИЙ ЗАЛИВ)

Рюмина А.А., Тищенко П.Я., Шкирникова Е.М., Барабанщиков Ю.А.
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, г.
Владивосток, Ryumina.aa@poi.dvo.ru

Прямые наблюдения концентраций тяжелых металлов (ТМ) в морских водах осложнены аналитическими проблемами, которые возникают из-за чрезвычайно низких фоновых концентраций этих элементов в морской воде (6). Поэтому рядом исследователей предложено проводить мониторинг экологического состояния морской среды, основываясь на способности ТМ накапливаться в живых организмах. В качестве индикаторов состояния загрязнения морской среды ТМ, как правило, используется их содержание в моллюсках (4), макроводорослях (3) и в морских травах, включая *Zostera Marina* (ZM) (5). Важное достоинство ZM в качестве интегрального индикатора состояния прибрежной экосистемы состоит в том, что она является ключевым элементом экосистемы, оказывающим влияние на состояние многих живых организмов в воде, на границе вода-дно и в верхнем слое донных отложений. Одной из важных особенностей ZM является ее чрезвычайно высокая продуктивность, которая приводит к обогащению донных отложений органическим веществом (2). Очевидно, что при столь высокой продукции и способности к биоаккумуляции ZM, следует ожидать накопление ТМ в донных осадках покрытых лугами ZM, поскольку опавшие листья будут обогащать донные осадки не только органическим углеродом, но и ТМ.

Районом исследования является мелководная бухта Круглая, расположенная в бухте Воевода на Русском острове. Она обладает обширными полями морской травы. Помимо этого, ранее, нами исследовался керн донных осадков длиной 65 см на содержание таких тяжелых металлов, как Pb, Cu, Ni, Co, Cr, Zn, Mn и содержание органического углерода (1).

Морскую траву отбирали осенью 2022 г. в месте отбора ранее исследованного керна на глубине примерно 4 м водолазом в полиэтиленовые пакеты, затем образцы промывали в морской воде. После этого их доставляли в лабораторию, где растения разделяли на 5 категорий: зеленые листья, бурые листья, стебли, корневища и корни.

В основе пробоподготовки и анализа проб на содержание ТМ использовали методику, опубликованную в работе (5). Содержание ТМ (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd) в разных физиологических компонентах морской травы *Zostera Marina* определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии на аппарате AA-3600 (Shimadzu, Япония).

Концентрации ТМ представлены в Таблице. В этой же таблице приведены концентрации ТМ (мкг/г) в верхнем слое донных осадков.

Таблица

Среднее содержание ТМ (в мкг/г сух. массы) в разных органах ZM образцов и содержание ТМ в поверхностном слое донных осадков с места отбора ZM из бухты Круглой

	Металлы						
	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd
Зеленые листья	101.2±9.6	285.3±2.9	22.3±1.1	3.0±0.1	2.0±0.5	1.6±0.1	1.2±0.3
Бурые листья	741.5±11	245.3±3.6	22.7±1.2	3.1±0.03	4.1±0.2	3.2±0.2	0.4±0.2
Стебли	70.4±4.3	7.5±0.3	41.3±0.5	4.1±0.8	1.5±0.5	0.8±0.1	0.5±0.1
Корневища	119.3±2.4	2.3±0.1	18.0±0.5	1.9±0.6	2.3±0.1	0.7±0.3	0.3±0.1
Корни	499.5±20.1	32.8±0.1	38.4±1.7	4.1±0.6	4.3±0.4	1.4±0.1	0.5±0.1
Донные осадки	-	208	204	91	37	27	-

Примечание. Указаны средние значения содержания ТМ и стандартное отклонение от среднего

Железо. Бурые листья и корни морской травы содержали наибольшие количества этого элемента, тогда как стебли - наименьшие. В корневищах и листьях концентрации микроэлемента сопоставимы.

Содержание железа в макрофитах по сравнению с другими тяжелыми металлами, как правило, наибольшее. Известно, что гидроокиси железа существуют в морской воде в виде тонких взвешенных частиц. Очевидно, обилие тонкой взвеси, обогащенной Fe - основная причина резкого возрастания этого элемента в листьях *ZM*, особенно, в бурых.

Марганец. Повышенное содержание марганца в листьях, может быть связано с тем, что данный элемент входит в состав целого ряда металлоферментов и участвует в процессе фотосинтеза. Это объясняет его большое содержание в зеленых листьях и объясняет уменьшение содержания марганца в бурых листьях. Самое маленькое его содержание зафиксировано в корневищах и в стеблях.

Цинк и медь. Наибольшее количество цинка и меди находится в стеблях, основной функцией которых, является транспортировка питательных веществ между корневой системой и листьями.

Для зеленых и бурых листьев нет различий в концентрациях обсуждаемых микроэлементов. Данный факт указывает на то, что эти элементы в воде находятся по большей своей части не во взвешенном состоянии, а в растворенном виде и поступают в *ZM* через корневую систему.

Свинец и никель. Подобный железу характер распределения по органам и тканям растения имеет свинец. Оба эти элемента в воде находятся во взвешенном состоянии, легко осаждаются и накапливаются в грунте, поэтому они аккумулируются преимущественно корневищными частями *ZM* и бурыми листьями. Наибольшее содержание свинца зафиксировано в корнях и бурых листьях. Далее в порядке убывания концентраций свинец зафиксирован в корневищах, зеленых листьях и стеблях, что согласуется с данными по железу. Такое же сходство наблюдается с результатами, полученными для никеля.

Известно, что никель обладает связывающей способностью с другими микроэлементами, такими как сульфиды и пириты. Способен сорбироваться на оксигидроксидах марганца и железа. Таким путем он может соосаждаться вместе с железом и «налипать» на листья *ZM*, поэтому в нашем исследовании отмечается высокое содержание этого металла в листьях, особенно, в бурых.

Кадмий. В случае с кадмием наибольшие его концентрации зафиксированы в зеленых листьях. В остальных исследуемых органах концентрации находятся примерно в одном диапазоне. Уменьшение содержания кадмия в бурых листьях свидетельствует о том, что выщелачивание из разлагающихся листьев было сильнее, чем их потенциал накопления.

Литература

Рюмина А.А., Тищенко П.Я., Шкирникова Е.М. Тяжелые металлы и органический углерод в донных осадках мелководных бухт залива Петра Великого // Геохимия. 2023. Т. 68, №6. DOI: 10.31857/S0016752523060080.

Тищенко П.Я., Шкирникова Е.М., Горячев В.А. и др. Депонированный органический углерод мелководных бухт залива Петра Великого (Японское море) // Геохимия. 2022. Т. 67, №10. С. 1004–1012.

Христофорова Н. К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения вод тяжелыми металлами // Ленинград: Наука. 1989. 192 с.

Христофорова Н.К., Шулькин В.М., Кавун В.Я. и др. Тяжелые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого// Владивосток: Дальнаука. 1994. 296 с.

Brix H., Lyngby J.E. The distribution of cadmium copper, lead and zinc in eelgrass (*Zostera marina* L.) // Sci. Total Envir. 1982. V. 24. P. 51-63.

Wong C.S., Boyle E., Bruland K.W. et al. Trace metals in sea water // New York: Plenum Press. 1983. 920 p.

КАРБОНАТНАЯ СИСТЕМА ВОД И ПОТОКИ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ С РЕЧНЫМ СТОКОМ В ЗАЛИВАХ-ЭСТУАРИЯХ ШАНТАРСКОГО РЕГИОНА В ПЕРИОД ЛЕТНЕГО ПАВОДКА

Семкин П.Ю.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, pahno@list.ru*

Эстуариям, в их классическом понимании (Pritchard, 1967), отводится важная роль в преобразованиях углерода за счет высокой интенсивности продукционно-деструкционных процессов, несмотря на их относительно небольшие площади в масштабе Мирового океана (Crossland et al., 2005). Воды континентального шельфа преимущественно поглощают CO₂ из атмосферы (Chen and Borges, 2009). Тем не менее воды зоны смешения – в пределах эстуарного барьера с соленостью до 8‰ – обычно перенасыщены CO₂ и являются его источником в атмосферу (Cai, 2011). Изменение параметров карбонатной системы обуславливают пять главных причин: нагрев/охлаждение воды, адвекция вод разного химического состава, продукция – деструкция органического вещества, обмен CO₂ на границе вода–атмосфера и осаждение/растворение карбоната кальция.

Преыдушие исследования в Шантарском регионе были ограничены измерениями характеристик в речных водах (Шестеркина, Таловская, 2010, Золотухин и др., 2015) или в отдельных частях зоны смешения реки и моря без учета потоков веществ с речным стоком (Rogachev et al, 2008). Существенно улучшилась биогидрохимическая изученность этого района благодаря серии комплексных экспедиций, начиная с 2016 г. (Тищенко и др., 2018).

Цель данной работы – изучить процессы, связанные с циклом углерода в устьевых областях: рек Сыран и Ульбан – Ульбанский залив, реки Уда – Удская губа и реки Усалгин – залив Николая в период летнего паводка.

Расход рек, приведенных в таблице, имеет соотношение 1:22:41 (рр. Уда : Усалгин : Сыран и Ульбан). Это же соотношение приблизительно сохраняется для FDSi (1:23:37) и в меньшей степени для FN_{общ} (1:10:21). Для FPOY соотношение 1:7:36. Т.е. поток этих веществ в основном определяется объемом водного стока и их поставка в зону смешения рек Сыран и Ульбан будет наименьшей по отношению к зоне смешения в других заливах р-на Шантарского региона. Потоки остальных веществ со стоком рр. Уда : Усалгин : Сыран и Ульбан соотносятся: для FDIN 1:11:21; для FBB 1:4.8:7.5; FDIP 1:3.9:3.1; FР_{общ} 1:1.4:3.2. Таким образом, поток минерального и органического фосфора со стоком рр. Сыран и Ульбан сравним с потоком этих веществ со стоком р. Уда – крупнейшей реки данного района. При этом поток взвеси, ограничивающей толщину фотического слоя, со стоком р. Уда в 7.5 раз превышает поток со стоком рр. Сыран и Ульбан, а объем водного стока р Уда в 41 раз превышает расход воды рр. Сыран и Ульбан.

Таблица

Суточные потоки (*F*) (т/сут) на пике паводка (16.07.2016) с речным стоком (м³/с) растворенного неорганического фосфора *FDIP*, азота *FDIN*, кремния *FDSi*; общего фосфора *FР_{общ}* и азота *FN_{общ}*; органического углерода *FPOY* и взвешенного вещества *FBB*

Река	Расход	<i>FDIP</i>	<i>FР_{общ}</i>	<i>FDSi</i>	<i>FDIN</i>	<i>FN_{общ}</i>	<i>FPOY</i>	<i>FBB</i>
Сыран и Ульбан	194.7	1.36	1.95	68.4	1.08	3.7	122	1825.8
Уда	7931	4.25	6.37	2525	23.024	137.185	4385.5	13705
Усалгин	360	1.08	4.42	109.7	2.14	6.75	614	2830

Из приведенного выше следует, что особенность Ульбанского залива, в сравнении с Удской губой и заливом Николая – сочетание относительно низкого объема водного и твердого стока с относительно высоким потоком фосфора в минеральной и органической формах.

Совместное влияние реки и моря определяет в зонах смешения положение границы между гетеротрофным бассейном – с преобладанием деструкции и автотрофным бассейном – с преобладанием продукции органического вещества. Эта граница в период летнего паводка находится около изогалины 20, 10 и 25 psu в Ульбанском заливе, в Удской губе и в заливе Николая соответственно.

В Ульбанском заливе зона смешения при солёности < 20‰ – источник CO₂ для атмосферы с рассчитанным потоком CO₂ 119.8 ммоль м⁻² сут⁻¹ при скорости ветра 3 м/с. При солёности > 20‰ наблюдается резкое увеличение толщины фотического слоя, доминирование фотосинтеза, в результате чего формируется поток CO₂ из атмосферы в воду с величиной -15.8 ммоль м⁻² сут⁻¹ при скорости ветра 3 м/с. Для Удской губы при тех же скоростях ветра поток CO₂ для атмосферы составляет 78 ммоль м⁻² сут⁻¹, а поток CO₂ из атмосферы в воду составляет -8.5 ммоль м⁻² сут⁻¹. Для залива Усалин при тех же скоростях ветра поток CO₂ для атмосферы составляет 72.8 ммоль м⁻² сут⁻¹, а поток CO₂ из атмосферы в воду составляет -6.8 ммоль м⁻² сут⁻¹.

Изученные заливы-эстуарии в целом в период паводка поглощают атмосферный CO₂. Основная причина этого состоит в том, что площадь занятая водами с доминированием продукции органического вещества является существенно большей по отношению к площади занятой водами с доминированием деструкции органического вещества.

Благодарности

Данная работа была выполнена в основном коллективом из лаборатории гидрохимии и отдела общей океанологии ТОИ ДВО РАН по программе д.х.н. П.Я. Тищенко. Результаты получены в рейсе на НИС “Профессор Гагаринский” № 71 во главе с капитаном Э.А. Гавайлером.

Литература

Золотухин С.Ф., Махинов А.Н., Канзепарова А.Н. Особенности морфологии и гидрологии нерестовых рек северо-западного побережья Охотского моря // Изв. ТИНРО. 2014. Т. 176. С. 139-154.

Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Шулькин В.М. и др. Комплексные исследования прибрежных акваторий Японского и Охотского морей, находящихся под влиянием речного стока (71-й рейс научно-исследовательского судна «профессор Гагаринский») // Океанология. 2018. Т. 58. № 2. С. 340-342.

Шестеркина Н.М., Таловская В.С. Особенности формирования химического состава водотоков бассейна Тугурского залива Охотского моря // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 99-105.

Cai W.J. Estuarine and coastal ocean carbon paradox: CO₂ sinks or sites of terrestrial carbon incineration? // Annu. Rev. Mar. Sci. 2011. V. 3. P. 123–145.

Chen C.T., Borges A.V. Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean: Continental shelves as sinks and near-shore ecosystems as sources of atmospheric CO₂ // Deep Sea Research. Pt II. Topical Studies in Oceanog. 2009. V. 56. Iss. 8–10. P. 578-590.

Crossland C.J., Kremer H.H., Lindeboom H.J. et al. Coastal Fluxes in the Anthropocene // Berlin: Springer, 2005, 231p.

Pritchard D.W. What is an estuary: a physical viewpoint // Estuaries. Washington: Am. Ass. Adv. Sci. 1967. Publ. 83. P. 3-5.

Rogachev K.A., Carmack E.C., Foreman M.G.G. Bowhead whales feed on plankton concentrated by estuarine and tidal currents in Academy Bay, Sea of Okhotsk // Continental Shelf Res. 2008. V. 28. Iss. 14. P. 1811-1826.

ОБЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И УЛЬТРАСТРУКТУРА СЕНСОРНЫХ ОРГАНОВ И НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ АВИКУЛЯРИЕВ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МОРСКИХ МШАНОК

Серова К.М.^{1,2}, Зайцева О.В.^{1,3}, Вишняков А.Э.², Островский А.Н.²

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный педиатрический

медицинский университет Минздрава России, Санкт-Петербург,

kmk301290@yandex.ru, ovzaitseva@inbox.ru, vishnyakov@hotmail.com,

oan_univer@yahoo.com

Отряд Cheilostomata является наиболее разнообразной и эволюционно успешной группой мшанок и наравне с губками и книдариями играет важную роль во многих морских бентосных сообществах. Одной из ключевых причин их эволюционного успеха считается наличие в пределах отряда широкого спектра полиморфных зооидов, независимо возникавших на основе базового плана строения аутозооида – питающегося модуля – и специализирующимися на выполнении определенных функций, необходимых для жизнедеятельности колонии. Полиморфные зооиды не способны к питанию, но могут выполнять защитные, репродуктивные, сенсорные и другие функции. Наиболее разнообразным типом полиморф являются авикулярии, характеризующиеся наличием рудиментарного лофофора с предположительно сенсорной функцией. Данных по строению рудиментарного полипида и элементов его нервной системы очень мало. Таким образом, целью данной работы стало изучение нервной системы и сенсорных структур авикуляриев у двух видах мшанок из отряда Cheilostomata.

В работе использовалась трансмиссионная электронная микроскопия, применялось оборудование “Ресурсного центра молекулярных и клеточных технологий” СПбГУ, а также ЦКП «Таксон» Зоологического института РАН (<http://www.ckp-rf.ru/ckp/3038/>). В работе частично использован фиксированный материал и приготовленные из него препараты мшанок из коллекций мшанок кафедры зоологии беспозвоночных биологического факультета СПбГУ и Зоологического института РАН (УФК ЗИН РАН).

В результате исследования были описаны новые детали строения рудиментарных полипидов в адвентивных авикуляриях *Arctonula arctica* и *Dendrobeania fruticosa* из Белого моря. Показано, что в авикуляриях адвентивного типа полипид состоит из двух отделов: верхнего, представленного сильно редуцированным лофофором, и нижележащего, включающего редуцированный церебральный ганглий и короткие мышцы-ретракторы, осуществляющие втягивание полипида. Лофофор окружен стенкой щупальцевого влагалища. В однослойном эпителии лофофора присутствуют клетки без ресничек и полицилиарные клетки (предположительно сенсорные). Последние располагаются в вершине лофофора и у не втянутого полипида выступают из внутреннего влагалища, контактируя непосредственно с внешней средой. Вытянутые в виде отростков базальные части этих клеток содержат микротрубочки и уходят в церебральный ганглий. В центральной части лофофора, отграниченной от эпителия базальной пластинкой, обнаружены 2-3 “центральные” клетки, одна из которых является мышечной. Эти клетки контактируют непосредственно с нервными волокнами, содержащими характерные для нейронов разнообразные везикулы. Миниатюрный ганглий состоит из периферического слоя небольшого числа нейронов и центрального нейропиля, представленного отростками клеток. В нервных отростках в нейропиле обнаруживается большое количество везикул

разных типов, встречаются конвергентные и дивергентные синапсы. По-видимому, основной функцией ганглия является обработка информации от рецепторных клеток и регуляция движения мандибулы (хитинизированной крышечки, закрывающей отверстие зооида). Авикулярий *Arctonula arctica*, кроме того, характеризуется наличием особой многоклеточной железы, клетки которой содержат хорошо развитый эндоплазматический ретикулум и множественные аппараты Гольджи. Проток железы открывается в полость щупальцевого влагалища. Отдельные железистые клетки также присутствуют в эпителиальной выстилке стенки щупальцевого влагалища. Строение рудиментарных полипидов в обоих случаях позволяет охарактеризовать структуры, гомологичные соответствующим частям аутозооида, а также указывает на их сенсорную функцию.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЗИН РАН № 122031100281-5.

ОЦЕНКА ПОТОКОВ ^{210}Pb И ^{210}Po В ЧЕРНОМ МОРЕ

Слизченко Е.В.^{1,2}, Шибеекая Ю.Г.^{1,2}, Бежин Н.А.^{1,2}

¹Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь,
evgeniy774@gmail.com

²Севастопольский государственный университет, г. Севастополь,
nickbezhin@yandex.ru

Природные радионуклиды ^{210}Pb и ^{210}Po являются членами ряда распада ^{238}U . Различия между этими радиоизотопами в отношении их периодов полураспада, реакционной способности частиц и сродства к поглощению в морской воде дают возможность получить дополнительную информацию о процессах, происходящих в толще воды (Verdeny et al., 2009). Они используются для оценки биогеохимических процессов и потоков взвешенного вещества в океане. В отличие от другой классической пары $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$, позволяющей получить информацию о потоках взвешенного органического вещества (РОС – particulate organic carbon) во временном масштабе 2 – 3 недели, данные, получаемые при изучении концентраций пары $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$, дают информацию о сезонных показателях потока (временной масштаб 2 – 3 месяца).

Ранее в Черном море концентрация ^{210}Pb в растворенной форме и во взвешенном веществе не определялась, нет данных по потокам и распределению ^{210}Pb и ^{210}Po . Поэтому необходимо было оценить возможность извлечения и определения растворенных ^{210}Pb и ^{210}Po по модифицированной осадительной методике из 20 л морской воды и по полученным впервые для Черного моря данным распределения растворенных ^{210}Pb и ^{210}Po рассчитать их потоки.

Для определения активности ^{210}Pb и ^{210}Po в Черном море использовалась уникальная осадительная методика, позволяющая определять концентрацию растворенного ^{210}Pb и ^{210}Po буквально в 20 л морской воды, что существенно упрощает пробоотбор и дальнейшее решение океанологических проблем. Методика заключается в осаждении свинца и полония с помощью хлорида железа(III), декантации осадка, его растворении и электрохимическом осаждении ^{210}Pb (^{210}Bi) и ^{210}Po с последующим измерением активности ^{210}Po альфа-спектрометрическим методом, а ^{210}Pb (^{210}Bi) бета-радиометрическим методом.

В результате анализа проб, полученных в ходе 121 рейса НИС «Профессор Водяницкий» (19 апреля – 14 мая 2022 г.), впервые для Черного моря получено поверхностное и вертикальное распределение активностей растворенного ^{210}Pb и ^{210}Po . С использованием модели стационарного состояния рассчитаны потоки растворенного ^{210}Pb и ^{210}Po . Значение потока ^{210}Pb лежало в диапазоне от 1,98 до 2,47 мБк/(м²·сут) и составляло в среднем $2,25 \pm 0,22$ мБк/(м²·сут), значение потока ^{210}Po лежало в диапазоне от 3,51 до 9,78 мБк/(м²·сут) и составляло в среднем $5,62 \pm 0,56$ мБк/(м²·сут). Полученные данные согласуются с литературными, полученными различными международными группами в различных уголках Земного шара (Verdeny et al., 2008).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № FNNN-2021-0004), при финансовой поддержке Севастопольского государственного университета в рамках проекта 42-01-09/169/2021-7.

Литература

Verdeny E., Masqué P., García-Orellana J., Hanfland C., Cochran J.K., Stewart G. РОС export from ocean surface waters by means of $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ and $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ disequilibria: A review of the use of two radiotracer pairs // Deep-sea Research Part II Topical Studies in Oceanography. 2009. V.56. P.1502-1518.

Verdeny E., Masque' P., Maiti K., Garcia-Orellana J, Bruach J.M., Mahaffey C, Benitez-Nelson C.R.
Particle export within cyclonic Hawaiian lee eddies derived from ^{210}Pb – ^{210}Po disequilibrium // Deep
Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2008. V.55. P.1461-1472.

ФИТОПЛАНКТОН ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АМУРСКОГО ЗАЛИВА

Тевс К.О.¹, Шевченко О.Г.², Шульгина М.А.²

¹Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток,
tevs.kirill.95@yandex.ru

²Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО
РАН, г. Владивосток, 713553@mail.ru, annekee@mail.ru

Одной из самых серьезных экологических проблем современности является загрязнение Мирового океана, особенно в районах расположения крупных городов. На российском побережье Японского моря примером такой акватории является Амурский залив. Согласно докладу об экологической ситуации в Приморском крае за 2019 г., воды залива имели IV класс качества «загрязненные» (Доклад..., 2020), в 2020–2021 гг. – III класс «умеренно загрязненные» (Доклад..., 2022). Несмотря на улучшение качества вод, прибрежные акватории в районе г. Владивосток подвержены значительному антропогенному воздействию, которое проявляется в высокой концентрации загрязняющих веществ в различных компонентах водных экосистем (Христофорова, Саломай, 2006; Стоник, 2018). Особенно этому подвержена гавань Спортивная за счет близкого расположения к городской зоне, поэтому целесообразно проводить регулярный мониторинг микроводорослей для выявления биологических последствий органического загрязнения поверхностных вод данной акватории.

В основу работы легли планктонные сборы, выполненные в период с октября 2019 г. по декабрь 2021 г. на станции гавань Спортивная (43°07'16" с.ш., 131°52'27" в.д.). Пробы фитопланктона собирали с причала два раза в месяц 5-ти литровым батометром Нискина с горизонта 0,5 м. Вид считали доминирующим если его численность или биомасса превышает 50% от общей численности или биомассы фитопланктона. «Цветение» воды рассматривали как массовое развитие водорослей, численность клеток которых превышала 10^6 кл./л (Colijn, 1992). При проведении экологического анализа использовали классификацию фитопланктона предложенную И.А. Киселевым (Киселев, 1969). Фитогеографический анализ производили по типам ареалов на основе различий в широтно-зональном распространении видов микроводорослей (Семина, 1974).

За весь период исследования идентифицировано 130 видов и внутривидовых форм микроводорослей: Bacillariophyceae (82 вида и внутривидовых таксонов), Dinophyceae (40), Chrysophyceae (3), Raphidophyceae (2), Euglenophyceae (1), Cryptophyceae (1) и Nartophyceae (1). В определении видового богатства ведущая роль (63,1% от общего числа видов фитопланктона) принадлежала диатомовым водорослям. Второе место по числу видов занимали динофлагелляты (30,8%), другие систематические группы были представлены единичными видами (менее 3% каждая).

Экологические характеристики известны для 111 видов (84,7% от общего количества видов). В биотопическом отношении основу флористического списка составляли неритические виды (65,8% числа видов с известной характеристикой), вторую позицию занимали панталассные виды (14,4%). Океанические и бентические были представлены почти в равной степени – 10,8 и 8,1% соответственно, пресноводные менее 1%. Географический статус фитопланктона установлен для 105 видов и внутривидовых таксонов (80,2%). Анализ соотношения географических элементов флоры выявил преобладание космополитов (47,7%). Арко-бореальные составляли 17,2%, тропическо-бореальные и тропическо-аркто-бореальные – 15,2 и 7,6% соответственно. Также

микроводоросли включали 5 тропических (4,8%), 4 бореальных (3,8%), 2 биполярных (1,9%) и 2 тропическо-антарктических (1,9%) вида.

Анализ количественных данных показал, что на протяжении периода исследования численность фитопланктона изменялась в пределах от 1,3 тыс. кл./л до 19 млн кл./л., а биомасса варьировала от 3 мг/м³ до 38,5 г/м³. В ранневесенний период 2021 г. «цветение» воды обуславливали рафидофитовые рода *Heterosigma* (19 млн кл./л; 19,6 г/м³), доминирование которых также наблюдали и в летний период. Зимой 2021 г. отмечали развитие динофлагеллят, максимальную биомассу фитопланктона формировал *Gyrodinium lachryma*. Диатомовые водоросли вызывали «цветение» воды в летний и осенний периоды. Так, осеннее увеличение численности (1,5 млн. кл./л) было вызвано диатомеей *Skeletonema japonicum* (91,5% от общей численности). Последующее увеличение численности наблюдали летом, в июле 2020 г. (3,5 млн кл./л) в планктоне преобладал преимущественно *Skeletonema dornii* (87%). Осенью 2021 г. на исследуемой акватории регистрировали развитие нитчатых форм цианобактерий (до 4,7 млн кл./л; 1,8 г/м³).

В период исследования обнаружено 18 доминирующих видов фитопланктона, из них по численности преобладали 15, по биомассе – 12 видов. В осенне-зимний период 2019 г. в планктоне исследуемых акваторий преобладали исключительно диатомовые водоросли, формировавшие до 91,6% от общей численности и 93,1% от общей биомассы. В 2020 г. среди диатомей отмечали доминирование центрических видов – *Chaetoceros pseudocrinitus* (55% от общей численности), *C. socialis* (66,9%), *S. dornii* (87,0%), *S. japonicum* (63,0%), виды родов *Cyclotella* (92,2%) и *Thalassiosira* (81,0–85,5%). Из пеннатных диатомовых водорослей отмечали преобладание *Navicula directa* (54,0%). Весной в планктоне регистрировали развитие рафидофитовых водорослей, достигавших 50% от общей численности и до 99,8% от общей биомассы фитопланктона. В 2021 г. помимо преобладания диатомовых и рафидофитовых водорослей, осенью отмечали доминирование нитчатых форм цианобактерий (50,0% от общей численности), а в весенне-летний период динофлагелляты *G. lachryma* (более 90% от общей численности и биомассы фитопланктона).

На протяжении всего периода исследования в гавани Спортивная наблюдали постепенное повышение средней численности фитопланктона и резкое увеличение средних значений биомассы в 2021 г., что косвенно свидетельствовало о высокой евтрофированности вод. «Цветение» воды вызывали виды, известные как индикаторы неблагоприятного экологического состояния вод, что совместно с изменениями качественного и количественного состава фитопланктона свидетельствовало об органическом загрязнении акватории.

Для более достоверных выводов относительно степени антропогенного загрязнения необходимы дальнейшие исследования микроводорослей синхронно с параметрами водной среды, в том числе количественным анализом биогенных органических и минеральных элементов.

Работа выполнена в Центре коллективного пользования «Приморский океанариум» (г. Владивосток).

Литература

- Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2019 году. 2020. 270 с.
Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2021 году. 2022. 334 с.
Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Т. 1. Л.: Наука, 1969. 657 с.
Семина Г.И. Фитопланктон Тихого океана. М.: Наука, 1974. 239 с.
Стоник И.В. Качественный и количественный состав фитопланктона бухты Золотой Рог Японского моря // Изв. ТИНРО. 2018. Т. 194. С. 167–174.

Христофорова Н.К., Саломай М.С. Химико-экологическая оценка качества прибрежных вод города Владивосток // Исследовано в России. 2006. Т. 9. С. 1380–1386.

Colijn F. Changes in plankton communities: when, where and why // ISES Mar. Sci. Symp. 1992. Vol. 195. P. 193–212.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ БАКТЕРИЙ РОДА *ENTEROCOCCUS* ВЫДЕЛЕННЫЕ ИЗ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ Г. ВЛАДИВОСТОКА

Ускова С.С.¹, Мартынова А.В.^{1,2}

¹Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток,
uskova.ss@yandex.com

²Тихоокеанский государственный медицинский университет г.
Владивосток, *clinmicro@yandex.ru*

Бактерии рода *Enterococcus* – это условно-патогенные микроорганизмы, которые могут длительное время выживать в морской среде (Litopoulo-Tzanetaki et al., 1992), одной из причин этого может быть адгезия к планктону жизнеспособных, но не культивируемых форм бактерий (Signoretto et al., 2004). Самыми распространёнными видами рода *Enterococcus* является *E. faecalis* и *E. faecium*, среди которых чаще всего встречается *E. faecalis*. Однако в зависимости от местности возможны разные соотношения этих микроорганизмов, а также наличие других видов рода *Enterococcus*. *E. faecalis* считается более патогенным по сравнению *E. faecium*, но последний имеет большую устойчивость к антибиотикам (Butaye et al., 2001). Было обнаружено, что в морской воде представители рода *Enterococcus* могут передавать свои гены другим видам микроорганизмов, а также возможен совместный перенос генов *tet* (L) и *erm* (B), отвечающих за резистентность к тетрациклину и эритромицину (Cesare et al., 2014).

Бактерии рода *Enterococcus* считаются представителями нормальной микрофлоры кишечника человека и животных (Barbosa et al., 2014), что может иметь значение для идентификации фекального загрязнения на основании наличия определенных типов бактерий, связанных с бытовыми сточными водами (Graves et al., 2010). Наличие других видов рода *Enterococcus* может быть связано с очисткой бытовых вод (Kuhn et al., 2003). Поэтому необходимо исследовать наличие и видовой состав бактерий рода *Enterococcus*, а также исследовать их устойчивость физическим и абиотическим факторам окружающей среды. Целью данного исследования является изучение видового разнообразия бактерий рода *Enterococcus*, выделенных из водных объектов г. Владивостока.

Методы исследования: За время проведения исследования с 17 января 2018 г. по 27 сентября 2020 г. было отобрано 20 проб и выделено 740 колоний, из которых выбрано, описано и изучено 130 морфологически отличающихся друг от друга штаммов. Все 130 штаммов грамположительные и отрицательны в отношении каталазы. Среди них 70 штаммов показали положительный результат на редуктазу, а значит они относятся к роду *Enterococcus*, их идентифицировали до вида с помощью бактериологических методов исследований и полимеразной цепной реакции.

Результаты и обсуждения: В целом видовой состав бактерий рода *Enterococcus* был представлен следующими видами: *E. faecalis*, *E. faecium*, *E. durans* и *E. casseliflavus*. При идентификации штаммов рода *Enterococcus* учитывали их морфологические и биохимические свойства.

Был выявлен видовой состав в б. Золотом Роге, который был представлен такими видами как *E. faecalis* и *E. faecium*. *E. faecalis* встречался чаще всего и составлял 89% от всей выборки, а *E. faecium* – 11% (А). В р. Вторая Речка преобладающим видом рода *Enterococcus* также был *E. faecalis* и составлял 65%, а *E. faecium* – 29%, однако помимо этих видов были выделены *E. durans* и *E. casseliflavus* каждый из которых составлял по 3% от выборки (Б).

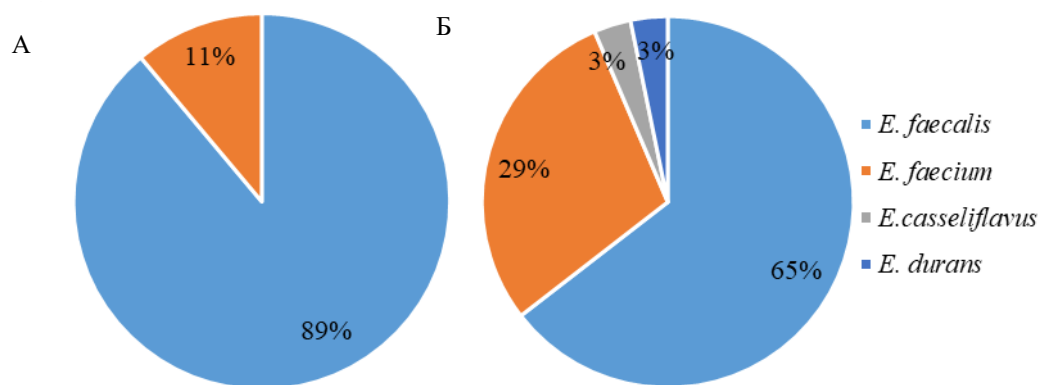


Рисунок – Видовой состав микроорганизмов рода *Enterococcus*:
А - в б. Золотой Пог, Б - в р. Вторая Речка

Вывод: Определен видовой состав микроорганизмов рода *Enterococcus*, выделенных в водных объектах г. Владивостока, и он был представлен в большинстве случаев, такими видами как: *E. faecalis* и *E. Faecium*, но встречаются и более редкие виды: *E. durans* и *E. casseliflavus*.

Литература

- Barbosa, J. Selection of potential probiotic *Enterococcus faecium* isolated from Portuguese fermented food / J. Barbosa, S. Borges, P. Teixeira // International Journal of Food Microbiology. 2014. Vol. 191. P. 144-148.
- Butaye, P. Differences in Antibiotic Resistance Patterns of *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* Strains Isolated from Farm and Pet Animals / P. Butaye, L. A. Devriese, F. Haesebrouck // Antimicrobial Agents and Chemotherapy. 2001. Vol. 45, № 5. P. 1374-1378.
- Cesare, Di A. The marine environment as a reservoir of enterococci carrying resistance and virulence genes strongly associated with clinical strains / D. A. Cesare, S. Pasquaroli, C. Vignaroli, P. Paroncini, G. M. Luna, E. Manso, F. Biavasco // Environmental Microbiology Reports. 2014. Vol. 6, № 2. P. 184-190.
- Graves, A. K. Characterization of enterococci populations collected from a subsurface flow constructed wetland / A. K. Graves, R. W. Weaver // Journal of Applied Microbiology. 2010. Vol. 108, № 4. P. 1226–1234.
- Kuhn, I. Comparison of enterococcal populations in animals, humans, and the environment - a European study / I. Kuhn, A. Iversen, L.G. Burman, B. Olsson-Liljequist, A. Franklin, M. Finn, F. Aarestrup, A.M. Seyfarth, A.R. Blanch, and X. Vilanova // International Journal of Food Microbiology. 2003. Vol. 88. № 2-3. P. 133-145.
- Litopoulo-Tzanetaki, E. Microbiological study of whitebrined cheese made from raw goat milk / E. Litopoulo-Tzanetaki, N. Tzanetakis // Food Microbiology. 1992. Vol. 9. P. 13–19.
- Signoretto, C. Adhesion of *Enterococcus faecalis* in the nonculturable state to plankton is the main mechanism responsible for persistence of this bacterium in both lake and seawater / C. Signoretto, G. Burlacchini, M. M. Lleo, C. Pruzzo, M. Zampini, L. Pane, G. Franzini, P. Canepari // Applied and Environmental Microbiology. 2004. Vol. 70, № 11. P. 6892-6896.

**КОНЦЕНТРАЦИЯ ХЛОРОФИЛЛА «А», ПРОТЯЖЕННОСТЬ ЗОНЫ
ФОТОСИНТЕЗА И СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В
ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ И ОСЕННИЙ
ПЕРИОДЫ 2022 Г. ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 122 И 124 РЕЙСОВ НИС
«ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»**

**Фарбер А.А., Мансурова И.М., Минина Н.В., Стельмах Л.В., Бабич И.И.,
Борисова Д.С.**

*ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О.Ковалевского РАН», г.
Севастополь, Россия, anastasiafarber@yandex.ru*

Цель исследований состояла в выявлении адаптационных механизмов, позволяющих успешно функционировать черноморскому фитопланктону в летний и осенний периоды в современных климатических условиях, что позволит предсказать возможные пути его дальнейшей эволюции, а также трансформации вещества и энергии от фитопланктона на высшие трофические уровни. Одним из основных показателей количественного развития фитопланктона является концентрация хлорофилла «а».

В летний период 2022 г. у южного и юго-восточного побережья Крыма содержание хлорофилла «а» на поверхности моря составило в среднем $0,72 \pm 0,41$ мг/м³, осенью на данной акватории среднее значение концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое в 2 раза превышало летние значения. Эти результаты свидетельствуют об интенсификации первично-продукционных процессов в фитопланктоне от лета к осени, а незначительное относительное содержание продукта разрушения хлорофилла «а» – феофитина «а» (в среднем 13–16%) отражает высокую функциональную активность фитопланктонного сообщества.

Летом на большей части акватории выявлен одномодальный тип вертикального распределения хлорофилла «а» с максимумом концентрации $0,6–3,6$ мг/м³ в верхней части термоклина. Относительное содержание феофитина «а», как правило, закономерно возрастало с глубиной, достигая у основания зоны фотосинтеза 50–70% от суммарного содержания хлорофилла и феофитина, что свидетельствует о локализации основной активной биомассы фитопланктона в летний период в верхней части освещенной зоны. Осенью одномодальный тип вертикального профиля хлорофилла получен для половины станций, его концентрация в максимуме достигала $0,9–3,3$ мг/м³. Еще на трети исследованных станций отмечена слабая изменчивость содержания хлорофилла в пределах верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) и последующее его уменьшение с глубиной. Для большинства станций относительное содержание феофитина, как правило, слабо менялось в пределах перемешиваемого слоя, затем увеличивалось, достигая 30–50% у основания эвфотической зоны.

Для летнего периода выявлена прямая линейная зависимость между концентрацией хлорофилла, определенной прямым методом, и его флуоресценцией, измеренной с помощью погружного зондирующего комплекса ($R^2=0,57$). Полученные результаты свидетельствуют о возможности экспресс-оценки вертикального распределения фитопланктона по параметрам флуоресценции.

Относительная прозрачность вод по диску Секки в летний период составила $6,2 \pm 1,7$ м, а глубина зоны фотосинтеза – $18,5 \pm 5,2$ м. Средняя протяженность верхнего квазиоднородного слоя для всех станций составила $9,2 \pm 4,1$ м. В осенний период относительная прозрачность вод и глубина зоны фотосинтеза увеличились в среднем в 2 раза, а ВКС – в 3 раза по сравнению с летним периодом. Низкая прозрачность вод в летний период 2022 г. связана с «цветением» кокколитофориды *Emiliania huxleyi* (Lohmann) W.W.Hay & H.P.Mohler, 1967,

которая сильно рассеивает свет, тем самым снижая прозрачность. Таким образом, 50% освещенной зоны в летний период и 70% в осенний находилось в верхнем перемешиваемом слое, следовательно, основная доля первичной продукции фитопланктона создавалась в ВКС.

Биогенные вещества в исследованных водах в летний период в большинстве случаев не лимитировали развитие фитопланктона. Суммарное содержание нитратов и нитритов на поверхности в среднем составило $15,3 \pm 14,1$ мкг/л, аммонийного азота – $7,1 \pm 2,5$ мкг/л, фосфатов – $1,3 \pm 1,0$ мкг/л, силикатов – 137 ± 15 мкг/л. С глубиной концентрация силикатов и фосфатов возрастала. Суммарное содержание нитратов и нитритов на поверхности в осенний период в среднем составило $4,9 \pm 1,2$ мкг/л, аммонийного азота – $8,1 \pm 6,2$ мкг/л, фосфатов – $2,9 \pm 1,1$ мкг/л, силикатов – $24,5 \pm 10,4$ мкг/л.

Работа выполнена по теме гос. задания № 121041400077-1 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом».

Проведенные исследования были выполнены в Центре коллективного пользования «Научно-исследовательское судно Профессор Водяницкий» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О.Ковалевского РАН»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМОГЕННЫХ ИЗОТОПОВ ^{32}P И ^{33}P ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ БИОДИНАМИКИ ФОСФОРА

Фролова М.А.¹, Бежин Н.А.¹, Козловская О.Н.¹, Тананаев И.Г.^{1,2}

¹Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, frolova-85@mail.ru

²Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва, geokhi@mail.ru

Короткоживущие космогенные радионуклиды, такие как ^{32}P и ^{33}P , являются мощными инструментами для изучения океана, поскольку имеют единственный источник поступления – атмосферные выпадения и малые периоды полураспада, позволяющие изучать процессы, протекающие с высокой интенсивностью (Benitez-Nelson, 2000).

Они являются одним из немногих инструментов, позволяющих изучать количественные параметры биодинамики фосфора в морской воде (Ruttenberg, 2014). Исследования, связанные с ^{32}P и ^{33}P , являются одними из самых сложных в морской радиохимии. До сих пор количество работ в этой области невелико, а в отечественной науке эти работы до недавнего времени не проводились. Это обусловлено малыми периодами полураспада ^{32}P ($T_{1/2} = 14,3$ дня) и ^{33}P ($T_{1/2} = 25,3$ дня) и низкими значениями их активности в морской воде ($1 - 5$ dpm/m³).

В настоящей работе нами выполнено концентрирование изотопов ^{32}P и ^{33}P из морской воды сорбентом Fe-H (Bezhin et al., 2022) с использованием одноколочного метода с добавлением микроколичеств дигидрофосфата калия как трассера эффективности извлечения.

Проведена оценка объемных активностей ^{32}P и ^{33}P в растворенной и взвешенной формах, а также отношение $^{33}\text{P}/^{32}\text{P}$ для различных горизонтов отбора проб морской воды в прибрежной зоне Балаклавского побережья.

По полученным результатам определена сезонная изменчивость параметров биодинамики фосфора. Рассчитаны время, скорость и степень обращения фосфора в неорганическую и взвешенную органическую формы. Установлена корреляция времени обращения фосфора с температурой воды, минимальные значения периода обращения наблюдались в наиболее теплые периоды – июле и октябре, максимальные в более холодные периоды – декабре и апреле.

Работа выполнена в рамках проекта Севастопольского государственного университета № 42-01-09/169/2021-7.

Литература

Benitez-Nelson C.R. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems // Earth-Science Reviews. 2000. V.51. N1-4. P. 109-135.

Bezhin N.A., Frolova M.A., Dovhyi I.I., Kozlovskaya O.N., Slizchenko E.V., Shibetskaia I.G., Khlystov V.A., Tokar' E.A., Tananaev I.G. The Sorbents Based on Acrylic Fiber Impregnated by Iron Hydroxide (III): Production Methods, Properties, Application in Oceanographic Research // Water. – 2022. V. 14. N15. 2303.

Ruttenberg K.C. The Global Phosphorus Cycle // Holland D.H., Turekian K.K. (eds.) Treatise on Geochemistry. Honolulu: Elsevier, 2014. V.10. P. 499-558.

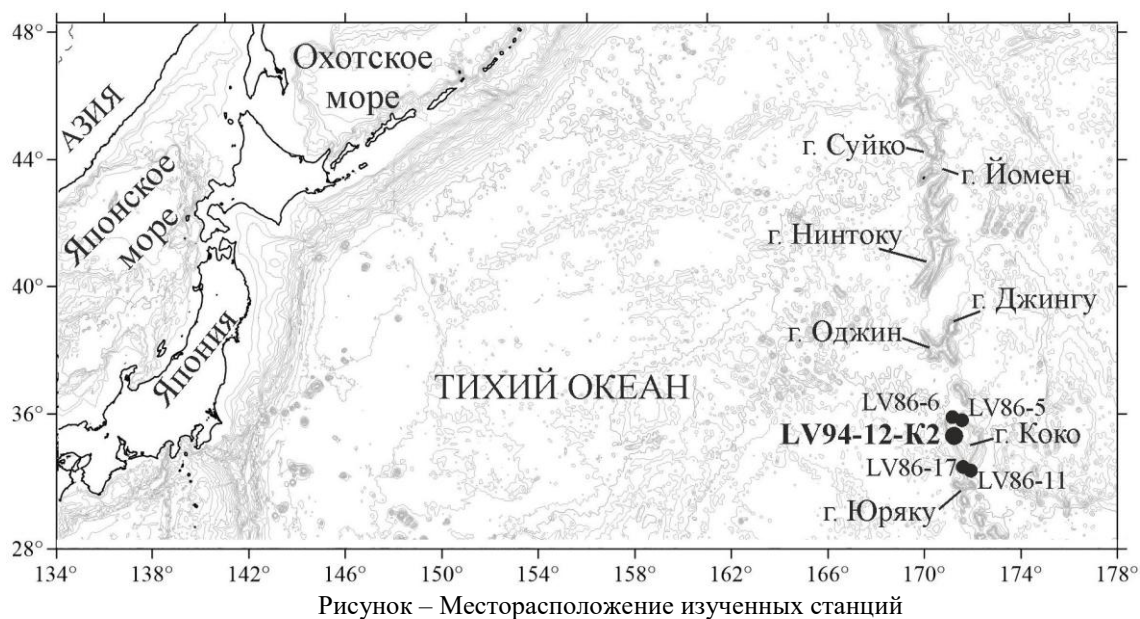
ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАДИОЛЯРИЙ В ОТЛОЖЕНИЯХ ГАЙОТА КОКО ИМПЕРАТОРСКОГО ХРЕБТА (ПО ДАНЫМ КОЛОНКИ LV94-12-K2)

Хмель¹ Д.С., Василенко¹ Л.Н., Даутова² Т.Н.

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

²Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток

Район исследований располагается у подножия подводного гайота Коко (южная часть Императорского хребта) на глубине 2231 м. Несмотря на проведение здесь нескольких рейсов по международным программам глубоководного бурения (DSDP Leg 32: скв. 308, 309 и ODP Leg 197: скв. 1206), радиолярии в геологических материалах не изучались. В последнее время Национальным научным центром морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН совместно с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН стали проводиться активные исследования экосистемы Императорского хребта (Даутова, 2019; Галкин и др., 2020) (Рисунок). Радиолярии гайота Коко впервые были изучены в поверхностных осадках, полученных в ходе одного из этих рейсов (86 рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев»). В результате был выявлен 71 таксон радиолярий (Василенко, Даутова, 2021). В настоящее время эти исследования продолжаются. В августе 2021 года в районе Императорского хребта был выполнен 94 рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев», в ходе которого был отобран новый биологический и геологический материал. Изучение этого материала дополняет полученные ранее данные.



Цель нашего исследования – установление видового разнообразия радиолярий в колонке LV94-12-K2 для выявления наиболее полного состава радиолярий в осадках гайота Коко.

Материал представляет собой осадки колонки LV94-12-K2 (всего 8 образцов). Эта колонка отбиралась с помощью телеуправляемого подводного аппарата (ТПА) "Comanche" (SUB-Atlantic). Образцы нарезались на слои по 1 см.

Радиолярии изучались в постоянных препаратах с помощью биологического микроскопа LOMO Микмед-6, в котором определялся их таксономический состав,

подсчитывалось общее количество в препарате с последующим пересчётом на 1 г осадка (экз./г) и содержание каждого таксона (%).

В результате проведённых исследований была обнаружена разнообразная фауна радиолярий: Polycystine (Spumellaria – 85 таксонов из 52 рода, Nassellaria – 102 таксона из 55 родов) и колониальные радиолярии (Collodaria – 11 таксонов из 6 родов). Общее количество радиолярий в осадках исследуемой колонки варьируется в пределах 13424-22069 экз./г. Наибольшая численность (22069 экз./г.) зафиксирована в интервале 6-9 см (образец LV94-12-K2-3). В таксономическом составе радиолярий преобладают субтропические виды, а также встречаются бореальные, тогда как тропические – единичны.

Доминирующей группой радиолярий являются Spumellaria, на долю которых приходится 48,5-65,0 %, тогда как содержание Nassellaria составляет 26,9-39,5 %. Из Spumellaria преобладают: *Actinomma medianum* Nigrini – 0,9-3,8 %, представители рода *Tetrapyle* (виды *T. octacantha* Müller – 4-14,3 % и *T. quadrilobum* Ehrenberg – 1,7-5,5 %), а также вид *Lithelius minor* Jørgensen – 1-6,4 %. Анализ литературных данных позволил отделить от группы вида *Ommatartus tetrathalamus* Haeckel, в которую ранее были отнесены разные экземпляры (Takahashi, 1991), группу видов рода *Panicium* (*P. coronatum* Haeckel – 0,4 %, *P. tubularium* Haeckel – 0,4 %).

Из Nassellaria преобладающими видами являются: *Lamprocyclus maritimalis* Haeckel – 0,5-1,3 %, *Pterocanium praetextum* (Ehrenberg) – 0,3-1,8 % и представители рода *Botryostrobos* (виды *B. aquilonaris* (Bailey) – 0,3-3,1 %, *B. auritus* (Ehrenberg) – 1-3,8 % и *B. cf. tumidulum* (Bailey) – 0,3-0,9 %).

Колониальные радиолярии немногочисленны и распределены по всей длине колонки в пределах 4-9 %. Самая высокая численность Collodaria (1382 экз./г) наблюдается в интервале 15-18 см (образец LV94-12-K2-6). Во всех образцах доминируют два вида: *Acrosphaera spinosa* (Haeckel) – 0,7-3,1 % и *Siphonosphaera abyssi* (Ehrenberg) – 0,3-3,6 %. Наибольшее количество колониальных радиолярий наблюдается в средней части колонки (образцы LV94-12-K2-4 и LV94-12-K2-6).

Таким образом, наши исследования существенно дополнили таксономический состав радиолярий в осадках гайота Коко (с 71 до 198 таксонов). Здесь, главным образом, преобладают субтропические виды, тогда как тропические встречаются единично. Это подтверждает расположение гайота Коко не в переходной, а в типично субтропической биогеографической зоне. Кроме этого, из группы вида *O. tetrathalamus* Haeckel отделены виды рода *Panicium*.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования (тема № 121021700342-9).

Литература

Василенко Л.Н., Даутова Т.Н. Особенности распределения радиолярий в поверхностных осадках южных гайотов Императорского хребта // Геология морей и океанов: Материалы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии (г. Москва, 15–19 ноября 2021 г.). М.: ИО РАН, 2021. Том 1. С. 29-33.

Галкин С.В., Даутова Т. Н., Минин К. В., Табачник К. Р. Биологические исследования императорского хребта с использованием телеуправляемого аппарата “Команч” // Океанология, 2020, Т 60, № 2, С. 331–333

Даутова Т.Н., Галкин С.В., Табачник К.Р., Минин К.В., Киреев П.А., Московцева А.В., Адрианов А.В. Первые сведения о структуре уязвимых морских экосистем Императорского хребта: индикаторные таксоны, ландшафты и биогеография // Биология моря. 2019. Т. 45, № 6. С. 374–383.

Takahashi K. Radiolaria: flux, ecology, and taxonomy in the Pacific and Atlantic // Ocean Biocoenosis. Woods Hole Oceanographic Institution Press, 1991. Series № 3. 303 p.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИБОРА FLOWCAM ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БИОПРОДУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ

Шамбарова Ю.В., Захарков С.П.

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

В своей работе для изучения биопродукционных характеристик морских экосистем мы использовали относительно новый инструмент – прибор FlowCAM 8400, который значительно сокращает время обработки образцов фитопланктона и увеличивает количество измеряемых частиц, и поэтому привлекателен для использования в программах мониторинга и исследованиях.

Проточный цитометр и микроскоп (FlowCAM) представляет собой автоматизированный метод подсчета частиц, сочетающий проточную цитометрию и микроскопию (Sieracki et al., 1998; Poulton N., 2016). FlowCAM считает и фотографирует частицы, движущиеся в потоке жидкости. Программное обеспечение VisualSpreadsheet® (ViSp) прибора FlowCam обеспечивает быстрое обнаружение фитопланктона, подсчет и классификацию различных видов фитопланктона в морской среде (Álvarez E. et al., 2014; Hrycik A. R. et al, 2019).

Образцы морской воды, отобранные у берегов Камчатки в 2021-2022 гг., были проанализированы с помощью автоматизированного метода на основе FlowCAM. Мы проводили определение доминирующих видов фитопланктонных сообществ; выявление потенциально вредоносных микроводорослей; расчет объема биомассы фитопланктона; определение пигментного состава фитопланктона.

В результате работ нами были получены изображения фитопланктонных сообществ, определены их виды, создана библиотека видов, изучаемой акватории, составлены классификаторы для определения численности и размерной структуры фитопланктона.

Литература

Álvarez E. et al. Routine determination of plankton community composition and size structure: a comparison between FlowCAM and light microscopy //Journal of plankton research. – 2014. – Т. 36. – №. 1. – С. 170-184.

Hrycik A. R., Shambaugh A., Stockwell J. D. Comparison of FlowCAM and microscope biovolume measurements for a diverse freshwater phytoplankton community //Journal of Plankton Research. – 2019. – Т. 41. – №. 6. – С. 849-864.

Poulton N. J. FlowCam: Quantification and classification of phytoplankton by imaging flow cytometry //Imaging Flow Cytometry. – Humana Press, New York, NY, 2016. – С. 237-247.

Sieracki C. K., Sieracki M. E., Yentsch C. S. An imaging-in-flow system for automated analysis of marine microplankton //Marine Ecology Progress Series. – 1998. – Т. 168. – С. 285-296.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ РАДИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Шибетская Ю.Г.¹, Козловская О.Н.¹, Разина В.А.¹, Бежин Н.А.^{1,2}

¹Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь,
iuliia.shibetskaia@gmail.com

²Севастопольский государственный университет, г. Севастополь,
nickbezhin@yandex.ru

Долгоживущие изотопы радия используются в качестве трассеров океанических процессов перемешивания. Они особенно подходят для этой задачи, поскольку их периоды полураспада ($T_{1/2} (^{228}\text{Ra}) = 5,72$ года; $T_{1/2} (^{226}\text{Ra}) = 1600$ лет) применимы к процессам перемешивания, которые действуют во временных масштабах годы-десятилетия (^{228}Ra) и века (^{226}Ra). Вертикальные профили ^{228}Ra в верхних слоях океана являются удобным средством исследования обмена в слое термоклина (Батраков, 2012). Кроме того, важную роль в вертикальном переносе изотопов радия играют коллоиды, содержащие марганец и железо, на которых адсорбируются изотопы радия, а также протекание окислительно-восстановительных процессов в субкислородной зоне.

В Черном море вертикальное распределение ^{228}Ra не изучалось, а вертикальное распределение ^{226}Ra изучалось единожды в 1992 г. в юго-западной части Черного моря (O'Neill et al., 1992).

В ходе 125.2 рейса НИС «Профессор Водяницкий» в декабре 2022 г. нами были отобраны 27 проб морской воды вдоль южного берега Крыма для оценки вертикального распределения изотопов радия. Построены вертикальные профили ^{226}Ra и ^{228}Ra , причем профили ^{228}Ra для Черного моря получены впервые.

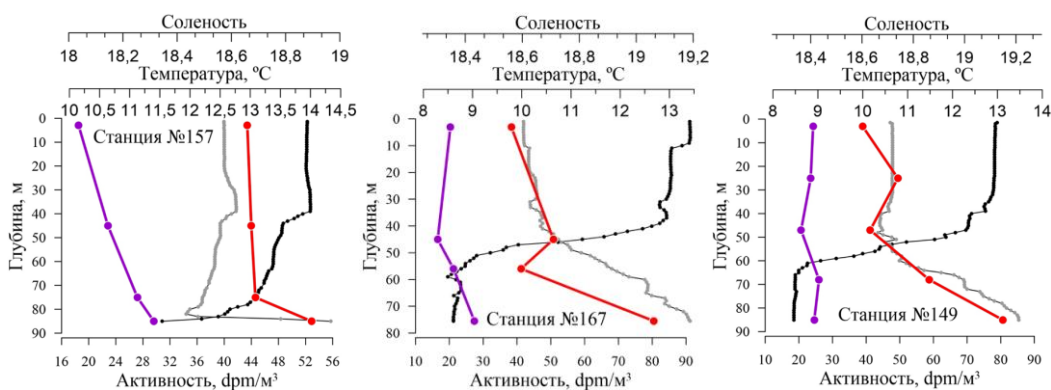


Рисунок – Вертикальное распределение ^{226}Ra и ^{228}Ra
(линии: черная – температура, серая – соленость, фиолетовая – ^{228}Ra , красная – ^{226}Ra)

Полученные данные распределения изотопов радия коррелируют с соленостью, что подтверждается корреляционными зависимостями (более 88%). Далее по полученным данным с помощью коэффициента вертикальной диффузии будут рассчитаны потоки изотопов ^{226}Ra и ^{228}Ra через слой термоклина.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № FNNN-2021-0004), при финансовой поддержке Севастопольского государственного университета в рамках проекта 42-01-09/169/2021-7.

Литература

Батраков Г.Ф. Радиоактивные изотопы в атмосфере и океане. – Севастополь: НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2012. – 378 с.

O'Neill D.J., Todd J.F., Moore W.S. ^{226}Ra in the Black Sea and Sea of Marmara // Earth and Planetary Science Letters. 1992. V.110. N.1-4. P.7-21.

СЕКЦИЯ 4. Информационные технологии, новые методы и технические средства исследования океана

ПОИСК ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, ИНИЦИИРОВАННЫХ ИЗВЕРЖЕНИЕМ ВУЛКАНА ХУНГА-ТОНГА-ХУНГА-ХААПАЙ 15 ЯНВАРЯ 2022 Г., НАД ТЕРРИТОРИЕЙ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Болсуновский М.А.¹, Шестаков Н.В.^{2,3}, Долгих Г.И.⁴, Перевалова Н.П.⁵

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

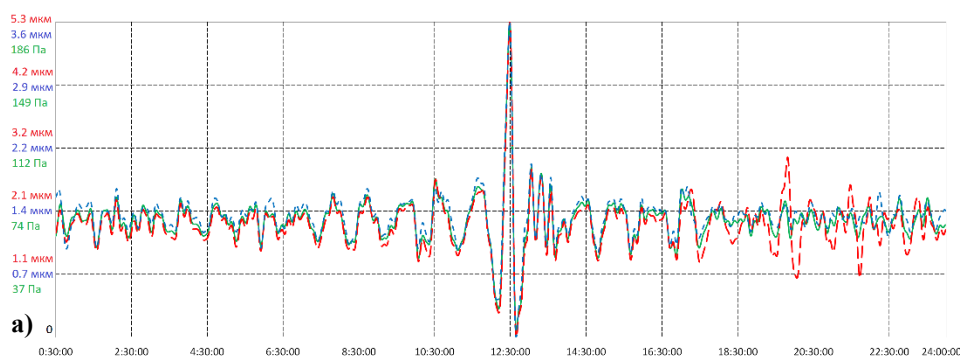
²Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, shestakov.nv@dvfu.ru

³Институт прикладной математики ДВО РАН, г. Владивосток, shestakov.nv@dvfu.ru

⁴Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, dolgikh@poi.dvo.ru

⁵Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, pereval@iszf.irk.ru

В работе выполнен поиск и анализ ионосферных возмущений на территории Приморского края, инициированных извержением вулкана Хунга Тонга-Хунга Хаапай 15 января 2022 г. Получены характеристики ионосферных возмущений, проведен анализ результатов. Для поиска ионосферных возмущений были использованы постоянно действующие станции сети IGS вблизи вулкана, между вулканом и Приморским краем и ГНСС-станции, расположенные на территории Приморского края. Выполнено сравнение результатов, проведенного анализа, с результатами экспериментальных данных, полученных лазерным нанобарографом и лазерными деформографами, расположенными на мысе Шульца. Выполнено сравнение полученных результатов с результатами других исследователей.



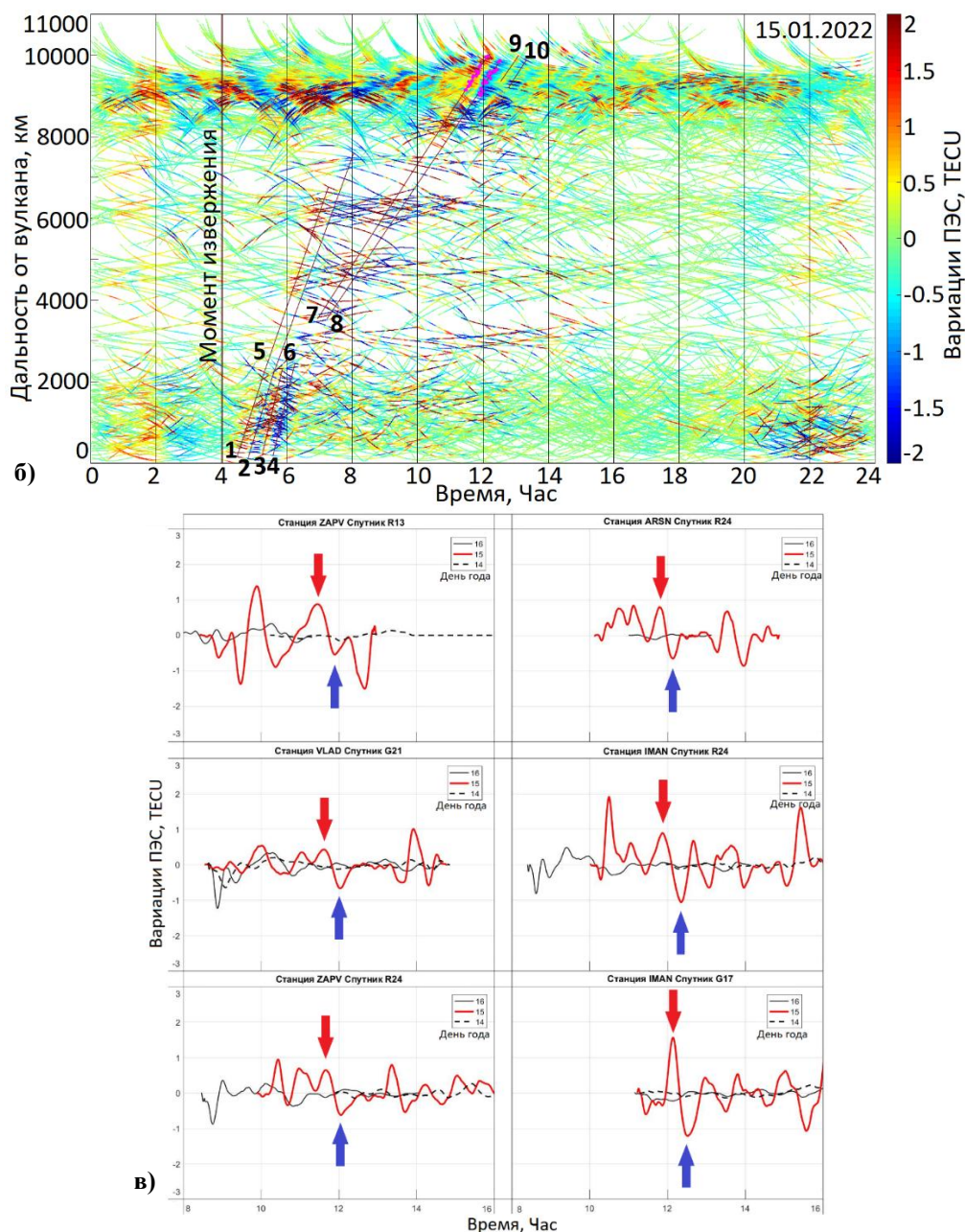


Рисунок – а) – отфильтрованные фрагменты записи, где красным и синим цветом показаны данные деформографов ориентированных по компонентам север-юг и запад-восток соответственно, зеленым – данные нанобарографа; б) – диаграмма дальность-время; в) – графики волновых форм ионосферных возмущений.

Выражаем нашу благодарность в получении ГНСС-данных по используемым в анализе ГНСС-станциям на территории Приморского края АО "ПРИН", ООО "АЭРОФОТОПРОМ", ИПМ ДВО РАН и ДВФУ.

Выражаем нашу благодарность научному сотруднику ИСЗФ СО РАН, кандидату физ.-мат. наук Сергею Викторовичу Воейкову, за предоставление программного обеспечения Viewtecs.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта НФ ДВФУ № 22-07-01-007, а также выполнена в рамках госбюджетных тем «Обоснование системы климатического мониторинга дальневосточных морей и разработка методов мониторинга экстремальных погодноклиматических явлений, связанных с океаном, на основе стационарных и

мобильных измерительных комплексов, а также мультисенсорного спутникового зондирования» (№ 122122300025-8).

Литература

Heki, K. Ionospheric signatures of repeated passages of atmospheric waves by the 2022 Jan. 15 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai eruption detected by QZSS-TEC observations in Japan. *Earth Planets Space* 74, 112 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01674-7>.

Saito, S. Ionospheric disturbances observed over Japan following the eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai on 15 January 2022. *Earth Planets Space* 74, 57 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01619-0>.

Hong, J., Kil, H., Lee, W. K., Kwak, Y.-S., Choi, B.-K., & Paxton, L. J. (2022). Detection of different properties of ionospheric perturbations in the vicinity of the Korean Peninsula after the Hunga-Tonga volcanic eruption on 15 January 2022. *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL099163. <https://doi.org/10.1029/2022GL099163>.

Chen, C.-H.; Zhang, X.; Sun, Y.-Y.; Wang, F.; Liu, T.-C.; Lin, C.-Y.; Gao, Y.; Lyu, J.; Jin, X.; Zhao, X.; Cheng, X.; Zhang, P.; Chen, Q.; Zhang, D.; Mao, Z.; Liu, J.-Y. Individual Wave Propagations in Ionosphere and Troposphere Triggered by the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai Underwater Volcano Eruption on 15 January 2022. *Remote Sens.* 2022, 14, 2179. <https://doi.org/10.3390/rs14092179>.

Bagiya, M. S., Kherani, E. A., Sunil, P. S., Sunil, A. S., Sunda, S., and Ramesh, D. S. (2017), Origin of the ahead of tsunami traveling ionospheric disturbances during Sumatra tsunami and offshore forecasting. *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 7742– 7749, doi:10.1002/2017JA023971.

ТЕЛЕГРАМ БОТ ДЛЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Глебов Е.П.¹, Салюк П.А.²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное высшее образования «Владивостокский государственный университет», г. Владивосток, glebik000@gmail.com

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, pavel.salyuk@gmail.com

В настоящее время существует множество различных сервисов, предоставляющих гидрометеорологические данные, результаты реанализов и прогнозов. Формат предоставления у сервисов для конечного пользователя самый разнообразный, есть мобильные приложения, базы данных, REST-API сервисы, а есть онлайн сервисы в виде веб-страниц.

В качестве примера последнего варианта рассмотрим веб-сервис Windy (<https://www.windy.com/>), у которого основная версия бесплатная для всех пользователей и выполнена в виде большого веб-портала, а также есть платное API для разработчиков, использующих спроектированные методы и данные в своих сервисах, например, в Telegram-Ботах или на сторонних веб-сайтах.

В Windy есть всё необходимое для сопровождения морской навигации и проведения оперативных гидрометеорологических исследований: текущая погода и ее прогноз в точке с показателями температуры, силы и направлении ветра, а также высоты волны, облачности, скорости и направления течений, и т.д. Помимо погоды в точке можно посмотреть интерактивную карту по какому-либо доступному показателю, например, по температуре или высоте волны.

Несмотря на большое количество преимуществ и удобств использования, Windy обладает главным недостатком – перебойная работа при отсутствии стабильного и скоростного интернет-соединения для его работы, поскольку сама веб-страница имеет множество динамически подгружаемых данных. Это будет относиться и к любым другим подобным сервисам, например: Ocean Virtual Laboratory (<https://ovl.oceandatalab.com/>) или Copernicus Marine Service (<https://marine.copernicus.eu/>). Именно не стабильная и медленная интернет связь ограничивает использование известных гидрометеорологических сервисов на судах во время морских работ.

Просторы интернета не подсказали готового сервиса, который бы мог решить данную проблему популярных и актуальных гидрометеорологических веб сервисов, поэтому необходимо разрабатывать собственное решение. В качестве основополагающей платформы был выбран мессенджер Telegram с имеющимися у него широко функциональными API для встроенных Ботов. Телеграм был выбран по ряду причин: Популярность (около 700 миллионов пользователей), бесплатное API, способность Telegram гарантированно догружать файлы в условиях нестабильного интернет соединения. Последнее преимущество взято из отзывов к приложению Telegram, когда сами пользователи нестабильного интернет соединения делились хорошим опытом работы с Telegram в условиях морских экспедиций. Telegram показал наилучшие способности по докачиванию файлов и изображений по сравнению с wget и рядом менеджеров загрузок. Причем, в большинстве случаев Telegram был единственным приложением, которое полностью справлялось с поставленной задачей.

Для разрабатываемого Бота была придумана такая схема сервиса, которая включает в себя несколько ключевых элементов. Среди них модуль с ботом, модуль сервиса погоды (где готовится ответ для запроса пользователя о погоде в какой-то точке или радиусе). Хранилище с погодой, которое пополняется

данными со спутников (на данный момент по GFS модели), благодаря внешним сервисам.

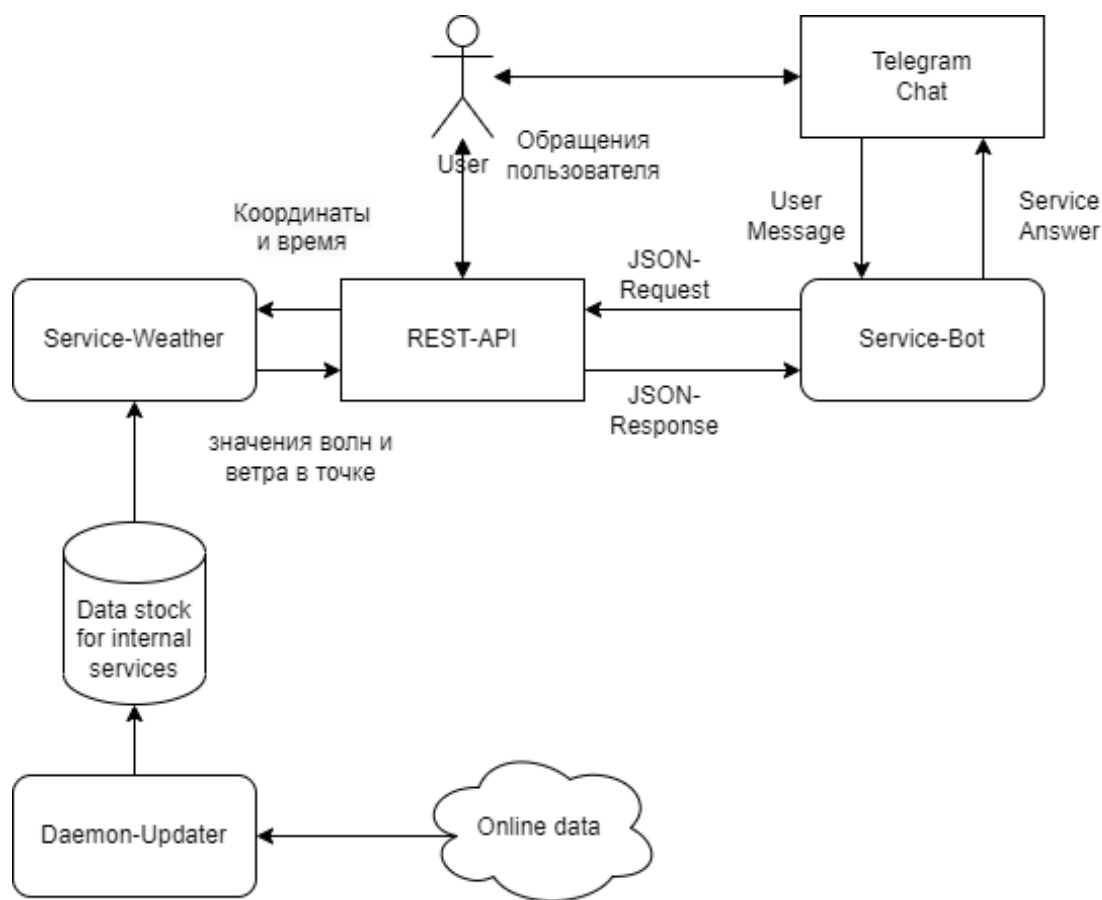


Рисунок – Схема разрабатываемого Телеграм Бота

Подобная схема обладает несколькими преимуществами и недостатками.

Если говорить о недостатках, то первое, что просит своего внимания – сложность. То есть, разрабатываемый сервис имеет более 5 узлов, которые по сути представляют маленькие сервисы. Эти микросервисы выполняют каждый свою функцию: Service-Bot занимается общением с пользователем. Service-Weather обрабатывает запросы от Service-Bot и отдаёт ответ с погодой, данные для ответа хранятся в базе пополняемой сопутствующим обработчиком-парсером. Более того Service-Weather при необходимости может возвращать ответы и третьим пользователям.

Чем может помочь такой Бот? Может служить морякам и морским исследователям в рейсах гарантированным доставщиком пакетов, так как помехи в интернет соединении не мешают стабильно загружать информацию.

Сервис в Телеграм-Боте удобен тем, что он у многих с собой под рукой. Непосредственно в приложении Telegram можно делиться ответами Ботов с другими пользователями.

Проведенный опрос целевой аудитории показал, что морякам необходим такой сервис для более быстрого реагирования на надвигающуюся непогоду, а морским исследователям необходим для оперативного анализа изучаемого района и для корректировки маршрута и планирования сетки станций.

ПРИМЕНЕНИЕ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОИСКА ВОКАЛИЗАЦИЙ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Гриценко В.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г.
Владивосток, am11984@yandex.ru*

Традиционно мониторинг за морскими млекопитающими строится на дорогих и трудоёмких полевых наблюдениях, включающий визуальное наблюдение для определения наличия живот в районе поведения. Из-за невозможности постоянного и близкого наблюдения ночью и в плохую погоду за свободными морскими млекопитающими без высокой вероятности принести вред своим присутствием самим животным и их среде обитания изучение их сигналов становится очень сложной задачей биоакустики. Эти ограничения значительно затрудняют понимание географических ареалов, плотности и разнообразия популяций, что приводит к ошибочным прогнозам и препятствует принятию быстрых и эффективных мер.

Альтернативой является использование автономных акустических регистраторов. Гораздо проще и дешевле установить в районе нагула несколько регистраторов на весь период наблюдения.

Как известно, практически все морские животные используют акустические сигналы. «Sea sawag», или «морская канарейка», – так, например, китобои XIX в. прозвали белуху. Белухи умеют свистеть, щелкать, кричать, щебетать и даже имитировать человеческую речь. Как и другие китовые, белухи издают сигналы двух категорий: импульсы и свисты. Импульсы – последовательность отдельных щелчков, в основном используемые животными для эхолокации и локации добычи. Свисты – это непрерывные сигналы, используемые животными для общения и представляющие наибольший интерес для изучения. Подводные приемники записывают абсолютно все звуки вокруг и здесь появляется задача идентифицировать звуки морских животных.

Для этого необходимо детектировать и классифицировать разнообразие звуков в огромных массивах аудиозаписей, записанных стационарными подводными приёмниками, охватывающих весь период наблюдений и занимающих терабайты данных на жёстких дисках подводных накопительных систем. Просмотреть и проанализировать весь исходный акустический ряд человеком является практически невозможным.

Машинное обучение предлагает альтернативу человеческим исследованиям. Алгоритмы обучаются на основе данных, снабженных специальными метками (виды животных и т.д.), а затем строят прогнозы на основе новых данных. Опубликованная Яном ЛеКуном работа о новом типе нейронной сети (Lecun et al., 1998) и построенная Алексом Киржевски и его командой (Krizhevsky et al., 2017) сверточная нейронная сеть отличается очень высокой способностью к распознаванию паттернов на изображениях с точностью более 80%.

Описанная в данной работе система программ, написанная на языке Python, позволяет с помощью сверточной нейронной сети (CNN, Convolutional Neural Network) находить и классифицировать свисты белух и других морских млекопитающих, таких как касатки, морские свинью и другие, в большом объёме аудиоданных за весьма короткое время работы системы.

Так как на вход CNN необходимо подавать изображение, то логично будет использовать спектрограммы - изображения, показывающее зависимость спектральной плотности мощности аудиосигнала от времени. Для обучения модели сверточной нейронной сети были предварительно размечены сотни спектрограмм включающих звуки белух и без них. Спектрограммы были

построены в размере 512x512 пикселей и охватывали диапазон сигнала от 0 до 15 кГц с шагом 60 Гц по частоте и 1.0158 секунды с шагом 0.01693 секунды по времени.

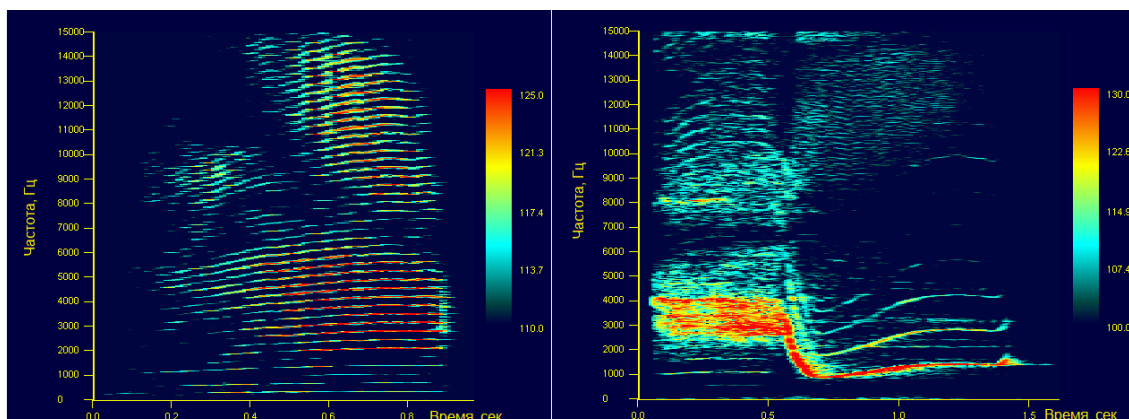


Рисунок – Различные типы свистов белухи

Обработка 3600 картинок (1 час аудиоданных) на обычном персональном компьютере, с проводимыми на процессоре Intel i5 расчётами, занимает примерно 26 минут. Обучение модели на 100 картинках со спектрограммами различных типов свистов белухи на этом же персональном компьютере занимает примерно 3 часа.

Результат работы модели нейронной сети в виде цветных точек наносится сверху на исходное серое изображение, подаваемое на вход модели для классификации.

Представленная в докладе модель свёрточной нейронной сети после 15 эпох обучения на тренировочных спектрограммах приблизилась к точности 95%, а на тестовых спектрограммах и при проходе аудиозаписям длиной 1.5 – 2 месяца показала точность классификации более 70%.

Литература

Lecun, Y., et al. “Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition.” *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 11, 1998, pp. 2278–2324., doi:10.1109/5.726791.

Krizhevsky, Alex, et al. “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks.” *Communications of the ACM*, vol. 60, no. 6, 2017, pp. 84–90., doi:10.1145/3065386.

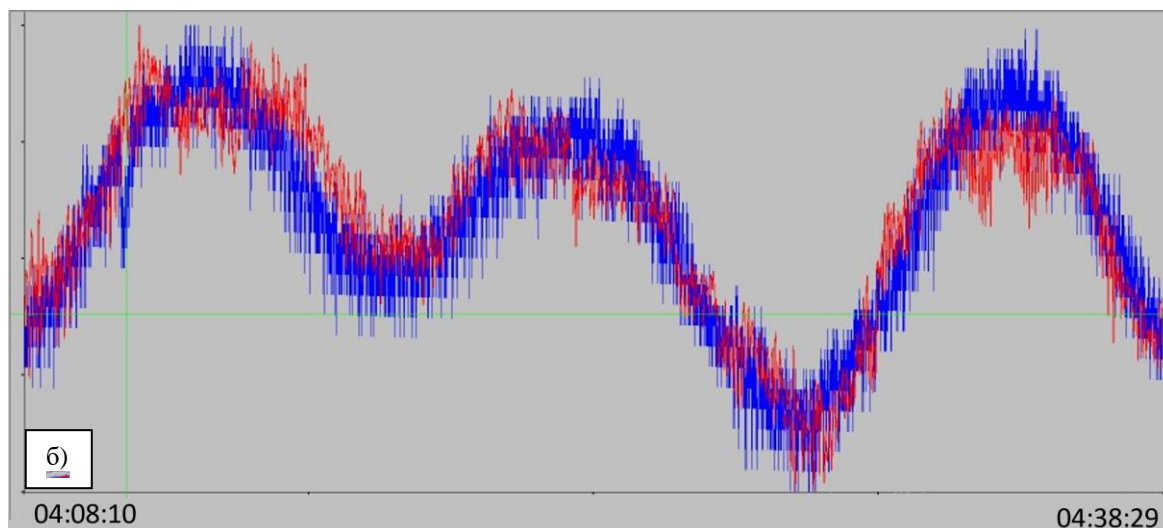
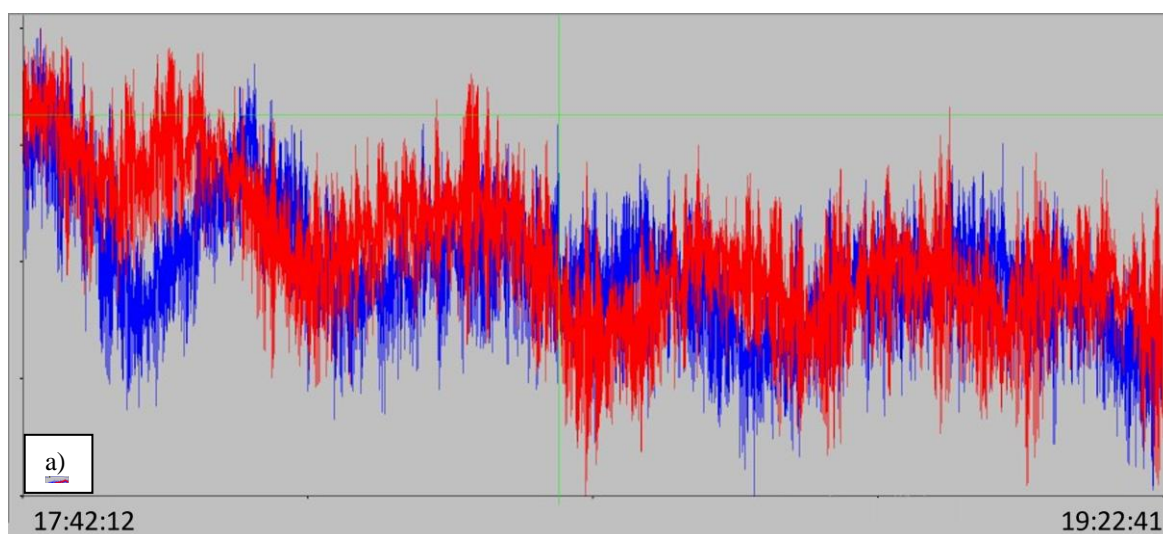
РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВАРИАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ГИДРОСФЕРЫ

Иванов М.П., Долгих С.Г.

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

В Японском море проведен ряд экспериментов по изучению качественных характеристик лазерного измерителя вариаций давления гидросферы (ЛИВДГ) (Долгих Г.И., 2005). Для этого в трех бухтах были установлены ЛИВДГ и измеритель скорости звука с датчиками давления и температуры (Зонд) (Operating Manual, 2019). В результате были получены данные вариаций давления гидросферы в заливе Петра Великого Японского моря: в б. Алексеева, б. Улисс, б. Витязь. Длительность полученных натуральных данных составила от 3 до 75 часов для разных бухт.

Натурные записи вариаций давления гидросферы лазерным измерителем производились в частотном диапазоне от 0 (условно) до 10000 Гц с точностью 50 мкПа. Данные ЛИВДГ были сгенерированы в файлы длительностью один час. Для сопоставления натуральных данных ЛИВДГ и Зонда часовые файлы были подвергнуты предварительной обработке, они были отфильтрованы низкочастотным фильтром Хэмминга, объединены и продецимированы с усреднением до частоты в 8 Гц, которая равна частоте регистрации Зонда. Полученные графики приведены на рисунке ниже.



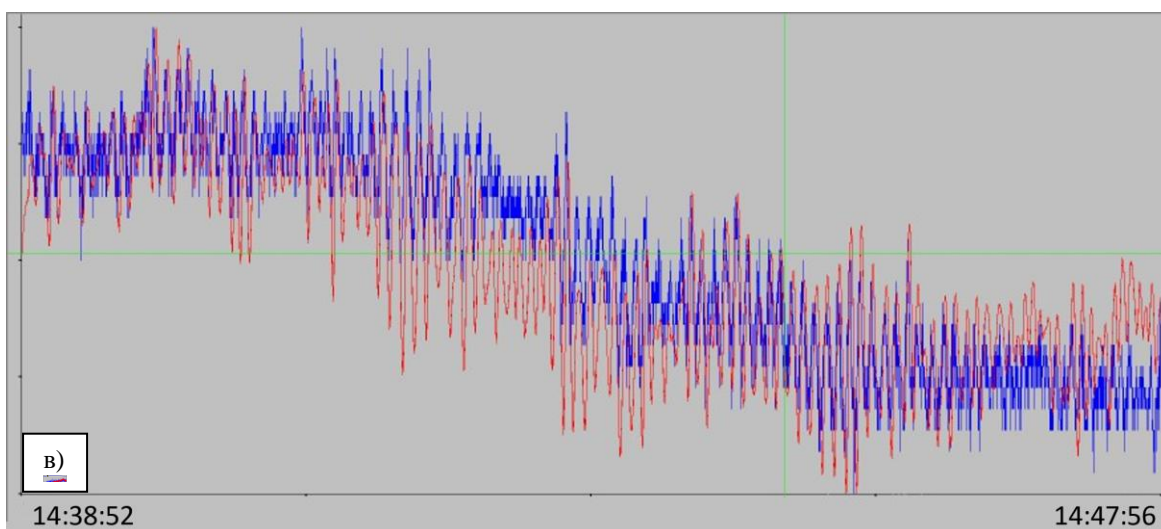


Рисунок – Данные, полученные с ЛИВДГ (красный) и Зонда (синий): а) бухта Витязь за 30 июня 2022 г., б) бухта Алексеева за 24 июня 2021 г., в) бухта Улисс за 9 июля 2021г.

На синхронных участках записей приборов выбирался участок с наибольшей корреляцией, что позволило более качественно совместить данные ЛИВДГ и Зонда. Было рассмотрено морское волнение по записям ЛИВДГ и Зонда в каждой точке постановки приборов от ветрового волнения до собственных колебаний бухт (Смирнов С.В., 2014). В результате среднее значение коэффициента преобразования для б. Витязь, при постановке приборов на глубине 5 м составило 12 Па/В. Для б. Улисс, при глубине 7 м среднее значение коэффициента преобразования составило 28 Па/В. А для б. Алексеева, при постановке приборов на глубине 8 м составило 37 Па/В. По обработанным данным построена зависимость коэффициента преобразования данных ЛИВДГ от глубины установки.

Работа выполнена в лаборатории Нелинейной гидрофизики и природы катастроф ТОИ ДВО РАН по соглашению № 075-15-2022-1127 от 1 июля 2022 г.

Литература

Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалев С.Н., Швец В.А., Чупин В.А., Яковенко С.В. Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы // Приборы и техника эксперимента. 2005. №6. С.56-57.

MiniSERIES Operating Manual miniCTD, miniSVP & miniTIDE // 0660880d, 2019 Valeport Ltd.

Смирнов С.В. О расчете сейшевых колебаний средней части залива Петра Великого // Сиб. журн. вычисл. математики / РАН. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 2014. — Т. 17, № 2. — С. 203–216.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЗАПОЛНЕНИЯ ПРОПУСКОВ В РЯДАХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Костык В.А.¹, Каплуненко Д.Д.²

¹Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток,
kostyk.1956@mail.ru

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г.
Владивосток, dimkar@poi.dvo.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 (Апарин и др., 2010). Это приводит к необходимости использовать специализированные методы статистического анализа или выполнять предварительную процедуру восполнения этих данных. При этом необходимо соблюсти условия, при которых не происходит внесение ложной информации в выборку из-за изменения ее статистических характеристик.

В настоящее время для заполнения пропусков в рядах метеорологических параметров наиболее часто применяются: *k*-nearest neighbors (*k-nn*) (Amir et al., 2019; Glaucia et al., 2014; Semou et al., 2022), time series missing value imputation (*imputeTS*) (Semou et al., 2022), multiple imputation by chained equations (*mice*) (Semou et al., 2022), inverse distance weighted (*IDW*) (Glaucia et al., 2014; Siti et al., 2015), missing forest (*missForest*) (Semou et al., 2022; Hector et al., 2020). В результате анализа представленных методов, для данной работы был использован алгоритм *missForest*, в его реализации на языке Python (библиотека *missingpy*, <https://pypi.org/project/missing-py>).

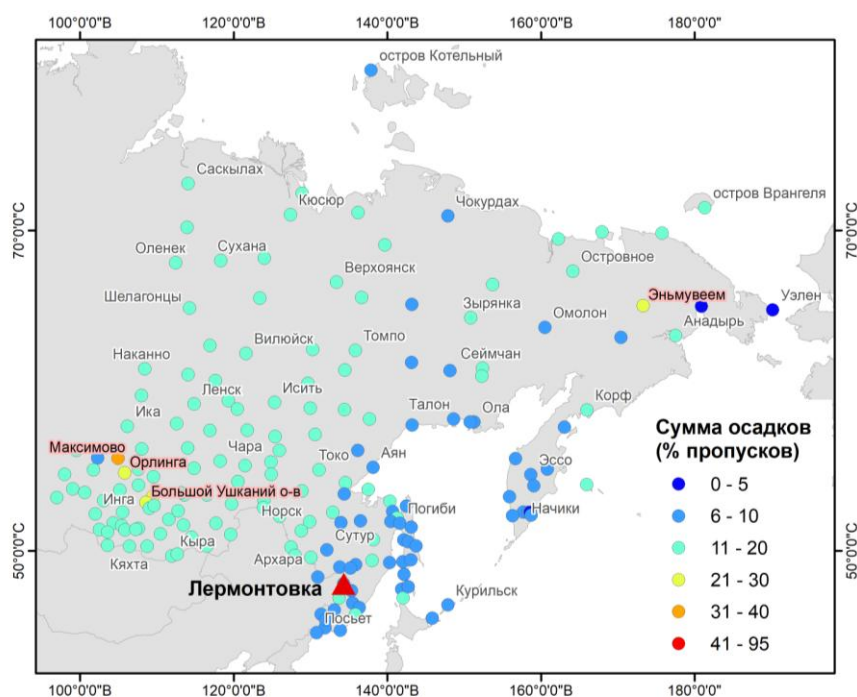


Рисунок – Процент пропусков в срочных рядах сумм атмосферных осадков на метеостанциях (красным обозначены названия станций, имеющих более 20% пропусков)

Алгоритм был применен на данных, взятых из архива ВНИИГМИ-МЦД (<https://meteo.ru/data>), в виде .csv файлов. Период наблюдений 01.01.1966 – 31.12.2021 (56 лет), временное разрешение – 3 часа (163 624 измерения), 183 метеостанции на территории ДФО. Пространственное расположение станций приведено на рисунке.

Метод *missForest* был протестирован для временного ряда метеостанции Лермонтовка (код ВМО 31788). Для восстановления был выбран период с 1979 по 2021 (42 года) (8 срочного разрешения) не имеющий пропусков в рядах осадков и температуры. В копию исходной выборки были внесены случайные пропуски (3%, 17%, 25%). Затем ряд восстановлен и сравнен с исходным. Средняя абсолютная ошибка <0.04 мм, что лежит в пределах погрешности измерения осадков. Максимальная абсолютная ошибка в среднем составляет 51 мм. Достоверность заполнения в диапазоне от 3 до 30% пропусков составляет 98%.

В данном случае отметим, что метод *missForest* подходит для восстановления пропусков в рядах атмосферных осадков (в регионе ДФО с 3 часовым разрешением). Особенностью метода является его малая ресурсная требовательность, что позволит продолжить заполнение пробелов для остальных рядов Дальнего Востока.

Литература

Апарин Б.В., Веселов В.М., Сивачок С.Г. 2010 Устранение пропусков в рядах метеорологических наблюдений. – Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 174, с. 8-13.

Amir Aieb, A new approach for processing climate missing databases applied to daily rainfall data in Soummam watershed, Algeria, Heliyon 5 e01247. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01247 (2019).

Glaucia Ozaki, Missing data imputation of climate datasets: implications to modeling extreme drought events, Revista Brasileira de Meteorologia, v.29, n.1, 21-28, (2014).

Héctor Aguilera, Estimating extremely large amounts of missing precipitation data, Journal of Hydroinformatics 22.3, 578-592, (2020).

Sémou Diouf, El Hadji Dème, Abdoulaye Dème "Imputation methods for missing values: the case of Senegalese meteorological data," African Journal of Applied Statistics, Afr. J. Appl. Stat. 9(1), 1245-1278, (2022).

Siti Burhanuddin, Geometric median for missing rainfall data imputation, doi: 10.1063/1.4907433, American Institute of Physics, (2015).

Ресурсы ВНИИГМИ-МЦД АИСОРИ официальный сайт. – Россия, 2023. – URL: <https://meteo.ru/data> (Дата обращения: 03.03.2023).

The Python Software Foundation официальный сайт. – 2023. – URL: <https://pypi.org/project/missing-py/> (Дата обращения: 03.03.2023).

ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПЛАНКТОНА «*IN SITU*»

Кравченко Ю.Н., Анисимова Л.А., Левашов Д.Е.
ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, *kravyn@vniro.ru*

Исследования мезопланктона представляют научный интерес, в том числе, в связи с тем, что он является основной кормовой базой для рыбных скоплений. Большая трудоёмкость процесса отбора и обработки проб зоопланктона делает актуальной задачу по разработке аппаратуры, которая сможет в реальном времени передавать информацию о его распределении в толще, биомассе и видовом составе.

В отделе техники экспедиционных исследований ФГБНУ «ВНИРО» разработаны: серия гидробиологических зондов ТРАП (Левашов, 2013, 2016); несколько вариантов измерителя планктона типа КЭП и КАРП (Левашов и др., 2020; Буланова и др., 2021). В продолжение этих работ собран макет электронно-оптического регистратора «АКВАСКОП» (ЭОР «АКВАСКОП»). Прибор состоит из следующих блоков: видеорегистрации; проточной реперной камеры, включающей в себя подсветку; прокачки и затемнения; подвеса, опоры.

Блок видеорегистрации расположен в цилиндрическом герметичном контейнере из конструкционного пластика с торцевым иллюминатором из органического стекла с сальниковым вводом кабеля. Внутри контейнера располагается модуль видеокамеры стандартного исполнения с USB-интерфейсом и объективом, для которого вручную задаётся фокусное расстояние. Проточная камера состоит из плоского канала размером 13x10 см и глубиной 5 см. На нижней плоскости канала закреплена электролюминесцентная панель, далее ЭЛ-панель (Шубин и др., 2013) с защитным кожухом из поликарбоната, в виде двух плоских листов, между которыми зажата ЭЛ-панель. ЭЛ-панель имеет спектр с максимумом излучения в диапазоне 480 нм, эта область электромагнитного спектра излучения меньше всего поглощается водной средой. Блок прокачки воды включает насос, состоящий из электродвигателя и присоединенной к нему крыльчатки, которая выполняет двойную функцию: рабочего элемента насоса и затемнителя паразитной дневной засветки. Возможна дальнейшая модернизация блока прокачки для учета количества прокачиваемой воды. Кроме того, разработана и изготовлена система подвеса и опоры для погружения и поднятия на тресе и удержания корпуса аппарата на небольшом расстоянии от дна.

Для подачи питания и приема сигнала используется 8 жильный кабель: питание на электродвигатель (2 жилы), ЭЛ-панель (2 жилы), прием видеосигнала (4 жилы). Универсальность выхода USB позволяет подключаться к камере любыми устройствами, на которых имеется USB-порт и программное обеспечение для работы с универсальной камерой (компьютеры, ноутбуки, планшеты, телефоны). Возможна регистрация видеоизображений и фотографий.

Проведены испытания макета в воде, результаты положительные. Внешний вид прибора и образцы экспериментальных фотографий приведены ниже.

Опыт работы и результаты испытания показали необходимость:

- усовершенствования блока прокачки и его электропитания,
- мероприятия по реализации тонкой фокусировки видеокамеры на всей регистрируемой области,
- увеличения быстродействия камеры для более четких стоп-кадров при более детальном рассмотрении биологических объектов.

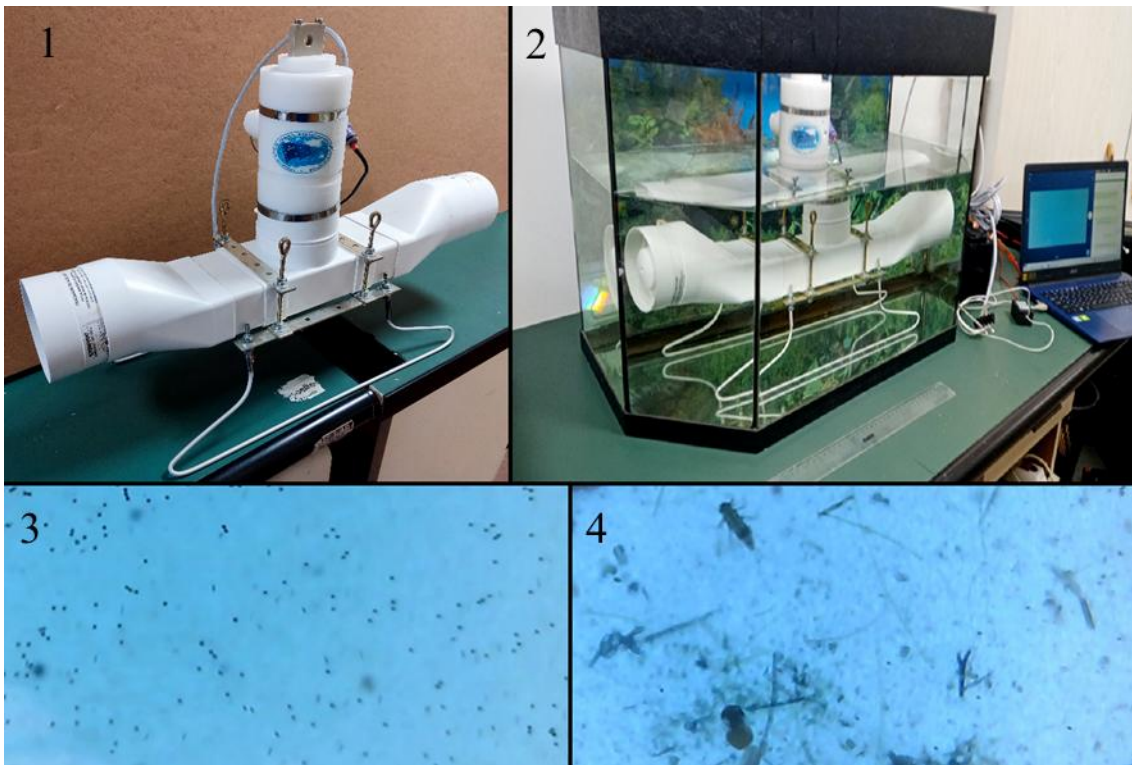


Рисунок – Внешний вид прибора и его экспериментальные кадры
 (1 - внешний вид действующего макета ОЭР «АКВАСКОП», 2 - макет в процессе экспериментов, 3 - стоп-кадр видеоряда процесса эксперимента с яйцами цист артемии, 4 - эксперимент с биологическими объектами из природного водоема)

Литература:

- Буланова Н.П., Левашов Д.Е., Гайский П.В., Иващенко Д.И., Литвиненко Л.И., Куцанов К.В. Новый лазерный планктомер КАРП – комплексный автономный регистратор планктона // Труды ВНИРО. 2021. Т. 184. С.140-148.
- Левашов Д.Е., Буланова Н.П. Гидробиологические зонды серии ТРАП и особенности инструментального мониторинга мезопланктона в водах Чёрного моря // Труды ВНИРО. 2013. Т. 150. С. 117-127.
- Левашов Д.Е., Буланова Н.П. Разработка экспериментальных технологических платформ и исследования на их основе с целью создания нового лазерного планктомера // Труды ВНИРО. 2020. Т. 182. С.182-190.
- Левашов Д.Е., Буланова Н.П. Современные методы и основные оптические схемы, используемые при исследовании планктона *in situ* // Системы контроля окружающей среды. 2016. № 6(26). С. 14-22.
- Шубин Н.Е. Козырев Е.Н., Платова А.А. Брежнев А.А., Малдзигати А.И. Разработка и изготовление высокоэффективных электролюминесцентных панелей // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Т. 9. № 6-2. С. 74-77.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БОЛЬШОЙ ДАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОБСЕРВАЦИИ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Лебедев М.С.

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

Работа проводилась в рамках создания технологии высокоточного навигационного обеспечения и дальнего дистанционного управления подводных средств на основе применения гидроакустических систем. С целью решения задачи позиционирования – расчетов координат местоположения подводного объекта, удаленного до нескольких сотен километров от опорных маяков – был разработан программный модуль выработки навигационных данных, входящий в состав приемного тракта.

Позиционирование автономных необитаемых подводных аппаратов и т.д. в региональных и глобальных масштабах является актуальной задачей и требует развития прикладных исследований в области гидроакустики и океанологии.

Практическое применение в данном направлении находят технические и методические решения (Моргунов и др., 2018) для обеспечения распространения акустических волн в волноводных условиях. При этом вдоль акустических трасс, соединяющих группу территориально-распределенных источников навигационных сигналов (ИНС), расположенных у побережья, с подводным объектом (ПО) возникает необходимость учета изменений гидрологической обстановки и батиметрии. К тому же навигационные низкочастотные импульсные сигналы подвержены влиянию особенностей распространения как в придонном звуковом канале на шельфе, так и в подводном звуковом канале в глубоком море (Безответных и др., 2009).

Программный модуль состоит из графического интерфейса пользователя, блока приема информационных посылок, блока с навигационным алгоритмом расчета географических координат.

Работа блока приема информационных посылок сводится к получению, сортировке детерминированной последовательности амплитудно-временных параметров навигационного сигнала от каждого ИНС на ПО. Детектирование приходов импульсной характеристики на ПО осуществляется предварительно блоком корреляционной обработки.

К основным выходным характеристикам блока (Рисунок) с навигационным алгоритмом относятся дальности распространения, которые определяются по временным задержкам и эффективной скорости звука (по средневзвешенным значениям из пространственно-временных баз данных, климатологическим моделям и реальным измерениям) в районе навигационного покрытия. Расчет координат местоположения ПО сводится к решению задачи гидроакустической трилатерации по 2-м (или более) ИНС, основанной на методе геодезических вычислений – линейной засечке. Решения главных (прямой и обратной) геодезических задач и вычисления угловых величин (дирекционного и азимутального углов) проводятся в системе геодезических координат на общеземном эллипсоиде WGS84. В рамках апробации модуля были проведены экспериментальные исследования в акватории Японском море. Выработка навигационных данных проводилась в точках на удалении 100, 200, 330 км при работе 2-х ИНС.

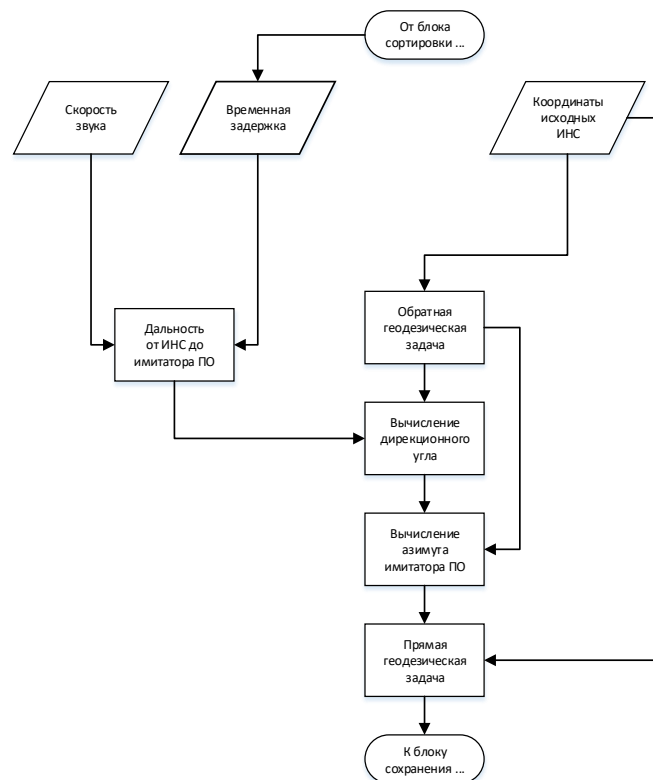


Рисунок – Блок-схема алгоритма определения местоположения ПО

С целью фиксации положения относительно источников и оценки погрешности позиционирования использовался поверхностный буй с GPS-приёмником, соединенный кабельной линией с ПО. Предельная радиальная (круговая) погрешность местоположения (для заданной вероятности нахождения $P = 99,7\%$) ПО относительно буя составила менее 250 м при длине акустических трасс более 100 км. В качестве дальнейших исследований для снижения значения невязки на трассе до десятков метров предполагается изучение вопроса выбора значений эффективной скорости звука (вследствие ее значительной разницы с реальными данными гидрологии), привлечение методов расчёта модовой структуры поля волновода и оценки значений групповых скоростей для расчета дальностей распространения навигационных сигналов.

Работа проводилась при поддержке Фонда перспективных исследований.

Литература

Моргунов Ю.Н., Безответных В.В., Буренин А.В., Войтенко Е.А., Голов А.А. Экспериментальное тестирование технологии высокоточной подводной акустической дальнометрии // Акустический журнал. - 2018 г.. - 2 : Т. 64. - стр. 191-196.

Безответных В.В., Буренин А.В., Моргунов Ю.Н., Половинка Ю.А. Экспериментальные исследования особенностей распространения импульсных сигналов из шельфа в глубокое море // Акустический журнал. - 2009 г.. - 3 : Т. 55. - стр. 374-380.

РЕЗУЛЬТАТЫ СПУТНИКОВОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ С СУДОВ В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Марченко М.О.¹, Бессонов Р.С.^{1,2}, Дубина В.А.^{1,2}, Круглик И.А.¹

¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток, rita.marchenko.2001@mail.ru

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

Морские грузоперевозки являются важной частью обеспечения функционирования международной торговли и, как следствие, мировой экономики, поэтому в настоящее время проблема экологического мониторинга морских путей является актуальной в вопросе защиты окружающей среды. До 2021 года мониторинг нефтяных разливов в Татарском проливе Японского моря был нерегулярный. Целью данной работы является оценка нефтяного загрязнения акватории Татарского пролива, относящейся к Японскому морю, при помощи методов дистанционного зондирования Земли.

За период мониторинга была собрана и обработана информация, полученная радиолокаторами с синтезированной апертурой (РСА), которые установлены на спутниках Sentinel-1A и Sentinel-1B, принадлежащих Европейскому космическому агентству, в период с 01.01.2021 по 31.12.2021. Спутниковые снимки находились в свободном доступе в сети Интернет на онлайн-ресурсе <https://scihub.copernicus.eu/>.

После специальной обработки изображений, был проведен визуальный анализ, в результате которого удалось количественно оценить загрязнение акватории Татарского пролива нефтяными углеводородами, площадь которого составила 138,6 км². Положения зарегистрированных нефтяных пятен показаны на рисунке красными точками.

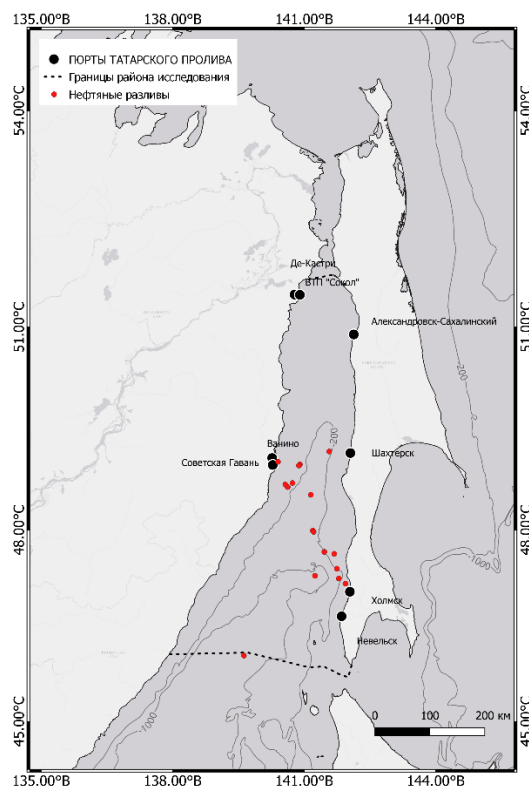


Рисунок – Места регистрации нефтяных разливов в Татарском проливе (показаны красными точками). Пунктиром отмечены границы пролива

При анализе спутниковых снимков можно количественно оценивать активность судов в течение года и использовать полученные данные для дальнейшего мониторинга районов активного судоходства и транспортировки нефтяных углеводородов (Иванов и др., 2020; Bessonov et al., 2022).

Литература

Иванов А.Ю., Матросова Е.Р., Кучейко А.Ю. и др. Поиск и обнаружение естественных нефтепроявлений в морях России по данным космической радиолокационной съемки // Исследование Земли из космоса. 2020. № 5. С. 43–62.

Bessonov R, Dubina V., Cherneeva I., Kruglik I. Results of satellite monitoring of oil spills from ships in the Korea Strait // Proc. 2022 International Conference on Ocean Studies (ICOS 2022), 05-07 October 2022, Vladivostok. P. 118-121.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ СУДОВОГО НАВИГАЦИОННОГО РАДАРА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Суслов А.И., Аникин Н.А., Криницкий М.А., Тилинина Н.Д., Гавриков А.В., Шармар В.Д., Гулев С.К.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, suslov.ai@ocean.ru

Ветровые волны играют важнейшую роль в обмене энергией между океаном и атмосферой. Движение поверхности океана, вызываемое ветровым волнением, приводит к перемешиванию водных масс, переносу газов и образованию атмосферных аэрозолей. Классические методы наблюдения за волнами либо характеризуются большим охватом и низкой точностью, либо наоборот имеют высокую точность, но проводят измерения локально. Волномерные буи и спутники являются одними из самых популярных методов наблюдения за волнением. Волномерный буй измеряет колебание поверхности океана очень точно, но локально. Спутниковые миссии имеют широкий охват, но проигрывают в точности. Кроме того, наиболее сильное волнение обычно сопровождается облачностью, что затрудняет спутниковые измерения. Во время шторма особенно важно получить оперативный прогноз волнения. Измерения волн с помощью судового навигационного радара могут восполнить существующий пробел в наблюдениях за волнением. (Tilinina N. et al., 2021). В этом исследовании мы представляем данные, собранные в ходе четырех исследовательских экспедиций в северной и тропической Атлантике и Арктике в 2020-2022 годах для измерения характеристик ветрового волнения в открытом океане с помощью судового навигационного радара. Одновременно с радиолокационными измерениями были также собраны данные при помощи волнового буя Spotter для проверки. В данном исследовании представлено использование сверточных нейронных сетей (СНС) для восстановления характеристик волнения по данным судового навигационного радара и сравнение результатов с данными, полученными с буя Spotter. Использование СНС вместе с традиционными методами спектрального анализа позволяет повысить точность восстановления волновых характеристик и увеличить эффективность вычислений. (Xue et. al.,2020).

Литература

- Tilinina N., Ivonin D., Gavrikov A., Sharmar V., Gulev S., Suslov A., Fadeev V., Trofimov B., Bargman S., Salavatova L., Koshkina V., Shishkova P., Sokov A.: (2021). Wind waves in the North Atlantic from ship navigational radar: SeaVision development and its validation with Spotter wave buoy and WaveWatch III. *Earth System Science Data Discussions*, 1-25. <https://doi.org/10.5194/essd-2021-431>,
- Xue, S., Geng, X., Yan, X. H., Xie, T., & Yu, Q. (2020). Significant wave height retrieval from Sentinel-1 SAR imagery by convolutional neural network. *Journal of Oceanography*, 76(6). <https://doi.org/10.1007/s10872-020-00557-3>.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ НА ПЕРЕСЕКАЮЩИХ ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СВЕРХДАЛЬНИХ ТРАССАХ

Шкрамада С.С., Буренин А.В., Моргунов Ю.Н.

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, shkramada.ss@poi.dvo.ru, shurick_burenin1@mail.ru, morgunov@poi.dvo.ru*

В последнее время получили значительное развитие дистанционные методы гидроакустической термометрии в исследовании гидрофизических и термодинамических процессов. Они имеют неоспоримое преимущество по сравнению с любыми другими контактными методами для освоения и диагностики масштабных акваторий. Однако большинство экспериментальных и теоретических работ в этом направлении выполнялись на морских акваториях южных широт с расположением оси подводного звукового канала (ПЗК) на глубинах 800 — 1000 метров (Worcester et al., 1999; Baggeroer et al., 1998; Howe et al., 1995). Рассмотрение результатов этих работ применительно к морским акваториям северных широт с заглублением оси ПЗК от 50 до 300 метров не всегда корректно. В ТОИ ДВО РАН активно изучаются особенности формирования полей скорости звука на акватории Японского моря, предложены и апробированы методики с размещением источников сигналов на шельфе с последующим переходом акустической энергии на ось ПЗК в глубоком море (Акуличев и др., 2009; Акуличев и др., 2010; Моргунов и др., 2016; Моргунов и др., 2019).

В интересах разработки новых методов и средств акустической термометрии в августе 2022 года на акустической трассе Японского моря протяженностью около 1073 км был проведен тестовый акустико-гидрологический эксперимент, в ходе которого были получены важные гидрологические данные. Излучатель в ходе эксперимента был расположен вблизи берега около острова Сахалин, на глубине 41 метр и на удалении 5 км от свала глубин. Каждые 6 минут излучался фрейм в составе нескольких фазоманипулированных псевдослучайными M-последовательностями сигналов. Все сигналы имели несущую частоту 400 Гц, но различные полосы частот. Акустическое давление составляло 8000 Па на 1 метре от излучателя. Приемная система на базе радиогидроакустического буя дрейфовала вблизи обеспечивающего судна на удалении около 1073 км от излучателя. Координаты дрейфа буя ежеминутно фиксировались системой GPS и учитывались при расчетах расстояния между излучателем и приемной системой. Размещение излучателя на шельфе в данном случае обеспечило реализацию эффекта акустического «оползня» - явления перехода акустической энергии из придонной области шельфа на ось ПЗК в глубоком море. Поэтому на всех полученных импульсных характеристиках фиксировался последний максимальный приход акустической энергии, распространяющейся по лучевым траекториям вблизи оси ПЗК с минимальной скоростью. В точке приема и в точках на удалении 271.3, 404.3 и 652.5 км от излучателя производилось измерение вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) и температуры. Необходимо отметить, что при анализе полученных данных, на трассе была обнаружена вихревая система.

Для физической интерпретации полученных результатов и уточнения размеров обнаруженной вихревой системы было проведено численное моделирование процесса распространения широкополосных импульсных сигналов с использованием программы RAY с привлечением данных

гидродинамической модели циркуляции океана NEMO, характеристик рельефа дна и измеренных ВРСЗ в заданных точках.

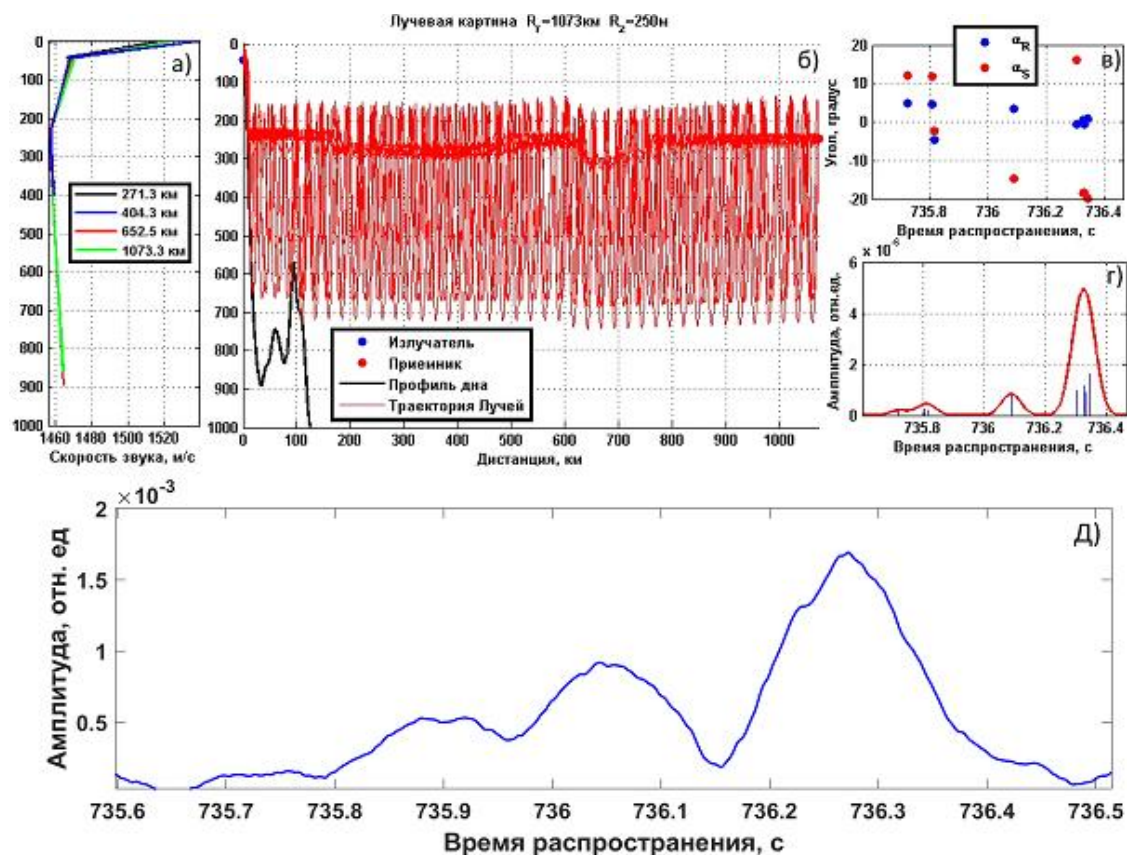


Рисунок – Результаты моделирования распространения акустических сигналов по трассе длиной 1073 км с использованием программы RAY: а) ВРСЗ в точках вдоль трассы; б) лучевая картина распространения акустических сигналов для малых углов излучения; в) углы выхода и прихода; г) модель приходов акустических сигналов и формы импульсной характеристики; д) экспериментально полученная импульсная характеристика для сигнала M127

Расчеты показали, что при заданных параметрах модели, на приемном гидрофоне формируется импульсная характеристика, состоящая из трех приходов с временами распространения, приблизительно равными полученным экспериментально. Критерием адекватности модельных расчетов реальному процессу распространения широкополосных импульсных сигналов является схожесть импульсных характеристик, как по форме, так и по времени отдельных приходов акустической энергии. Достигнуть максимального подобия удалось путем подбора горизонтального размера вихревой системы. Следовательно, программа может успешно дополнять другие средства для получения практических результатов моделирования процесса акустической термометрии в интересах организации мониторинга изменчивости климата в данном районе Японского моря.

Литература

Акуличев В.А., Безответных В.В., Буренин А.В., Войтенко Е.А., Моргунов Ю.Н. Эксперимент по оценке влияния вертикального профиля скорости звука в точке излучения на шельфе на формирования импульсной характеристики в глубоком море // Акустический журнал. 2010. Т. 56, № 1. С. 51–52.

Акуличев В.А., Каменев С.И., Моргунов Ю.Н. Применение сложных акустических сигналов в системах связи и управления подводными объектами // ДАН. 2009. Т. 426, № 6. С. 821–823.

Моргунов Ю.Н., Безответных В.В., Буренин А.В., Войтенко Е.А. Исследование влияния гидрологических условий на распространение псевдослучайных сигналов из шельфа в глубокое море // *Акустический журнал*. 2016. Т. 62, № 3. С. 341–347.

Моргунов Ю.Н., Голов А.А., Буренин А.В., Петров П.С. Исследования пространственно-временной структуры акустического поля, формируемого в глубоком море источником широкополосных импульсных сигналов, расположенным на шельфе Японского моря // *Акустический журнал*. 2019. Т. 65, № 5. С. 641–649.

Baggeroer A. B., Birdsall T. G., Clark C., Colosi J. A., Cornuelle B. D., Costa D., Dushaw B. D., Dzieciuch M., Forbes A. M. G., Hill C., Howe B. M., Marshall J., Menemenlis D., Mercer J. A., Metzger K., Munk W., Spindel R. C., Stammer D., Worcester P. F., Wunsch C., “Ocean climate change: Comparison of acoustic tomography, satellite altimetry, and modeling,” // *ATOC Consortium* (1998). *Science* 281, 1327–1332.

Howe B. M., Anderson S. G., Baggeroer A. B., Colosi J. A., Hardy K. R., Horwitt D., Karig F. W., Leach S., Mercer J. A., Metzger K., Jr., Olson L. O., Peckham D. A., Reddaway D. A., Ryan R. R., Stein R. P., Watson J. D., Weslander S. L., Worcester P. F. *ATOC Instrumentation Group* (1995). “Instrumentation for the Acoustic Thermometry of Ocean Climate (ATOC) prototype Pacific Ocean network,” // *OCEANS’95 Conference Proceedings*, San Diego, CA, 9–12 October 1995, pp. 1483–1500.

Peter F. Worcester, Bruce D. Cornuelle, Matthew A. Dzieciuch, Walter H. Munk, Bruce M. Howe, James A. Mercer, Robert C. Spindel, Kurt Metzger, Theodore G. Birdsall. A test of basin-scale acoustic thermometry using a large-aperture vertical array at 3250-km range in the eastern North Pacific Ocean. //© 1999 Acoustical Society of America. [S0001-4966(99)04506-3], PACS numbers: 43.30. Pc, 43.30.Cq [SAC-B].

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы X конференции молодых ученых

Владивосток, 24 – 28 апреля 2023 г.

Ответственный за выпуск *к.г.-м.н. И.А. Прушковская*

Издательское оформление
ИП Миромановой И.В.
2023 г.

