

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



ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
VIII КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

6–9 июня 2018 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ВЛАДИВОСТОК
2018

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

VIII конференция молодых ученых
6 - 9 июня 2018 г.
г. Владивосток, Россия

Материалы конференции

OCEANOGRAPHIC RESEARCH
VIII Young Scientists Conference
June 6 – 9, 2018, Vladivostok, Russia

Proceedings

Владивосток
Дальнаука
2018

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

Океанологические исследования: материалы VIII конференции молодых ученых, 6 – 9 июня 2018 г., Владивосток, Россия. – Владивосток: Дальнаука, 2018. – 188 с.

ISBN 978-5-8044-1666-0

В сборнике материалов конференции представлены результаты исследований молодых ученых и специалистов РАН и отраслевых институтов, аспирантов и студентов 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 VIII young scientists conference, June 6 – 9, 2018, Vladivostok, Russia. – Vladivostok: Dalnauka, 2018. – 188 p.

The conference proceedings present the results of research obtained by young scientists of Russian Academy of Sciences and industry institutions as well as post-graduates and students of the Universities. A wide range of questions of oceanography, geophysics, geochemistry, ecology and biological resources of the World Ocean are studied, including the state-of-the-art information technologies, methods and ocean exploration tools. The proceedings of conference are offered for all those who are interested in Earth science.

ISBN 978-5-8044-1666-0

© ТОИ ДВО РАН, 2018

© «Издательство Дальнаука», 2018

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель оргкомитета

научный руководитель ТОИ ДВО РАН
академик *Виктор Анатольевич Акуличев*

Ученый секретарь

к.г.н. *Нина Ивановна Савельева*

Секретари оргкомитета:

к.г.н. *Юрий Павлович Василенко*
Елена Александровна Янченко

Председатели секций:

к.г.н. *Вячеслав Борисович Лобанов*
д.г.н. *Андрей Григорьевич Андреев*
д.ф.-м.н. *Леонид Моисеевич Митник*
к.г.-м.н. *Антонина Валериевна Артёмова*
д.г.-м.н. *Александр Никитович Деркачёв*
д.б.н. *Виктор Павлович Челомин*
д.х.н. *Павел Яковлевич Тищенко*
к.т.н. *Александр Анатольевич Тагильцев*

Материалы конференции публикуются в авторской редакции

Составитель:

Елена Александровна Янченко

СОДЕРЖАНИЕ

45 лет Тихоокеанскому океанологическому институту им. В.И. Ильичева ДВО РАН 8

СЕКЦИЯ 1

Океанология, физика океана и атмосферы

Е.В. Анисимова, П.Ю. Семкин, Е.Н. Марьина, П.П. Тищенко. Динамика вод и пространственное распределение концентрации хлорофилла-а на северо-восточном шельфе о. Сахалин летом 2017 г. 16

П.В. Журавлев, М.С. Пермяков. Влияние эффектов пограничного слоя на взаимодействие пары вихрей. 18

С.С. Капач, Л.М. Митник, Е.В. Кустова, П.О. Харламов, В.И. Пономарев. Циклоны над южным океаном по спутниковым микроволновым измерениям. 20

О.О. Коростылёва, М.Г. Алексанина. Поиск ветровой составляющей в скоростях перемещений на поверхности моря, рассчитанных по спутниковым ИК изображениям. 26

Е.Н. Марьина, П.О. Харламов, Е.В. Кустова, В.И. Пономарев, А.Ю. Лазарюк. Верификация данных метеоизмерений буя Wavescan за период апрель–декабрь 2016 года на основе данных реанализа. 30

М.К. Пичугин, И.А. Гурвич. Аномальный холод в Приморье и опасные погодные явления над Японским морем 23–28 января 2018 г. 34

А.Н. Самченко. Экспериментальные низкочастотные гидроакустические исследования на шельфе (залив Петра Великого Японского моря). 37

А.А. Стробыкина. Перемешивание морских и речных вод в Амурском лимане. 42

П.О. Харламов. Сравнение методов расчёта потоков тепла через поверхность океана на акватории Японского моря. 44

СЕКЦИЯ 2

Геология, геофизика и геохимия океана

Е.Д. Бережная, А.В. Дубинин, Е.Н. Золотина, Т.Х. Сафин. Платина в железомарганцевых корках южной части Атлантического океана. 48

А.С. Владимиров, А.В. Артёмова, С.А. Горбаренко. Изменчивость видового состава диатомовых водорослей как индикатор изменений среды и климата северо-западной части Тихого океана на тысячелетних и вековых масштабах в плейстоцене и голоцене. 50

- А.А. Жуковин, Г.Н. Шкабарня.* Изучение глубинного геоэлектрического разреза зоны перехода от Евразийского континента к Тихому океану. 56
- А.С. Зубцова, В.И. Петухов, Е.А. Вах, И.Л. Зубцова.* Аспекты негативного влияния антропогенной деятельности на состояние бухты Золотой Рог залива Петра Великого. 64
- Ю.М. Иванова, М.Г. Блохин, В.В. Ивин, П.Е. Михайлик, Е.В. Михайлик, Е.В. Еловский, Н.В. Зарубина, В.В. Иванов, Д.С. Остапенко.* Распределение редкоземельных элементов в баритах впадины Дерюгина (Охотское море). 69
- О.Н. Колесник, Е.И. Ярощук, Е.А. Лопатников.* Железомарганцевое рудообразование на подводной возвышенности Беляевского в Японском море: обзор литературы и новые данные. 73
- А.Е. Коляда, М.С. Обрезкова.* Методы изучения и состав диатомовой флоры донных осадков Чукотского моря (LV-77-3). 79
- Е.Н. Мальшева.* Сравнительная характеристика Находкинского рифа из Южного Приморья и рифа Ленгву из Юго-Восточного Китая на основе изучения сфинктозоа. 83
- Л.М. Матлай.* Известковый наннопланктон из меловых отложений северо-западного шельфа Чёрного моря. 87
- З.Л. Мотова.* Геодинамическая эволюция Палеоазиатского океана в позднем докембрии (по результатам сопоставления U-Pb LA-ICP-MS исследований детритовых цирконов из терригенных отложений Саяно-Байкало-Патомского складчатого пояса). 92
- М.С. Обрезкова, В.Ю. Поспелова, А.Н. Колесник.* Q-кластерная типизация поверхностных осадков Чукотского моря на основе изучения микрофоссилий. 98
- И.А. Прушковская.* Изменение окружающей среды и условий седиментации в Амурском заливе Японского моря за последние тысячелетия (на основе диатомовых водорослей). 99
- Т.Х. Сафин, А.В. Дубинин, А.Б. Кузнецов, М.Н. Римская-Корсакова.* Исследование возраста биогенного апатита из конкреций Капской котловины методом стронциевой изотопной хемотратиграфии и установление скоростей роста оксигидроксидных фаз. 102
- А.В. Сорочинская, А.А. Легкодимов.* Газо-геохимическая характеристика донных осадков Тонкинского залива (Южно-Китайское море). 106

Н.С. Сырбу. Газогеохимические исследования термальных и минеральных источников, грязевых вулканов Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. 111

СЕКЦИЯ 3

Экология океана. Биоресурсы океана

Ю.А. Барабаничиков, П.Я. Тищенко, П.Ю. Семкин, Т.А. Михайлик, А.А. Косьяненко. Условия образования лечебных грязей в бухте Воевода (Амурский залив, Японское море). 117

Ю.В. Федорец, Л.Е. Васильева. Современное состояние сообществ планктона в северной части Японского моря и Сахалинского шельфа Охотского моря. 121

Е.В. Дзюбенко, А.А. Истомина. Некоторые биохимические параметры *Mizuhopecten yessoensis* в условиях краткосрочной гипоксии/аноксии и реоксигенации. 125

Е. С. Другова. Влияние экстракта из бурой водоросли *Sargassum pallidum* и коммерческого препарата сравнения «Эссенциале®» на физиолого-биохимические характеристики эритроцитов крыс при интоксикации четыреххлористым углеродом (CCl₄). 129

О.А. Еловская. Состояние донной фауны Татарского пролива. 135

А.А. Косьяненко, Д.В. Косьяненко. Распределение гидробионтов в бентосных сообществах в условиях воздействия на них ГБТС (б. Алексева, о. Попова, залив Петра Великого, Японское море). 137

Д.В. Косьяненко, А.А.Косьяненко, А.В. Луцюк. Щетинкочелюстные (*Chaetognatha*) бухты Алексева (о. Попова, залив Петра Великого, Японское море). 140

С.П. Кукла, В.В. Слободскова, В.П. Челомин. Генотоксичность наночастиц диоксида титана в морской среде. 142

А.А. Мазур, Е.В. Журавель, В.В. Слободскова, М.А. Мазур. Оценка острой токсичности ионов цинка и наночастиц оксида цинка при воздействии на гаметы плоского морского ежа *Scaphechinus mirabilis* (Agassiz, 1864). 147

Н.А. Орехова. Карбонатная система прибрежных экосистем в условиях антропогенного воздействия. 151

Е.С. Уколова, Е.В. Кустова, В.И. Пономарев, В.А. Дубина. Влияние динамики прибрежных вод на воспроизводство *Mizuhopecten yessoensis* в заливе Находка. 158

А. А. Чеснокова, А. Ф. Жуковская. Окислительная модификация белков в пищеварительной железе брюхоногого моллюска *Littorina mandshurica* из мест с разной степенью загрязнения морской среды. 164

СЕКЦИЯ 4

Информационные технологии, новые методы и технические средства исследования океана

Д.И. Ломагин, А.В. Буренин. Экспериментальные исследования возможности применения сложных сигналов в схеме обращения времени. 170

М.А. Сафронова, А.Д. Ширяев, В.В. Малаева. Исследование нелинейности свистящих звуков форсированного выдоха в интересах акустической оценки влияния водолазных погружений и других экстремальных воздействий на дыхательную систему человека. 174

М.А. Харченко, А.В. Буренин. Экспериментальная апробация звукоподводной связи с помощью метода расширения спектра прямой последовательностью. 179

А.Д. Ширяев, В.И. Коренбаум, С.В. Горовой, А.Е. Костив. Подходы к акустической оценке перемещения водолаза-аквалангиста по излучаемым им дыхательным шумам. 183

45 ЛЕТ ТИХООКЕАНСКОМУ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОМУ ИНСТИТУТУ ИМ. В.И. ИЛЬЧЕВА ДВО РАН

В 2018 году исполнилось 45 лет Тихоокеанскому океанологическому институту им. В.И.Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН). Институт был создан Постановлением Президиума АН СССР № 1128 от 28 декабря 1972 года на базе Тихоокеанского отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР (ИО АН СССР, ныне ИО РАН), существовавшего во Владивостоке с начала 60-х годов прошлого столетия. За годы своего существования Институт стал крупнейшим в Дальневосточном отделении РАН и уникальным научно-исследовательским центром изучения Мирового океана, дальневосточных и арктических морей, завоевал заслуженный авторитет в стране и за рубежом.

Огромная заслуга в становлении и формировании существующих



Академик В.И. Ильичев

направлений в океанологии: современная гидрофизика, включая акустическую, оптическую, радиофизическую дисциплины, квантовая и ядерная и спутниковая океанология, статистические задачи в океанологии, проблемы антропогенного воздействия на морскую среду.

ныне направлений научных исследований Института принадлежит академику В.И. Ильичеву – талантливому российскому ученому с чрезвычайно широким кругозором и эрудицией. Он получил значительные результаты в исследованиях не только по акустике океана, акустической и гидродинамической кавитации, но и в ряде смежных направлений. Он поддерживал и развивал комплексный подход в исследовании океана, проводимом институтом. За время его руководства с 1974 по 1994 годы в ТОИ ДВО РАН были созданы и получили развитие ряд новых

В 1999 году в соответствии с постановлением Президиума РАН Тихоокеанскому океанологическому институту присвоено имя академика В.И. Ильичева, а в августе 2005 году постановлением Президиума ДВО РАН учреждена премия имени академика В.И. Ильичева - за работы в области океанологии, гидрофизики и акустики океана.

Практически сразу после своего основания Тихоокеанский океанологический институт приступил к реализации обширной программы комплексных экспедиционных исследований океана в рамках Общегосударственной комплексной программы “Мировой океан”, региональных и международных проектов, заданий оборонных и народнохозяйственных организаций. В это время была создана необходимая научная база для проведения таких исследований, подобраны научные кадры, развиты современные технические средства и методы наблюдений.



Академик В.А. Акуличев

С 1995 по 2015 г. институт возглавлял академик РАН В.А. Акуличев, крупнейший специалист в области акустики океана, впоследствии Президент российского Акустического общества, вице-президент Научного комитета по океаническим наукам (SCOR), член Американского акустического общества (США), член подкомиссии WESTPAC/IOC/UNESCO. С момента появления В.А. Акуличева в институте в 1978 г. получила свое развитие новая обширнейшая область исследований – изучение океана акустическими методами: акустическая томография крупномасштабных неоднородностей (мезомасштабных и синоптических вихрей, фронтальных зон раздела водных масс, течений и т.п.) и акустический мониторинг мелкомасштабных неоднородностей (приповерхностные «облака» воздушных пузырьков, скопления фито- и зоопланктона, турбулентность и тонкая структура гидрофизических полей). Научные исследования, проводимые в

ТОИ ДВО РАН под руководством академика В.А. Акуличева, отличались широтой тематики и комплексностью подхода к решению сложных задач по исследованию процессов в океане и атмосфере, от конкретных вопросов, связанных с дистанционными методами акустического зондирования морской среды до глобальных проблем взаимосвязанного взаимодействия гидросферы, атмосферы и литосферы. Неоценима работа В.А. Акуличева с научной молодежью. Он создал научную школу по акустике океана и гидрофизике на Дальнем Востоке. Среди его учеников 6 докторов и 18 кандидатов наук. В настоящее время академик В.А. Акуличев является научным руководителем Института.



Директор ТОИ ДВО РАН
В.Б. Лобанов

С 2015 г. институтом руководит к.г.н. Вячеслав Борисович Лобанов, известный специалист в области физической океанографии, национальный координатор Межправительственной комплексной программы МОК ЮНЕСКО для исследования западной части Тихого океана и его окраинных морей (IOC/WESTPAC), Председатель Совета директоров Глобальной системы наблюдения океана для региона северо-восточной Азии (NEER-GOOS), член комитетов и

рабочих групп Северотихоокеанской организации по морским наукам (PICES).

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева – самое крупное многопрофильное научное учреждение в Дальневосточном отделении РАН. В состав Института входит 33 научных лабораторий, которые структурно объединены в научные отделы, оснащенных современным научным оборудованием. Общая численность сотрудников ~540 человек, включая более 250 научных сотрудников, в т.ч. 43 доктора наук и 139 кандидатов наук, 2 академика РАН и 1 член-корреспондент РАН.

За последние годы Институт значительно помолодел: молодых ученых до 35 лет (включая инженеров, занимающихся научными исследованиями) – более 80 человек. Подготовка научных кадров осуществляется через аспирантуру, обучение в которой проводится по двум основным направлениям: «Науки о Земле» и «Физика и астрономия». Ежегодно в аспирантуру поступают выпускники ДВФУ, Дальрыбвтуза, МГУ им. адмирала Г.И. Невельского. В институте работают 2 Диссертационных совета, принимающих к защите работы по специальностям «Океанология» и «Акустика».

В институте регулярно проводятся заседания научных семинаров: океанологического и по нелинейной динамике, на которых обсуждаются экспериментальные и теоретические исследования нелинейных физических процессов в океане и атмосфере, процессов распространения акустических и внутренних волн в океане, проблемы изучения океанологических, геолого-геофизических и биогеохимических процессов в морской среде.

Тесное взаимодействие между лабораториями различного профиля позволяет проводить комплексные, соответствующие современным требованиям, исследования природы Мирового океана, в частности дальневосточных и арктических морей России.

За период своего существования сотрудниками Института проведены десятки океанологических экспедиций в различных районах Мирового океана, посвященных решению актуальных задач физики океана, морской геологии и геофизики, экологии и биологии океана. Институтом и при его участии было выполнено более 430 рейсов в различных районах Мирового океана, дальневосточных морях и их прибрежно-морских акваториях, в которых лабораториями ТОИ проводились наблюдения в качестве самостоятельных отрядов, оснащенных собственной измерительной и аналитической аппаратурой.

Институт имеет 2 морские экспериментальные станции в прибрежной зоне Японского моря (МЭС «о. Попов» и МЭС «м. Шульца»), где выполняются экспедиционные исследования, испытания аппаратуры в натуральных условиях и учебные практики студентов вузов. Для осуществления комплексного мониторинга шельфовой зоны Японского моря на МЭС «м. Шульца» создан

уникальный сейсмоакустико-гидрофизический полигон, оснащенный современным научным оборудованием, в том числе приборами, разработанными сотрудниками Института. Институт имеет сеть регистрации геомагнитного поля Земли, пункт непрерывного мониторинга содержания метана в атмосфере, мобильные комплексы для морских экспедиционных исследований.

Отмечая 45-летие Института, нельзя не вспомнить о людях, благодаря которым Институт получил свое развитие и продолжает оставаться на передовом крае науки о Мировом океане. За историю существования ТОИ ДВО РАН сложились научные направления и школы, получившие признание как в России, так и за рубежом. В их создание большой вклад внесли: академик В.И. Ильичев, (гидроакустика, гидрофизика), д. г.-м.н. Н.П. Васильковский (морская геология), д.г.н. Н.П. Булгаков и д. г. н. К.Т. Богданов (физическая океанология) д. г.-м.н М.Ф. Сташук (морская геохимия и гидрохимия), д. ф.-м. н. У.Х. Копвиллем (теоретическая физика), д.т.н. Ю.Б. Шауб (геофизика, морская электрометрия), д. ф.-м.н. В.Ф. Козлов (геофизическая гидродинамика), д. г.-м.н Ф.Р. Лихт (литология), д. г.-м. н Л.М. Грамм-Осипов (геохимия и экология океана), д. ф.-м. н. В.И. Кляцкин (математическая физика), д. г.-м. н. В.В. Аникиев (морская экология), д.ф.-м.н. В.Н. Сойфер (ядерная океанология), д. г.-м. Б.И. Васильев (морская геология), д.г.-м.н. Е.П. Леликов (морская геология зоны перехода).

В институте успешно развиваются работы по прорывным направлениям в области гидроакустики, математического моделирования, арктических исследований, морской биогеохимии, палеоокеанологии, физики геосфер, изучения газогидратов и потоков парниковых газов из океана в атмосферу, современных методов дистанционного зондирования из космоса, по которым он является лидером в России и, по крайней мере, равным в мировом научном сообществе. Основы научных направлений, заложенные предшественниками, поддерживают и развивают их последователи и ученики, возникли новые направления исследований, возглавляемые талантливыми учеными, среди которых академик В.А. Акуличев (гидроакустика), д.г.-м. н. Р.Г. Кулинич (морская геофизика), д.ф.-м.н. С.В.Пранц, (физика динамических систем океана и атмосферы), д.ф.м.н. К.В.Кошель (физическая гидродинамика), д.г.-м.н. А.И.

Обжиров (морская и прибрежная газогеохимия), д.г.м.н. А.С. Астахов, д.г.м.н. И.Б. Цой, д.г.м.н. А.С. Горбаренко (палеоокеанология), д.х.н. П.Я. Тищенко (гидрохимия), д.б.н., В.П. Челомин и д.б.н. В.А.Раков (морская экология, экотоксикология), чл.-корр. РАН И.П. Семилетов (газогеохимия арктических морей), д. ф.-м. н. Л.М. Митник (спутниковая океанология), д. т. н. Ю.Н. Моргунов (акустические технические средства и методы в океанологии), академик РАН Г.И. Долгих (физика геосфер), д.ф.-м.н. А.Н. Рутенко (акустическое зондирование океана) и др. Этот список можно продолжать.

Фундаментальные и прикладные разработки ТОИ ДВО РАН соответствуют современному мировому уровню науки. Исследования института служат экономическому развитию Дальнего Востока, обеспечению безопасности России, укреплению ее позиций в азиатско-тихоокеанском регионе. В ТОИ ДВО РАН достигнуты значительные успехи в исследовании природы и ресурсов дальневосточных морей, северо-западной части Тихого океана и Восточной Арктики, понимании роли этих бассейнов в происходящих глобальных изменениях, формировании опасных погодных явлений, их реакции на региональные климатические тенденции и аномалии прошлого. Проведены комплексные исследования минеральных ресурсов, геохимических и биогеохимических процессов. Выполняется регулярный мониторинг экологической обстановки в прибрежных водах Дальнего Востока. Разработаны современные методы математического моделирования динамики вод, геохимических, газогеохимических и палеоокеанологических исследований, дистанционного зондирования с использованием спутниковых систем нового поколения, технологии высокоточной подводной навигации и связи и другие. Сформирована многопрофильная система усвоения, хранения, анализа данных и доведения до потребителя различных видов информационной продукции по океанографии и состоянию морской среды региона. Институт является лидером в исследовании морей Восточной Арктики.

Результаты научных исследований ТОИ ДВО РАН хорошо освещены в публикациях. За 45 лет опубликовано более 200 монографий, 146 тематических сборников и сборников трудов, 10

атласов и карт, более 4000 статей в российских и зарубежных журналах, множество выступлений на конференциях как в России, так и за рубежом. Более 100 грантов РФФИ и несколько грантов Российского научного фонда получено сотрудниками для поддержки своих научных исследований

В институте создан высокий инновационный потенциал. ТОИ ДВО РАН выполняет большой объем прикладных исследований, как по оборонной тематике, включая гранты Фонда перспективных исследований и прямые договора с Министерством обороны, а также по контрактам с российскими промышленными организациями, региональными государственными структурами, другими институтами и зарубежными партнерами. Большой объем работ выполняется в связи с нефтегазовыми разработками на шельфе о. Сахалин в Охотском море, развитием промышленной инфраструктуры прибрежной зоны Приморского края, деятельностью природоохранных организаций. В целом объем исследований, выполняемых ТОИ ДВО РАН по контрактам в 2015 и 2016 гг., составлял соответственно 20 и 31% от общего бюджета института. При этом общий объем средств, привлекаемых из внебюджетных источников, увеличился за период 2013-2016 гг. более чем в 3,5 раза.

Традиционно ТОИ ДВО РАН имеет устойчивые и обширные международные связи, активно участвует в крупнейших международных океанографических проектах, таких как NEAR-GOOS (Международная программа «Глобальная система наблюдения океана для района северо-восточной Азии»), UNEP («Программа ООН по защите окружающей среды»), Международная программа NOWPAP, SCOR, PEACE и др. Созданы совместные лаборатории с зарубежными партнерами: российско-японская по изучению окружающей среды (с Аспирантурой естественных и технических наук Университета Канадзавы, Япония) и вьетнамо-российская по морским наукам (с Институтом морской геологии и геофизики Вьетнамской Академии наук и технологий, ИМГГ ВАНТ и российско-корейский центр морских и информационных технологий (МТ-ИТ) (с Институтом науки и технологий, г. Кванджу, Республика Корея), российско-

китайский центр по изучению океана и климата (с Первым институтом океанографии КНР, г. Циндао).

Многогранная и успешная деятельность Института по достоинству оценена РАН и ФАНО России: в этом году Институту присвоена первая категория (Приказ ФАНО России №157 от 28 марта 2018 г.). Хочется верить, что и в будущем ТОИ ДВО РАН исследования будут успешными, полезными и направленным на развитие науки и процветание общества.

По материалам статьи в газете "ДВ ученый" от 9 мая 2018, № 9

СЕКЦИЯ 1 *Океанология, физика океана и атмосферы*

ДИНАМИКА ВОД И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ О. САХАЛИН ЛЕТОМ 2017 Г.

Е.В. Анисимова, П.Ю. Семкин, Е.Н. Марьина, П.П. Тищенко

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток e.v.anisimova@bk.ru

Районы апвеллинга являются одними из наиболее продуктивных районов в мировом океане. Процессы первичного продуцирования органического вещества формируют экологические условия акваторий, кислородный режим, режим pH и CO₂. Для Охотского моря изучение динамики вод и содержания хлорофилла *a* является актуальным, поскольку здесь ведётся интенсивный рыбный промысел. С другой стороны, наблюдая за распространением хлорофилла *a*, можно проследить за различными динамическими процессами: апвеллинг, структура течений, фронты, таяние льда, распространение терригенного стока в море.

В период с 11 по 19 августа 2017 г. Тихоокеанским океанологическим институтом была проведена комплексная экспедиция на НИС «Академик Опарин» в районе северо-восточного побережья о. Сахалин, всего было выполнено 38 станций. В данной работе представлен анализ полученных в экспедиции гидролого-гидрохимических результатов STD-зондирования профилографом SBE 9 PLUS, оборудованного датчиками давления, электропроводности, температуры, мутности, флюоресценции хлорофилла *a* и кислорода, а также концентраций хлорофилла *a*, полученных спектрофотометрическим методом и концентраций биогенных элементов, измеренных по общепринятой методике [2].

Известно, что на северо-восточном шельфе о. Сахалин в результате действия ветров южных румбов формируется апвеллинг [3,4]. Согласно архивным данным [5], в августе доминировали ветра южных румбов со средней скоростью до 5 м/с. Однако в период выполнения съёмки 15-16 августа непосредственно в районе апвеллинга наблюдался ветер западного направления.

Судя по поверхностному распределению температуры воды, в исследуемом районе был зафиксирован апвеллинг. Температура воды на поверхности в районе апвеллинга была менее 4°C , а в мористой части полигона температура воды на поверхности достигала 16°C . Подъем холодных вод с температурой менее -1°C фиксировалось на вертикальных разрезах в прибрежной области. Эти значения соответствуют температуре ядра охотоморской водной массы (от $-1,5$ до $2,5^{\circ}\text{C}$), залегающего на глубине 50-135 м [1].

В районе полигона, где наблюдалось понижение температуры воды в поверхностном слое, солёность была повышена, в диапазоне от 32,1 до 31,7‰. Повышенная солёность воды говорит об отсутствии влияния стока реки Амур на исследуемый полигон. Влияние стока реки Амур прослеживалось только лишь в районе северной оконечности о. Сахалин, где солёность в поверхностном слое воды составляла 25‰. Влияние лагун на гидрологический режим в поверхностном слое воды не прослеживается, т.к. температура воды в лагунах в данный период года значительно выше, чем наблюдаемая температура воды на полигоне.

В области вод с минимальной температурой и максимальной солёностью на поверхности наблюдалась повышенная концентрация биогенных веществ. Концентрация нитратов и фосфатов в поверхностном горизонте достигала 7,6 и 1 мкмоль/л соответственно, в то время как на большей площади полигона концентрация нитратов и фосфатов в поверхностном горизонте в среднем составляла соответственно 0,5 и 0,2 мкмоль/л.

Как правило, высокие значения биогенных веществ способствуют развитию фитопланктона. В период наших работ концентрация хлорофилла *a* в районе апвеллинга в поверхностном слое воды по данным зондирования достигала 10,8 мкг/л, в то время как в остальной акватории на поверхности значения хлорофилла *a* не превышали 2 мкг/л. По данным спектрофотометрии максимальная концентрация хлорофилла *a* в районе апвеллинга была 5,4 мкг/л. Абсолютный максимум концентрации хлорофилла *a*, достигающий по данным зондирования 14,7 мкг/л наблюдался в районе апвеллинга в слое

пикноклина, на глубине 7-14 м, при глубине фотического слоя 14 м.

В период съёмки в августе 2017г. на северо-восточном шельфе о. Сахалин в узкой прибрежной полосе шириной 20 км было зафиксировано понижение температуры и повышения солёности поверхностного слоя воды, что может быть связано с апвеллингом и приливным перемешиванием. На полигоне в районе холодного поверхностного слоя наблюдались повышенные концентрации нитратов и фосфатов. Непрерывный поток биогенных веществ в фотический слой сопровождался цветением фитопланктона. Максимальная концентрация хлорофилла *a* наблюдалась в слое пикноклина.

Литература

1. Лучин, В.А., Круз А.А. Характеристики ядер водных масс Охотского моря Известия ТИНРО. -2016. - Т. 184. - С. 204-218.
2. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. М.: ВНИРО. 1988. 120 с.
3. Полупанов, П.В. Возникновение и существование апвеллинга у северо-восточного побережья о. Сахалин Труды СахНИРО 2007. - Т. 9. - С. 257-263.
4. Рутенко, А.Н., Соснин В.А. Гидродинамические процессы на шельфе о. Сахалин в прибрежном Пильтунском районе кормления серых китов и их связь с атмосферной циркуляцией Метеорология и гидрология - 2014. № 5. - С. 74-93.
5. https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Ногликах

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПАРЫ ВИХРЕЙ

П. В. Журавлев, М. С. Пермяков

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, zhuravlev_pv@poi.dvo.ru

Известно, что крупномасштабные, синоптические и мезомасштабные потоки в атмосфере можно считать квазидвумерными и для их исследования широко используется уравнение вихря, описывающее движение несжимаемой вязкой жидкости в квазидвумерном приближении во вращающейся системе координат [1, 3]. До конца не решенным вопросом при этом является корректное описание влияния трения о

подстилающую поверхность. Часто в двумерном уравнении вихря трение о поверхность учитывается введением члена пропорционального относительной завихренности, который соответствует релеевскому трению в уравнениях движения или параметризации пограничного слоя через «экмановскую накачку». В [1, 2] получено обобщенное уравнение для осредненной по вертикали завихренности с учетом локально-точных экмановских решений для отклонений, связанных с наличием вязкого пограничного слоя. При этом кроме линейного трения в уравнение добавляются члены, отражающие механизм эффективного нелинейного трения.

В реальных атмосфере и океане пограничные слои турбулентные, а их основные характеристики – турбулентная вязкость, толщина чрезвычайно изменчивы и зависят от многих внутренних и внешних факторов, таких как скорость потока в основной толще и стратификация [4]. В этом случае при выводе уравнений для завихренности необходим учет горизонтальной изменчивости характеристик пограничного слоя, поскольку при этом проводится дифференцирование уравнений движения по горизонтальным координатам.

В данной работе используется обобщенное баротропное уравнение эволюции завихренности, в котором наряду с эффектами нелинейного трения, связанного с пограничным слоем, учитывается еще и горизонтальная изменчивость его интегральных параметров. Такая изменчивость дает ряд дополнительных нелинейных членов в полном уравнении завихренности. Полученное уравнение содержит параметры и их пространственные производные, определяемые вторыми моментами функций, описывающих вертикальные профили компонент потока.

Проведен ряд численных экспериментов, в которых уравнение вихря решалось псевдоспектральным методом в квадратной области на равномерной сетке с двойными периодическими граничными условиями. Интегрирование по времени проводилось методом Адамса-Бэшфорта второго порядка. Начальное поле завихренности задавалось в виде пары идентичных

вихрей, с центрами на оси x , расположенных симметрично относительно центра области.

Результаты численных экспериментов, представленные в виде полей вихря, демонстрируют влияние учета горизонтальной неоднородности пограничного слоя на эволюцию поля завихренности пары атмосферных вихрей.

Литература

1. Козлов В.Ф., Гурулев А.Ю. Об одном нелинейном механизме формирования циклон-антициклонной асимметрии в океане // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1992, т. 28, № 4, с. 406-415.
2. Аристов С.Н., Фрик П.Г. Нелинейные эффекты влияния экмановского слоя на динамику крупномасштабных вихрей в мелкой воде // ПМТФ. 1991. № 2, с. 49–54.
3. Маликова Н.П., Пермяков М.С. Влияние экмановского пограничного слоя на эволюцию вихревых образований // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2010. № 6, с. 90-93.
4. Зелитинкевич С.С. Атмосферная турбулентность и планетарные пограничные слои. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2013. 251 с.

ЦИКЛОНЫ НАД ЮЖНЫМ ОКЕАНОМ ПО СПУТНИКОВЫМ МИКРОВОЛНОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ С.С. Капач, Л.М. Митник, Е.В. Кустова, П.О. Харламов, В.И.

Пономарев

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, kapach_ss@poi.dvo.ru

Необходимость исследования полей температуры и влажности воздуха на различных высотах обусловлена их влиянием на динамические и фотохимические процессы в атмосфере планеты, которые, в свою очередь, определяют погоду и, в общем, климат Земли, оказывая тем самым воздействие на глобальные геофизические процессы. Таким образом, исследование термической и влажностной структуры атмосферы – одна из важнейших задач метеорологии и физики атмосферы.

В данной работе показана возможность получения количественной информации о пространственно-временной структуре внетропических циклонов над Южным океаном на основе данных пассивного микроволнового зондирования из космоса. Данные о параметрах циклонов: скорости приводного

ветра, паросодержании атмосферы и водозапаса облаков были восстановлены по измерениям сканирующих микроволновых радиометров AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer) и МТВЗА-ГЯ (модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы).

AMSR2 установлен на борту японского солнечно-синхронного спутника GCOM-W1 (Global Change Observation Mission – Water 1), запущенного на орбиту 17 мая 2012 г. Высота орбиты спутника – 700 км, наклонение орбиты около 98° . Спутник предназначен для наблюдения за гидрологическим циклом планеты – осадками, облаками, водяным паром в атмосфере, скоростью ветра над океаном, температурой поверхности океана, морским льдом, водосодержанием снежного покрова и влажностью почвы. Измерения выполняются на вертикальной (В) и горизонтальной (Г) поляризациях на семи частотах $\nu = 6,9; 7,3; 10,6; 18,7; 23,8; 36,5$ и $89,0$ ГГц. Пространственное разрешение увеличивается с частотой и составляет 35×62 км на $\nu = 6,9$ ГГц и 3×5 км на $\nu = 89,0$ ГГц; ширина полосы обзора радиометра $\Delta L = 1600$ км. Данное разрешение является наилучшим среди спутниковых сканеров [5].

МТВЗА-ГЯ установлен на борту российского солнечно-синхронного спутника «Метеор-М №2», который был запущен 8 июля 2014 г. с космодрома Байконур. Высота орбиты спутника 832 км, наклонение орбиты – $98,8^\circ$, период обращения 101,3 мин. Радиометр принимает восходящее излучение Земли в 29 спектральных каналах сканера (имаджера) и зондировщика. 16 каналов сканера расположены в окнах прозрачности атмосферы на частотах 10,6, 18,7; 23,8; 31,5; 36,5; 42,0, 48,0 и 91,65 ГГц и принимают излучение на В- и Г-поляризациях. Пространственное разрешение МТВЗА-ГЯ существенно уступает AMSR2 и составляет 89×198 км на $\nu = 10,6$ ГГц и 21×48 км на $\nu = 91,6$ ГГц; $\Delta L = 1500$ км. Каналы зондировщика расположены в полосе поглощения кислорода 52.3–57.7 ГГц и в области линии поглощения водяного пара 176.3–190.3 ГГц [6].

Прибор МТВЗА-ГЯ является новым источником регулярно собираемой глобальной информации об окружающей среде. Получаемые им данные могут быть использованы для решения различных задач, включая мониторинг опасных явлений,

моделирование изменчивости глобальных и региональных характеристик подстилающей поверхности и атмосферы и др. Преимуществом МТВЗА-ГЯ является одновременное зондирование Земли на частотах сканера и зондирующего. Дополнительные возможности изучения метеорологических явлений в умеренных и высоких широтах заключены в использовании частот 42,0 и 48,0 ГГц и зондировании под углом 65°. Задача обнаружения, мониторинга и оценки параметров опасных и особо опасных природных явлений, таких, как штормовые циклоны, может быть решена по измерениям яркостных температур МТВЗА-ГЯ [1, 3, 6, 7].

Потенциал МТВЗА-ГЯ для решения этой задачи оценивался при анализе результатов зондирования МТВЗА-ГЯ над Южным океаном. Над Южным океаном циклоны различной интенсивности наблюдаются ежедневно круглый год. Несмотря на огромное влияние, которые они оказывают на региональный и глобальный климат, изучены они недостаточно из-за редкой сети метеорологических станций и судовых измерений. Для детального исследования были выбраны два глубоких циклона над южной частью Индийского океана, один из которых наблюдался летом (1 – 4 февраля), а другой зимой (9 – 12 июля) 2016 г. Циклоны оказывали воздействие юго-западное побережье Австралии.

Для каждого циклона были построены поля яркостных температур $T_y(\nu)$ на $\nu = 10,6, 18,7, 23,8, 31,5, 36,5, 42,0$ и $48,0$ ГГц на Г- и В- поляризациях. На рисунке 1 приведены поля $T_y(\nu)$ на Г-поляризации, полученные после преобразования данных в формате .hdf. Спиральная структура окклюдированного циклона хорошо проявляется в полях приводного ветра (на $\nu = 10,6$ ГГц), паросодержания атмосферы (на $\nu = 23,8$ ГГц), водозаписа облаков (на $\nu \geq 31,5$ ГГц).

При изучении быстро развивающихся процессов крайне важно располагать данными с высоким временным разрешением. Измерения радиометра AMSR2 над циклоном были выполнены через 3,5 часа – в 05:36 Гр. На рисунке 2 а-в приведены поля яркостных температур на Г-поляризации на трех частотах 10,65, 18,7 и 36,5 ГГц, совпадающих с МТВЗА-ГЯ. Данные AMSR2 были получены с сайта Японского аэрокосмического исследовательского

агентства JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) <http://kuroshio.eorc.jaxa.jp/JASMES/WC.html>. Поля приводного ветра W , паросодержания атмосферы V и водозапаса облаков Q , восстановленные по $Tя(10Г)$, $Tя(23В)$ и $Tя(36В)$ по алгоритму [2], приведены на рисунке 2 г-е. На сайте JAXA, помимо глобальных полей $Tя(v)$, приведены поля W , V , Q и других параметров, восстановленные по алгоритмам JAXA.

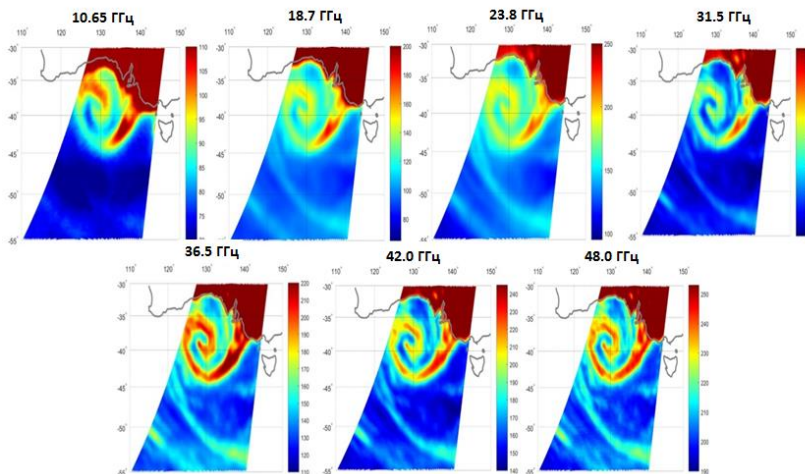


Рисунок 1. Яркостные температуры циклона на частотах 10,6, 18,7, 23,8, 31,5, 36,5, 42,0 и 48,0 ГГц на горизонтальной поляризации по измерениям радиометра МТВЗА-ГЯ 10 июля 2016 г. в 02:02 Гр.

Совместный анализ полей приводного ветра, паросодержания атмосферы и водозапаса облаков позволяет определить области усиления ветра, выделить вероятные зоны выпадения осадков и оценить их интенсивность. Скорость ветра W в северной части облачной спирали достигает 20-30 м/с и заметно снижается к югу от центра (рисунок 2 г). Паросодержание атмосферы в области внетропического циклона составляет примерно 20-25 кг/м² (рисунок 2д). Максимальные значения отмечаются в узких спиральных полосах, циклонически закручивающихся к центру. Значения Q в циклоне меняются от 0,2 до 0,55 кг/м² и достигают 0,6-0,8 кг/м² в спиральных полосах (рисунок 2е), где в развитой по вертикали конвективной облачности могут выпадать осадки

различной интенсивности. Пространственное сглаживание приводит к уменьшению максимальных значений $Tя$.

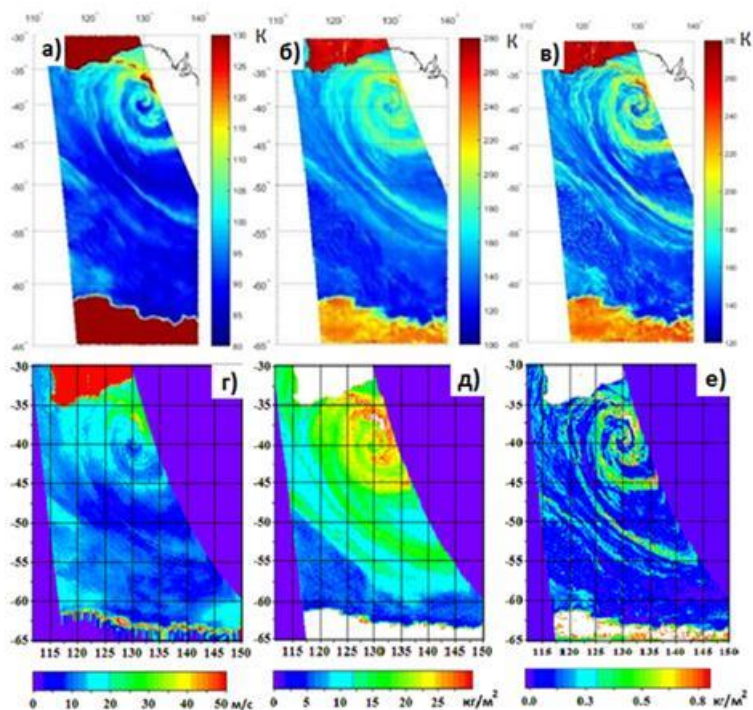


Рисунок 2. Внеэкваторный циклон в юго-восточной части Индийского океана 10 июля 2016 г.: яркостные температуры на частотах 10,6 ГГц (*a*), 23,8 ГГц (*б*) и 36,5 ГГц (*в*) на Г-поляризации по данным AMSR2 в 05:36 Гр., и восстановленные поля скорости ветра (*г*), паросодержания атмосферы (*д*) и водозаписа облаков (*е*).

Обработка и анализ полей $Tя(v)$ циклона по данным радиометров МТВ3А-ГЯ и AMSR2 совместно с измерениями спектро радиометра MODIS в видимом и инфракрасном диапазонах со спутников Aqua и Terra и карт приземного анализа позволяет проследить эволюцию параметров и структуры циклонов на протяжении их жизненного цикла [3, 7].

В результате анализа полей яркостных температур, обработанных по программе MatLab R2017a, и полей параметров

W , V и Q , восстановленных по алгоритмам [2], были получены следующие результаты:

– структура поля приводного ветра, проявляющаяся в поле $Tя(10Г)$ по измерениям радиометра МТВЗА-ГЯ, соответствует полю приводного ветра по данным AMSR2 (рисунок 2 а), несмотря на разницу в измерениях в 3,5 часа;

– поля $Tя$ на частотах 23,8, 31,5, 36,5, 42,0 и 48.0 ГГц на В- и Г- поляризациях позволяют определить положение центра циклон, зон интенсивных осадков, границ воздушных масс с различным паросодержанием атмосферы;

– улучшение пространственного разрешения с ростом частоты заметно при сопоставлении полей $Tя$ на $\nu = 23,8$ и 42,0 ГГц (рисунок 1), особенно в центральной области циклона и в спиральных облачных полосах.

Внетропические циклоны являются важным элементом циркуляции атмосферы. Особенности их возникновения и развития в Северном и Южном полушариях могут быть изучены на основе измерений микроволновых радиометров МТВЗА-ГЯ и AMSR2 и данные моделирования.

Для использования данных с разных спутников в качестве входной информации в схемах численного прогноза погоды и в научных исследованиях внетропических циклонов необходима тщательная калибровка яркостных температур и валидация продуктов их обработки [4]. Погрешность калибровки $Tя(\nu)$ должна быть меньше 1 К. Перспективным направлением для решения этой задачи является кросс-калибровка МТВЗА-ГЯ и AMSR2. При оперативном анализе результатов микроволнового зондирования требования к погрешности калибровки яркостных температур менее жесткие.

Литература

1. Болдырев В.В. Спутниковый микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ / Болдырев В.В., Горобец Н.Н., Ильгасов П.А. и др. – Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т.1. Вып.5. С.243–248.
2. Митник Л.М. Алгоритм оценки приводного ветра в тропической зоне по данным микроволнового радиометра AMSR-E и его применение к анализу погодных систем / Митник М.Л., Митник Л.М. – Современные

проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. Т. 8. № 3. С. 297–303.

3. Митник Л.М. Исследование эволюции тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана по данным СВЧ-радиометров МТВЗА-ГЯ со спутника Метеор-М №1 и AMSR-E со спутника Aqua / Митник Л.М., Митник М.Л., Гурвич И.А. и др. – Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. Т. 9. № 4. С. 121–128.

4. Митник Л.М. Калибровка и валидация – необходимые составляющие микроволновых радиометрических измерений со спутников серии Метеор-М № 2 / Л.М. Митник, М.Л. Митник – Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. Т. 13. № 1. С. 95–104.

5. Imaoka, K., M. Kachi, H. Fujii, H. et al. Global Change Observation Mission (GCOM) for Monitoring Carbon, Water Cycles, and Climate Change // Proc. IEEE. 2010. Vol. 98 P. 717–734.

6. Mitnik L., Kuleshov V., Mitnik M., Streltsov A.M., Cherniavsky G., Cherny I. Microwave scanner sounder MTVZA-GY on new Russian meteorological satellite Meteor-M N 2: modeling, calibration and measurements // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2017. Vol. 10. N. 7. P. 3036–3045.

7. Mitnik L.M., Kuleshov V.P., Mitnik M.L., Baranyuk A.V. Passive microwave observations of South America and surrounding oceans from Russian Meteor-M No. 2 and Japan GCOM-W1 satellites // Intern. J. Remote Sensing. 2018. Vol. N, doi: 10.1080/01431161.2018.1425569.

ПОИСК ВЕТРОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В СКОРОСТЯХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ, РАССЧИТАННЫХ ПО СПУТНИКОВЫМ ИК ИЗОБРАЖЕНИЯМ

О. О. Коростылёва¹, М. Г. Алексанина^{1,2}

¹ДВФУ, г. Владивосток, korostyleva.olya@gmail.com

²ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток

В работе представлены эксперименты по обнаружению экмановского дрейфа в скоростях перемещений на поверхности моря под воздействием ветра. По теории Экмана средний ветровой коэффициент составляет 0,02 и направление ветрового течения на поверхности отклоняется от направления ветра на 45° вправо в северном полушарии и влево – в южном. С увеличением глубины

скорость течения уменьшается, а его направление в северном полушарии всё больше отклоняется вправо от направления ветра и течения на поверхности, на некоторой глубине направление течения противоположно направлению поверхностного течения, суммарный полный поток воды, создаваемый ветром, следует в направлении, перпендикулярном действию ветра [3].

В основе эксперимента лежало представление об океане как плотной упаковке вихрей, поэтому в результате векторного усреднения векторов течений по акватории с линейным размером в несколько сотен километров, на которой отсутствуют стационарные течения, должна доминировать компонента Экмановского дрейфа. (рис.1)

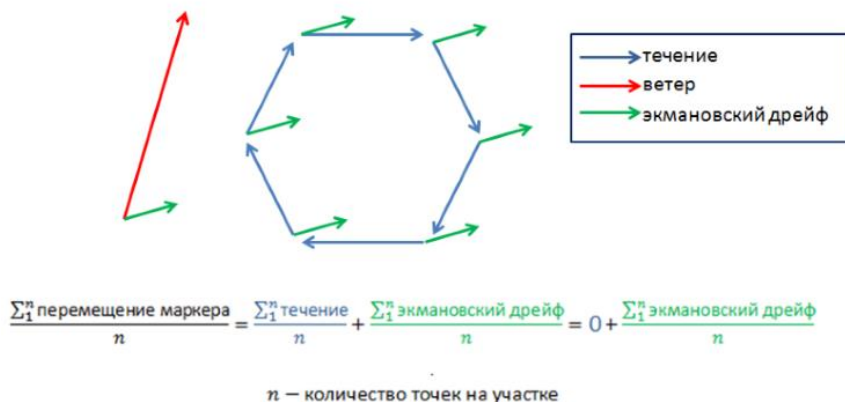


Рисунок 1. Схема формирования экмановского дрейфа на круговом вихре

Для экспериментов были отобраны разные, свободные от облачности, участки. Для визуализации спутниковых изображений использовалось специальное программное средство GLANCE [2]. Скорости перемещений на поверхности моря рассчитываются автоматически по морским маркерам температура поверхности океана (ТПО) [1]. Для получения скорости приводного ветра был создан специальный программный сервис для поиска и извлечения данных по ветру над заданной акваторией в заданный интервал времени из базы данных NCEI (National Centers for Environmental Information) [4], который формирует результаты поиска (декартовы и полярные координаты) в текстовые файлы, проводит анализ

стабильности поля ветра и фильтрацию данных. Для исследования влияния ветра на течения в программе предусмотрена функция совмещения данных с разных пространственных сеток.

Формат представления выходных данных:

- формат программы VecPlotter
- формат для визуализации программой GLANCE [2]

NCEI [4] предоставляет данные по ветру на свой FTP-сервер в виде файлов формата NetCDF, которые поступают каждые 6 часов и имеют разрешение сетки 0,25 на 0,25 градусов. Период записи: 09.07.1987 – по настоящее время, высота над уровнем моря: 10 метров. Данные о ветре получаются в результате объединения данных с нескольких спутников (до шести спутников с июня 2002 года).

Для выбранных участков было проведено совмещение данных с разных пространственных сеток и посчитаны средняя векторная скорость перемещений на поверхности моря и средняя векторная скорость ветра (рис. 2).

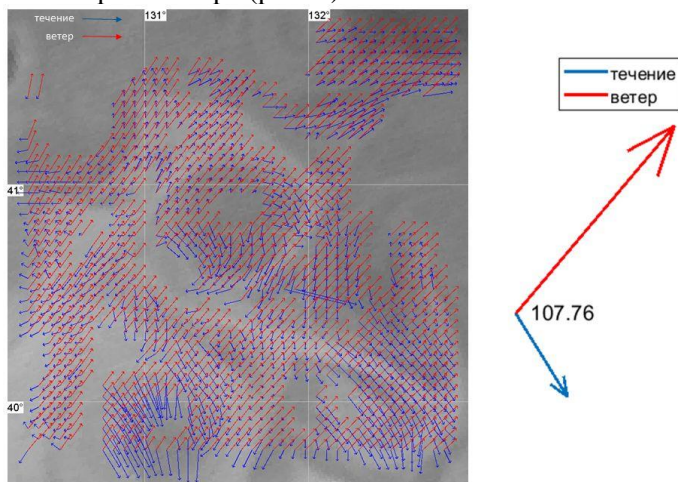


Рисунок 2. Слева – фрагмент спутникового изображения в тепловом канале с нанесенными скоростями перемещений на поверхности моря (синий цвет) и скоростями ветра в этих же узлах сетки (красный цвет).

Справа – средняя векторная скорость перемещений на поверхности моря (синий цвет) и средняя векторная скорость ветра (красный цвет).

Масштаб: течение – 1.00, ветер – 0.05

В проведенных экспериментах со скоростями перемещений, рассчитанными по маркерам ТПО на последовательности спутниковых изображений, экмановский дрейф обнаружен не был. Результаты сравнения представлены в таблице.

Таблица. Результаты исследования

Дата и участок	Скорость ветра из базы NCEP, м/с	Рассчитанная средняя скорость течения, м/с	Угол между векторами	% отношения скорости течения к скорости ветра
13.04.2017 41-42 135-138	11,07±0,372	0,072±0,006	77,3°	0,65%
13.04.2017 40-41 130-133	5,95±0,196	0,098±0,013	107,76°	1,647%
23.09.2006 40-42 132-135	2,782±0,292	0,121±0,023	68,64°	4,349%
01.10.2012 41-43 130-132	8,613±2,34	0,067±0,017	31,13°	0,778%
01.05.2017 38-40 130-132	2,18±0,322	0,039±0,016	315,83°	1,789%

Возможным объяснением является точка зрения, что на спутниковых изображениях в поле температуры экмановский дрейф не проявляется из-за процессов перемешивания. В результате перемешивания температурный маркер перестает быть маркером перемещения.

Работа поддержана Программой фундаментальных исследований Президиума РАН "Фундаментальные основы прорывных технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности" проект "Диагностика морской среды дистанционными методами и обнаружение подводных объектов".

Литература

1. Алексанин А. И., Алексанина М. Г., Карнацкий А. Ю. Автоматический расчет скоростей поверхностных течений океана по последовательности спутниковых изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2013. Т. 10. № 2. С. 131-142.
2. Программа GLANCE [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.satellite.dvo.ru/contentid-18.html>
3. Шлыгин И.А. Популярная гидрометеорология и судовождение: Москва: Издательство «Транспорт», 1987. 80 с.

4. National Centers for Environmental Information [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/blended-global/blended-sea-winds>

ВЕРИФИКАЦИЯ ДАННЫХ МЕТЕОИЗМЕРЕНИЙ БУЯ WAVESCAN ЗА ПЕРИОД АПРЕЛЬ–ДЕКАБРЬ 2016 ГОДА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА

**Е.Н. Марьина, П.О. Харламов, Е.В. Кустова, В.И. Пономарев,
А.Ю. Лазарюк**

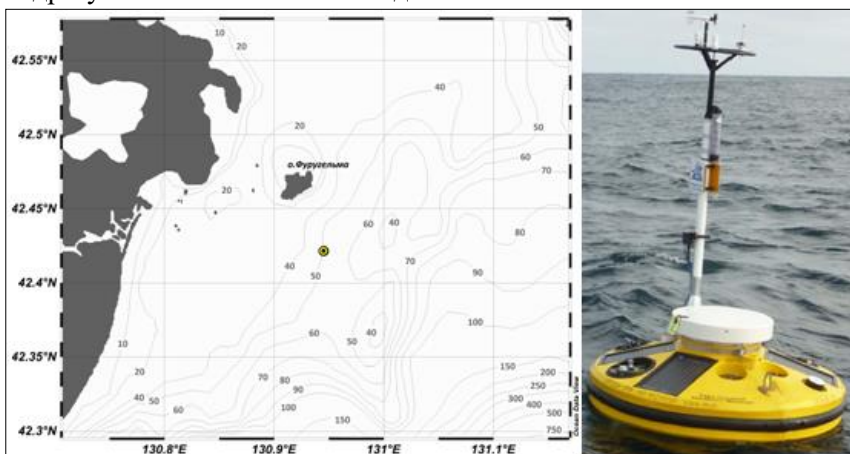
ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, maryina@poi.dvo.ru

На южной границе экономической зоны Тихоокеанского бассейна Российской Федерации в Заливе Петра Великого в координатах 42°25' с.ш., 130°57' в.д. в период с мая по декабрь 2016 г. был установлен автономный заякоренный океанографический измерительный комплекс WavescanBuoy, разработанный фирмой Fugro OCEANOR AS (Норвегия). Прибор предназначен для проведения метео-океанографических наблюдений и используется Тихоокеанским океанологическим институтом для проведения комплексных круглогодичных измерений в Тихоокеанской части России.

Автоматическая измерительная система состоит из поверхностного буя с метеорологическими датчиками на мачте и океанографическими приборами в нижней части буя и заякоренной линией вертикально расположенных на тросе измерительных приборов. Метеорологический комплекс датчиков включает датчики измерения скорости и направления ветра, температуры воздуха и атмосферного давления. Океанографический комплекс датчиков включает датчики для измерения максимальной высоты волн, периода, направления и спектра волнения; для измерения поверхностной температуры воды, содержания растворенного кислорода в воде, концентрации хлорофилла-а и мутности, комплекс так же оснащен доплеровским измерителем течений для регистрации вертикального профиля течений.

Автономность работы океанографического буя обеспечивается за счет наличия солнечных батарей, аккумулятора и системы управления питанием. Полученные данные измерений

записываются в память приборов и оперативно передаются на сервер, находящийся в Тихоокеанском Океанологическом Институте. Заякоренные буи являются надежным источником получения натуральных данных, которые в дальнейшем можно применять для верификации спутниковых и модельных данных. Полученные данные подходят для проведения анализа метеорокеанографических параметров. В представленной работе проводится верификация метеорологических параметров, полученных с помощью датчиков буя, поскольку это подразумевает поставленную задачу.



Океанографический измерительный комплекс WavescanBuoy и схема его расположения.

Для выполнения поставленной задачи были выбраны и обработаны следующие ряды данных:

1. Данные буя были осреднены по суткам, разбиты по месяцам. Апрель не рассматривался ввиду слишком короткого периода наблюдений (1 неделя), т.е., сравнение проводилось с 1 мая по 23 декабря. В июне отсутствуют наблюдения за период с 22 по 27 число включительно.
2. Данные метеостанции Посыет (WMOID = 31969) были получены из архива сайта gr5.ru, осреднены по суткам;
3. Данные о направлении ветра были осреднены посуточно, затем приведены к стандартным шестнадцати румбам, в том числе для данных реанализов;

4. Данные реанализа NCEP-DOE Reanalysis 2 получены с сайта Лаборатории исследования Земли (EarthSystemResearchLaboratory) Национального Океанического и Атмосферного Управления (NOAA) [<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>].
5. Данные реанализа ERA-Interim получены с сайта Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) [<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>].

Для обработки выбраны данные 16 узлов сетки, окружающих место установки буя, за период с апреля по декабрь 2016 г. включительно. Интерполяция атмосферных параметров в точку буя производилась с использованием вышеупомянутых 16 точек посредством автономного приложения RegridWeightGen, являющегося частью программного комплекса EarthSystemModelingFramework (ESMF) [<https://www.earthsystemcog.org/projects/esmf/>].

Оценка относительной влажности, отсутствующей в обоих реанализах, производилась по следующим формулам:

$$RH_{NCEP} = 100 \cdot \frac{e}{e_s(T)};$$

$$RH_{ERA} = 100 \cdot \frac{e_s(T_d)}{e_s(T)};$$

$$e = \frac{q_a \cdot P_a}{(0,378 \cdot q_a + 0,622)};$$

$$e_s(T) = 6,112 \cdot e^{\frac{(17,67 \cdot T)}{(T+243,5)}};$$

где RH – относительная влажность (%), e – давление водяного пара (гПа), e_s – давление насыщенного пара (гПа), q_a – удельная влажность воздуха на 2 м, P_a – атмосферное давление (гПа), T – температура атмосферы на 2 м, T_d – температура точки росы на 2 м.

6. Атмосферное давление у поверхности для реанализа NCEP приведено к уровню моря по стандартной формуле.

7. Для обработки данных использовались стандартные статистические методы обработки информации.

8. Проведено сравнение данных, полученных с измерительного комплекса, с данными метеостанции Посьет, для

подтверждения корректности работы датчиков. Сравнение показало приемлемую согласованность рассматриваемых рядов данных, в большей степени для атмосферного давления, температуры воздуха, относительной влажности и скорости ветра.

По результатам верификации обнаружено, что крупномасштабные метеорологические поля, такие, как атмосферное давление на уровне моря и температура воздуха по данным реанализов отлично согласуются с показаниями датчиков буя. Корреляции по обоим параметрам близки к 0,9. Наибольшие расхождения в данных реанализов и буя возникают примерно в одни и те же периоды, особенно это заметно в период прохождения тайфуна Лайонрок через исследуемый район.

Для относительной влажности корреляции менее значительны и близки к 0,5, поскольку в реанализах относительная влажность напрямую не присутствует и является расчетным параметром, что вносит дополнительные погрешности.

Верификация данных о скорости и направлении ветра предсказуемо показала менее выраженные зависимости, при этом корреляции между данными реанализа NCEP и буя заметно слабее, чем между данными реанализа ERA-Interim и буя, что, в первую очередь, объясняется намного более грубой сеткой реанализа NCEP.

Для верификации данных о солнечной радиации было проведено осреднение по пентадам (срок осреднения - пять дней), ввиду довольно сложных метеорологических условий в береговой зоне, где установлен буй, которые не может учитывать численная метеорологическая модель, используемая в реанализе. Наибольшие ошибки возникали в основном при сравнении с NCEP (причем в период май-июнь, когда условия облачности особенно изменчивы в исследуемом регионе). К зиме абсолютные значения ошибок значительно уменьшаются, что говорит о необходимости получения более длительного ряда наблюдений с буя. При осреднении данных по пентадам результаты, по сравнению со среднесуточными, значительно улучшаются.

В результате проведенного анализа авторами сделан вывод, что данные буя Wavescan можно использовать для проведения метеорологических исследований: для ассимиляции данных в

метеорологические модели при условии наличия большого количества измерительных комплексов в прибрежной зоне исследуемого района.

Литература

1. Rapizo H. et al. Observation of wind-waves from a moored buoy in the Southern Ocean //Ocean Dynamics. – 2015. – Т. 65. – №. 9-10. – С. 1275-1288.
2. SEAWATCH metocean buoys and sensors / Available online at <https://www.oceanor.com>
3. Jakobson E. et al. Validation of atmospheric reanalyses over the central Arctic Ocean //Geophysical research letters. – 2012. – Т. 39. – №. 10. – L 10802

АНОМАЛЬНЫЙ ХОЛОД В ПРИМОРЬЕ И ОПАСНЫЕ ПОГОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ НАД ЯПОНСКИМ МОРЕМ 23–28 ЯНВАРЯ 2018 Г.

М.К. Пичугин, И.А. Гурвич

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, pichugin@poi.dvo.ru

В работе рассматриваются синоптические условия и характеристики случаев опасных погодных явлений над Японским морем, зарегистрированных в период аномального холода в Приморском крае с 23 по 28 января 2018 г. Согласно сообщению Приморского отделения гидрометеорологического центра в этот период на 10 метеостанциях была зафиксирована среднесуточная температура воздуха на 7–8 градусов ниже климатических значений для этого времени года. Анализ гидрометеорологических параметров над морем опирался на спутниковые оптические и микроволновые измерения и данные оперативного анализа системы прогноза климата Climate Forecast System, Version 2, (CFSv2) прогностического центра National Centers for Environmental Prediction (NCEP).

Аномально холодная погода во Владивостоке и Приморском крае была обусловлена вторжением холодных воздушных масс с континента в тылу глубокого южного циклона, который образовался 21 января над Китаем и перемещался сначала на восток через Восточно-Китайское море и вдоль южного побережья

Японии (рис. а), а после 12 Гр. (22 ч по местному времени) повернул на северо-восток и перемещался далее от восточного побережья. Блокирующий гребень высокого давления, который сформировался над Беринговым морем, способствовал выходу циклона на Охотское море. Такие синоптические процессы вызывают штормовую погоду на обширной территории Дальнего Востока и, в частности, продолжительные холодные вторжения (ХВ) в Приморском крае. Согласно видимым и инфракрасным изображениям облачности и спутниковым оценкам скорости ветра у морской поверхности ХВ наблюдалось на протяжении 6 суток. На спутниковом видимом изображении этот процесс проявляется в виде облачных гряд над Японским морем. Ниже приведено видимое изображение, полученное в стадии максимального развития ХВ 01:25 Гр. (11:25 по местному времени) 24 января 2018 г. со спутника Terra (рис. б). По продолжительности и величине приземной температуры этот случай действительно можно отнести к аномальному.

По данным метеостанций порывы ветра на восточном побережье Приморья достигали 28–32 м/с. Во время вторжения над морем по данным измерений скаттерометра ASCAT со спутников MetOp-A/B у западного побережья скорость ветра у морской поверхности достигала 23–25 м/с (рис. в). Эти области формируются под действием усиливающих местный ветер орографических эффектов, которые возникают от Маньчжуро-Корейских гор, южной части Сихотэ-Алинского хребта и Приханкайской низменности при северо-западном ветре.

Градиенты атмосферного давления и скорость ветра в Японском море и прибрежных районах Приморья усиливал интенсивный полярный мезоциклон. Он возник в тылу южного циклона и пересекал Японское море с юго-запада на северо-восток. Полярный мезоциклон вызвал штормовой ветер в северной части моря и обильные осадки в Тернейском районе 23-24 января. Более того 23 января у северного побережья Кореи возник еще один полярный мезоциклон со скоростью ветра > 25 м/с. На карте погоды этот мезоциклон отсутствовал и был зафиксирован на спутниковом изображении. Он существовал менее суток,

перемещался на юго-восток и вышел на побережье о. Хонсю, где быстро наполнился.

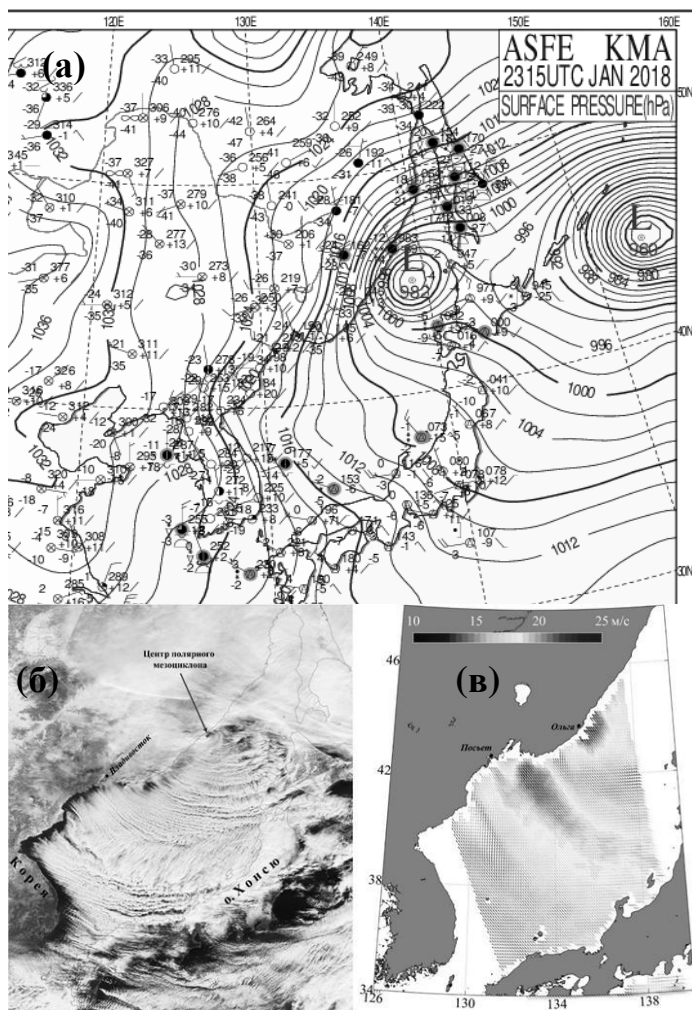


Рисунок. Холодное вторжение над Японским морем: (а) – на карте приземного анализа Корейской метеорологической администрации за 15:00 Гр. 23 января 2018 г.; (б) - на видимом изображении, полученном спектро радиометром MODIS со спутника Тегга в 01:25 Гр.; (в) - в поле вектора ветра у морской поверхности, измеренного скаттерометром ASCAT со спутников MetOp-A / В в 12:20 / 13:05 Гр. 24 января 2018 г.

Такие интенсивные мезоциклонические вихри регулярно возникают над дальневосточными морями в холодный сезон года и сопровождаются резким ухудшением погоды, которые трудно прогнозировать из-за взрывного характера их формирования и очень быстрого развития.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ШЕЛЬФЕ (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ)

А.Н. Самченко

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, samchenko@poi.dvo.ru.

В заливе Петра Великого Японского моря на протяжении многих лет активно проводятся экспериментальные гидроакустические исследования институтом ТОИ ДВО РАН. В том числе экспериментальные работы осуществляются силами лаборатории «Статистической гидроакустики» ТОИ ДВО РАН. В экспериментах используются низкочастотные гидроакустические излучатели 22 Гц, 33 Гц, 240 Гц, 330 Гц и 500 Гц и автономные донные акустические станции в качестве приемных систем [1, 2]. Акустические исследования на шельфе сопровождаются гидрологическими измерениями гидрофизических процессов в водной толще. Мониторинг осуществляется пространственно-распределенным гидрологическим комплексом [3]. Система состоит из автономных регистраторов температуры и/или гидростатического давления. Исследования разделяются на две задачи: 1. Изучение распространения низкочастотных акустических сигналов на океаническом шельфе; 2. Обнаружение и пеленг подводных объектов в условиях мелкого моря.

Рассмотрим примеры решения первой задачи с помощью экспериментальных гидроакустических работ, проведенных в октябре 2016 и октябре 2017 года (рис. 1). В 2016 году использовался гидроакустический излучатель 22 Гц и семь автономных донных акустических станций. Акустические станции были расставлены в одном км друг от друга по трассе от мыса Шульца до о. Фуругельма. Акустические станции устанавливались на дно, таким образом, что расстояние от дна до гидрофона было

0.5 м каждой из систем. Излучение проводилось на расстоянии двух км друг от друга и от последней постановки акустической станции. Гидроакустический излучатель опускался на глубину 15 м от поверхности воды. Всего пять станций излучения было выполнено в ходе данного эксперимента. Гидроакустический эксперимент сопровождался гидрологическими измерениями с помощью стационарных станций и гидрологического зонда RBR-600. Гидрологические стационарные станции показаны на рисунке 1 треугольниками. Измерения гидрологическим зондом проводилось от поверхности до дна в каждой точке излучения акустических сигналов и постановки акустических приемных систем. В работе применялись тональные и фазоманипулированные М-последовательности сигналы. Излучение и прием акустических сигналов осуществлялся с измерением точного времени с помощью геоцинтов. В результате проведенного в 2016 году эксперимента получены следующие выводы: первый - каналом распространения столь низкочастотных сигналов является водный слой и рыхлые донные отложения до консолидированного фундамента. Второй - продемонстрирована принципиальная возможность решения обратных задач: определения числа и мощности осадочных слоев (по положению и ширине главного максимума корреляционной функции и по скорости распространения отраженных волн) и определения скорости звука в осадочных слоях и фундаменте (по скорости распространения боковых волн). Третий - гидрологическая ситуация на распространение низкочастотного сигнала влияет слабо.

В эксперименте, проведенном в 2017 г, использовался гидроакустический излучатель и четыре приемные системы. Гидроакустический излучатель имеет диапазон излучения от 420 Гц до 520 Гц, устанавливается на дно на 72 часа. В эксперименте глубина моря в месте расположения излучателя была 40 м, приемные системы устанавливались на глубинах от 45 м (ближняя) до 58 м (дальняя). Всего было установлено пять приемных станций в данном эксперименте.

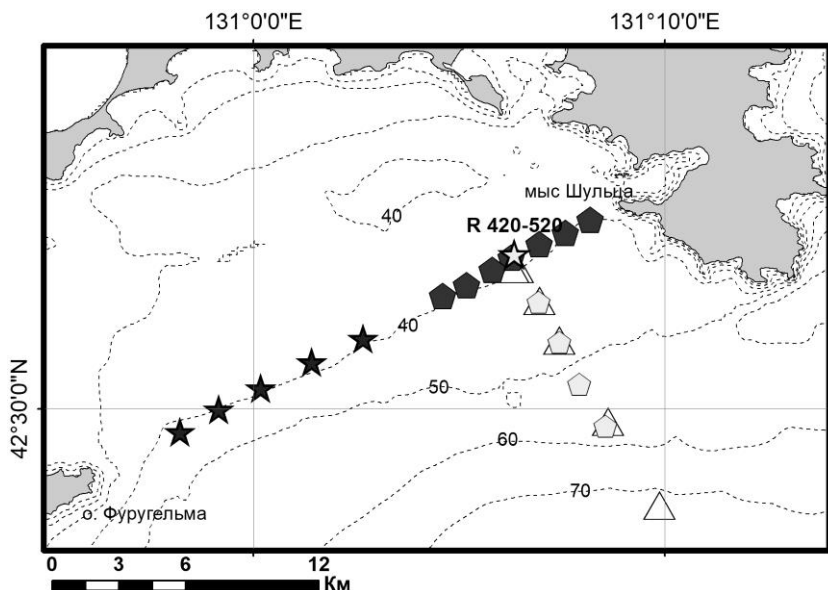


Рисунок 1. Схема акустических экспериментов проведенных в 2016 и 2017 гг. Звездочками показаны точки излучения, пятиугольники – точки постановки акустических станций, треугольники – точки постановки гидрологических станций. Темные значки соответствуют эксперименту, проведенного в 2016 г, и светлые – эксперимент 2017 г.

В эксперименте использовались свип сигналы с изменением частоты по всей полосе частот излучателя и в тональном режиме на центральной частоте излучателя. Акустический эксперимент также сопровождался гидрологическими измерениями как с помощью стационарных станций (на рисунке 1 треугольники) и с помощью гидрологического зонда RBR-600. Измерения гидрологическим зондом проводились в точках установки стационарных гидрологических систем, акустических приемников и точки излучения. Основной вывод, полученный в ходе эксперимента, связан с полученными данными гидрологических измерений. Методика гидрологических исследований позволила детально проследить и проанализировать пространственную и временную изменчивость внутренних гравитационных волн при движении последних со стороны кромки к берегу. Она позволила увидеть процесс трансформации и распада интенсивных волн.

Интенсивные волновые возмущения, генерируемые приливом в районе свала глубин залива Петра Великого, сильно нелинейны и испытывают значительные изменения при движении к берегу. Уединенные гидрологические возмущения на изобатах 100 -40 м трансформируются в пакет короткопериодных интенсивных внутренних гравитационных волн, временные масштабы которых составляют от нескольких до десятков минут. Амплитуда данных возмущений достигает десятки метров по глубине. Короткопериодные гидрологические возмущения имеют сильное влияние на распространение акустических сигналов. Колебания амплитуды принятых акустических сигналов достигает десяти и более Дб при прохождении интенсивных внутренних гравитационных волн.

Задача обнаружения и пеленга подводных объектов на шельфе решалась с помощью проведения гидроакустических экспериментов. Например, в августе 2017 г проводился гидроакустический эксперимент с применением 240 Гц гидроакустического излучателя. Схема эксперимента приведена на рисунке 2. Гидроакустический излучатель опускался на глубину 5 и 10 м. В качестве приемных систем были автономные донные акустические станции. Всего установлено было 4 приемные системы, расположенные параллельно трассе излучения. Расстояние между приемными системами составило примерно 1 км, расстояние от точек излучения до приема составило более 5 км. Максимальное расстояние между точками излучения и приема составило около 9 км. В работе использовались тональные сигналы 240 Гц и фазоманипулированные М-последовательности. Гидрологические измерения проводились в том же формате и объеме, как и в ранее описанных акустических экспериментах. Влияние гидрологии на распространение сигнала 240 Гц оказывает огромное значение и учитывалось при обработке и анализе данных. По результатам эксперимента можно сделать следующие выводы: на расстояниях порядка 9 км однозначно фиксируются излученные сигналы, даже малой мощности, на всех приемных станциях. Используя геометрию расставленных приемных систем со всех точек излучения были получены необходимые параметры (расстояния и углы приходов).

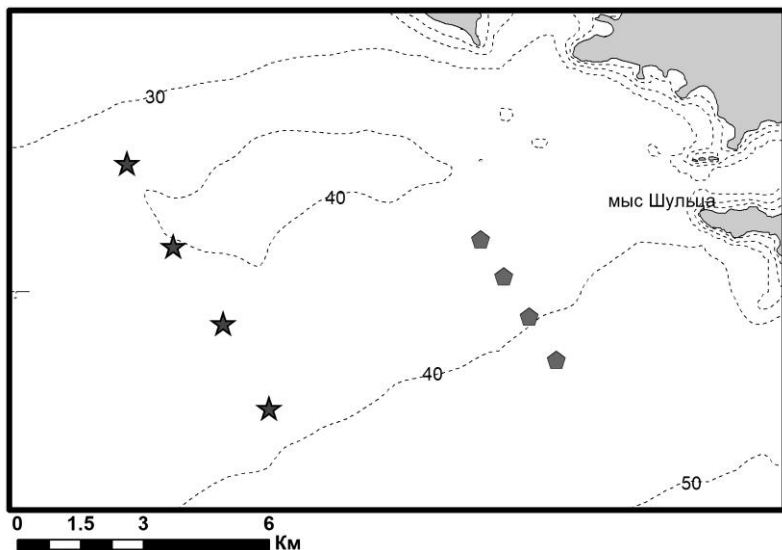


Рисунок 2. Схема акустического эксперимента, проведенного в августе 2017 г. Звездочками показаны точки излучения, пятиугольники – точки постановки акустических станций

Литература

1. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Швырёв А.Н., Чупин В.А., Яковенко С.В., Ярошук И.О. Излучающая гидроакустическая система на частотах 19-26 Гц // Приборы и техника эксперимента. 2017. № 4. С. 137-141.
2. Леонтьев А. П., Пивоваров А. А. Автономная приемная двухканальная гидроакустическая станция // Приборы и техника эксперимента. 2013. № 4. С. 144–145.
3. Леонтьев А.П., Ярошук И.О., Смирнов С.В., Кошелева А.В., Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Швырев А.Н. Пространственно-распределенный измерительный комплекс для мониторинга гидрофизических процессов на океаническом шельфе // Приборы и техника эксперимента. 2017. № 1. С. 128-135.

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ ВОД В АМУРСКОМ ЛИМАНЕ

А.А. Стробыкина

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, danizy@yandex.ru

Амурский лиман – уникальный природный объект. Он является и проливом, соединяющим Охотское и Японское моря, и эстуарием, в котором происходит смешение вод двух морей с речным стоком Амура, одной из крупнейших рек России. А, как известно, зоны смешения речных и морских вод играют особо важную роль в биологических, физических, химических и биогеохимических процессах функционирования прибрежных экосистем.

Исходя из вышесказанного, была сформулирована цель настоящей работы – исследовать перемешивание морских и речных вод в Амурском лимане на основе анализа данных экспедиционных исследований 2005-2009 гг., проведенных в бассейне и устьевой области реки Амур.

По данным продольных разрезов через Амурский лиман, выполненных по Южному и Сахалинскому фарватерам, была построена схема термохалинной структуры вод.

На схеме показано, что в пределах Амурского лимана выделяются две основные структурные зоны – перемешанная и стратифицированная. Для северной зоны характерна двухслойная структура с сильно распресненным поверхностным слоем, а для южной перемешанной – однородное вертикальное распределение гидрологических характеристик с относительно высокой соленостью. Стратификация в северной части лимана поддерживалась за счет натекания распресненных речным стоком вод на более соленые воды япономорского происхождения (стратифицированный режим вблизи устья реки) и за счет поступления в придонном слое охотоморских вод (солевой клин на северном выходе из лимана). В северной части лимана стратификация существенно ослаблена в зоне, которая находится под непосредственным влиянием речного стока. Южная часть эстуария была заполнена модифицированными водами, поступающими из Японского моря. В перемешанной зоне соленость увеличивалась по направлению к южному выходу из

лимана. Сильное приливное перемешивание здесь приводит к однородному распределению гидрологических характеристик по вертикали. Стоит отметить, что влияние речного стока на характеристики в южной части относительно невелико.

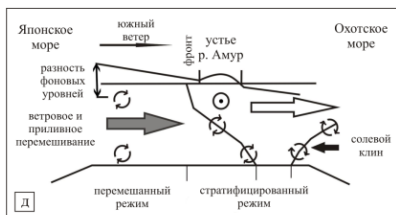
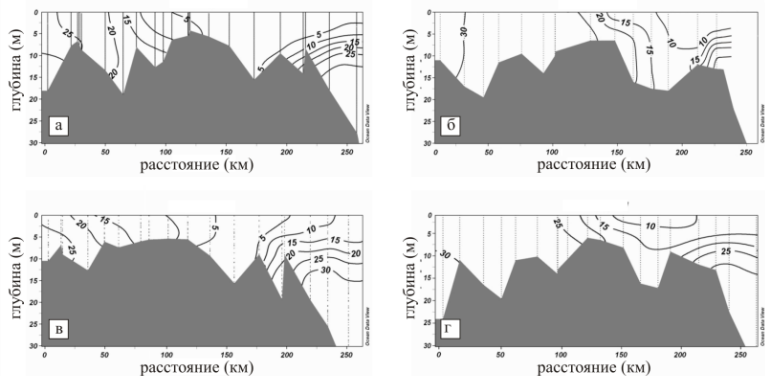


Рисунок. Распределение солёности на продольном разрезе через Амурский лиман: а – июнь 2005 г, б – июль 2005, в – июнь 2006, г – июль 2007, д – схема, показывающая структуру вод лимана и основные структурообразующие процессы в период действия южных ветров.

Согласно общепринятой классификации, предложенной в работах [1, 2, 3], эстуарии обычно подразделяют на стратифицированные, частично перемешанные и полностью перемешанные. Анализ термохалинной структуры вод показал, что Амурский лиман можно рассматривать как сложный эстуарий смешанного типа.

Литература

1. Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек. М.: ГЕОС, 1997. 176 с.

2. Михайлов В.Н., Горин С.Л., Михайлова М.В. Новый подход к определению и типизации эстуариев // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 2009. № 5. С. 3–11.

3. Pritchard D.W. What is an estuary: physical viewpoint // Estuaries. Washington: Amer. Ass. Advanc. Sci. Publ., 1967. № 83. P. 3–5.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ПОТОКОВ ТЕПЛА ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНОСТЬ ОКЕАНА НА АКВАТОРИИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

П.О. Харламов

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, pkharlamov@poi.dvo.ru

Одним из существенных факторов, определяющих баланс тепла в океане, являются потоки тепла через его поверхность. В численном моделировании океана учёт этих потоков производится либо прямым заданием уже известной их величины, взятой, например, из атмосферного реанализа или модели, либо путём их оценки прямо во время расчёта модели океана, с использованием эмпирических балк-формул. В то время как первый способ является наиболее простым и очевидным, при интегрировании гидродинамической модели на длительный срок может проявиться рассогласование задаваемых граничных условий, таких как потоки тепла, и внутреннего состояния модели. Поэтому, в случае продолжительных численных расчётов, предпочтительнее второй вариант, при котором потоки тепла рассчитываются с учётом модельного состояния: в частности, температуры поверхности океана.

В силу нелинейности моделируемых процессов, даже незначительное изменение граничных условий способно привести модель к иному состоянию (но необязательно к нему придёт), поэтому определение наиболее подходящего метода расчёта потоков тепла, особенно при долгосрочных вычислениях, является крайне важной задачей.

Для понимания чувствительности модели к выбору алгоритма оценки потоков тепла через поверхность океана, поставлен и проведён ряд численных экспериментов на регионе Японского моря с использованием гидродинамической модели РОМ и выполнено сравнение полученных результатов. В модель

предварительно добавлены алгоритмы расчёта потоков тепла и соли из различных источников [1, 2, 4, 5]. На рисунке 1 приводится сравнение формул расчёта исходящей длинноволновой радиации в зависимости от различных параметров.

Интегрирование модели производилось на 1 год с интервалом записи равным 5 модельным суткам. В качестве граничных условий использованы 6-часовые поля температуры воздуха и точки росы на 2 м, компонент скорости ветра и магнитуды порывов на 10 м, давления на уровне моря, облачности и количества осадков из европейского реанализа ERA-Interim [3] за 2012 год.

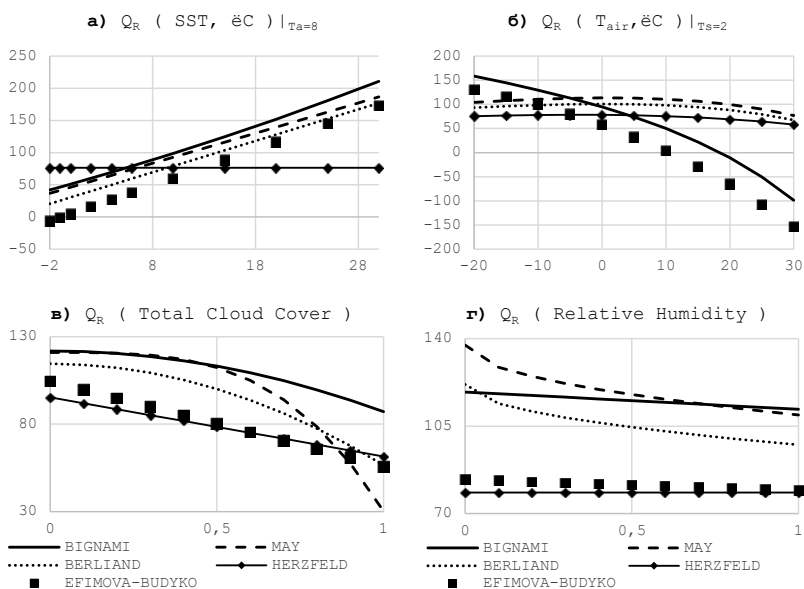


Рисунок 1. Зависимость рассчитанной по различным формулам длинноволновой радиации ($Вт/м^2$) от температуры поверхности океана (а), температуры воздуха (б), облачности (в) и относительной влажности (г).

Результаты сведены в таблицы отклонений интегральных характеристик проведённых экспериментов друг от друга, благодаря которым можно видеть, каким образом внедрение той или иной формулы влияет на результаты долгосрочного моделирования на рассматриваемом регионе. Помимо очевидного различия в трендах средних значений температуры и солёности,

модельная структура течений также претерпевает изменения, которые, пусть и выражены ярко в амплитуде разности кинетических энергий пар экспериментов, однако, не имеют сколь-нибудь отчётливого тренда, который мог бы указывать на значительный вклад в формирование динамической циркуляции моделируемого бассейна.

Несмотря на это, пространственная картина может отличаться довольно ощутимо в окрестностях фронтальных зон, однако не до такой степени, чтобы изменилась генеральная циркуляция всего моря (рис. 2).

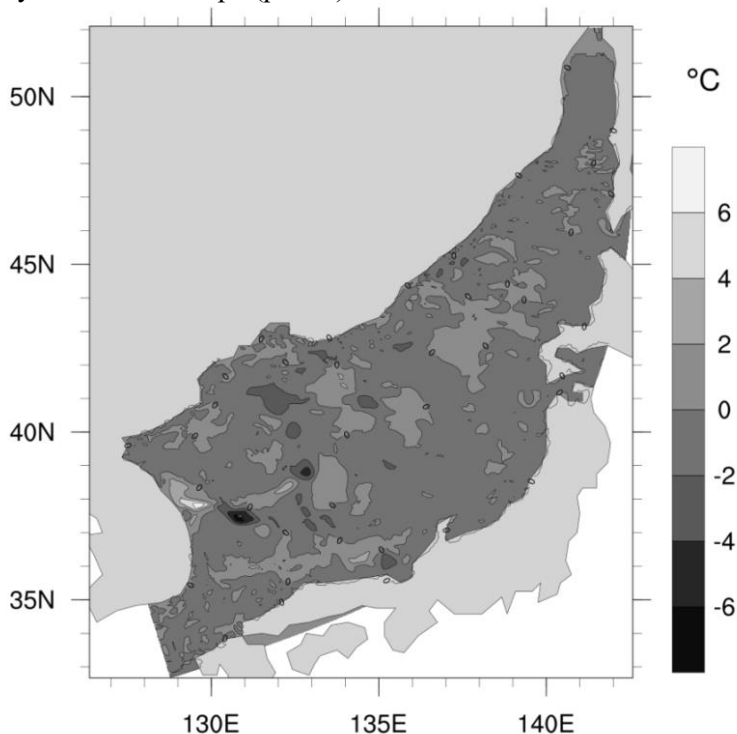


Рисунок 2. Пространственное распределение разницы в температуре воды поверхностного модельного уровня на финальном шаге численного эксперимента (31-12-2012).

По результатам работы получено представление о чувствительности модели к выбору метода оценки потоков тепла,

свидетельствующее о том, что уже при численном интегрировании на год проявляются значительные локальные отклонения в моделируемых величинах, которые, однако, не изменяют кардинальным образом генеральное состояние модели. Возможно, при климатических расчётах (30 лет), могут проявляться устойчивые особенности, присущие тому или иному способу учёта потоков тепла, однако, в данной работе такие масштабы не рассматриваются, и являются темой для её продолжения.

Литература

1. Berliand M. E. Determining the net long-wave radiation of the Earth with consideration of the effect of cloudiness // *Izv. Akad. Nauk. SSSR Ser. Geofiz.* – 1952. – Т. 1. – С. 64-78.
2. Bignami F. et al. Longwave radiation budget in the Mediterranean Sea // *Journal of Geophysical Research: Oceans.* – 1995. – Т. 100. – №. С2. – С. 2501-2514.
3. Dee D. P. et al. The ERA Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // *Quarterly Journal of the royal meteorological society.* – 2011. – Т. 137. – №. 656. – С. 553-597.
4. Fairall C. W. et al. Bulk parameterization of air–sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm // *Journal of climate.* – 2003. – Т. 16. – №. 4. – С. 571-591.
5. May P. W. A brief explanation of Mediterranean heat and momentum flux calculations // *NORDA code.* – 1986. – Т. 322. – №. 1

СЕКЦИЯ 2 Геология, геофизика и геохимия океана

ПЛАТИНА В ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВЫХ КОРКАХ ЮЖНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Е.Д. Бережная¹, А.В. Дубинин¹, Е.Н. Золюгина², Т.Х. Сафин^{1,2}

¹ИО РАН, г. Москва, evgeniya.berezhnaya@gmail.com,

²РХТУ им Д. И. Менделеева, Москва

Железоманганцевые корки формируются за счет прямого осаждения из океанских вод взвешенных оксигидроксидов марганца и железа на субстрат из вулканических или осадочных пород [1]. Обогащение корок некоторыми металлами (например, кобальтом, марганцем, никелем, таллием, церием) в 100-500 раз превышает средние концентрации в земной коре и в 10^4 раз в морской воде. Концентрирование этих элементов происходит из водной толщи в результате процессов сорбции и соосаждения. Содержания платины в железоманганцевых корках могут достигать 3 мкг/г. Палладий в железоманганцевых отложениях океана практически не накапливается. Если отношение платины и палладия в морской воде Pt/Pd составляет 1–4,5, то в железоманганцевых корках оно достигает 300. В качестве механизма предпочтительного накопления платины рассматривается адсорбция Pt(II) на поверхности Fe-Mn оксигидроксидов, восстановление Pt(II) до элементной формы и соосаждение с оксидом марганца MnO₂, окислительная сорбция Pt(II)→Pt(IV) на оксигидроксидах железа и марганца, ассоциация Pt с органическими лигандами [2,3,4]. Также предполагают, что платина в корках находится преимущественно в виде самородного металла [5]. Значительное количество данных по содержанию платины получено для корок Тихого океана [смотрите, например, 6]. Результатов по распределению платины в корках Атлантического и Индийского океанов значительно меньше.

В данной работе исследованы образцы корок из южной и экваториальной частей Атлантического океана. Они были представлены корками Срединно-Атлантического хребта, Ангольской, Капской котловины и поднятия Сьерре-Леоне. Для Fe-Mn корок использовался послойный пробоотбор. Химический состав образцов был определен методами атомной абсорбции и

масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Определение содержания платины проводилось после концентрирования на анионите [7]. Содержания марганца в корках составили 9.0-18.9%, железа 15.1-24.1%, алюминия 0.8-2.6%, фосфора 0.3-0.5%. Отношение Mn/Fe варьировало от 0.4 до 1.2. Содержания микроэлементов и платины составляли 0.12-1.1% Co, 0.09-0.36% Ni, 0.02-0.13% Cu, 0.05-0.57 мкг/г Pt. Исследуемые корки преимущественно относятся к водородному типу. В проанализированных послойно корках содержания Mn, Co, Th и Ce растут к поверхности, а содержания Pt максимальны в нижнем слое. Иногда нижний слой корок обогащен платиной почти в три раза относительно верхнего. Вместе с платиной в нижнем слое корки повышены содержания Al, Li, Rb и Cs.

Для исследования форм платины в железомарганцевых корках использовалась солянокислая вытяжка (4 н. HCl, твердое/жидкость = 1/200, время воздействия – 4 часа). В данную вытяжку переходят все элементы, связанные с оксигиридами Fe-Mn. В результате проведенных экспериментов было показано, что элементная платина с размерностью частиц от 8 до 300 мкм в данной вытяжке не растворяется. После анализа вытяжек в реакционноспособной части исследуемых железомарганцевых корок было найдено более 90% Pt от валового содержания. Это указывает на то, в Fe-Mn корках платина находится преимущественно в окисленной форме, вероятно в степени окисления (IV), и накапливается на поверхностях оксигидроксилов железа и марганца за счет сорбции Pt (II) и последующего окисления.

Преимущественное накопление платины на ранних этапах роста корок, по-видимому, связано с поставкой платины в ходе гальмиролиза базальтового субстрата корки. В результате гальмиролиза базальтов локально были созданы повышенные содержания платины в окружающей придонной воде. С возрастом влияние этого процесса на состав корок снижалось, и на более поздних этапах эволюции корок возрастало поступление вещества за счет водородной поставки.

Работа была выполнена при поддержке гранта РНФ 14-50-00095.

Литература

1. Дубинин А. В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. – Наука, 2006.
2. Terashima S. et al. Platinum and palladium abundances in marine sediments and their geochemical behavior in marine environments //BULLETIN-GEOLOGICAL SURVEY JAPAN. – 2002. – Т. 53. – №. 11/12. – С. 725-748.
3. Кубракова И. В. и др. Роль органического вещества в накоплении платины океаническими железомарганцевыми образованиями //Геохимия. – 2010. – №. 7. – С. 698-707.
4. Maeno M. Y. et al. Sorption behavior of the Pt (II) complex anion on manganese dioxide (δ -MnO₂): a model reaction to elucidate the mechanism by which Pt is concentrated into a marine ferromanganese crust //Mineralium Deposita. – 2016. – Т. 51. – №. 2. – С. 211-218.
5. Батурин Г. Н. и др. Платина и золото в железомарганцевых корках Тихого океана //Океанология. – 2005. – Т. 45. – №. 2. – С. 286-294.
6. Hein J. R. et al. Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high-and green-technology applications: Comparison with land-based resources //Ore Geology Reviews. – 2013. – Т. 51. – С. 1-14.
7. Berezhnaya E. D., Dubinin A. V. Determination of Platinum-Group Elements and Gold in Ferromanganese Nodule Reference Samples //Geostandards and Geoanalytical Research. – 2017. – Т. 41. – №. 1. – С. 137-145.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВИДОВОГО СОСТАВА ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ КАК ИНДИКАТОР ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА НА ТЫСЯЧЕЛЕТНИХ И ВЕКОВЫХ МАСШТАБАХ В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ

А. С. Владимиров, А.В. Артёмова, С.А. Горбаренко

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, vladimirov@poi.dvo.ru

Целью исследования было изучение изменчивости количества и видового состава диатомовых водорослей из осадков колонки LV63-41-2, отобранной с материкового склона полуострова Камчатка с глубины 1900 м в 63 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев».

Пробы на диатомовый анализ отбирались через сантиметр верхней части колонки (0-200 см), что, согласно трём датировкам AMS ¹⁴C и возрастной модели С.А. Горбаренко и др. (2017 г.) [3],

примерно соответствует последним 12000 лет (голоцен и похолодание поздний дриас).

На протяжении изученного интервала колонки содержание створок диатомовых водорослей в осадках варьирует от 109,5 млн до 4,8 млн в 1 г. осадка (рисунок). Колебания численности отражают периоды высокой или малой продуктивности диатомовых водорослей, особенности условий осадконакопления в изучаемой области, а также соотношение биогенного и литогенного материала в осадках.

На основании экологических предпочтений различных видов диатомовых водорослей, найденных в осадках, они были объединены в четыре экологические группы: планктонные океанические холодноводные, планктонные океанические тепловодные, планктонные неритические холодноводные и бентические холодноводные. Доминируют планктонные океанические и неритические холодноводные виды.

В составе диатомовых комплексов доминируют планктонные холодноводные виды, развивающиеся как по кромке, так и около области распространения сезонных льдов - *Thalassiosira gravida* Cleve и *Thalassiosira antarctica* var. *borealis* G.Fryxell, Doucette, & Hubbard. Также присутствует океанический умеренно холодноводный вид *Neodenticula seminae* (Simonsen & Kanaya) Akiba & Yanagisawa, океанический вид *Shionodiscus latimarginatus* (Makarova) Alverson, а также неритические виды рода *Chaetoceros*, в частности, *Chaetoceros furcellatus* Bailey и *Ch. subsecundus* (Grunow ex Van Heurck) Hustedt.

На основе изменений концентрации диатомей в 1 г. воздушно-сухого осадка, изменений доминирующих видов и распределения экологических групп диатомей, было выделено семь диатомовых комплексов. Временные промежутки, которым соответствуют выделенные комплексы, были рассчитаны с использованием точных датировок и, для удобства, также были соотнесены с временными промежутками шкалы Блитта-Сернандера. Хотя эта шкала по причине неравномерности процессов изменения климата не может считаться универсальной, она содержит ряд общих для климата Земли особенностей [1, 2].

Комплекс 7 (196-200 см, 12,07-12,1 тыс. лет назад). Промежуток времени, охватываемый комплексом, соотносится с периодом поздний дриас, характеризующемся как кратковременное сильное похолодание после тёплого периода аллерёд [1]. Количество створок диатомей в комплексе колеблется с 5,06 млн. ств./г. до 27,06 млн. ств./г., видовое богатство варьирует от 28 до 34 видов. Комплекс отмечен доминированием океанического вида *S. latimarginatus* с субдоминантами: прилёдным видом *T. gravis* (+/= *T. antarctica*) и океаническим видом *N. seminae*. Низкое количество *Chaetoceros* spp., вероятно, указывает на низкую продуктивность вод и стабильную гидрологическую обстановку. В целом, диатомовый комплекс отражает холодные условия, сложившиеся в регионе в указанный промежуток времени.

Комплекс 6 (170-195 см, 11,4-12,07 тыс. лет назад). Время формирования этого комплекса - переход от позднего дриаса к пребореальному периоду. Количество створок в комплексе варьирует от 4,83 млн. до 12,80 млн. ств./г., однако наблюдается пик с 35,11 млн. ств./г. Доминантом диатомового комплекса остаётся *S. latimarginatus*, а субдоминантом *N. seminae*, хотя их соотношение 11,5 тыс. лет назад меняется в сторону увеличения количества *N. seminae* и уменьшения количества *S. latimarginatus*. По сравнению с комплексом 7 наблюдается сильный рост видового богатства, стабильное соотношение океанических и неритических видов. Наблюдается падение количества прилёдных видов, небольшой рост *Odontella aurita* (Lyngbye) Agardh, вегетирующего при уровне солёности ниже среднеокеанической. Высоко количество *Actinocyclus curvatus* Janisch. Также растёт количество *N. seminae*. Отмечен резкий всплеск количества тихопелагических, бентических и пресноводных видов, привнесенных в глубоководную часть из прибрежной части, что может указывать на сильный речной сток на границе позднего дриаса и пребореального периода. Все эти изменения в составе диатомовой флоры проходили под влиянием потепления и соответствующей перестройки гидрологических параметров.

Комплекс 5 (114-170 см, 8,7-11,4 тыс. лет назад). Комплекс отражает изменения диатомовой флоры в пребореальном и бореальном периодах, а также при переходе к атлантическому

периоду. Количество створок в осадке постепенно повышается с 4,83 млн ств./г. в до 74,36 млн ств./г., со спадом их содержания 9,1 тыс. лет назад. В комплексе доминируют *S. latimarginatus* и *T. gravida* (+/= *T. antarctica*). Субдоминант - *N. seminae*. Данный комплекс характеризуется плавным спадом видового богатства с 11,3 тыс. лет назад по 9,3 тыс. лет назад. Также в этом промежутке сокращается доля океанических видов в противофазе с количеством неритических, наибольшее количество которых также приходится на 9,3 тыс. лет назад, после чего наблюдается обратная тенденция – количество океанических видов вырастает при спаде количества неритических видов. Растёт количество *Chaetoceros* spp., что может указывать на повышение уровня продуктивности вод и изменения в гидрологических параметрах. Отмечен небольшой рост количества пресноводных видов. Такое распределение показателей может говорить о начавшемся 11,3 тыс. лет назад потеплении, сменившемся похолоданием, начавшимся около 9,3 тысячи лет назад, пик которого пришёлся примерно на 9,2 тыс. лет назад.

Комплекс 4 (98-114 см, 7,8-8,7 тыс. лет назад). Комплекс охватывает время, характеризующееся как климатический оптимум голоцена. Количество створок изменяется от 14,10 млн. ств./г. до 40,25 млн. ств./г. Доминант комплекса - *T. gravida* (+/= *T. antarctica*). Субдоминант - *N. seminae*. Наблюдается рост видового богатства. Количество океанических видов растёт в противофазе количеству неритических видов. Снижается количество *Chaetoceros* spp., растёт количество *A. curvatulus*, наблюдается скачок количества пресноводных видов. Полученные данные могут отражать приспособительную динамику соотношения экологических групп диатомовой флоры под воздействием изменений параметров водных масс, в свою очередь, вызванных температурным оптимумом.

Комплекс 3 (74-98 см, 6,4-7,8 тыс. лет назад). Комплекс характеризует диатомовую флору второй половины атлантического периода. Количество створок скачкообразно растёт от 18,40 млн. ств./г. до 74,36 млн. ств./г., а затем снижается с 74,36 млн. ств./г. до 60,95 млн. ств./г. Наблюдается спад до 11,18 млн. ств./г. 6,8 тыс. лет назад. Доминант комплекса по-прежнему *T. gravida* (+/= *T.*

antarctica), субдоминанты - *N. seminae*, *S. latimarginatus* и *A. curvatulus*. Наблюдается небольшое повышение количества *O. aurita*.

В комплексе прослеживается дальнейший спад видового богатства. Океанические и неритические виды развиваются в противофазе, чередуясь в доминировании. Несколько повышается количество *A. curvatulus*. Такие показатели диатомовой флоры могут говорить о тёплом климате и стабилизации состава диатомовой флоры после изменений, связанных с температурным оптимумом голоцена.

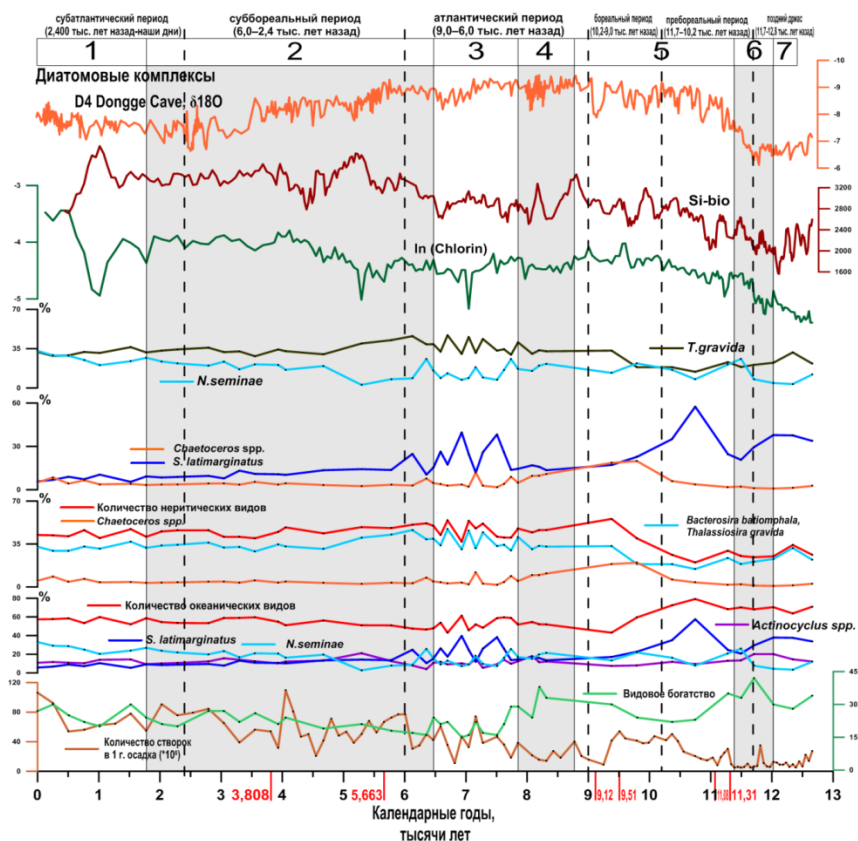


Рисунок. Динамика количественных изменений экологических групп и некоторых видов диатомовых водорослей во времени

Комплекс 2 (14-74 см, 1,7-6,4 тыс. лет назад). Время, охватываемое комплексом, включает в себя переход от атлантического периода к суббореальному, собственно суббореальный период и переход к субатлантическому. Количество створок постепенно растёт с 42,23 млн. ств./г. до 90,6 млн. ств./г. Доминанты и субдоминанты комплекса те же, что и в предыдущем комплексе.

Видовое богатство по сравнению с предыдущим комплексом снижается, а затем постепенно растёт. Океанические и неритические виды развиваются, всё так же чередуясь в доминировании. Количество *N. seminae* постепенно возрастает, почти в противофазе с *T. gravida* (+/= *T. antarctica*). В начале суббореального периода отмечено повышение количества *A. curvatulus*. Растёт количество *O. aurita*. Количество *Chaetoceros* spp. стабильно низко. Полученные данные о распределении количества створок в осадке, видовом богатстве и количественном соотношении экологических групп диатомовых водорослей могут говорить об отражении диатомовой флорой стабильных гидрологических и климатических условий с общей тенденцией к похолоданию.

Комплекс 1 (0-14 см, 0-1,7 тыс. лет назад). Временные границы комплекса охватывают практически весь субатлантический период. В промежутке с 1,5 тыс. лет назад по 0,5 тыс. лет назад количество створок по сравнению с предыдущими комплексом постепенно уменьшается (с 78,04 млн. ств./г. до 53,82 млн. ств./г.), при этом с 0,25 тыс. лет назад по наши дни наблюдается резкое повышение количества створок (с 53,82 млн. ств./г. до 92,23 млн. ств./г. и далее до 106,3 млн. ств./г.). Доминанты и субдоминанты комплекса те же, что и в предыдущем комплексе.

Видовое богатство в промежутке с 1,7 тыс. лет назад до 1,5 тыс. лет назад увеличивается, затем следует спад и следующий подъём. Океанические и неритические виды по-прежнему развиваются, чередуясь в доминировании. Количество *Chaetoceros* spp. стабильно низко. С 1,5 тыс. лет назад по 1 тыс. лет назад наблюдается небольшой подъём количества *A. curvatulus*.

Количество *O. aurita* уменьшается. Диатомеи отражают современные гидрологические условия.

Выводы: по данным, полученным с помощью диатомового анализа, выявлена реакция диатомей на последовательность климатических изменений для голоцена и позднего дриаса. После похолодания позднего дриаса прослежено потепление, начавшееся 11,3 тысячи лет назад, после чего 9,3 тысячи лет назад среднегодовая температура начала падать, её минимум приходится примерно на 9,2 тысяч лет назад. В промежутке с 9 тыс. лет назад по 7,1 тыс. лет назад прослежено потепление, возможно, являющееся климатическим оптимумом голоцена, после чего, начиная с суббореального периода, установились стабильные условия с тенденцией к похолоданию, продолжающиеся по наши дни. Полученные данные, в целом коррелируют с изменениями уровня $\delta^{18}\text{O}$, прослеженным по записям сталагмитов пещеры Dongge [4] и отражают региональные палеоклиматические события.

Литература

1. Горбаренко С.А., Гвоздева И.Г., Соутон Д.Р. Быстрые изменения среды Охотского моря в голоцене и оледенение // Вестник ДВО РАН. 2003. №2. С. 148-156.
2. Мони́н А.С., Шишков Ю.А. История климата // Ленинград, Гидрометеиздат. 1979. 407 с.
3. Gorbarenko S. A, Shi X., Malakhova G. Yu., Bosin A. A. at al. Centennial to millennial climate variability in the far northwestern Pacific (off Kamchatka) and its linkage to the East Asian monsoon and North Atlantic from the Last Glacial Maximum to the early Holocene // Climate of the Past. 2017. V. 13. P. 1063-1080.
4. Wang Yo., Cheng H., Edwards R. L., He Ya. at al. The Holocene Asian Monsoon: Links to Solar Changes and North Atlantic Climate // Science. 2005. V. 308. P. 854-857.

ИЗУЧЕНИЕ ГЛУБИННОГО ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА ЗОНЫ ПЕРЕХОДА ОТ ЕВРОАЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА К ТИХОМУ ОКЕАНУ

А.А. Жуковин, Г.Н. Шкабарня

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, zhukovinau@poi.dvo.ru

Глубинная электропроводность зоны перехода от океана к континенту изучается исключительно магнитотеллурическим (МТ) и магнитовариационным (МВ) методами [1]. Наблюдения производятся с помощью высокочувствительных трехкомпонентных вариометров магнитного поля H_x , H_y , H_z и высокочувствительных усилителей постоянного тока, объединённых с измерительными электрическими линиями E_x , E_y . Информация о глубинном строении заключена в переходных характеристиках: $E_{\text{гор}}/H_{\text{гор}}$ – тензор электрического импеданса, $H_z/H_{\text{гор}}$ – магнитные типперы и т.д. Для освещения глубинного разреза необходимо иметь переходные характеристики в большом диапазоне периодов – от первых до сотен тысяч секунд. По этой причине наблюдения проводят длительное время: недели в рядовых точках, годы в опорных пунктах.

Лаборатория электромагнитных полей ТОИ ДВО РАН выполняет магнитотеллурические зондирования (МТЗ) на территории Дальнего Востока более 20 лет. В районе исследования, включающим в себя территорию Приморья, среднего и нижнего Приамурья, Сахалина и акватории Японского моря выполнено более 200 пунктов МТЗ, в том числе и долговременные с применением в качестве приёмных антенн подводных кабелей связи JASK и RJK длиной до 950 км и континентальных кабелей связи длиной 30–120 км [4]. Задача этих исследований – изучение геоэлектрического разреза тектоносферы до глубины около 1000 км, выделение определяющих геоэлектрику разреза глубинных региональных структур и установление связи их положения с размещением полезных ископаемых и геодинамикой региона. Последние годы проводились работы на о-ве Сахалин, которые позволили увязать ранее проведенные лабораторией работы на континенте и производственные МТ исследования прошлых лет на Сахалине.

Зона сочленения Японского и Охотского окраинных морей с континентом характеризуется сложным геологическим строением, отличительной особенностью которого является развитие разновозрастных пород широкого временного диапазона от архейских до современных. Образованные ими наложенные структуры, вулканические и плутонические пояса, сложная сеть

разрывных нарушений, включающая в себя сдвиги планетарного масштаба, современный сейсмический режим – все это свидетельствует об активных глубинных процессах, протекающих в этом районе на протяжении всего фанерозоя. Их исследование открывает пути к решению многих проблем фундаментального и прикладного характера, в том числе к прогнозированию нефтегазоносности, рудоносности, сейсмических событий [2].

Новые данные МТЗ позволили пересмотреть подходы к формированию двумерных геоэлектрических разрезов дальневосточного региона зоны перехода от континента к Тихому океану. Особое внимание уделено выявлению и прослеживанию анизотропно-проводящих образований, отражающих трещиноватый, потенциально нефтегазоносный комплекс пород в основании осадочной толщи шельфа окраинных морей.

Электропроводящие зоны имеют место на всех глубинных интервалах в литосфере. Их природа разнообразна. Она в зависимости от РТ-условий может быть связана с насыщением пород графитом, водно-графитовой смесью, минерализованными водами, рудными минералами и т.д. В верхней части литосферы, создаются физико-петрологические условия, способствующие региональному развитию анизотропно-проводящих (трещинных) комплексов. Особенностью этих комплексов пород является низкое сопротивление (около 5-10 Ом·м) в одном направлении и высокое (более 100 Ом·м) в ортогональном направлении. Анизотропия электрического сопротивления является основанием полагать, что таким породам свойственна трещиноватость. Наиболее выдержанным по площади анизотропно-проводящим трещиноватым горизонтом является горизонт мощностью 4–10 км, включающий в себя породы нижней части осадочной толщи и верхней части метаморфизованного фундамента. Такие образования наиболее распространены в шельфовых зонах и в молодых осадочных бассейнах.

В рассматриваемом интервале глубин температура обычно не превосходит критическую точку воды, поэтому высокая электропроводность пород создаётся минерализованными растворами, заполняющими ёмкостное пространство. Судя по тому, что электрическое сопротивление пород этого комплекса в

одном из направлений (5–10 Ом·м) на порядок ниже, чем в ортогональном, можно предположить, что ёмкостное пространство представляет собой систему наполненных трещин.

Между нормально-осадочными изотропно-проводящими (поровыми) и трещиноватыми комплексами располагается высокоомный горизонт $\rho > 100$ Ом·м. Такая последовательность вертикальной смены электрического сопротивления указывают на определённую стадийность изменения электрических свойств. На первой стадии, когда осадочные породы погружаются до глубины 3.5–4 км, где температура не превосходит 100°C, их проводимость обеспечивается электролитом, находящимся в поровом пространстве. По мере дальнейшего погружения, электролит вытесняется, как за счёт температуры, так и за счёт гравитационного уплотнения. Электрическое сопротивление пород, лишенных свободной воды, увеличивается в десятки и сотни раз. На следующем этапе погружения (свыше 4 км), когда температура достигает 180°C и более, развивается процесс дегидратации, то есть выделения связанной кристаллизованной воды. В условиях тектонических подвижек вода непрерывно во времени способствует развитию трещиноватости вмещающих пород. Наряду с выше описанным механизмом образования анизотропно-проводящего комплекса может быть и другой механизм, в котором вода образуется за счёт трансформации [3] газов мантийного происхождения (CO, CO₂, CH₄, H₂).

Независимо от способа образования водного флюида, флюидонасыщенная толща играет определённую роль в процессах нефтегазообразования и накопления. Структура рассматриваемой толщи оказывает влияние на расположение залежей углеводородов. Как правило, они располагаются вблизи контакта трещинных образований с литифицированными породами нижней части осадочного чехла. В отдельных случаях, например, в Дагинско-Набильском нефтегазоносном районе о-ва Сахалин, залежи УВ непосредственно располагаются в трещиноватом комплексе в интервале глубин свыше 3.5 км.

В этой связи актуальной задачей является оконтуривание площадей развития трещиноватого комплекса, и прежде всего, выделению положения его западной границы в Япономорском

регионе в зоне сочленения с континентальными структурами Приморья.

Анизотропно-проводящий комплекс проявляется на о-ве Сахалин в виде минимума на поперечных кривых кажущегося сопротивления в диапазоне периодов $30 < T < 100$ с. На соответствующих продольных кривых МТЗ минимум в этом интервале периодов отсутствует. Имеющаяся сеть наблюдений МТЗ позволяет оконтурить территории, в пределах которых наиболее чётко проявлен анизотропно-проводящий комплекс. Парадокс состоит в том, что поперечная анизотропия характерна для продольных зон, примыкающих к западному, восточному побережьям Сахалина, а также в Поронайской и Сусунайской впадинах. В качестве одной из возможных моделей геоэлектрического строения можно предположить существование глубинных линейных структур субширотного или восток-северо-восточного направления, развитых на континенте, и продолжающихся под Татарским проливом и достигающих западных берегов о. Сахалин. Точно также, ориентируясь на характер гравитационного и магнитного полей можно было бы допустить развитие глубинных структур субширотного простирания в Охотском море вплоть до восточных берегов о. Сахалин.

Для решения поставленной задачи проведён следующий комплекс исследований:

- ✓ выполнены наблюдения магнитотеллурического поля в 20 ключевых пунктах о. Сахалин с использованием современных аппаратных комплексов LEMI-417 и LEMI-025 и современных средств обработки с целью подтверждения достоверности кривых МТЗ, полученных в предыдущие годы;
- ✓ проведён азимутальный анализ, в том числе и кривых МТЗ, выполненных в 20 пунктах, расположенных на континенте вблизи Татарского пролива с целью определения азимутов, в которых исследуемый анизотропно-проводящий комплекс отражается наиболее ярко;
- ✓ проведено трассирование западной границы распространения трещиноватого комплекса пород, включающего в себя

образование низов осадочной толщи и верхней части фундамента;

- ✓ проведено математическое моделирование, подтверждающее своеобразные особенности поведения электромагнитного поля и соответственно поперечного кажущегося сопротивления.

На рисунке 1 представлены результаты исследований. Выявлено, что западная граница трещиноватого комплекса проходит вблизи береговой линии, удаляясь вглубь континента на расстояние 10–30 км. Далее на запад он не фиксируется. Граница почти прямолинейная и её генеральное направление так же, как и на о. Сахалин – субмеридиональное.

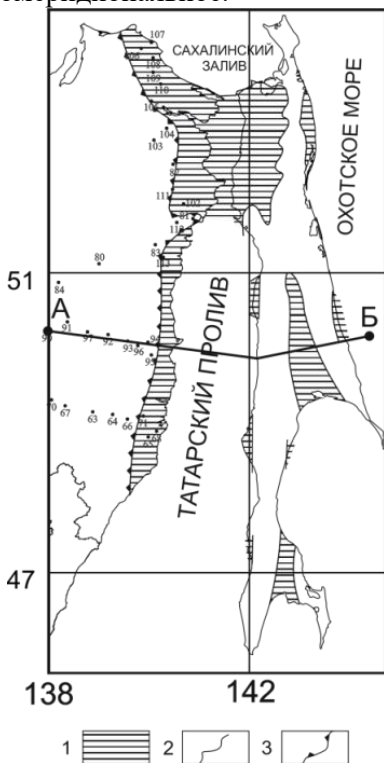


Рисунок 1. Схема распространения трещиноватого (анизотропно-проводящего) комплекса пород в нижней части осадочной толщи и верхней части консолидированного фундамента.

Условные обозначения: 1 – территории развития трещиноватого комплекса пород в нижней части осадочной толщи Охотского–

Япономорского региона; 2 – граница развития трещиноватого комплекса на о. Сахалин; 3 – западная граница распространения трещиноватого комплекса.

Численное моделирование этого феномена показало, что сравнительно узкие структуры с поперечной анизотропией электрического сопротивления могут быть отражены в кажущемся сопротивлении при наличии коровых флюидонасыщенных разломов. Анизотропно-проводящий трещиноватый комплекс пород становится «видимым» для МТЗ благодаря гальванической связи с породами осадочной толщи посредством электропроводящих разломов.

Геоэлектрический разрез, показанный на рисунке 2 демонстрирует взаимоотношение электропроводящих комплексов земной коры по профилю, пересекающему Татарский пролив, о. Сахалин, Охотское море на широте города Александровск.

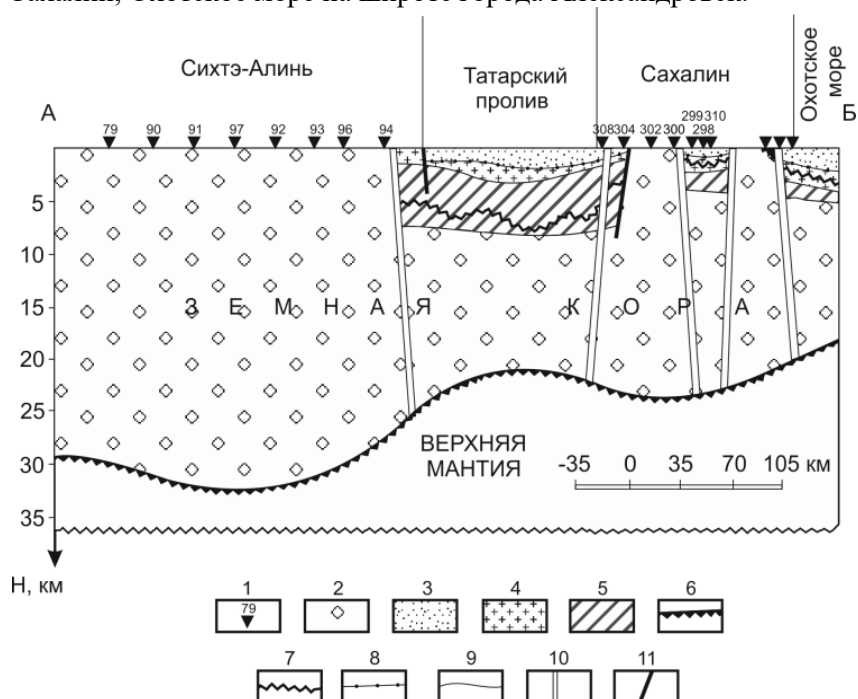


Рисунок 2. Геоэлектрический разрез по профилю, пересекающему Сихтэ-Алинь, Татарский пролив, Сахалин, Охотское море.

Условные обозначения: 1 – пункты МТЗ и их номера; 2 – высокоомные породы земной коры > 1000 Ом·м; 3 – изотропно-проводящие низкоомные породы осадочной толщи 5-20 Ом·м; 4 – высокоомные породы экрана внутри осадочной толщи более 1000 Ом·м; 5 – анизотропно-проводящие трещиноватые образования нижней части осадочного чехла и верхней части фундамента; 6 – подошва земной коры; 7 – основание кайнозойских осадочных отложений по сейсмическим данным; 8 – основание изотропно-проводящих образований осадочного чехла; 9 – кровля и подошва трещиноватого комплекса пород; 10 – флюидонасыщенные сквозькоревые разломы; 11 – разломы в верхней части земной коры.

Таким образом, в результате анализа новых МТЗ, выполненных работ на о. Сахалин, и исследований прошлых лет сделаны следующие выводы:

1. Анизотропно-проводящий трещиноватый комплекс пород с преимущественным субширотным направлением трещиноватости, развитый в интервале глубин 4-10 км, включающий в себя образования нижней части осадочного чехла и верхней части метаморфизованного фундамента, в изучаемом регионе развит в субмеридиональных зонах, соответствующих молодым осадочным бассейнам: Татарскому, Восточно-Сахалинскому, Тымь-Поронайскому, Сусунайскому.

2. Анизотропно-проводящий трещиноватый комплекс пород перекрыт слабопроницаемым для флюида высокоомным экраном мощностью до 2 км.

3. Глубинные флюидонасыщенные разломы осуществляют гальваническую связь глубинных анизотропно-проводящих комплексов пород с нормально-осадочными изотропно-проводящими породами, благодаря чему толща становится «видимой» для МТЗ. По этим же разломам, очевидно, происходит подток глубинных флюидов из земной коры в осадочную толщу. Этим, очевидно, объясняется контролирующая роль границ толщи на расположение залежей нефти и газа на Сахалине.

Литература

1. Ваньян Л.Л., Шиловский П.П. Глубинная электропроводность океанов и континентов. М.: Наука, 1983. 88с.
2. Генезис углеводородных флюидов и месторождений. Под ред. А.Н. Дмитриевского и Б.М. Валяева. – М.: ГЕОС, 2006. 315 с.

3. Кадик А.А., Луконин О.А. Дегазация верхней мантии при плавлении. М.: Наука, 1986. 96с.

4. Никифоров В.М., Кулинич Р.Г., Валитов М.Г., Дмитриев И.В., Старжинский С.С., Шкабарня Г.Н. Особенности флюидного режима литосферы в зоне сочленения Южного Приморья и Японского моря по комплексу геофизических данных. Тихоокеанская геология. Хабаровск: «Дальнаука», 2013, том 32, №1. с. 54-64.

АСПЕКТЫ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СОСТОЯНИЕ БУХТЫ ЗОЛОТОЙ РОГ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

А.С. Зубцова¹, В.И. Петухов¹, Е.А. Вах^{1,2}, И.Л. Зубцова¹

¹ ДВФУ, г. Владивосток, zibtsova.il@yandex.ru

² ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток

Бухта Золотой Рог омывает южное побережье г. Владивостока, является известной достопримечательностью и лицом города. В акватории бухты и на прилегающей к ней территории длительное время осуществляют деятельность десятки хозяйствующих субъектов. Здесь расположены причальные сооружения, осуществляется обслуживание судов на рейде и у причала, работы судостроительного и судоремонтного профиля, изготовление металлоконструкций и трубопроводов, технологическое накопление и хранение грузов, транспортно-экспедиторские и железнодорожные услуги. В акваторию бухты поступают хозяйственно-бытовые стоки городской канализации, стоки от портов, судоремонтных заводов и других объектов, расположенных в прибрежной зоне, ливневые стоки. При этом, далеко не все предприятия могут обеспечить безопасность окружающей среды и исключить негативное влияние на бухту. [1,3,4]. Бухта Золотой Рог признана наиболее загрязненным участком залива Петра Великого [2], что вызывает серьезную озабоченность жителей города, региональных властей и широкой научной общественности. Целью нашей работы является анализ экологического состояния бухты Золотой Рог, уровней миграции и накопления загрязняющих веществ и выявление очагов негативного воздействия на бухту.

Ранее проведенные исследования по состоянию воды бухты Золотой Рог [3] показало, что качество вод по индексу загрязнения воды (ИЗВ) за период с 2009 по 2011 гг. изменилось с V класса

(грязные воды) до VI класса (очень грязные). Отмечалось кратковременное снижение концентрации нефтеуглеродов (НУ) в воде с последующим увеличением в 2,3 раза к весне 2011 г. (4,6 ПДК). Летом 2011 г. превышение составило 9,8 ПДК. Средняя концентрация фенолов в 2009 г. составила 1,6 ПДК, меньше уровня 2008 г в 1,8 раз. В последующие годы значительных изменений не отмечено. Среднее содержание тяжелых металлов (ТМ) (меди, свинца, кадмия, железа, цинка, ртути и марганца) в бухте составляло менее 1 ПДК, незначительное превышение ПДК по кадмию отмечалось в 2010 г., а в 2011 г. - по цинку в 1,2 раза. Уровень загрязненности вод бухты хлорорганическими пестицидами (ХОП) за период с 2009 по 2010 гг. существенно не менялся, в 2011 г. концентрации пестицидов группы ДДТ и ДДД возросли, но не превышали ПДК, а концентрация ДДЭ составила 1,3 ПДК. Кислородный режим в водах бухты за исследуемый период был удовлетворительным. В целом, качество вод бухты Золотой Рог за данный период существенно не изменилось, хотя поступление загрязняющих веществ в морскую воду и их накопление в донных отложениях продолжается [3].

Данные, полученные кафедрой Безопасности в чрезвычайных ситуациях и защиты окружающей среды ДВФУ в ноябре 2015 г. в бухте Золотой Рог [4], выявили, что загрязнение НУ наиболее существенно. Установлено, что концентрации НУ в поверхностном слое вод изменялась в пределах от 0,049 мг/дм³ до 0,218 мг/дм³ (1,0-4,4 ПДК). Также отмечено превышение фонового уровня ХОП в 10 и более раз и высокое содержание в воде и донных отложениях ТМ (Pb, Hg, Cu и др.). Наибольшее значение было отмечено по свинцу - 1,4 ПДК (0,014 мг/дм³). Наибольшие концентрации в донных отложениях имели медь 7,49 ДК (262,2 мкг/г) и ртуть 6 ДК (1,81 мкг/г) [4].

В 2017 году при участии авторов было проведено рекогносцировочное обследование береговой черты б. Золотой Рог. Визуальное обследование прилегающей к бухте территории представляло собой обход территории причалов и береговой черты с фиксированием экологического состояния территории и наличия источников загрязнения, их описание. Всего исследовано порядка

29 операторов причалов, эксплуатирующих, причальные сооружения, расположенные в бухте Золотой Рог.

В ходе опроса установлено:

- как правило, ливневые стоки на территории предприятий подвергаются механической очистке, таким образом в акваторию бухты поступают недостаточно очищенные стоки;

- 20% (6шт.) операторов причалов осуществляют полный или частичный сбор поверхностных и хозяйственно-бытовых сточных вод в септики, с последующим вывозом на обезвреживание сецорганизациями на договорных условиях;

- 7 операторов причалов на момент маршрутных наблюдений находились в стадии рассмотрения модернизации и строительства очистных сооружений, 3 из которых запланировали завершения работ к концу 2017г;

- в бухту Золотой Рог осуществляют сброс сточных вод различных категорий ряд предприятий, не являющихся операторами причалов. Часть стоков в бухту попадает через р. Объяснения.

В ходе маршрутных наблюдений в 70% случаев на момент обследования в районе обследуемых причалов отмечено загрязнение поверхности акватории нефтепродуктами и плавающим мусором. Оборудование площадок для сбора отходов не в полной мере соответствует экологическим требованиям: совместное хранения отходов различных видов; отсутствие твердого покрытия площадок накопления отходов; отсутствие защиты от дождя и ветра контейнеров накопления отходов; накопление отходов навалом, без тары. Кроме того, наблюдается повсеместное присутствие следов нефтепродуктов на территории причальных сооружений, эксплуатируемых различными предприятиями и организациями. Отмечаются отдельные случаи нарушения при хранении грузов: нарушение целостности тары хранения, отсутствие настила для исключения разрушения покрытия территории, отсутствие укрытия грузов тентами для исключения воздействия атмосферных осадков. На береговой территории предприятий имеются выпуски принадлежность которых не установлена. В устье р. Объяснения имеется нанос в виде острова, поверхность острова загрязнена мусором, на

поверхности воды плавают бутылки, находятся затопленные суда. В среднем искусственный остров увеличивается на 20 см в год. В 2013 г. часть наноса размыло и унесло тайфунами. Со слов сотрудников предприятия сюда часто заходит рыба, вслед за которой ежегодно приплывают нерпы, прилетают цапли.

Авторами совместно с научным коллективом ДВФУ в 2017 году, так же проводились работы по оценке степени экологического загрязнения б. Золотой Рог. Отбор проб для определения степени загрязнения б. Золотой Рог выполнялся на 18 станциях. Фоновые показатели отбирались на 2 станциях. Пробы морской воды для измерения гидрологических и гидрохимических показателей отбирались с 18 по 23 мая 2017 г. Процедура отбора производилась согласно требованиям ГОСТ Р 31861-2012, ГОСТ 17.1.5.05-85, ГОСТ 17.1.5.04-81. Пробы воды отбирались батометрами Никсона с поверхностного и придонного горизонтов.

Лабораторные исследования проведены ООО «Экоаналитика» и ФГБУ «Приморский УГМС». Основные средства измерения: мультипараметровый лабораторный прибор Multi 340i SET (WTW, Германия), аналитические весы AW-220, ИК-Фурье спектрометр IRAffinity-1S, высокоэффективный жидкостный хроматограф LC-20A Prominence, газовый хроматограф GC-2010plus с ЭЗД, газовый хроматомасс-спектрометр GCMS-QP2010, эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000, спектрофотометр PC 3600, анализатор TOC-VCP (Shimadzu, Япония), анализатор жидкости «Флюорат 02-5М» ("Люмэкс", Россия), двухлучевой атомно-абсорбционный спектрофотометр AA-6300 (Shimadzu, Япония) с пламенной и электротермической атомизацией, анализатор ртути «РА-915М» с приставкой «УРП» ("Люмэкс", Россия). Кроме того, на каждой станции производилось зондирование профилографом RINKO-profiler (Япония) с датчиками давления, температуры, электропроводности (солености), флуоресценции хлорофилла и мутности.

В ходе исследований отмечены достаточно низкие значения БПК₅ на придонных горизонтах для большинства станций. Анализ образцов морской воды показал, что воды бухты не загрязнены пестицидами, полихлорбифинилам и бензапиреном. Концентрации

фенолов (3ПДК, ПДК=1 мкг/дм³), нефтепродуктов (30 ПДК, ПДК=0,05 мг/дм³) возрастают в направлении вершины бухты. Для концентраций металлов установлено несколько особенностей. Во-первых, концентрации металлов в водах бухты значительно выше фоновых станциях, где концентрация растворенного железа составила 4 ПДК. Трехкратное превышение ПДК зафиксировано для цинка. Во-вторых, концентрации железа, кадмия, бария и никеля имеют тенденцию к возрастанию в направлении вершины бухты. В-третьих, для большинства металлов (медь, кадмий, свинец, цинк, железо, барий, никель) концентрации придонных горизонтов ниже в сравнении с таковыми для поверхностных горизонтов. Эта особенность не проявляется для алюминия, а для ртути и хрома тенденция обратная. Предположительно это обусловлено сульфатредукцией в донных отложениях, результатом которой является образование сульфид иона. Анализ придонной воды на сероводород показал его наличие на уровне 1 мкмоль/л. Исследованные металлы, за исключением алюминия и хрома, образуют нерастворимые соединения сульфидов.

Литература

1. Блиновская Я.Ю., Монинец С.Ю., Монинец Д.С. Современная оценка загрязнения акватории бухты Золотой Рог (Японское море) нефтеуглеводородами // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. № 7. С. 4 - 8.
2. Ермолицкая М.З. Исследование состояния донных отложений бухты Золотой Рог // Экология и безопасность жизнедеятельности, 2013. № 1. С. 86 - 91.
3. Ермолицкая М.З. Исследование состояния вод бухты Золотой Рог за 2009- 2011 гг. Сборник научных трудов по матер. междуна. научно-практ. конф. «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2012». Вып.2. Том 28. С. 7-8
4. Краснослободцева Е.А., Лазарева Л.П., Тихомирова Е.А. Оценка экологического состояния бухты Золотой Рог (залив Петра Великого, Японское море). докл. Океанологические исследования: материалы VII конференции молодых ученых, 16-20 мая 2016 г., Владивосток, Россия. 2016, С. 161-164

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В БАРИТАХ ВПАДИНЫ ДЕРЮГИНА (ОХОТСКОЕ МОРЕ)

Ю.М. Иванова¹, М.Г. Блохин¹, В.В. Ивин², П.Е. Михайлик¹, Е.В. Михайлик¹, Е.В. Еловский¹, Н.В. Зарубина¹, В.В. Иванов¹, Д.С. Остапенко¹

¹ДВГИ ДВО РАН, Владивосток, blokhin@fegi.ru

²ННЦМБ ДВО РАН, Владивосток, victor.ivin@mail.ru

Аутигенные морские баритовые образования ($BaSO_4$) встречаются в разнообразных геологических обстановках, а их формирование обусловлено различными физико-химическими, а также биологическими процессами. В морской обстановке существует несколько различных способов образования барита, которые сводятся к взаимодействию между собой водными массами, обогащенными барием (флюид) и сульфат ионом (обстановка осаждения). В результате перенасыщения раствора происходит выпадение сульфата бария. Источник флюидов (морская вода, поровые воды или гидротермальный раствор) и среда (толща воды, поверхность дна, осадки, холодные сипы или обстановки гидротермального рудогенеза) влияют на геохимические характеристики барита. Выделяется четыре общих режима формирования барита: (1) гидрогенный или пелагический, образующийся в водной толще при разложении органического вещества, богатого барием; (2) гидротермальный - выпадает при смешении обогащенных Ва гидротермальных флюидов и морской воды вблизи дна; (3) диагенетический – формируется в толще осадка в результате постседиментационных диагенетических процессов; (4) барит, сформировавшийся в результате развития в осадочном бассейне флюидов или холодных сипов, насыщенных барием, которые поставляются к поверхности дна тектоническими и гидрологическими процессами, не связанными с вулканической или гидротермальной активностью [7].

Бариты впадины Дерюгина впервые были драгированы в 1981 г. Б.И. Васильевым и идентифицированы М.И. Липкиной в 1987 г. [2] В последующие годы был выполнен значительный объем экспедиционных и лабораторных исследований. Полученные данные, позволили оценить площадь баритоносной поверхности дна, как потенциально крупное месторождение барита с прогнозными ресурсами 3-10 млн. т. [6].

Вопрос о происхождении и источниках вещества формирующего баритовые постройки до сих пор остается открытым. Одни исследователи считают, что формирование баритов связано с низкотемпературной гидротермальной деятельностью [1, 3], другие – связывают их образование с холодной газовой-флюидной эманацией (холодные сипы) [4, 6].

В настоящее время при интерпретации данных о генезисе горных пород используют сведения по составу в них редкоземельных элементов (РЗЭ, лантаноиды). Эта группа металлов является уникальной за счет своих химических свойств и при различных физико-химических показателях морской среды формирует особый состав, который отражает условия формирования. Такая способность возникает за счет инертности составов РЗЭ в природных процессах, которая позволяет наследовать составы лантаноидов исходного вещества.

Данная работа посвящена изучению распределения РЗЭ в баритах котловины Дерюгина с целью определения источника вещества (гидротермальный или холодные сипы), формирующего эти образования.

Материалом для работы послужили образцы, поднятые дночерпателем в котловине Дерюгина (Охотское море) в 54-м рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2011 г. на станциях Lv54-7-4 (53,988° с.ш.; 146,310° в.д., глубина – 1460 м), Lv54-35 (54,004° с.ш.; 146,292° в.д., глубина – 1492 м). При интерпретации данных по составу РЗЭ в баритах были также использованы результаты по содержанию РЗЭ в придонной морской воде, отобранной с глубины 1444 м на станции Lv54-7-1 (53,985° с.ш.; 146,309° в.д.).

Минеральный состав баритов был изучен методом порошковой микроdifфрактометрии (аналитик Груда Н.В.) на диффрактометре MiniFlex II производства RIGAKU (Япония) и методом сканирующей электронной микроскопии СЭМ (аналитики Поселюжная А.В. и Красненко А.Е) на электронном микроскопе Tescan Lyra3 (Чехия). Анализ был выполнен в ЦКП ДВГИ ДВО РАН.

Определение концентраций РЗЭ в баритах выполнялось с применением метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной

плазмой (ИСП-МС), который на сегодняшний день известен как наиболее точный метод для определения низких концентраций РЗЭ в различных геологических образцах. Анализ проводился нами из растворенного вещества, с целью получить максимальную представительность и однородность проб. Бариты, состоящие на 95% из сульфата бария ($BaSO_4$), относятся к очень труднорастворимым природным объектам с точки зрения подготовки проб к анализу. К основным способам их вскрытия при переводе в раствор можно отнести сплавление и спекание с различными плавнями.

По данным порошковой микродифрактометрии и СЭМ образование сложено чистым баритом. Форма и морфология кристаллов барита является типичной для диагенетических образований различных областей Мирового океана [7].

Полученные данные по содержанию РЗЭ в баритах котловины Дерюгина и пробе морской воды представлены в таблице.

Таблица. Содержание РЗЭ в баритах (г/т) и концентрация в морской воде (нг/л) из впадины Дерюгина (Охотское море)

Элемент	Lv54-7-4/4	Lv-54-35	Lv54-7-4/2	Lv54-7-1
La	0,574	0,626	0,163	5,220
Ce	0,809	0,417	0,090	3,376
Pr	0,097	0,069	0,011	0,770
Nd	0,359	0,279	0,035	3,173
Sm	0,072	0,067	0,010	0,628
Eu	0,003	0,008	0,001	0,160
Gd	0,091	0,093	0,012	0,819
Tb	0,020	0,019	0,003	0,110
Dy	0,093	0,084	0,013	0,804
Ho	0,020	0,017	0,003	0,202
Er	0,063	0,053	0,008	0,661
Tm	0,011	0,010	0,002	0,091
Yb	0,063	0,056	0,010	0,568
Lu	0,012	0,011	0,002	0,093

Найденные величины для баритов составили от $n \cdot 10^{-1}$ г/т для легких РЗЭ, до $n \cdot 10^{-3}$ г/т для средних и тяжелых.

Отношение легких РЗЭ к тяжелым выражается как La_{cn}/Lu_{cn} (cn – нормализованные по сланцу). Это отношение в изученных нами баритах изменяется в пределах 0,54 - 0,96 и близко для придонной морской воды котловины Дерюгина (0,63). Повышение содержания тяжелых лантаноидов в гидротермальных баритах не выявлено [5]. Такой состав РЗЭ в баритах возникает в результате влияния их растворенных форм в морской воде.

Величина цериевой аномалии (Ce^*), рассчитанная как $Ce/Ce_{paas}/((0,5 \cdot La/La_{paas}) + (0,5 \cdot Pr/Pr_{paas}))$, меньше единицы, так же наследуется из морской воды (рис. 4). Обеднённость церием охотоморских баритовых построек, скорее всего, указывает на быструю скорость роста этих образований. Положительной (>1) цериевой аномалией в океане характеризуются гидрогенные железомарганцевые образования, в которых церий накапливается за счет оксидативной сорбции еще в водной толще на взвешенных оксигидроксидах Fe-Mn (Дубинин, 2006).

Величина европиевой аномалии ($Eu^* = Eu/Eu_{paas}/((0,5 \cdot Sm/Sm_{paas}) + (0,5 \cdot Gd/Gd_{paas}))$) изменяется от 0,20 до 0,59. Это свидетельствует об отсутствии вклада гидротермального вещества при формировании баритов, так как подавляющее большинство морских образований сформированных в результате гидротермальной деятельности характеризуются величиной $Eu^* > 1$.

Суммируя вышеизложенный материал, стоит сделать вывод, что с большой долей вероятности на формирование баритовых построек гидротермальная составляющая не оказывает значительного влияния. Отсутствие температурных аномалий в районе проявления баритовой минерализации, геохимия поровых вод вмещающего осадка, морфология кристаллов, особенности химического и изотопного составов баритов котловины Дерюгина, а также распределение в них РЗЭ свидетельствуют о ведущей роли холодных сипов при формировании баритовой залежи. Не стоит забывать и об участии микроорганизмов при формировании морских аутигенных минералов. Для более точного установления генезиса баритов котловины Дерюгина необходимо более

детальное изучение не только минеральных и геохимических критериев, но также важны углубленные микробиологические исследования.

Литература

1. Астахов А.С., Ивин В.В., Карнаух В.Н., и др. Современные геологические процессы и условия формирования баритовой залежи в котловине Дерюгина Охотского моря // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 2. С. 200-214.
2. Астахова Н.В., Липкина М.И., Мельниченко Ю.И. Гидротермальная баритовая минерализация во впадине Дерюгина Охотское море // Докл. АН СССР. 1987. Т.295, № 1. С. 212-215.
3. Ахманов Г.Г. Егорова И.П., Михайлик П.Е., и др. К генезису травертиноподобных баритов впадины Дерюгина (Охотское море) // Отечественная геология. 2015. № 1. С. 82-88.
4. Деркачев А.Н., Борман Г., Грайнерт Й., и др. Аутигенная карбонатная и баритовая минерализация в осадках впадины Дерюгина (Охотское море) // Литология и полез. Ископаемые. 2000. № 6. С. 568-585.
5. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 359 с.
6. Aloisi G., Wallmann K., Bollwerk S.M., et al. The effect of dissolved barium on biogeochemical processes at cold seeps. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2004. V. 68. P. 1735–1748.
7. Griffith E.M., Paytan A. Barite in the ocean- occurrence, geochemistry and palaeoceanographic applications // *Sedimentology*. 2012. V.59. P. 1817-1835.
- Guichard F., Church T.M., Treuil M., et al. Rare earth in barites: distribution and effects on aqueous partitioning // *Ibid*. 1979. V. 43, N 7. P. 983-997.

ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВОЕ РУДООБРАЗОВАНИЕ НА ПОДВОДНОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ БЕЛЯЕВСКОГО В ЯПОНСКОМ МОРЕ:

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И НОВЫЕ ДАННЫЕ

О.Н. Колесник, Е.И. Ярошук, Е.А. Лопатников

*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, kolesnik_o@poi.dvo.ru,
e.yaroshchuk@poi.dvo.ru*

Среди морей, омывающих берега России, Японское море выделяется особенно широким развитием железомарганцевой минерализации. Последняя приурочена к привершинным частям подводных возвышенностей вулканического происхождения.

Возвышенность Беляевского относится к числу перспективных объектов, рекомендованных для детального изучения [1, 2].

Возвышенность Беляевского расположена в глубоководной Центральной (Японской) котловине Японского моря. Это меридионально ориентированный хребет протяженностью около 35 км и высотой 1400–1500 м с подножием на глубине 3500 м (рис. 1). Возвышенность имеет две главные вершины – северную, осложненную более мелкими конусами, и южную.

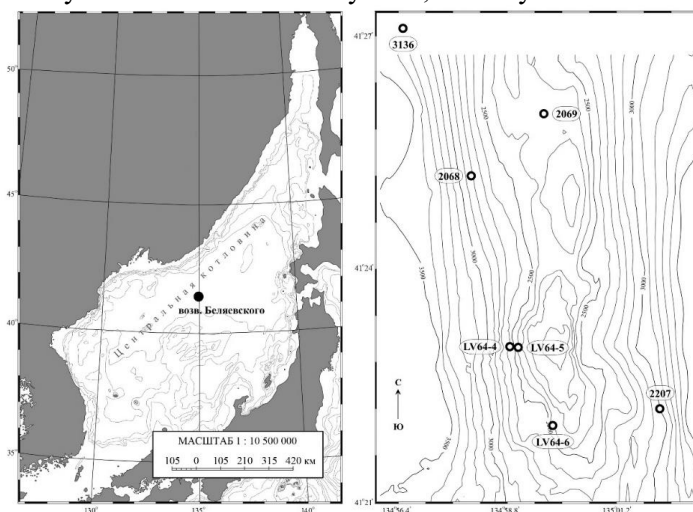


Рисунок 1. Положение возвышенности Беляевского в Центральной котловине Японского моря (слева) и батиметрическая карта района исследования [6] с указанием всех станций драгирования железомарганцевых образований (справа, кружки с номерами).

2068, 2069 – 36-й рейс НИС «Первенец», 1980 г., ТОИ ДВНЦ АН СССР; 2207 – 37-й рейс НИС «Первенец», 1981 г., ТОИ ДВНЦ АН СССР; 3136 – 35-й рейс НИС «Дмитрий Менделеев», 1985 г., ИО АН СССР; LV64-4, LV64-5, LV64-6 – 64-й рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев», 2013 г., ТОИ ДВО РАН.

С 1980 г. на склонах возвышенности Беляевского ведутся драгировочные работы (рис. 1). На всех станциях подняты обломки базальтов (возвышенность сложена этими породами). Почти во всех точках опробования, за исключением самых глубоководных с отметками более 3100 м, обнаружены

железомарганцевые образования. Подробнее всего изучен рудный материал с северных станций 2069 и 3136 [1, 2, 4, 5, 7 и др.]. Образцы с южной вершины (станция 2207, восточный склон возвышенности) не сохранились, поэтому любая информация по этому участку представляется крайне актуальной.

Цель нашей работы – представить в систематизированном и обобщенном виде фактический и аналитический материал, накопленный за все время изучения железомарганцевых образований возвышенности Беляевского (обзор литературы), и дополнить его новыми данными. Для получения новых данных изучена серия образцов железомарганцевых образований, впервые драгированных на южной вершине возвышенности Беляевского со стороны западного склона (рис. 1) [5]. Драгирование проведено на трех станциях с глубин 2800–2150 м в 64-м рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев», 2013 г. На станции LV64-6 совместно с базальтами, туфодиазомитами и рыхлыми глинистыми отложениями поднято около 40 кг обломков железомарганцевых образований, на станциях LV64-4 и LV64-5 – по 6–7 кг.

Анализ литературных источников [1, 2, 4, 5, 7 и др.] и новых данных (рис. 2, табл., [6]) показал, что железомарганцевое оруденение на возвышенности Беляевского в Японском море имеет значительное площадное распространение – на северной и южной вершинах, со стороны западного и восточного склонов.

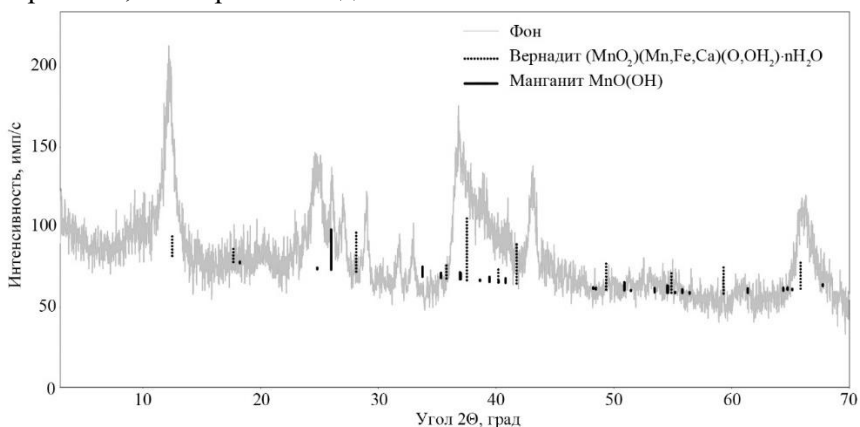


Рисунок 2. Рентгенодифрактограмма рудного вещества железомарганцевой корки с возвышенности Беляевского (станция LV64-5,

западный склон южной вершины) с выделенными пиками вернадита и манганита.

Анализ выполнен в порошке на минидифрактометре MiniFlex, $\text{CuK}\alpha$ -излучение.

Таблица. Химический состав железомарганцевых образований с западных склонов южной вершины возвышенности Беляевского

Параметр	Станция LV64-4		Станция LV64-5		Станция LV64-6	
	1	2	3	4	5	6
Макроэлементы, %						
Mn	41,77	34,92	33,91	23,56	40,44	16,46
Fe	2,52	6,04	8,89	8,75	2,19	19,77
Si	2,53	4,40	3,37	12,08	2,22	9,48
Al	–	1,14	0,31	4,00	1,21	2,27
K	0,84	0,83	0,72	1,54	0,43	0,68
Mg	–	–	1,63	1,20	–	1,55
Ca	0,39	0,88	0,71	0,69	0,83	1,31
Ti	0,44	0,20	0,31	0,19	0,22	0,03
Микроэлементы, г/т						
Sr	1248,66	664,81	955,56	576,63	659,46	338,43
As	48,62	55,02	76,68	50,47	15,71	84,62
Ni	592,62	686,56	372,81	2069,49	629,66	461,93
Cu	110,94	272,59	66,38	904,32	106,21	30,81
Zn	192,39	250,18	185,40	599,98	175,15	58,87
Mo	157,52	280,05	97,88	138,40	128,90	134,93
W	217,62	125,80	135,65	72,63	175,50	54,39

1–6 – группы образцов, поднятых в пределах одной станции, с указанием наиболее характерных морфологических черт и количества проанализированных проб (n): 1 – черные и темно-серые, тяжелые, плотные, с редкими выделениями хрупкого вещества зеленого цвета (n=5); 2 – в основном темноокрашенные, среднего веса и легкие, с включениями желтовато-зеленого и бурого рыхлого материала (n=6); 3 – преимущественно темноцветные плотные плитки, иногда со светлым до белого налетом (n=6); 4 – различной формы, в целом легкие (n=3); 5 – различной формы, в том числе плитчатые и шлаковидные, тяжелые, в основном черного цвета (n=3); 6 – плитчатые, в том числе с полостью, содержащей слаболитифицированный осадок, на глинистом основании и с белесым налетом в верхней части (n=3).

Прочерком отмечено стабильно низкое содержание химического элемента, не регистрируемое прибором. Химический состав проб,

предварительно растертых и спрессованных на подложке из борной кислоты, определялся с помощью портативного рентгенофлуоресцентного анализатора Innov-X α -6000 с портативным компьютером HP-iPAQ в режиме «геохимия».

В вертикальном профиле процесс ограничен интервалом 2800–2150 м, наибольшая продуктивность наблюдается на отметках выше 2500 м. Глубже 3100 м железомарганцевые образования уже не встречаются. В морфологическом ряду преобладают черные, темно-серые корки (плитки) мощностью 2–7 см, в нижней части которых фиксируются выделения рыхлого глинистого вещества желтовато-зеленого, бурого цвета. Строение корок сложное. Главные рудные минералы – бернессит и тодорокит с небольшим количеством вернадита. Отдельные тяжелые образцы сложены вернадитом и манганитом (подобный минеральный состав описан для Японского моря впервые), бернесситом и пиролюзитом (первая находка на возвышенности Беляевского и вторая в Японском море [3]). Рудные минералы встречаются не только в виде массивных скоплений, но и выступают в роли цемента, скрепляющего обломки измененных базальтов (шлаковидные брекчии) и агрегаты глинистых минералов группы глауконита. Последние бывают пропитаны/пронизаны веществом кремнистого состава и в таком случае представляют собой фрагменты крепкой кремнисто-глауконитово-марганцевой породы.

По результатам химического анализа, на возвышенности Беляевского развиты существенно марганцевые образования (до 62,07 % Mn) с примесью кремния, переменным, но в целом низким содержанием железа (0,04–19,77 %, без учета локальных охристых выделений) и повышенным – кальция, натрия, органического вещества (до 3,46, 5,04 и 0,47 % соответственно), а также серы (в среднем 0,18 %). Имеет место обогащение корок барием до 2,9 %, литием до 0,5 % и стронцием до 0,3 % при очень низком содержании цветных, редких, благородных металлов (десятые и сотые доли процента с преобладанием никеля, кобальта, молибдена) и редких земель (суммарное содержание – десятки граммов на тонну с преобладанием церия, лантана, иттрия). При электронно-микронном анализе выявлены участки корок с

волокнистым органическим веществом, напоминающим бактериальные маты; в железокремнистой матрице обнаружены пятнистые выделения барита и баритоцелестина, в марганцевой – примесь бария до 6,4 % [1]. Кроме того, установлено, что цветные, благородные и некоторые другие металлы (Cu, Zn, Sn, Ni, W, Cr, Fe, Ag, La, Ce, Nd) образуют собственные минеральные фазы (зерна), которые характеризуют высоко- и среднетемпературные условия минералообразования. Это самородные элементы, сульфиды, сульфаты, оксиды, интерметаллические соединения. Размер зерен обычно не превышает первых микрометров. Они приурочены к матрицам различного состава, к их границам, трещинам, обнаруживаются между слоями в почках гидроксидов марганца. В измененных базальтах возвышенности Беляевского содержится практически тот же комплекс металлов с аналогичными минеральными формами выделения, что и в рудных корках, а часть пор базальтов заполнена гидроксидами марганца [1]. Это предполагает наложенный характер цветно-благороднометальной минерализации и единый источник металлов – поствулканический газогидротермальный [1]. Сами железомарганцевые корки возвышенности Беляевского, как и всего Японского моря, по совокупности морфологических, минералогических и геохимических признаков относятся к гидротермальным, гидротермально-осадочным [1–5, 7]. Доказано, что вулканизм на подводных возвышенностях Японского моря имел длительный (начиная со среднего миоцена) и пульсирующий характер, что определило широкое развитие и долговременность поствулканических гидротермальных процессов. Не исключено, что слабые поствулканические процессы имеют место на некоторых вулканах и в настоящее время. Возраст железомарганцевых корок возвышенности Беляевского оценивается как позднеплейстоценовый [7]. Таким образом, это достаточно молодые быстрорастущие образования. Скорость их роста достигает нескольких миллиметров в тысячу лет. В периоды затухания поствулканической деятельности рост корок, очевидно, происходил гораздо медленнее за счет гидрогенной поставки вещества [5].

Авторы признательны А.А. Карабцову за проведение рентгенофазового анализа и А.Н. Колеснику за помощь в подготовке графического материала. Исследование выполнено при финансовой поддержке программы «Дальний Восток» (проект № 18-1-008).

Литература

1. Астахова Н.В., Колесник О.Н., Съедин В.Т. Цветные, благородные и редкоземельные металлы в железо-марганцевых корках и базальтах возвышенности Беляевского (Японское море) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2. Вып. № 16. С. 231–245.
2. Астахова Н.В., Лопатников Е.А. Марганцевые руды Японского моря (экономическая зона России) // Природа. 2017. № 12. С. 45–51.
3. Астахова Н.В., Съедин В.Т., Можеровский А.В., Лопатников Е.А. Первая находка массивного пиролюзита в глубоководной котловине Японского моря // ДАН. 2015. Т. 462. № 1. С. 68–72.
4. Батурин Г.Н. Геохимия гидротермальных железомарганцевых корок Японского моря // ДАН. 2012. Т. 445. № 2. С. 179–184.
5. 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.
6. Отчет о результатах экспедиционных исследований в рейсе № 64 НИС «Академик М.А. Лаврентьев», Японское море (19 октября – 01 ноября 2013 г.). Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2014. 151 с.
7. Скорнякова Н.С., Батурин Г.Н., Гурвич Е.Г., Успенская Т.Ю., Краснов С.Г., Гнидаш М.И. Железо-марганцевые корки и конкреции Японского моря // Докл. АН СССР. 1987. Т. 293. № 2. С. 430–434.

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ И СОСТАВ ДИАТОМОВОЙ ФЛОРЫ ДОННЫХ ОСАДКОВ ЧУКОТСКОГО МОРЯ (LV-77-3)

А.Е. Коляда¹, М.С. Обрезкова²

¹ФГБОУ ВО «ДАЛЬРЫБВТУЗ», Владивосток, kolyada.nastya970@mail.ru

²ТОИ ДВО РАН, Владивосток, obrezkova@poi.dvo.ru

В морях и океанах, а также в водоемах суши в огромных масштабах идет осаждение кремнезема; диатомовые водоросли играют в этом процессе главную роль, они извлекают растворенный кремнезем из воды для построения своих панцирей. В морских водоёмах кремнистые осадки накапливаются за счет не

только диатомей, но также радиолярий и других кремневых организмов, тогда как в континентальных водоемах единственными организмами, поставляющими кремнезем в осадки, являются диатомеи. Таким образом, совершенно очевидна та исключительная роль, которая приходится на долю диатомей в процессе органогенного осадконакопления кремнезема [1].

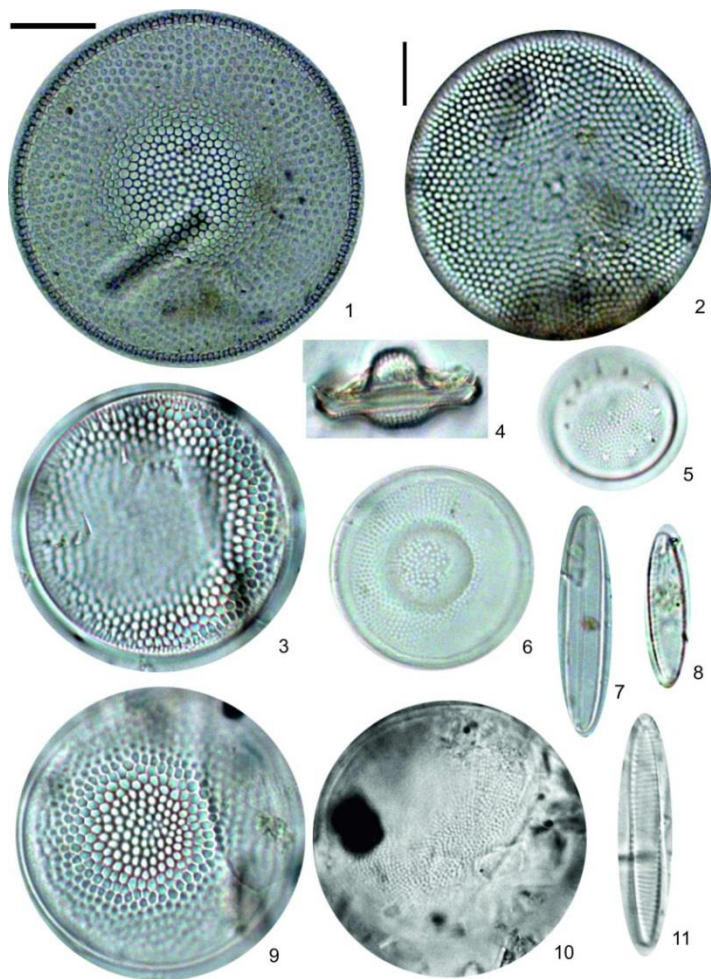
В современную эпоху диатомеи являются осадкообразующими организмами различных водоемов и представляют собой одну из наиболее информативных палеонтологических групп. Благодаря кремневому скелету диатомеи хорошо сохраняются, что позволяет использовать их для датирования вмещающих их осадков и восстанавливать условия осадконакопления. Ведь существует строгая зависимость распространения видов диатомовых водорослей от экологических факторов [3].

Материалом для изучения послужила колонка донных осадков LV-77-3-1, отобранная в 2016 г. сотрудниками ТОИ ДВО РАН с борта НИС “Академик Лаврентьев” гравитационной трубкой ГСП-2 в юго-западной части Чукотского моря. Изучение диатомовых водорослей проводилось в лаборатории геологических формаций ТОИ ДВО РАН с помощью светового микроскопа IMAGER.A1 при увеличении x1300. Фотографирование диатомей проводилось с помощью цифровой фотокамеры AxioCam.MRC.

Содержание диатомей в осадках отражает продуктивность поверхностных вод, которая в бореальных и субарктических районах увеличивается в тёплые эпохи, уменьшается в холодные и является важным показателем при палеореконструкциях [2].

LV-77-3-1 Чукотского моря была выявлена богатая диатомовая флора, представленная 161 видом принадлежащими 61 роду. Наибольшее количество видов характерно для родов *Chaetoceros* (15 видов), *Navicula* (12), *Thalassiosira* (10), *Coscinodiscus* (8), *Diploneis* (8), *Actinocyclus* (7).

На основе количественного содержания диатомей и экологической структуры диатомовых комплексов в осадках колонки Lv-77-3-1 было выделено 6 временных зон, характеризующихся различными природными обстановками в период осадконакопления.



Диатомеи, характерные для осадков колонки LV-77-3-1. 1 - *Coscinodiscus oculus iridis*, 2 - *Actinocyclus curvatulus*, 3,9 - *Thalassiosira antarctica*; 4, 6 - *Bacterosira bathyomphala*, 5 - *Thalassiosira nordenskiöldii*, 7 - *Pauliella taeniata*, 8, 11 - *Fragilariopsis oceanica*, 10 - *Porosira glacialis*. Масштабная линейка для всех фигур – 10 мкм, кроме фиг. 1 – 50 мкм.

Доминирующим по численности в зоне 1 является планктонный вид *Chaetoceros* spp. В зоне 2 самым многочисленным является морской ледово-неритический вид *Thalassiosira antarctica*. В зоне 3 по-прежнему высока численность

вида *Thalassiosira antarctica*, а также тихопелагического вида *Paralia sulcata* и группы криофильных видов. В зоне 4 доминируют индикаторы высокопродуктивных берингоморских шельфовых вод *Bacterosira bathyomphala*, *Thalassiosira nordenskioldii*, представители рода *Chaetoceros*. В зоне 5 доминирует вид *Thalassiosira antarctica*, многочисленен бентосный вид *Paralia sulcata*. В зоне 6 зафиксировано максимальное содержание диатомей в колонке (9,8 млн створок/г), доминантными являлись планктонные неритические виды: *Bacterosira bathyomphala*, *Thalassiosira antarctica* [4].

Смена доминирующих видов и изменения в экологической структуре диатомовых комплексов свидетельствуют о различных природных обстановках в период накопления осадков изученной колонки.

Авторы признательны А.С. Астахову за предоставление материала и Л.В. Осиповой за техническую обработку образцов и приготовление препаратов. Работа проведена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 18-35-00384).

Литература

1. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные) / отв. ред. А.И. Прошкина-Лавренко, ред. З.И. Глезер, А.П. Жузе, И.В. Макарова, В.С. Шешукова-Порецкая. СПб.: Наука, 1974. Т. 1. 403 с.
2. Жузе А.П. Диатомей в осадках плейстоценового и позднеплиоценового возраста бореальной области Тихого океана // Основные проблемы микропалеонтологии и органогенного осадконакопления в океанах и морях. М.: Наука. 1969. С. 5–27.
3. Обрезкова М.С. Диатомей в поверхностных осадках Чукотского моря // Вестник ДВО РАН. 2012. № 6. С. 42–49.
4. Цой И.Б., Обрезкова М.С., Аксентов К.И., Астахов А.С., Ши Суэфа, Ху Лимин, Коляда А.Е. Изменение среды южной части Чукотского моря в позднем голоцене на основе диатомового анализа // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии, Москва, 20–24 ноября 2017 г. Т. 1. С. 258–262.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАХОДКИНСКОГО РИФА ИЗ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ И РИФА ЛЕНГВУ ИЗ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КИТАЯ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ СФИНКТОЗОА

Е. Н. Малышева

ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток, rumbum@yandex.ru

Пермские известняки Южного Приморья России и Южного Китая содержат обилие ископаемой фауны (водоросли, губки, моллюски, криноидеи, кораллы, мшанки, гидрозоа), среди которой обнаруживаются сфинктозоа. Иногда они росли в виде обособленных колоний, но чаще выступали в роли основных каркасостроителей рифов.

Автору достались коллекции шлифов Г. В. Беляевой, отобранные в Китае на рифогенном органогенном массиве вблизи поселка Тунлу (в статьях китайских ученых [4, 5] данный риф упоминается как Ленгву), которые она любезно передала для дальнейшего изучения.

В процессе работы были проведены исследования на Находкинском рифе и изучен материал по рифу Ленгву из Южного Китая. Проводилась сравнительная характеристика систематического состава фауны в известняках с обоих рифов, выяснялся количественный состав сфинктозоа.

Сфинктозоа из известняковых отложений Находкинского рифа изучала Г. В. Беляева совместно с другими учеными [2, 3]. Ею было выделено 13 новых видов, четыре рода и одно семейство. Автор статьи дополнил имеющиеся сведения о сфинктозоа на Находкинском рифе.

Находкинский риф расположен на северной оконечности г. Находка. Он имеет в рельефе форму куполовидной возвышенности и простирается примерно на 15 м в длину и 40 м в ширину [2]). В связи с ежедневной разработкой карьера в настоящее время от массива осталась примерно 1/2 часть. Основной органический состав рифа – это сфинктозоа, кораллы, фораминиферы, криноидеи, водоросли. В небольшом количестве присутствуют двустворчатые моллюски, аммоноидеи, мшанки. Следует отметить, что основными каркасостроителями были сфинктозоа совместно с криноидеями, которые встречаются на всем протяжении рифа.

Особенно много их в составе ядра рифа (в верхней части массива), где они образуют крупные ветвистые колонии. В нижней части массива сфинктозоа также часты.

Фации биостромов и биогермов сложены криноидеями, мшанками, сфинктозоа, кораллами. Также здесь встречены брахиоподы, двустворчатые моллюски. Наиболее разнообразны по составу организмов фации ядра рифа. Они сложены многочисленными сфинктозоа и криноидеями. В меньшей степени присутствуют мшанки, губки, гидроидные. В зарифовой фации, сложенной темно-серыми до черных пелитоморфными известняками, присутствуют юные формы сфинктозоа и водоросли. Фации склона сложены обломочными известняками с криноидеями, сфинктозоа, губками, мшанками, гидроидными.

Изученный материал показал, что сфинктозоа были основными каркасостроителями Находкинского рифа, наряду с водорослями и криноидеями. Анализ систематического и количественного состава сфинктозоа в известняках Находкинского рифа показывает, что данные организмы имеют прямое отношение ко всем стадиям формирования рифа. Они встречаются в составе биостромов, биогермов, ядра рифа и в зарифовых фациях. Фации биогермов и биостромов сложены каркасными известняками с криноидеями, водорослями. Наиболее многочисленные в количественном отношении и разнообразные по составу сообщества отмечаются в биогермных известняках и ядре рифа. Максимальное разнообразие сфинктозоа встречается в составе ядра рифа в верхней его части. Здесь наблюдаются крупные ветвистые колонии сифонатного и асифонатного типов (*Amblysiphonella*, *Rhabdactinia*, *Colospongia*, *Intrasporeocoelia*). Также встречаются одностенники (*Sollasia*). Более редкие - чешуйчатые стелющиеся формы (*Cystothalamia*, *Celyphia*). Зарифовые фации сложены темно-серыми пелитоморфными известняками со сфинктозоа и водорослями. Сфинктозоа здесь отличаются небольшими размерами, тонкими скелетами и обилием молодых недоразвитых ветвей. Среди них преобладают асифонатные формы (*Cystothalamia*, *Celyphia*, *Follicatena*). В нижней части массива встречаются в основном *Colospongia* и *Amblysiphonella* [2].

Всего на Находкинском рифе встречается 7 семейств, 14 родов и 28 видов.

Китайский риф Ленгву расположен в одноименном поселке, уезде Тунлу провинции Чжэцзян [4, 5]. Он состоит в основном из водорослей, губок, гидрзооа, мшанок. Рифовые известняки залегают на прослоях аргиллита с тонким песчаником. Риф имеет линзовидную форму рельефа.

Изучением рифа Ленгву занимались многие китайские ученые. Более глобальное изучение рифа провели Шень и Кавамура [5], которые дали ему точную палеоэкологическую характеристику, дающую представление о развитии рифа.

В 1994 г. Г. В. Беляева совместно с Ян Ван-жень посетили разрез пермских отложений у поселка Тунлу. Беляевой были там впервые послойно по разрезу отобраны образцы со сфинктозоа. В дальнейшем ею были выделены новые таксоны: род *Tongluspongia* Belyaeva, 2000 с видом *Tongluspongia yangae* Belyaeva, 2000 и род *Chinaspongia* Belyaeva, 2000 с видом *Chinaspongia fani* Belyaeva, 2000, а также виды *Celyphia bacula* Belyaeva, 2000 и *Rhabdactinia reticulatus* Belyaeva, 2000 [1].

Сравнительный палеонтологический анализ рассматриваемых рифов показал, что для них общими являются следующие роды сфинктозоа: *Sollasia* Steinmann, 1882, *Celyphia* Pomel, 1872, *Colospongia* Laube, 1864, *Amblysiphonella* Steinmann, 1882, *Intrasporeocoelia* Fan and Zhang, 1985, *Rhabdactinia* Yabe and Sugiyama, 1934 и *Cystothalamia* Girty, 1908. Общими видами, обнаруженными на обоих массивах являются *Sollasia arta* Belyaeva, 1991, *Colospongia nachodkiensis* Belyaeva, 1987, *Chinaspongia fani* Belyaeva, 2000, *Intrasporeocoelia hubiensis* Fan and Zhang 1985, *Rhabdactinia cf. columnaria* Yabe et Sugiyama, 1934. Кроме того, на рифе Ленгву Беляевой был найден вид *Cystothalamia nodulifera* Girty, 1908, схожий с формой из известняков Находкинского рифа, описанной ею как *Cystothalamia aff. nodulifera* Girty, 1908.

Проведенные глобальные исследования рифа Ленгву китайскими учеными [4, 5] показали, что данный риф произошел в прибрежной мелководной обломочной дельте терригенного осадконакопления. Он развивался с перерывами, которые были вызваны периодическим обмелением и притоком терригенного

материала. Об этом свидетельствуют и находки сфинктозоа. Находкинский риф, наоборот, развивался непрерывно [2]. Он был расположен также вблизи от берега в зоне малоподвижного мелководья. Также исследования показали, что отложения рифа Ленгву соответствуют среднепермскому возрасту [4, 5, 6, 7], а Находкинского рифа – концу среднепермского - началу верхнепермского возраста [2, 3]. Проведя сравнительную характеристику между этими двумя рифами на основе изучения фауны и, в частности, сфинктозоа, а также палеоэкологии можно сделать предположение о том, что Находкинский риф и риф Ленгву проявляют некоторое сходство в возрасте, условиях осадконакопления и развитии.

Автор выражает благодарность Г. В. Беляевой за любезно предоставленные материалы, д.г.-м.н. И. В. Кемкину, к.г.-м.н. Т. А. Пуниной и, д.г.-м.н. Ю. Д. Захарову за ценные замечания к статье.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект мол_а № 18-35-00063 и частичной финансовой поддержке РФФИ, проект А № 18-05-00023.

Литература

1. Г. В. Беляева. Новые таксоны сфинктозоа из пермских рифов юго-восточного Китая // Палеонтологический журнал. 2000. № 2. С. 41-46.
2. Беляева Г.В., Тащи С.М. Органогенные постройки верхней перми Приморья // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 15. № 3. С. 50-67.
3. Бойко Э. В., Беляева Г. В., Журавлева И. Т. Сфинктозоа фанерозоя территории СССР. М.: Наука, 1991. 222 с.
4. Liu L., Wu Y. S., Jiang H. X., Liu H. Growth characteristics and sedimentary mode of Permian reefs, Lengwu, Tonglu, Zhejiang Province, southern China // Journal of Palaeogeography. 2016. 5 (4). P. 409-422.
5. Shen J. W., Kawamura Toshio. Gaudalupian algae-sponge reefs in siliclastic environments – The reefs at Lengwu (South China) compared with the reef at Iwaizaki (Japan) // Facies. 2001. 45. P. 137-156.
6. Xun L. The sedimentary microfacies and geochemistry characteristics of Tonglu sponge reef-mound Zhejiang Province. The abstract to his dissertation. South China. 1992.
7. Yang W. R. Sedimentology and microfacies Analysis of reef Mound from late Permian Chansing Formation at Laolongdong, Beipei of Chongqing, China // Palaeoecology of China. 1991. Vol.1. P.300-319.

ИЗВЕСТКОВЫЙ НАННОПЛАНКТОН ИЗ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА ЧЁРНОГО МОРЯ

Л.М. Матлай

ИГН НАН Украины, г. Киев, lidijamatlaim@gmail.com

На северо-западном шельфе Чёрного моря наиболее полно меловой разрез вскрыт поисковой скважиной Олимпийской-400, пробуренной на Краевом уступе шельфа [2], где нижнемеловые отложения представлены породами верхнего баррема, нижнего - верхнего апта, среднего (?) и верхнего альба, а верхнемеловые – только нижним и верхним кампаном. Охарактеризованы они фораминиферами (Л.Ф. Плотникова и другие) и наннопланктоном (А.В. Шумник) [1-2].

С целью более детального стратиграфического расчленения установленных ранее подразделений нами было проведено изучение в них известкового наннопланктона. Систематическое его положение определялось по классификации П.Р. Боуна и Д.Р. Юнга [3].

Многочисленные комплексы известкового наннопланктона в нижней части разреза (интервалы 3120-3140 м и 3275 м) определены в алевролитах тёмно-серых глинистых карбонатных, битуминозных, с зёрнами пирита и глауконита, редкими тонкостенными фораминиферами, обломками моллюсков (*Pecten* sp., *Ostrea* sp.) и остатками углефицированных растительных остатков: *Micrantholithus obtusus* Stradner, *M. hoschulzii* (Reinhardt) Thierstein, *Nannoconus kamptneri* subsp. *kamptneri* Brönnimann, *N. bucheri* Brönnimann, *N. elongatus* Brönnimann, *N. inornatus* Rutledge and Bown, *N. globulus* subsp. *globulus* Brönnimann, *Rotelapillus laffittei* (Noël) Noël, *Retecapsa crenulata* (Bramlette and Martini) Grün, *Discorhabdus ignotus* (Górka) Perch-Nielsen, *Assipetra infracretacea* (Thierstein) Roth, *Helenea chiasia* Worsley, *Zeughrabdotos diplogrammus* (Deflandre) Burnett, *Z. scutula* (Bergen) Rutledge, *Z. embergeri* (Noël) Perch-Nielsen, *Tegumentum stradneri* Thierstein, *Loxolithus armilla* (Black) Noël, *Lithraphidites carniolensis* Deflandre и другие. Последнее появление вида *Nannoconus inornatus* Rutledge and Bown зафиксировано в барреме [3]. По таксономическому составу комплекс относится к

нанопланктонной зоне NC5 в объёме верхней части нижнего – верхнего баррема (отсутствует вид *Calcicalathina oblongata* (Worsley) Thiers.) [3].

В аргиллитах тёмно-серых бескарбонатных тонкослоистых с линзовидными включениями кальцита интервала 3320-3598 м наннопланктон представлен единичными видами рода *Watznaueria*, *Zeugrhabdotus* sp., *Helenea chiastia* Worsley, *Rhagodiscus asper* (Stradner) Reinhardt, *Nannoconus* sp., что позволяет определить только меловой возраст этих отложений.

Аптский комплекс известкового наннопланктона выявлен в образцах керна интервала 2820-2995 м. В глинах карбонатных слоистых, уплотнённых интервала 2995 м богатый комплекс кокколит состоит из 35 видов и 21 рода. Наличие видов *Eprolithus floralis* (Stradner) Stover, *Micrantholithus obtusus* Stradner и *Nannoconus truittii* subsp. *truittii* Brönnimann датирует возраст отложений как ранний – низы среднего апта в объёме аммонитовых зон «deshayesi» - «subnodosocostatum» (наннопланктонная субзона NC7a по схеме Барнетт, 1996) [3]. Выше по разрезу в мергелях зеленовато-серых уплотнённых (интервал 2958 м) определён вид *Radiolithus orbiculatus* (Forchheimer) Varol, первое появление которого установлено в аммонитовой зоне «furcata» [3] раннего апта. В тёмно-серых глинах интервала 2820 м многочисленный комплекс наннопланктона представлен видами: *Nannoconus truittii* subsp. *truittii* Brönnimann, *N. kamptneri* subsp. *kamptneri* Brönnimann, *N. bucheri* Brönnimann, *N. elongatus* Brönnimann, *N. boletus* Deflandre and Deflandre-Rigaud, *N. globulus* subsp. *globulus* Brönnimann, *N. globulus* subsp. *minor* Brönnimann, *N. vocontiensis* Deres and Achéritéguy, *N. troelsenii* Alves, Lima and Shimabukuro, *N. circularis* Deres and Achéritéguy, *Zeugrhabdotus xenotus* (Stover) Burnett, *Eprolithus floralis* (Stradner) Stover, *E. apertior* Black, *Hayesites irregularis* (Thierstein) Applegate et al., *Micrantholithus hoschulzii* (Reinhardt) Thierstein, *M. obtusus* Stradner, *Rhagodiscus asper* (Stradner) Reinhardt, *R. angustus* (Stradner) Reinhardt, *Percivalia fenestrata* (Worsley) Wise и другие. По таксономическому составу он принадлежит нанопланктонной субзоне NC7a в объёме аммонитовой зоны «subnodosocostatum» среднего апта (по схеме Барнетт, 1996) [3]. Следует отметить, что зональный вид

планктонных фораминифер *Globigerinelloides* cf. *algerianus* (Dam. et Sig.) Л.Ф. Плотниковой отмечен в алевролитах интервала 2700 м [2].

В глинах интервала 2562-2710 м известковый наннопланктон представлен только единичными транзитными видами рода *Watznaueria*, *Rhagodiscus* sp., *Eiffellithus* sp., *Nannoconus* sp., *Cyclagelosphaera margerelii* Noël, *Broinsonia enormis* (Shumenko) Manivit (интервал 2562 м), обломками разрушенных и полурастворимых форм. В алевролитах глинистых карбонатных, с включениями эффузивных пород, сланцев, частых зёрен кварца (интервал 2535-2541 м) выявлен обеднённый комплекс наннопланктона альб – раннесеноманского возраста: *Nannoconus truittii* Brönnimann, *Manivitella pemmatoidea* (Deflandre) Thierstein, *Staurolithites* sp., *Rhagodiscus* sp., *Zeugrhabdotus* sp., *Z. erectus* (Deflandre) Reinhardt, *Retecapsa* sp., *R. schizobrachiata* (Gartner) Grün, *Biscutum constans* (Gorka) Black, *Helicolithus trabeculatus* (Gorka) Verbeek, *Watznaueria barnesae* (Black) Perch-Nielsen, *W. britannica* (Stradner) Reinhardt, *W. fossacincta* (Black) Bown, *W. manivittiae* Bukry.

Альбские отложения несогласно перекрыты породами нижнего кампана, представленными глинами тёмно-серыми тонкослоистыми карбонатными, с полуокатанными зёрнами кварца (интервал 2401 м). В них определены виды *Arkhangelskiella confusa* Burnett, *Reinhardtites levis* Prins and Sissingh, *Octolithus multiplus* (Perch-Nielsen) Romein, *Calculites obscurus* (Deflandre) Prins and Sissingh, *Ahmuellerella octoradiata* (Górka) Reinhardt and Górka, *Microrhabdulus decoratus* Deflandre, *Prediscosphaera grandis* Perch-Nielsen, *Gartnerago segmentatum* (Stover) Thierstein и другие. Присутствие в комплексе вида *Reinhardtites levis* Prins and Sissingh позволяет утверждать, что возраст этих отложений не древнее верхней части раннего кампана [3].

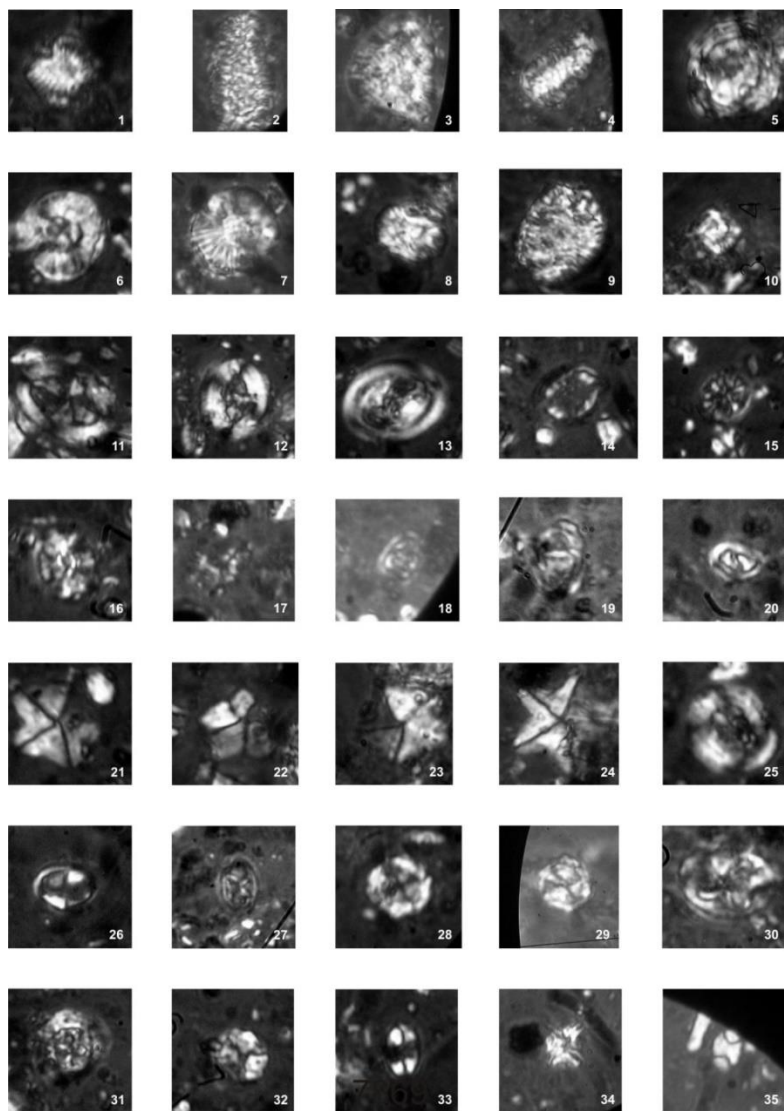


Рисунок. Известковый наннопланктон из меловых отложений разреза скважины Олимпийская-400: 1 – *Nannoconus truttii* subsp. *truttii* Brönnimann; 2 – *Nannoconus kamptneri* subsp. *kamptneri* Brönnimann; 3 – *Nannoconus bucheri* Brönnimann; 4 – *Nannoconus elongatus* Brönnimann; 5 – *Nannoconus circularis* Deres and Achéritéguy; 6 – *Nannoconus troelsenii*

Alves, Lima and Shimabukuro; 7 – *Nannoconus globulus* subsp. *globulus* Brönnimann; 8 – *Nannoconus globulus* subsp. *minor* Brönnimann; 9 – ? *Nannoconus vocontiensis* Deres and Achéritéguy; 10 – ? *Nannoconus quadriangulus* subsp. *quadriangulus* Deflandre and Deflandre-Rigaud; 11 – *Arkhangelskiella cymbiformis* Vekschina; 12 – *Broinsonia parca* subsp. *parca* (Stradner) Bukry; 13 – *Reinhardtites levis* Prins and Sissingh; 14 – *Cribrosphaerella ehrenbergii* (Arkhangelsky) Deflandre; 15 – *Ahmuellerella octoradiata* (Górka) Reinhardt and Górka; 16 – *Biscutum magnum* Wind and Wise; 17 – *Discorhabdus ignotus* (Górka) Perch-Nielsen; 18 – *Zeugrhabdotus xenotus* (Stover) Burnett; 19 – *Zeugrhabdotus diplogrammus* (Deflandre) Burnett; 20 – *Tranolithus minimus* (Bukry) Perch-Nielsen; 21 – *Micrantholithus obtusus* Stradner; 22 – *Braarudosphaera* sp.; 23 – *Micrantholithus hoschulzii* (Reinhardt) Thierstein; 24 – ? *Micrantholithus obtusus* Stradner; 25 – *Helenea chiesta* Worsley; 26 – *Zeugrhabdotus praesigmoides* Burnett; 27 – *Chiastozygus litterarius* (Górka) Manivit; 28 – *Eprolithus floralis* (Stradner) Stover; 29 – ? *Eprolithus* sp.; 30 – *Tegumentum stradneri* Thierstein; 31 – *Prediscosphaera cretacea* (Arkhangelsky) Gartner; 32 – ? *Hayesites irregularis* (Thierstein) Applegate et al.; 33 – *Eiffelithus gorkae* Reinhardt; 34 – *Micula staurophora* (Gardet) Stradner; 35 – *Calculites obscurus* (Deflandre) Prins and Sissingh.

Многочисленные ассоциации известкового наннопланктона (60 видов) установлены в органогенно-детритовых микрозернистых известняках с частыми обломками мшанок, криноидей, тонкостенных фораминифер, спикул губок интервала 2236-2242 м: *Reinhardtites levis* Prins and Sissingh, *Arkhangelskiella cymbiformis* Vekschina, *Broinsonia parca* subsp. *parca* (Stradner) Bukry, *B. parca* subsp. *constricta* Hattner et al., *Micula praemurus* (Bukry) Stradner and Steinmetz, *M. cubiformis* Forchheimer, *Ahmuellerella octoradiata* (Górka) Reinhardt and Górka, *Biscutum magnum* Wind and Wise, *B. coronum* Wind and Wise, *Cribrosphaerella ehrenbergii* (Arkhangelsky) Deflandre, *Zeugrhabdotus praesigmoides* Burnett, *Prediscosphaera grandis* Perch-Nielsen, *P. cretacea* (Arkhangelsky) Gartner, *P. spinosa* (Bramlette and Martini) Gartner, *Kamptnerius magnificus* Deflandre, *Microrhabdulus undosus* Perch-Nielsen и другие. По таксономическому составу комплекс наннопланктона принадлежит нанопланктонной зоне UC15 в объёме среднего-позднего кампана [3].

Таким образом, по известковому наннопланктону чётко выделяются отложения баррема, верхи нижнего – средний апт,

кампан. Породы верхнего баррема, вероятнее всего, принадлежат к одному трансгрессивному ритму. В разрезе апта прослеживается маркирующий трансгрессивный горизонт, ограниченный аммонитовыми зонами «*furcata – subnodosocostatum*» (нанопланктонная субзона NC7a). Более дробное расчленение апта по наннопланктону возможно при изучении дополнительного ядерного материала. Кампанские отложения содержат единый комплекс известкового наннопланктона Международной нанопланктонной зоны UC15.

Автор выражает искреннюю благодарность канд. геол.-мин. наук Л.Ф. Плотниковой за предоставленные образцы, а также канд. геол.-мин. наук В.А. Присяжнюку за ценные консультации.

Литература

1. Плотнікова Л.Ф., Іванік М.М., Шумнік А.В. Стратиграфічне розчленування і історія розвитку морського басейну західної частини північно-західного шельфу Чорного моря в ранньокрейдовий час // Зб.: Теоретичні та прикладні аспекти сучасної біостратиграфії фанерозою України. Київ, 2003. С. 165-167.
2. Стратиграфія мезокайнозойських відкладів північно-західного шельфу Чорного моря / Гожик П.Ф., Маслун Н.В., Плотнікова Л.Ф., Іванік М.М., Якушин Л.М., Іщенко І.І. Київ: ІГН НАН України, 2006. 171 с.
3. Bown P. Calcareous Nannofossil Biostratigraphy. London: Chapman and Hall, 1998. 318 p.

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПАЛЕОАЗИАТСКОГО ОКЕАНА В ПОЗДНЕМ ДОКЕМБРИИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СОПОСТАВЛЕНИЯ U-PB LA-ICP-MS ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ САЯНО-БАЙКАЛО-ПАТОМСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА)

З.Л. Мотова

ИЗК СО РАН, Иркутск, motova@crust.irk.ru

Позднерифейско-вендские осадочные толщи, прослеживающиеся вдоль южной окраины Сибирского кратона на протяжении около 2000 км, относятся к структуре Саяно-Байкало-Патомского складчатого пояса (далее по тексту - СБПП) [7]. В пределах СБПП выделяется три сегмента: западный (Саянский

сегмент), центральный (Байкальский сегмент) и северо-восточный (Патомский сегмент). Мощные осадочные последовательности этих комплексов пород отражают этапы геодинамической эволюции территории, которая многими исследователями рассматривается как окраина Палеоазиатского океана [4; 1; 3 и др.]. Согласно Унифицированной стратиграфической схеме, позднерифейско-вендские осадочные разрезы СБПП подразделяются в следующие региональные стратиграфические горизонты (снизу вверх): пурпольский, медвежевский, баллаганакский, дальнетайгинский, жуинский и присаянский, которые объединяют разновозрастные отложения, отражающие определенные этапы геологической эволюции региона [4]. Осадочные комплексы пород, прослеживающиеся на территории всех трех сегментов СБПП, объединены в дальнетайгинский и жуинский региональные стратиграфические горизонты. К дальнетайгинскому горизонту относятся одноименная серия Патомской зоны, карагасская серия, марнинская и удинская свиты оселковой серии Присаянской зоны, а также голоустенская и улунтуйская свиты байкальской серии Прибайкальской зоны СБПП. Жуинский горизонт включает одноименную серию Патомской зоны, айсинскую свиту оселковой серии Присаянской зоны и качергатскую свиту байкальской серии Прибайкальской зоны СБПП [4].

Саянский сегмент

Первые данные по U-Pb (LA-ICP-MS) исследованиям детритовых цирконов из позднедокембрийских осадочных толщ Саянского сегмента СБПП были опубликованы в [5; 8], эти исследователи изучили верхнюю часть разреза терригенных отложений оселковой серии, а именно песчаники верхней подсвиты удинской свиты и айсинскую свиту. В результате этих исследований были получены как архей-раннепротерозойские возрасты детритовых цирконов, полностью соответствующие возрасту пород фундамента Сибирского кратона «Сибирские», так и позднепротерозойские «Несибирские». Возрасты самых молодых детритовых цирконов составили 656 ± 4 ; 652 ± 9 и 674 ± 17 млн лет, что позволяет ограничить возраст накопления удинской свиты эдиакарием (поздний венд).

Детритовые цирконы из песчаников айсинской свиты [8], также демонстрируют бимодальное распределение возрастных спектров. Гистограммы относительной вероятности образуют три отчетливых пика: архейский (2600-2500 млн лет), раннепротерозойский (1950-1850 млн лет) («Сибирский» тип) и позднепротерозойский («Несибирский» тип), при этом, количество детритовых цирконов позднепротерозойского возраста доминирует перед докембрийскими цирконами. Возраст самого молодого детритового циркона из песчаника айсинской свиты составил 650 млн лет, что ограничивает возраст накопления айсинской свиты эдиакарием (поздний венд).

Результаты U-Pb исследований детритовых цирконов из аркозовых песчаников всех трех свит карагасской серии позволили выделить две основные возрастные популяции: архейскую и раннепротерозойскую [10]. Основные возрастные пики приходятся на 1850-1880 млн лет, что соответствует возрасту гранитоидов саянского комплекса, широко распространенных в Присяянском краевом выступе Сибирского кратона. Остальные возрастные пики по детритовым цирконам полностью совпадают с оценками возрастов магматических пород распространенных на южной окраине фундамента Сибирского кратона [12].

Байкальский сегмент

В работах [2; 6], приведены данные по детритовой геохронологии из позднедокембрийских осадочных толщ Байкальского сегмента СБПП. Возрастные спектры по детритовым цирконам из песчаников нуганской и голоустенской свит байкальской серии свидетельствуют о том, что все эти цирконы были перенесены с Сибирского кратона. Изученные детритовые цирконы из отложений улунтуйской свиты наряду с имеющимися архей-раннепротерозойскими возрастными пиками, обнаруживают популяцию позднепротерозойских детритовых цирконов (677, 755, 802, 878, 971 млн лет), не характерных для пород фундамента южной окраины Сибирского кратона. Конкордантный возраст самого молодого детритового циркона (631 ± 20 млн лет) из песчаника улунтуйской свиты указывают на ранний эдиакарий (поздний венд) как на максимальный возрастной предел накопления этой свиты.

Песчаники качергатской свиты (верхняя часть байкальской серии), а также ушаковской свиты (перекрывает отложения байкальской серии) при достаточном количестве архей-раннепротерозойских детритовых цирконов, обнаруживают увеличение популяции цирконов позднепротерозойского возраста. Возрасты самых молодых детритовых цирконов из этих отложений составили 554 млн лет и 630 млн лет, соответственно, что означает верхний возрастной предел накопления этих толщ (эдиакарий (поздний венд)).

Патомский сегмент

Возраст самых молодых детритовых цирконов из отложений джемкуканской свиты (основание Патомского сегмента СБПП) составляющий 1950-1850 млн лет [9], свидетельствует о том, что в раннедальнетайгинский период весь обломочный материал в бассейн седиментации поступал только с Сибирского кратона. В песчаниках базального горизонта никольской свиты, наряду с архей-раннепротерозойскими детритовыми цирконами, обнаруживается обильная популяция цирконов позднепротерозойского возраста. Возраст самых молодых детритовых цирконов из песчаников никольской свиты составил 645-625 млн лет [9].

Проведенные позднее детальные исследования детритовых цирконов из терригенных отложений Патомского сегмента СБПП [11] подтвердили выводы предыдущих исследователей. Эти авторы представили данные по исследованиям детритовых цирконов из стратоподразделений тепторгинской, баллаганакской, дальнетайгинской, жуинской и жербинской серий. В частности, было показано что до начала накопления валухтинской свиты, обломочный материал в бассейн седиментации поступал исключительно с Сибирского кратона (архей-раннепротерозойские возрасты детритовых цирконов в различных вариациях). Резкая смена источника сноса произошла во время накопления валухтинской свиты – здесь отмечается обильная популяция позднепротерозойских детритовых цирконов и незначительное количество детритовых цирконов ниже-среднерифейского возраста. Конкордантный возраст самых молодых детритовых цирконов, обнаруженных в позднепротерозойской популяции

составил 610 ± 10 млн лет и 610 ± 14 млн лет (более 30 зерен), что означает максимальный (не древнее) возрастной предел накопления этих толщ как средний-поздний эдиакарий (поздний венд). В более молодых отложениях Патомского сегмента СБПП также обнаружены как архей-раннепротерозойские «Сибирские» так и позднепротерозойские «Несибирские» детритовые цирконы, при этом количество «Несибирских» детритовых цирконов преобладает.

В процессе сопоставления всех имеющихся данных по детритовой (U-Pb LA-ICP-MS) геохронологии осадочных толщ СБПП выявлено, что возрастные спектры всех изученных детритовых цирконов осадочных толщ СБПП (примерно вплоть до верхней части дальнетайгинского горизонта), демонстрируют аналогичную картину. То есть, во время накопления этих толщ весь обломочный материал поступал исключительно с южной окраины Сибирского кратона. Начиная с верхней части дальнетайгинского горизонта (эдиакарий (поздний венд)), все осадочные толщи СБПП демонстрируют резкую смену источников сноса обломочного материала – наряду с «Сибирскими» архей-раннепротерозойскими источниками, обнаруживается достаточное количество позднепротерозойских «Несибирских» источников.

Основываясь на синтезе возрастных спектров по детритовым цирконам из терригенных пород всех трех сегментов СБПП, можно сделать следующие выводы:

- накопление осадочных толщ СБПП в баллаганаское и раннедальнетайгинское время (поздний рифей) происходило на обширном шельфе Сибирского кратона, при этом обломочный материал поступал только с южной его части.

- резкие изменения в условиях осадконакопления стратоподразделений, относящихся к позднедальнетайгинскому горизонту, а именно появление «Несибирских» детритовых цирконов в возрастных спектрах по детритовым цирконам, дают основание предполагать, что в раннем эдиакарии (поздний венд), пассивная континентальная окраина Сибирского кратона была трансформирована в активную, с образованием форландового бассейна в результате амальгамации микроконтинентов и островных дуг, существовавших в акватории Палеоазиатского

океана. Снос кластики при этом осуществлялся как с юга Сибирского кратона, так и с орогенов.

Работа выполнена при поддержке РФФ проект № 16-17-10180 и РФФИ проект № 18-35-00064.

Литература

1. Беличенко В.Г., Скляр Е.В., Добрецов Н.Л., Томуртогов О. Геодинамическая карта Палеоазиатского океана. Восточный сегмент // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 7–8. С. 29–40.
2. Гладкочуб Д.П., Станевич А.М., Мазукабзов А.М., Донская Т.В., Писаревский С.А., Николь Г., Мотова З.Л., Корнилова Т.А. Ранние этапы развития Палеоазиатского океана: данные по LA-ICP-MS датированию детритовых цирконов из позднедокембрийских толщ южного фланга Сибирского кратона // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. №10. С. 1472–1490.
3. Гордиенко И.В. Геодинамическая эволюция поздних байкалид и палеозойд складчатого обрамления юга Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2006. Т. 47 № 1. С. 53–70.
4. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М: Наука, 1990. Кн. 1. 327 с. Кн. 2. 334 с.
5. Летникова Е.Ф., Кузнецов А.Б., Вишневская И.А., Вещева С.В., Прошенкин А.И., Джен Х. Вендская пассивная континентальная окраина юга Сибирской платформы: геохимические, изотопные (Sr, Sm-Nd) свидетельства, данные U-Pb датирования LA-ICP-MS детритовых цирконов // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. №10. С. 1507–1529.
6. Мазукабзов А.М., Станевич А.М., Гладкочуб Д. П., Донская Т.В., Хубанов В.Б., Мотова З.Л. Отложения рифтогенного этапа развития пассивной окраины Палеоазиатского океана (Байкальский сегмент) // Доклады Академии наук (В печати).
7. Решения всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. Ч. 1. Новосибирск, 1983. 214 с.
8. Советов Ю.К., Хоффман М., Казак А.К., Соловецкая Л.В. Две области сноса и петрографические провинции кластического материала вендских осадочных бассейнов Сибирской платформы по данным седиментологического и петрографического анализа и по возрасту детритовых цирконов // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 13. Иркутск: Институт Земной коры СО РАН, 2015. С. 227–229.

9. Чумаков Н.М., Капитонов И.Н., Семихатов М.А., Леонов М.В., Рудько С.В. Вендский возраст верхней части Патомского комплекса средней Сибири: U-Pb LA-ICP-MS датировки обломочных цирконов никольской и жербинской свит // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19. №2. С. 115-119.
10. Gladkochub, D.P., Donskaya, T.V., Stanevich, A.M., Pisarevsky, S.A., Zhang, S., Motova, Z.L., Mazukabzov, A.M., Li, H. U-Pb detrital zircon geochronology and provenance of Late Precambrian sediments in southern Siberia: new insights into breakup of Rodinia and opening of Paleo-Asian Ocean // *Gondwana Research* (in press).
11. Powerman V., Shatsillo A., Chumakov N., Kapitonov I., Hourigane J. Interaction between the Central Asian Orogenic Belt (CAOB) and the Siberian craton as recorded by detrital zircon suites from Transbaikalia // *Precambrian Research*. 2015. V. 267. P. 39–71.
12. Rojas-Agramonte Y., Kröner A., Demoux A., Xia X., Wang W., Donskaya T., Liu D., Sun M. Detrital and xenocrystic zircon ages from Neoproterozoic to Palaeozoic arc terranes of Mongolia: Significance for the origin of crustal fragments in the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*. 2011. Vol. 19(3). P. 751-763.

Q-КЛАСТЕРНАЯ ТИПИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКОВ ЧУКОТСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОФОССИЛИЙ

М.С. Обрезкова¹, В.Ю. Поспелова², А.Н. Колесник¹

¹*ТОИ ДВО РАН, Владивосток, obrezkova@poi.dvo.ru*

²*Университет Виктории, г. Виктория, Канада, ypospe@uvic.ca*

Чукотское море является наименьшим и самым восточным шельфовым морем Российской Арктики. Высокая географическая широта, связь с Центральным Арктическим бассейном, расположение на стыке двух материков, а также сравнительная близость к Тихому океану определяют климат, гидрологию и особенности современного осадконакопления Чукотского моря.

В последние годы в практике реконструкций палеогидрологических обстановок в шельфовых морях Арктики все большее значение приобретает изучение микроископаемых, т.к. их распределение в толще донных осадков отражает особенности гидробиологических и седиментационных условий.

На основе Q-кластерного анализа данных по распределению диатомовых водорослей и цист динофлагеллат, а также других вспомогательных данных была проведена типизация поверхностных осадков Чукотского моря. Кластерный анализ позволил выделить в поверхностных осадках изученного региона комплексы микрофоссилий, соответствующие определенным природным обстановкам, а также сделать предварительные выводы о факторах, их определяющих.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00384.

ИЗМЕНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И УСЛОВИЙ СЕДИМЕНТАЦИИ В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ (НА ОСНОВЕ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ)

И.А. Прушковская

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, prushkovskaya@poi.dvo.ru

Побережье Амурский залива, в настоящее время, является самым заселенным на Дальнем Востоке России. Располагаясь на границе крупнейшего континента и океана, Амурский залив подвержен различным природным явлениям, часто таким катастрофическим, как тропические циклоны или тайфуны, которые отражены в осадках. Диатомовые водоросли – одна из наиболее информативных палеонтологических групп, которую используют для палеореконструкций. Изучение состояния окружающей среды Амурского залива в прошлом, с использованием временной шкалы высокого разрешения позволит провести детальное восстановление условий формирования осадков под действием глобальных изменений климата, природных и антропогенных факторов, локального влияния отдельных поселений или промышленных объектов. Детальные данные изменения среды в прошлом необходимы для создания прогнозных моделей изменений в будущем.

Материалом исследования послужила колонка LV66-3 из Амурского залива, отобранная в 66 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2014 году на глубине 33 м. Возраст осадков

определен методом радиоуглеродного датирования, и составляет около 4000 лет [1].

Целью данного исследования являлось реконструкция палеосреды Амурского залива голоцена. Для этого был исследован таксономический и экологический состав диатомей, их количественное содержание в осадках. Было изучено 114 образцов (с шагом 3 см). В результате исследования определено 141 вид, которые принадлежат 66 родам. Наибольшее число видов характерно для родов *Cocconeis* (10), *Diploneis* (8), *Aulacoseira* (7), *Chaetoceros* (7), *Campylodiscus* (5), *Coscinodiscus* (5), *Nitzschia* (5), *Thalassiosira* (5), *Cymbella* (4). Морские виды диатомей представлены 65 таксонами, из которых бентосные составляют 30 видов, планктонные неритические 30 видов, планктонные океанические – 10 видов (рис. 12). Солоноватоводные виды представлены 45 видами, пресноводные 26 видами, вымершие – 5. По численности в колонке LV66-3 доминируют бентосные виды (47,18%), субдоминируют планктонные неритические (23,24%), бентосные составляют – 18,01%. Планктонные океанические (3,58%), пресноводные (3,63%) и вымершие в неогене пресноводные виды (4,37%) составляют примерно равное количество.

Согласно проведенному датированию, осадки колонки LV66-3 были накоплены за последние 5000 лет, которые охватывают средний-поздний суббореальный и субатлантический периоды позднего голоцена. По изменению содержания диатомей на г/осадка и экологической структуры диатомовых комплексов выделены 3 зоны. Предполагаемые границы между ними проводились по наиболее резким изменениям всех вышеуказанных переменных.

Зона III (470-200 см; 2904 г. до н.э. – 248 г.н.э.; средний-поздний суббореал – ранний субатлантик) характеризуется нестабильными условиями осадконакопления, значительными колебаниями содержания диатомей на грамм-осадка (1,8-3,2 млн/г) и разнообразным видовым составом. Пик концентрации диатомей (3,2 млн/г) отмечен в интервале 383-384 см (около 1748 г. до н.э.). По экологической структуре вся зона характеризуется высоким количеством и доминированием бентосных видов. Субдоминируют

планктонные неритические виды. На протяжении всего периода накапливались океанические, пресноводные и пресноводные вымершие виды, но их количество невелико. Такой состав диатомовых комплексов близок комплексам диатомей поверхностных осадков Амурского залива [6]. Нестабильное накопление осадков в данный период, вероятно, происходило под влиянием тайфунов и наводнений [3, 4].

Зона II (200-10 см; 248-1962 г.н.э.; средний-поздний субатлантик) характеризуется резким сокращением количества диатомей, но их содержание довольно стабильно, без резких колебаний (среднее содержание варьируется от 0,5-0,7 млн/г). Условия осадконакопления были довольно стабильными в этот период. Бентосные виды доминируют в формировании осадков. Содержание планктонных неритических видов резко сократилось, в незначительном количестве присутствуют океанические виды, в интервале (114-54 см; 996-1555 г.н.э.) отсутствуют. Количество пресноводных видов снижено, но вымершие пресноводные виды характеризуются повышенным содержанием. Наибольшее количество вымерших видов наблюдается с 1200 по 1900-е года н.э., что соответствует малому ледниковому периоду [6]. Интервалы с минимальным содержанием диатомей, представленных только бентосными видами, коррелируется с графиком последовательности сигналов наводнений и тайфунов за последние 1800 лет [2] и, вероятно, отражают действия этих природных явлений.

Зона I (10-0 см; 1962-2014 гг.н.э.) характеризуется резким повышением количественного содержания диатомовых водорослей (до 2 млн/г). Количество бентосных и планктонных неритических видов становится примерно равным. Повышается роль океанических видов, а содержание пресноводных (в том числе и вымерших) становится незначительным. Аналогичные изменения были зафиксированы в ранее изученных колонках A12-5 и A12-4, расположенных рядом [7] и отражают, вероятно, заметное потепление климата конца XX века, зафиксированного на окружающей суше и во многих районах Северного полушария.

Работа выполнена по программе ФНИ ТОИ ДВО РАН (тема №0271-2016-0007).

Литература

1. Акуличев В. А., Астахов А. С., Малахов М. И. и др. Первая находка криптотефры катастрофических извержений вулкана Байтоушань X в. н.э. в шельфовых отложениях Японского моря // Доклады Академии Наук. – 2016. Т. 469. №6. С. 734–738.
2. Астахов. А.С., Калугин И.А., Аксентов К.И., Дарьин А.В. Геохимические индикаторы палеотайфунов в шельфовых отложениях. // Геохимия. – 2015. №4. С. 387-392.
3. Ганзей Л.А., Разжигаетва Н.Г., Нишимура Ю., Гребенникова Т.А., Кайстренко В.М., Горбунов А.О., Арсланов Х.А., Чернов С.Б., Наумов Ю.А. Осадки исторических и палеоцунами на побережье Восточного Приморья // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 1. С. 80-96.
4. Разжигаетва Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Кудрявцева Е.П., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Старикова А.А. Изменения ландшафтов побережья и горного обрамления бухты Кит (Приморье) в среднем и позднем голоцене // Геолография и природные ресурсы. 2016. № 3. С. 141-151.
5. Цой И.Б., Моисеенко И.А. Диатомеи поверхностных осадков Амурского залива Японского моря // Биология моря. – 2014. Т. 40. №1. С. 20-25.
6. Mann M.E., Jones P.D. Global surface temperatures over the past two millennia // Geophys. Res. Lett. – 2003. V. 30. №15. P. 1820.
7. Tsoy I., Prushkovskaya I., Aksentov K., Astakhov A. Environmental Changes in the Amur Bay (Japan/East Sea) during the last 150 Years Revealed by Examination of Diatoms and Silicoflagellates // Ocean Science Journal. – 2015. V. 50. №2. P. 433-444.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗРАСТА БИОГЕННОГО АПАТИТА ИЗ КОНКРЕЦИЙ КАПСКОЙ КОТЛОВИНЫ МЕТОДОМ СТРОНЦИЕВОЙ ИЗОТОПНОЙ ХЕМОСТРАТИГРАФИИ И УСТАНОВЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ РОСТА ОКСИГИДРОКСИДНЫХ ФАЗ Т.Х. Сафин^{1,2}, А.В. Дубинин², А.Б. Кузнецов¹, М.Н. Римская- Корсакова^{1,3}

¹ИО РАН, г. Москва, timursafin@list.ru

²РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва,

⁴ИГГД РАН, г. Москва,

Метод стронциевой изотопной хемотратиграфии основан на том факте, что отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ гомогенно в настоящее время в

Мировом океане так же, как это было на протяжении всего времени существования океанов. Время пребывания Sr в морской воде ($\sim 10^6$ лет) значительно больше, чем время полного перемешивания всех морских вод Земли ($\sim 10^3$ лет), что приводит к гомогенизации изотопного состава стронция в морской воде [1].

В геологической истории Земли изотопный состав стронция в морской воде менялся. Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в морской воде контролируется смешением следующих источников: 1) континентальный сток, возникающий в результате выветривания земной коры поверхностными и речными водами; 2) гидротермальный поток, возникающий при взаимодействии морской воды с вулканическими породами в области срединно-океанических хребтов; 3) поток, возникающий в результате растворения и перекристаллизации морских карбонатных осадков [1].

Стронциевая хемотратиграфия пелагических осадков основывается на определении возраста осадка по соотношению изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) в биогенном карбонате формаминифер или апатите костного детрита. Стронций в фоссилизированных зубах и костях морских рыб записывает $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ морской воды, в которой жили данные организмы [2]. В пелагиали океана фоссилизированные остатки рыб (ихтиолиты) сохраняют изотопный состав стронция вод океана в момент жизни животных, поэтому изотопный состав древних остатков рыб может быть использован для определения возраста.

Капская котловина расположена в юго-восточной части Атлантического океана между материковым склоном Африки, Срединно-Атлантическим хребтом, хребтом Агульяс и вулканическим подводным Китовым хребтом. Протяженность котловины с севера на юг достигает 1500 км, а с запада на восток – около 1000 км. Максимальная глубина превышает 5100 м. Образцы были отобраны в западной части Капской котловины у южного подножия Китового хребта биологическим тралом Сигсби (станция 2188, координаты траления: начало $33^{\circ}39.65'$ ю.ш. и $2^{\circ}31.37'$ в.д., глубина 4631 – конец $33^{\circ}41.26'$ ю.ш. и $2^{\circ}31.49'$ в.д., глубина 4703). Образцы представляют собой две биоморфные Fe-Mn конкреции, в ядрах которых обнаружены зубы рыб (рис. 1) размерами

34.7×30.3×6.2 мм (обр. 2188/4) и 40.2×26.5×9.5 мм (обр. 2188/5). Зубы были распилены на 4 части каждый параллельно основанию (рис. 1). Внутренняя часть зубов лишена дентина и полностью замещена оксигидроксидами Fe и Mn.

Для отделения оксигидроксидами Fe и Mn и алюмосиликатного вещества от зубной эмали применялась ультразвуковая очистка и восстановительная очистка. Степень очистки образца контролировали под бинокляром. Образцы в ходе очистки меняли свой цвет от исходно черного на светло-серый. По достижению светло-серого цвета эмали образцы промывали бидистиллированной водой, 0.001 М HNO₃ и многократно деионизированной водой (18.2 МΩ см), сушили и дополнительно растирали.

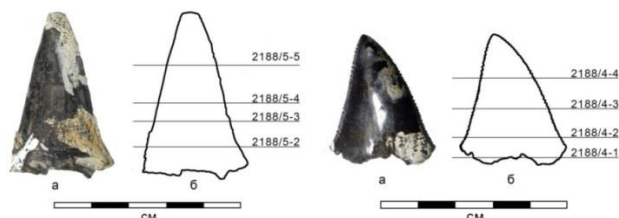


Рисунок 1. Отобранные зубы 2188/5 и 2188/4 из ядерной части конкреций с местами разделения на более мелкие части.

Для определения химического состава навеску фрагмента эмали зуба растворяли в 5 мл 3М HNO₃, обрабатывая в течении 10 мин ультразвуком при $t = 80^{\circ}\text{C}$, а затем спустя 8 часов к образцу добавляли 3М HNO₃ и деионизированную воду до массы 50 г и концентрации 5% HNO₃ с добавлением внутренних стандартов In и Re. Изучение Rb-Sr системы в образцах зубной эмали и Fe-Mn оксигидроксидами проводилось методом изотопного разбавления из одной навески. Изотопный анализ Rb и Sr выполнялся на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI в статическом режиме на Re лентах. Среднее значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в стандартном образце NIST SRM-987 в период работы дало значение 0.710282 ± 0.000008 (2σ , $n=14$). Эффективность очистки апатита эмали зубов оценивалась по содержанию остаточного Fe, которое составило в среднем для 9 проб 530 ± 86 мкг/г. При соотношении Sr/Fe в оксигидроксидах (5 проб) 0.0068, ошибка в определении

величины $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ за счет примеси оксигидроксидов составила менее 0.000002, что меньше ошибки анализа (табл.). Среднее содержание Sr между образцами 2188/4 и 2188/5 не различается и составляет 1676 ± 158 и 1566 ± 27 соответственно.

Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в 5 фрагментах зубной эмали от основания до вершины зуба 2188/5 не различается и составляет в среднем 0.708965 ± 0.000010 . (табл.). Наиболее массивные Fe-Mn слои у основания зуба 2188/4 имеют такую же изотопную величину $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.709020$, как и зубная эмаль. Остальные образцы оксигидроксидов Fe-Mn характеризуются повышенным отношением $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.709070-0.709091 (рис. 2). Эти данные свидетельствуют о том, что оксигидроксиды Fe и Mn либо более молодые образования, либо изотопный состав стронция в них формировался при обмене с современной придонной водой.

Таблица. Результаты изотопного анализа Sr

Образец	Минерал	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$
4-1	апатит	0.709021 ± 6
4-2	апатит	0.709030 ± 6
4-3	апатит	0.709037 ± 6
4-4	апатит	0.709035 ± 6
5-2	апатит	0.708963 ± 5
5-3	апатит	0.708968 ± 9
5-4a	апатит	0.708977 ± 8
5-4b	апатит	0.708951 ± 9
5-5	апатит	0.708968 ± 6

На основании величин $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в образцах апатита из эмали и кривой эволюции изотопного состава стронция в океане позднего кайнозоя был определен возраст зубов морских рыб (рис. 2). Возраст эмали зуба образца 2188/5 составил 6.6 ± 0.3 млн лет. Аналогичная корреляция для образца 2188/4 показала возраст 5.2 ± 0.2 млн лет.

Применение комплексной (механической и химической) методики очистки эмали зубов из ядерной части Fe-Mn конкреций Капской котловины от оксигидроксидов Fe и Mn позволило достоверно определить изотопный состав Sr в биогенном апатите.

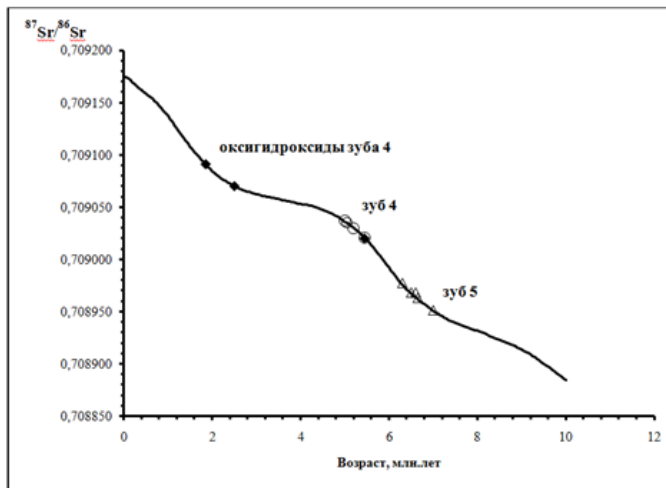


Рисунок 2. Изотопный состав стронция $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в образцах зубов 2188/4 и 2188/5 и оксидгидроксидов Fe и Mn образца 2188/4 относительно эволюции изотопного состава стронция океанских вод [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-00339).

Литература

1. Фор Г. Основы изотопной геологии. – М.: Мир, 1989. – 590 с.
2. McArthur J. M., Howarth R. J., Shields G. A. Strontium isotope stratigraphy // The geologic time scale. – 2012. V.1. – P. 127-144.

ГАЗО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОСАДКОВ ТОНКИНСКОГО ЗАЛИВА (ЮЖНО-КИТАЙСКОЕ МОРЕ)

А.В. Сорочинская, А.А. Легкодимов

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, sorochin2001@mail.ru,
alexey.legkodimov@gmail.com.

В настоящее время особый интерес представляют газо-геохимические исследования на акваториях, которые позволяют выявлять и очерчивать быстро и эффективно возможные залежи углеводородных газов, а также устанавливать их связь с существующими нарушениями распределения веществ. В этой работе представлены результаты комплексной российско-

вьетнамской экспедиции в заливе Тонкин (Вьетнам), проводимой сотрудниками ТОИ ДВО РАН совместно с вьетнамскими специалистами в 2013 году.

В северной части Южно-Китайского моря обнаружены отложения гидратов метана [5]. Целью работы стало проведение газо-геохимических исследований на северо-западной акватории Южно-Китайского моря. Залив Тонкин выбран в качестве опорного объекта как одна из немногих изученных районов, и кроме того, она сопровождается крупнейшей рифтовой системой Красной реки.

Район работ расположен в осадочном бассейне Бейбуван, занимающем мелководье с глубинами от 20 до 70 м (рис.1). Бассейн был образован в результате полициклических рифтовых процессов в Мезозое и Кайнозое. В северо-восточной и юго-западной частях бассейна распространены поднятия северо-восточного простирания. Бассейн пересечен разломами северо-восточного субширотного и субмеридионального простирания, разломы северо-восточного–юго-западного направления преобладают и являются более глубокими. Разломы субмеридионального простирания более мелкие, но встречаются чаще.

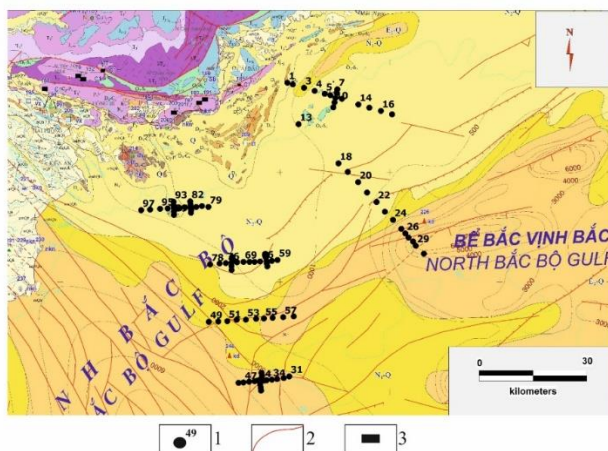


Рисунок 1. Станции отбора проб (осадок и вода) в заливе Тонкин, объединенные в несколько профилей, для которых выполнена геофизическая съемка (2013 г.).

Условные обозначения: 1 – станции отбора проб и ее номер; 2 – тектонические разломы; 3 – угольные месторождения; квадрат – место проведения работ

При отборе проб поверхности и морской воды были взяты пробы на 97 станциях по 6 профилям, глубина в точках отбора проб составляет от 7.5 до 53.3 м. Отбор проб воды производился пробоотборником системы NIKSIN, донные осадки были взяты гравитационной трубкой. Образцы были проанализированы углеводородными газами, гелием и водородом методами Лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН. Так же изучены отложения, из которых были извлечены газы. Был подсчитан объемный состав элементов и содержания органического углерода. И были подсчитаны некоторые литохимические модули, характеризующие донные осадки.

На всей поверхности залива регистрируется довольно высокая фоновая концентрация метана в донных отложениях (3490 нл/дм^3), что указывает на диффузионную инфильтрацию, вызванную сетью разломов, секущую донную поверхность. Максимальная концентрация CH_4 в отложениях отмечается в зоне, прилегающей к разлому Красной реки. Пропан и бутан определены в 80% образцов (рис.2). Максимальная концентрация гелия и водорода в отложениях и придонной воде датируется разломами рифтовой зоной Красной Реки: H_2 - до 100 ppm (фон 4-6 ppm) и He до 15 ppm. Отложения в районе работ представлены в терригенными и алевролит-песчанистыми отложениями с примесью биогенного вещества. Основным компонентом осадков является диоксид кремния (с 56.15 до 84.40%). Среднее содержание оксида марганца 0.05 ± 0.03 и изменение минимального и максимального содержания почти в 10 раз (0.028-0.215). Минимальное и максимальное содержание CaO различается в 14 раз (от 0.59 до 8.03 при среднем ~ 2.08). Концентрация Corg в осадках составляет от 0.25 до 1.23%. Наиболее значимые корреляции Corga с Ca (0.77), Sr (0.78), Mg (0.68), то есть органическое вещество генетически связано с карбонатным компонентом в осадках. Отрицательная корреляция наблюдается с Si (-0.76), т. е. кремний разбавляется при накоплении Corg.

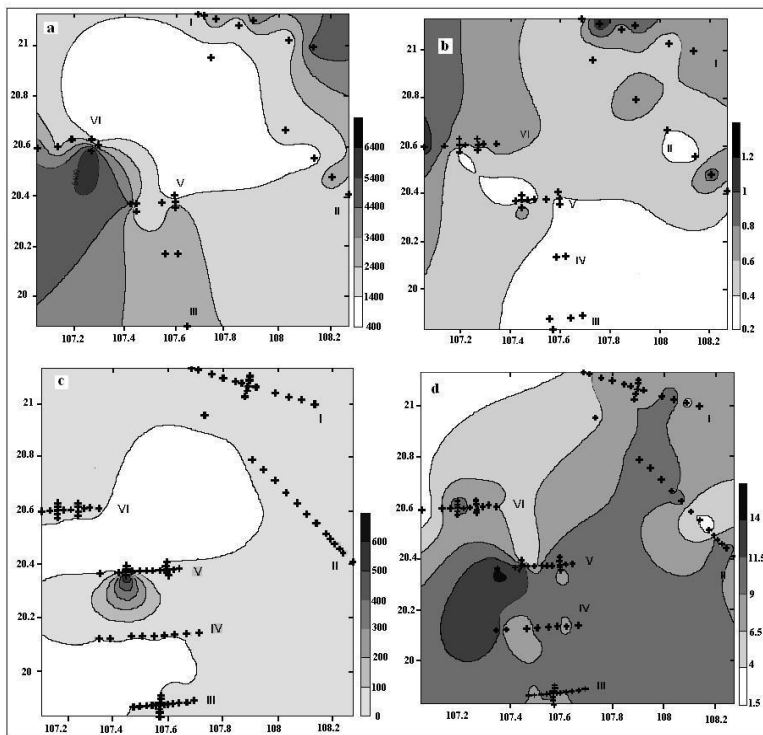


Рисунок 2. Распределение в поверхностных осадках и придонной воде метана, Сор_г, водорода и гелия: а) CH₄ (нл/дм³) в поверхностных осадках; б) Сор_г (г/т) в поверхностных отложениях; в) H₂ (ppm) - в придонной воде; г) Ne (ppm) в придонной воде.

Коэффициенты корреляции Сор_г с Fe, Co, Zn, Cd, Pb составляют от 0.5 до 0.6, что, очевидно, связано с образованием металлоорганических комплексов. Концентрация микроэлементов была нормализована по их содержанию в верхней континентальной коре (UCC) [6] и сравнивались медианные значения кларк концентрации элементов (Кк). Медианы значений Кк для большинства элементов ниже 1 (0.17-0.9 × UCC). Максимальные медианные значения характерны для Pb, As, Li, Ag (1.48-2.59 × UCC), которые, возможно, связаны с полиметаллическими отложениями на северо-востоке Вьетнама [4]. Распределение значительного количества элементов в отложениях сингенетических, что позволяет говорить об общем источнике.

Характеристика распределения элементов изменяется при сближении с станцией у разлома Красной реки.

Рассчитанный модуль Страхова $(Mn+Fe)/Ti$, который считается показателем гидротермального воздействия на морские отложения, изменяется с 5.52 до 24.71 в поверхностных отложениях залива Тонкин. Такие значения характерны для терригенных осадков без гидротермального воздействия [2]. Но максимальные значения модуля падают на станции, прилегающие к рифту Красной реки, где наблюдается максимальная концентрация As ($3.8 \times K$) и Fe ($1.4 \times K$).

Получены данные о распределении углеводородных газов, гелия и водорода в морских отложениях и воде Тонкинского залива (северо-запад Южно-Китайского моря) и прослеживается связь миграционных газов с геологическим строением района. Метан находится во всех образцах осадка (до 9000 нл / $дм^3$), этан - в 95% образцов, пропан и бутан в 75-80% образцов. Увеличение концентрации водорода (до 700 ppm) свидетельствует о тектонической активности области исследований и возможного участия глубинного флюида.

Значительное количество элементов в отложениях Тонкинском заливе имеют малое значение кларк концентрации (Кк): от 0.14 до $0.9 \times UCC$. Превышение Кк наблюдается только в Pb, As, Li, Ag во всех образцах ($1.48-2.59 \times UCC$), что, очевидно, генетически связано с наземным источником (полиметаллические месторождения северо-восточного Вьетнама).

Выявленные геохимические аномалии (метан, гелий, водород, As, Fe) контролируемые разломами Красной реки являются одними из наиболее ярких геохимических характеристик района исследований. Увеличение титановых и алюмо-силикатных модулей свидетельствует об активной трансформации вещества в этой зоне. Наличие аномалий метана, гелия, водорода, As, Fe указывает на возможную эндогенную активность недр залива Бакбо.

Литература

1. Акуличев В.А., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И., Фунг Ван Фать, Нгуен Ну Чунг, Зьонг Куок Хын, Мальцева Е.В., Полоник Н.С., Ле Дык Ань.

- //Аномалии природных газов в заливе Тонкин (Южно-Китайское море). ДАН, 2015, т.461, №1, с. 53-57.
2. Бутузова Г.Ю. Гидротермально-осадочное рудообразование в рифтовой зоне Красного моря. М.: ГЕОС, 1998. 312 с.
 3. Илатовская П.В., Семенов П.Б., Рыськова Е.О. и др. Распределение газообразных углеводородов в донных отложениях и придонно-пограничном слое водной толщи континентального шельфа южного Вьетнама. // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7. №3. С. 1-13.
 4. Чан Туан Ань, Гаськов И.В., Чан Чонг Хоа, Неволько П.А. и др. Минералого-геохимические особенности и условия образования полиметаллических месторождений структуры Логам северо-восточного Вьетнама. // Геология и геофизика, 2012, т.53, №7, с. 817-833.
 5. Trung N. N. The gas hydrate potential in the South China Sea // Journ. Petroleum Sci. Eng. — 2012. — Vol. 88–89. —P. 41–47.
 6. Wedepohl K. H. The composition of the continental crust // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. V. 59. №7. P. 1217-1232.

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ, ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ ХОККАЙДО-САХАЛИНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

Н.С. Сырбу

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, syrbu@poi.dvo.ru

Происхождение и трансформация углеводородных газов, наличие признаков глубинного флюида, изменчивость газовой эмиссии систем газовой-флюидной разгрузки являются важнейшими аспектами изучения природной дегазации активной азиатско-тихоокеанской зоны перехода континент-океан. В этой связи изотопно-газогеохимические характеристики грязевого вулканизма, термальных и минеральных вод Хоккайдо-Сахалинской складчатой системы являются наименее изученными. При этом несомненной является их связь с глубинными разломами, сейсмической активностью и скоплениями углеводородов. Открытыми являются вопросы: 1) полного химического состава и генезиса природных газов (углеводородных, углекислого, гелия, водорода, возможно азота и кислорода и др.); 2) биохимической трансформации углеводородных и др. грязевулканических газов в

приповерхностных условиях, что очень важно для оценки роли бактериального фильтра и формирования геохимического ландшафта районов, находящихся под влиянием грязевых вулканов; 3) химического состава газов грязевых вулканов, термальных и минеральных вод; 4) глубины генерации углеводородных газов.

Для успешного решения этих вопросов в течение последних лет был организован ряд экспедиций сотрудниками ТОИ ДВО РАН и коллегами их ИМГиГ ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск). В результате были опробованы ранее мало изученные объекты природной дегазации: Южно-Сахалинский, Пугачевский и Восточный грязевые вулканы, а также ряде минеральных и термальных источников юга о. Сахалин в свете рассмотрения их как объектов сквозной флюидодинамической системы, которая сформировалась вдоль Охотско-Япономорского геотектонического линеамента и маркирующей межплитные границы зоны сочленения Охотоморского и Япономорского регионов.

Актуальность исследований определяется необходимостью выявления фоновых и аномальных газогеохимических индикаторов геологической среды сахалинского сегмента Хоккайдо-Сахалинской складчатой области, возникающих под действием региональных и локальных геологических факторов (скопления углеводородов, разломная тектоника, сейсмичность и др.). Основной целью изучения является исследование изменчивости ряда объективных газогеохимических и изотопно-геохимических параметров (^{13}C , He, H_2 , CH_4 и гомологи, CO_2 , O_2 , и др.) в геологических системах газовой эмиссии разных типов.

В исследуемом регионе распространены газовые выходы различного генезиса. Среди них преобладают холодные венты (угленосных толщ, газо-водные источники, газогидратные и др.), грязевулканические, термальные. Выявление закономерностей пространственно-временной изменчивости качественных и количественных изотопных и газогеохимических параметров в изучаемых системах газовой в результате разгрузки будет одним из главных результатов выполненных исследований. Это позволит выявить закономерности взаимосвязи вариаций изотопно-геохимических параметров упомянутых систем при сравнительном

и системном анализе имеющихся данных по сейсмичности и вулканической активности региона.

Вклад водоминеральных источников в газовый облик юга Сахалина рассмотрен на примере Синегорского и Волчанского месторождений углекислых вод. Месторождение Синегорских минеральных вод расположено в 21.5 км к северу от г. Южно-Сахалинска и приурочено к восточным отрогам Западно-Сахалинского хребта. Спонтанный газ представлен на 99% углекислым газом. Температура минеральных вод +7°C. В южной части месторождения, прилежащей к пересечению разломов, разведочной наклонной скважиной на глубине 25 и 41 м были вскрыты дайки диабазов [1]. Автор указывает, что с удалением от месторождения углекислый газ постепенно уступает место метану: относительное содержание последнего возрастает от 1.3 (скв. 19) до 91.8%. Изотопный состав метана данного месторождения - 36.7‰.

Опираясь на гипотезу формирования вод грязевых вулканов, основанную на растворении пластовых вод в углеводородах, переносе растворенной воды миграционным потоком газа [2], можно провести параллели в формировании вод грязевых вулканов и минеральных вод типа синегорских. Этим автор объясняет увеличение концентраций метана в эксплуатационных скважинах месторождения от 5.4% на юге до 90% и более на севере. Аналогичность химического состава минеральных вод, вод нефтяных месторождений Охи, ряда источников и вод грязевых вулканов, объясняется региональными геологическими процессами.

Волчанское месторождение расположено в западной части среднего Сахалина, в Углегорском районе Сахалинской области, в верховьях ручья Сенного - левого притока р. Волчанки. Месторождение приурочено к зоне разрывного нарушения, сложено передробленными осадочными породами аракайской свиты верхнего палеогена. Формирование месторождения обусловлено поступлением по разлому глубинных флюидов, обогащенных углекислым газом, бором, йодом. Подземные воды напорные. Концентрации CO₂ в спонтанном газе Волчанского месторождения составляет 61%, а CH₄ - до 30%. В газе

месторождений (Синегорское и Волчанское) наблюдается высокое содержание гелия - до 105 ppm.

Во время экспедиций 2016-2017 гг., проведенных в рамках гранта Президента МК-2286.2017.5. Было выполнено опробование минеральных источников в долинах рек Правда и Приточная, а также вод в колодцах и скважинах села Северные Ключи (г. Холмск), где, по свидетельствам местных жителей, вода в колодцах в ряде частных домов за несколько дней внезапно нагрелась до 22 градусов. Также были опробованы ряд сернистых источников в районе г. Невельск.

Воды опробованных источников принадлежат к сульфидным (слабосероводородным) и распространены в южной части Сахалина, особенно на западном побережье (Татарский бассейн) и приурочены к зонам тектонических разломов.

Воды проявляются в виде многочисленных источников. Выходы источников наблюдаются преимущественно в узких зонах разломов и в сильно трещиноватых вулканогенно-осадочных образованиях миоценового возраста, реже палеогеновых и меловых. Характерным является малая концентрация сульфидов, которая колеблется от 0.1-1.0 до 6-8 мг/дм³ и существенно зависит от сезонного питания водами атмосферных осадков.

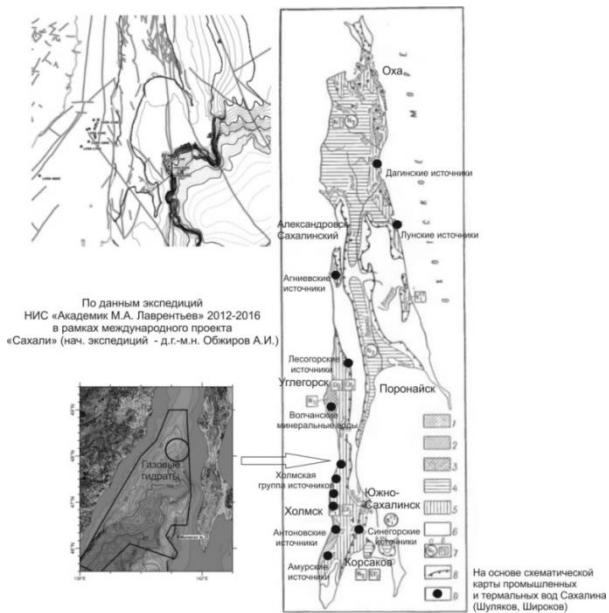
Холмская группа сероводородных источников расположена в 7 км южнее г. Холмска, в 400 м на восток от берега Татарского пролива. Протяженность участка выхода минеральных вод – около 50 м. Измеренный дебит отдельных источников – 0.3-0.5 л/сек. Температура воды в марте месяце составляла 10-14 С. Все ручейки, образованные выходами минеральных вод имеют на дне белесые налеты (рис. 1). Вода Холмских источников давно пользуется большой популярностью у местного населения.



Рисунок 1. Отбор из минеральных сероводородных источников в марте 2017 г., юго-западное побережье о. Сахалин:

а) сернистые источники, белый налет; б) сернистый источник в районе г. Невельск, измерение дебита и температуры; в) Холмские сернистые источники.

В результате проведенной серии хроматографических анализов было выявлено, что Холмские сернистые источники содержат высокие концентрации метана в воде от 20 666 до 1 701472 нл/л. В некоторых пробах обнаружены – этан. Повышенные концентрации метана и наличие тяжелых углеводородных газов можно связать с повышением сейсмо-тектонической активности в регионе, которая, видимо, усиливает продвижение газов в зонах проницаемости. Так же не стоит исключать связь проявлений минеральных вод с нефте-газопроявлениями и проявлениями газогидратов южной части Татарского пролива (рис. 2). По данным нескольких экспедиций, проведенных в рамках международного проекта Сахалин (2012-2016 гг.) в пределах верхней части островного склона (района залива Де Лангля) были обнаружены наиболее мелководные из известных проявлений газогидратов на глубине 322 м, вскрыт полный разрез отложений, характерных для участков с потоком углеводородных газов на морском дне.



Условные обозначения:

- Площадки с установленными: 1 - термальными; 2 - промышленными;
3 - промышленными и термальными водами. Перспективные земли:
4 - на термальные; 5 - на промышленные и термальные воды;
6 - районы, бесперспективные на промышленные и термальные воды;
7 - сезонные водоносные комплексы, перспективные: а - на термальные воды,
б - на термальные и промышленные воды;
8 - граница геологических районов; 9 - опробованные источники

Рисунок 2. Район работ и расположение основных термальных и минеральных источников на о. Сахалин.

Литература

1. Аверьев В.В. Углекислые мышьяковистые Синегорские воды на Южном Сахалине // Геология. – 1975. – Т. XXXII (3). – С. 143-149.
2. Селецкий Ю.Б. Аномальный изотопный состав минеральных вод Синегорского месторождения // Отечественная геология. – 1992. – №12. – С. 73-77.

СЕКЦИЯ 3 Экология океана. Биоресурсы океана

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЛЕЧЕБНЫХ ГРЯЗЕЙ В БУХТЕ ВОЕВОДА (АМУРСКИЙ ЗАЛИВ, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

**Ю.А. Барабанщиков, П.Я. Тищенко, П.Ю. Семкин,
Т.А. Михайлик, А.А. Косьяненко**

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, biw90@mail.ru

Морские донные осадки являются хранилищем растворенного и взвешенного материала (Розанов, 1995). Процессы раннего диагенеза органического вещества, идущие при обычных температурах, могут заметно изменять химический состав поровой воды и твердой фазы. Донные отложения мелководных морских бассейнов, заросшие фитобентосом, как правило, обогащены органическим веществом. В некоторых случаях эти осадки представляют собой вязкий ил, который обладает лечебными свойствами (пелоид). Характерной особенностью пелоидов является высокая микробиологическая активность, которая выделяет их среди других аналогичных природных образований (Ступникова, Мурадов, 1998). Активная деятельность бактерий, грибов и других организмов способствует разложению органических и животных остатков, обогащает лечебные грязи гуминовыми веществами, битумами, продуцирует ион аммония, сероводород, двуокись углерода и метан. Непрерывный поток органического вещества из водной среды в осадок обеспечивает постоянную активность микроорганизмов, которые поддерживают устойчивое содержание в грязях таких важных и нестойких органических соединений, как витамины, ферменты и гормоны (Ступникова, 2001). Условием такого непрерывного потока органического вещества может быть высокая первичная продукция, обеспечиваемая микро-, макро-водорослями и морскими травами, например, зостера.

Залежи лечебных грязей, которые имеются в нескольких мелководных бухтах залива Петра Великого, формируются в результате высокой интенсивности продукционно-деструкционных процессов. К таким бухтам относится бухта Воевода, расположенная в юго-западной части о. Русский. Отличительной

особенностью донных осадков бухты Воевода, как показывают наши исследования, является высокое содержание в них органического вещества и протекание процесса сульфатредукции (Барабанчиков и др., 2017). В бухте Воевода произрастают обширные заросли zostеры (*Zostera marina*), которые играют большую роль в качестве продуцента органического вещества и накопителя микроэлементов (Кафанов, Лысенко, 1988а; 1988б). Количество органических веществ непостоянно и зависит от сезона и возраста листьев. Содержание минеральных веществ в zostере от весны к осени уменьшается, органических, наоборот, увеличивается. Листья zostеры содержат ценное органическое соединение – zostерин (природный полисахарид). Плотность зарослей zostеры в исследуемой акватории на 2008 год достигала 50 кустов на 1 м² (Результаты поисков и оценки., 2008). Имеющиеся в литературе данные по условиям обитания гидробионтов, а также гидробиологическим условиям в бухте Воевода малочисленны (Ляшенко, 2005). Высокая первичная продукция (ПП) бухты Воевода, на наш взгляд, является одним из условий существования лечебных грязей, мощность которых до настоящего времени не известна. ПП в бухте обеспечивается, главным образом, zostерой. Динамика вод, как фактор оказывающий влияние на произрастание zostеры, в данном районе не изучалась.

Цель работы – исследование плотности распространения зарослей zostеры на основании данных водолазной съемки, изучение течений с использованием прямых измерений, изучение мощности слоя лечебных грязей с применением метода геофизической съемки.

Измерение течений в поверхностном и придонном горизонтах проводилось в декабре 2012 года с помощью электромагнитных измерителей INFINITY – EM (Япония). Измерители последовательно устанавливались на период 15 минут в двенадцати точках бухты, съемка заняла 3,5 часа. Долгопериодные измерения течений были проведены в 2012 г. в период с 01.09.2012 по 22.11.2012. Для этого нами была установлена автономная буйковая станция (АБС) с измерителем течений INFINITY – EM в придонном слое воды.

В августе 2016 и 2017 гг. было проведено картирование зарослей зостеры и определение сырьевых ресурсов с участием легководолазов. Было выполнено 50 станций, на которых отмечали степень покрытия дна морской травой на 1 м² и характер донных осадков. В каждой точке в трех повторностях выкашивали траву с площади 1 м², скошенную траву взвешивали. На основании средних показателей биомассы с единицы площади вычисляли запасы биоресурсов. Визуально оценивали проективное покрытие дна зарослями, их протяженность и ширину. Работы проведены по общепринятой методике (Гемп, 1963).

Геофизическое профилирование дна в бухте Воевода ранее не проводилось, ближайший район с исследованиями такого рода это северная и центральная часть Амурского залива (Карнаух, 2011; Karnaukh et al., 2016). Высокоразрешающие сейсмоакустические исследования проводились в кутовой части бухты Воевода в 2011 году методом непрерывной профильной съемки дна с использованием буксируемого высокочастотного профилографа “GeoPulse Subbottom Profiler” (GeoAcoustics Limited, Англия) с борта НИС «Импульс». Работы проводили сотрудники лаборатории сейсмических исследований, зав. лаб. Карнаух В.Н. ТОИ ДВО РАН.

Гидрология. Бухта Мелководная представляет собой водоем с низким уровнем водообмена. Внутри бухты формируется замкнутая циркуляция антициклонического направления с максимальной скоростью 12 см/с в поверхностном слое при северо-западном ветре до 7 м/с. Ранее было установлено, что при юго-восточном ветре картина течений в бухте Мелководной противоположная и имеет циклоническое направление (Барабанщиков и др., 2015). Основные факторы, определяющие течение в бухте Воевода: динамика вод Амурского залива, сток р. Русской в период открытой воды и ветер.

Гидробиология. Всего на исследованном побережье было обнаружено 6 участков, занятых зарослями зостеры. Нынешние участки, занятые зостерой в бухте Воевода, представляют собой мелководные районы, защищенные от внешних факторов Амурского залива. Плотность произрастания зостеры различна, в зависимости от места ее нахождения. В кутовых частях бухт

Мелководной и Круглой биомасса достигает 3 кг сырой массы на 1 м² при проективном покрытии 100%. В среднем для всей бухты Воевода биомасса zostеры составляет 0,5–1,5 кг сырой массы на 1 м².

Геофизика. Географическая съемка была выполнена на площади бухты Мелководной и прилегающих к ней частей бухты Воевода. В бухте Мелководной поверхность акустического фундамента (скальное основание) обнажается в южной части бухты и полого погружается в северном направлении до глубины примерно 21 м ниже уровня моря. Выше залегает слой слабо стратифицированных отложений толщиной 3–7 м, заполняющий неровности рельефа фундамента и полого воздымающийся в юго-западном направлении. В юго-западной части профиля на глубине около 10 м ниже уровня моря этот слой выклинивается на склоне скального основания. Вероятно, данный слой представлен песками и галечниками, отложенными во время осушения площади бухты в период последнего понижения уровня моря ручьями, впадающими в бухту. В верхней части разреза распространен слой акустически прозрачных образований толщиной до 9 м, представленных лечебными гязями. В юго-западной части профиля в слое наблюдаются локальные внедрения акустически слабо стратифицированных осадков — вероятно, линз песков. По результатам сейсмоакустических исследований в бухте Мелководной установлено, что общая мощность слоя лечебных гязей достигает 15 м.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 16-35-00091 мол_а и программе Дальний Восток, грант № 15-I-1-010.

Литература

1. Барabanщиков Ю.А., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю. и др. Диагенез органического вещества в донных осадках бухты Воевода и Амурского залива (Японское море) // 2-я Всерос. конф. с междунар. участием «Дальневосточные моря и их бассейны: биоразнообразие, ресурсы, экологические проблемы»: тез. докл. — Владивосток : ДВФУ, 2017. — С. 57–58.
2. Барabanщиков Ю.А., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю. и др. Сезонные гидролого-гидрохимические исследования бухты Воевода (Амурский залив, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 180. — С. 161–178.

3. Гемп К.П. Новые методы исследования зарослей водорослей в Белом море // Проблемы использования промысловых ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Карелии. — М. ; Л. : АН СССР, 1963. — Вып. 1. — С. 140–142.
4. Карнаух В.Н., Суховеев Е.Н., Листровая И.А. Высокорастворимые сейсмоакустические исследования скоплений газа в голоценовых донных отложениях Амурского залива (Японское море) // Вестн. ДВО РАН. — 2011. — № 3. — С. 56–64.
5. Кафанов А.И., Лысенко В.Н. Биология морской травы *Zostera marina* // Биота и сообщества дальневосточных морей. Лагуны и заливы Камчатки и Сахалина. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1988а. — С. 93–113.
6. Кафанов А.И., Лысенко В.Н. О трофических ресурсах сообщества зостеры залива Петра Великого Японского моря // Биол. моря. — 1988б. — № 6. — С. 24–30.
7. Ляшенко С.А. Особенности воспроизводства тихоокеанской мидии в бухте Воевода (остров Русский) // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 140. — С. 352–365.
8. Ступникова Н.А. Экологические подходы к формированию, регенерации и активации лечебной грязи озера Утиног : дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский : НИГЦДВРАН, 2001. — 139 с.176
9. Ступникова Н.А., Мурадов С.В. Экологическое значение биохимических процессов в механизмах формирования пелоидов // Эколого-экономические проблемы рационального природопользования Камчатки. — Петропавловск-Камчатский : КГ АРФ, 1998. — С. 55–60.
10. Karnaukh V.N., Astakhov A.S., Vereshchagina O.F. et al. Formation of subsurface shallow gas accumulations in Amurskiy Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) as a result of postglacial sea-level change, paleoceanographic conditions and hydrological activity // Marine Geology. — 2016. — Vol. 372. — P. 31–52.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СООБЩЕСТВ ПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ И САХАЛИНСКОГО ШЕЛЬФА ОХОТСКОГО МОРЯ

Ю.В. Федорец, Л.Е. Васильева

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, orka@poi.dvo

В последние годы, в связи с геологоразведочными изысканиями и добычей нефти и газа на шельфе Сахалина, проведено много детальных исследований морской биоты на

отдельных площадках месторождений. Несмотря на то, что эта акватория является объектом интенсивных океанографических и гидробиологических исследований, сведения о планктонных сообществах немногочисленны.

Как известно, живые организмы тесно связаны со средой обитания и могут служить надежными индикаторами ее состояния. Планктонные, нектонные и бентосные морские сообщества наиболее восприимчивы к антропогенному воздействию. Исследование планктона является одним из основных направлений проводимого мониторинга окружающей среды на морских акваториях. Пространственное распределение многих видов планктона служит хорошим индикатором течений и дислокации водных масс.

Целью настоящей работы является изучение экологической обстановки в районе северной части Японского моря и Сахалинского шельфа Охотского моря по качественным и количественным показателям фитопланктона, зоопланктона.

Материал и методы. Отбор проб осуществлялся с 04.08 по 19.08.2017 г. на 28 станциях.

Пробы морской воды для анализа фитопланктона отбирали в летний период при помощи батометра Нискина по стандартным методикам [5, с. 20-40] на трех горизонтах (верхний, промежуточный и придонный слой). Всего было отобрано и обработано Северная часть Японского моря – 5 проб (на станциях 11, 12, 13, 14, 15); Сахалинский шельф Охотского моря – 23 пробы (на станциях 17, 18, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 34, 36, 38, 39, 44, 46, 48, 50, 53, 54, 56, 58, 60, 62).

Численность клеток подсчитывали в счетных камерах объемом 0,05 и 1 мл. Биомассу водорослей оценивали объемным методом, используя оригинальные и литературные данные измерений объема клеток для каждого вида [5, с. 20-40]. За показатель плотности принимали численность клеток в 1 л воды.

Отбор проб зоопланктона проводили в летний период большой планктонной сетью Джеди (БСД-37) с диаметром верхнего входного кольца 37 см и размером ячеек 0,168 мм. Пробы были отобраны на аналогичных станциях что и фитопланктон. Разбор и анализ проб зоопланктона выполнен по стандартным

методикам [2, с. 5-28]. Коэффициенты уловистости для сети не применяли. Данные по плотности усредняли и пересчитывали на 1 м³.

Фитопланктон. Видовой состав в летний период формировали пять отделов микроводорослей: динофитовые (Dinophyta), диатомовые (Bacillariophyta), зеленые (Chlorophyta), криптофитовые (Cryptophyta) и эвгленовые (Euglenophyta). Всего обнаружен 51 вид и внутривидовой таксон микроводорослей. По числу видов ведущее положение занимали отделы диатомовых (28 видов и внутривидовых таксонов) и динофитовых микроводорослей (15), составлявшие 84 % от общего количества видов. Остальные отделы были представлены небольшим числом видов [3]. Развитие фитопланктона в августе 2017 г. можно охарактеризовать как активное. Микроводоросли концентрировались в промежуточном слое. Их численность колебалась в пределах от 23,7 до 524 тыс. кл./л, а биомасса – от 104 до 602 мг/м³. Структуру сообщества формировали, главным образом, диатомовые водоросли. Их плотность в период исследования составляла 75–80 % от общей плотности фитопланктона, а биомасса достигала 97–99 % от суммарной биомассы микроводорослей.

Таким образом, в распределении фитопланктона наблюдается изменчивость, тесно связанная с гидрологическими условиями и, прежде всего, с течениями и стратификацией водных масс. Вертикальные изменения плотности и биомассы фитопланктона тесно связаны с сезонным расположением слоя скачка температуры воды и, возможно, с распределением водных масс разного происхождения. Результаты проведенного анализа, свидетельствующие о преобладании широко распространенных видов-космополитов, совпадают с данными биогеографического анализа, полученными ранее для ряда районов северной части Японского моря и охотоморского побережья Сахалина [1, с. 880; 3, с. 10-20; 4, с. 100-104].

Зоопланктон. В летний период 2017 г. по количеству видов доминировал неритический комплекс, представленный прибрежными видами голопланктона (76 %) и меропланктона (личинки донных беспозвоночных животных). Основу численности

и биомассы зоопланктона в исследованном районе составляли copeподы. На их долю пришлось около 48 %. Доминировало четыре вида Copepoda: *Metridia okhotensis* (от 100 до 478 экз./м³), *Pseudocalanus minutus* (от 119 до 285 экз./м³), *Oithona similis* (от 120 до 689 экз./м³) и *Neocalanus plumchrus* (от 78 до 341 экз./м³). Основу зоопланктона в большей части определяли виды глубоководные и эврибатные с примесью прибрежных и эпипелагических видов. Общая биомасса зоопланктона колебалась на станциях в пределах от 422 до 1407 мг/м³, а численность варьировала от 742 до 3355 экз./м³.

Таким образом, видовой состав зоопланктона характеризуется значительным разнообразием. Население верхней толщи мощностью в 100 м состоит как из типичных поверхностных форм, так и из интерзональных животных, поднимающихся с глубины в верхние слои моря. В целом в зоопланктоне по количеству видов доминировал неритический комплекс, представленный прибрежными видами голопланктона (67,5 %) и меропланктона (32,5 %).

В результате проведенных комплексных гидробиологических исследований, выполненных в исследуемых районах, получены результаты по экологическому состоянию сообществ планктона. Большой видовой состав различных таксономических групп, а также высокие показатели численности и биомассы фито-, зоопланктона свидетельствует об устойчивом состоянии сообществ, в пределах исследованной акватории.

Литература

1. Долганова, Н. Т. Состав, сезонная и межгодовая динамика планктона северо-западной части Японского моря. / Н. Т. Долганова // Известия ТИНРО. Т. 128. Ч. 3. 2001. С. 810–889.
2. Инструкция по сбору и обработке морского сетного планктона. – Владивосток: ТИНРО, 1990. 29 с.
3. Коновалова, Г. В. Структура фитопланктона мелководий северо-западной части Японского моря / Г. В. Коновалова, Т. Ю. Орлова // Биология моря. № 5. 1988. С. 10–20.
4. Орлова, Т. Ю. Видовой состав микроводорослей планктона охотоморского побережья острова Сахалин / Т. Ю. Орлова, М. С. Селина, И. В. Стоник // Биология моря. Т. 30. № 2. 2004. С. 96–104.

5. Федоров, В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: МГУ. 1979. 168 с.

НЕКОТОРЫЕ БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ *MIZUHOPECTEN YESSOENSIS* В УСЛОВИЯХ КРАТКОСРОЧНОЙ ГИПОКСИИ/АНОКСИИ И РЕОКСИГЕНАЦИИ

Е.В. Дзюбенко^{1,2}, А.А. Истомина²

¹ДВФУ, Владивосток, Россия, dzyubenko1995@inbox.ru

²ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия, s-istomina1@mail.ru

Двустворчатый моллюск *Mizuhopecten yessoensis* является важным промысловым объектом марикультурного хозяйства на Дальнем Востоке. Приморский гребешок не приспособлен к обитанию в экстремальных приливно-отливных условиях и относится к стеноокисильным организмам, предпочитая хорошо аэрированные воды с высокой концентрацией растворенного кислорода. Фермеры марикультурных хозяйств пытаются оптимизировать практику культивирования гребешка с целью увеличения объема производимой продукции. При этом необходимо учитывать влияние ряда факторов, оказывающих отрицательное воздействие на механизмы защиты и выживание гребешка. Среди этих факторов – подверженность морского гребешка воздействию воздуха при его обработке, пересадке и длительной транспортировке. Недостаток кислорода в жизнедеятельности гидробионтов, как и изменение действия любого другого фактора среды, может привести к развитию стресса. Например, в условиях гипоксии/аноксии происходит активация свободно-радикальных процессов (увеличение продукции активных форм кислорода (АФК)) и, как следствие, происходит развитие окислительного стресса (ОС) [4]. Поэтому, при исследовании устойчивости организма к гипоксии особое внимание уделяется антиоксидантной (АО) защитной системе, представленной ферментами (каталаза и др.) и низкомолекулярными соединениями (глутатион и др.) [5, 6]. Компоненты АО системы можно рассматривать в качестве

биомаркеров стресса, вызванного условиями недостатка кислорода [7].

Цель данной работы - исследовать реакцию биохимических параметров у *M. yessoensis* в вынужденных условиях гипоксии/аноксии при пересадке в садки.

Для этого были измерены уровень образования активных форм кислорода (АФК), а также активность АО фермента каталазы (КАТ) и накопление продуктов перекисного окисления липидов – малонового диальдегида (МДА), свидетельствующих о развитии окислительного стресса. Кроме того, была определена активность кислой и щелочной фосфатаз, участвующих в адаптивной регуляции обмена веществ [3].

Двухлетние особи приморского гребешка были собраны в мае 2017 г. из садков марикультурного хозяйства б. Северной Славянского залива. Гребешок вытряхивали из поднятых садков и помещали на сортировочный стол, где обычно проводится пересадка гребешка в другие садки. Одну часть особей сразу же препарировали (контроль). Другую часть моллюсков в таких условиях на воздухе (при температуре 9-12 °С) выдерживали 1,5 и 3,5 часа, соответственно. После выдерживания на воздухе часть моллюсков помещали обратно в воду на реоксигенацию (24 часа). Всего было использовано 50 особей *M. yessoensis*. Моллюсков препарировали на льду извлекали пищеварительную железу и замораживали в жидком азоте.

Пробоподготовка и методика исследования биохимических параметров подробно описана в работах Мензоровой [2], Бельчевой и ее коллег [1]. Все измерения проводили на спектрофотометре Shimadzu UV-2550 с термостатированной ячейкой.

Полученные данные представляют собой среднее значение для десяти параллельных проб \pm стандартное отклонение. Для сравнения средних значений представленных данных использовали непараметрический критерий Манна-Уитни в программе Statistica 7.

Результаты исследований показали, что кратковременные условия гипоксии/аноксии приводят к изменению некоторых биохимических параметров в пищеварительной железе гребешка (таблица). Так, воздействие аноксии 1,5 часа привело к увеличению

активности кислой и щелочной фосфатаз в 1,2 раза и 1,3 раза, соответственно. При аноксии 3,5 часа наблюдалось увеличение активности только кислой фосфатазы в 1,1 раза. Изменений в уровне АФК, активности КАТ и содержания МДА не происходило, что свидетельствует об отсутствии развития окислительного стресса у гребешка во время краткосрочного пребывания на воздухе.

Таблица. Содержание биохимических параметров в тканях пищеварительной железы *M. yessoensis* при воздействии гипоксии/аноксии

Биохимический параметр	Каталаза, нмоль/мин / мг белка	Щелочная фосфатаза, нмоль/мин / мг белка	Кислая фосфатаза, нмоль/мин / мг белка	АФК, интенсивность флуоресценции в % от контроля	МДА, нмоль/мг белка
Контроль	95,84 ± 17,87	4,23 ± 0,78	46,26 ± 9,29	209,18 ± 51,22	1,33 ± 0,21
Выдерживание на воздухе 1,5 ч	105,22 ± 18,27	5,72 ± 1,60* p<0,005	58,57 ± 10,23* p<0,01	168,48 ± 32,93	1,28 ± 0,32
Выдерживание на воздухе 3,5 ч	93,79 ± 16,25	4,01 ± 0,99	64,57 ± 7,53* p<0,001	225,17 ± 39,45	1,28 ± 0,35
Реоксигенация, сутки (после гипоксии/аноксии 1,5 ч)	100,23 ± 25,72	4,76 ± 1,53	54,67 ± 12,88* p<0,004	195,15 ± 36,36	1,04 ± 0,24
Реоксигенация, сутки (после гипоксии/аноксии 3,5 ч)	102,48 ± 17,16	4,91 ± 0,93	58,82 ± 4,61	192,46 ± 13,09	1,18 ± 0,29

Примечание: данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение (n=10);* - достоверные отличия относительно контроля.

Из исследуемых биохимических параметров ферменты кислая и щелочная фосфатаза быстрее реагируют на стрессовые условия гипоксии/аноксии. Вероятно, в этих условиях включаются

механизмы компенсаторной адаптации, и как следствие увеличение активности кислой и щелочной фосфатаз.

Возвращение моллюска в естественные условия обитания после пребывания на воздухе (реоксигенация) приводит к восстановлению всех исследуемых параметров до контрольных значений.

Таким образом, результаты показали, что выдерживание морского гребешка в течение 1,5-3,5 часов при пересадке в садки допустима. Моллюск в данных условиях не испытывает окислительного стресса. Однако активация ферментов кислой и щелочной фосфатаз свидетельствует о происходящих адаптивных изменениях в метаболизме.

Такого рода исследования важны как для выяснения механизмов развития приспособительных реакций у гидробионтов в ответ на воздействие разнообразных факторов среды, так и для оценки биологического состояния беспозвоночных при их адаптации к различным экологическим и антропогенным воздействиям.

Литература

1. Бельчева Н.Н., Истомина А.А., Кудряшова Ю.В., Челомин В.П. Оценка качества морской среды по показателям окислительного стресса и содержанию тяжелых металлов в тканях мидии Грея *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) (*Bivalvia: Mytilidae*) // Биол. моря. 2013. Т. 39, № 4. С. 281-286.
2. Мензорова Н. И., Рассказов В. А. Использование различных тест-систем и биохимической индикации для мониторинга экологического состояния бухты Троицы (Японское море) // Биология моря. 2007. Т. 33. № 2. С. 144–149.
3. Цветков И.Л. Кислая фосфатаза гидробионтов как маркерный фермент токсического воздействия на организм. Автореф. дис. канд. биол. наук. М.: МПГУ, 1998. 16 с.
4. Almeida, E.A. Oxidative stress in digestive gland and gill of the brown mussel (*Perna perna*) exposed to air and re-submersed / E.A. Almeida, A.C.D. Baily, A.L. Dafre et al. // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2005. V. 318. P. 21-30.
5. Livingstone D. R. Contaminant — stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms // Mar. Pollution. 2001. Vol. 42, N 8. P. 656–666.
6. Regoli F., Principato G. Glutathione, glutathione-dependent and antioxidant enzymes in mussel, *Mytilus galloprovincialis*, exposed to metals

under field and laboratory conditions: implications for the use of biochemical biomarkers // *Aquat. Toxicol.* 1995. Vol. 31. P. 143–164.

7. Santovito G., Piccini E., Cassini A., Irato P., Albergoni V Antioxidant responses of the Mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis*, to environmental variability of dissolved oxygen // *Comp. Biochem. Physiol.* 2005. V. 140 C. P. 321-329.

**ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА ИЗ БУРОЙ ВОДОРОСЛИ
SARGASSUM PALLIDUM И КОММЕРЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА
СРАВНЕНИЯ «ЭССЕНЦИАЛЕ®» НА ФИЗИОЛОГО-
БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭРИТРОЦИТОВ
КРЫС ПРИ ИНТОКСИКАЦИИ ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТЫМ
УГЛЕРОДОМ (CCl₄)**

Е. С. Другова

ТОИ ДВО РАН, г.Владивосток, dryg-2005.84@mail.ru

Морские бурые водоросли представляют повышенный интерес, благодаря их уникальному химическому составу и возможности применения в различных сферах промышленности (медицина, фармакология, пищевая и др.). В их состав входят макро- и микроэлементы, полисахариды (фукоиданы, глюканы, пектины), каротиноиды, полифенолы, аминокислоты. Также бурые водоросли содержат достаточно высокий процент веществ липидной природы, в частности гликолипиды, нейтральные липиды и фосфолипиды [2]. Липиды водорослей богаты полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), на долю которых приходится до 40 % всех жирных кислот. Важным элементом фосфолипидной фракции морских макрофитов является высокое содержание ПНЖК семейства n-3 и n-6. В состав кислот семейства n-3 входят α-линоленовая, эйкозопентагеновая, докозагексагеновая; в состав n-6 - линолевая, γ-линоленовая, арахидоновая. Согласно литературным данным запасы ПНЖК в морских водорослях выше, чем в наземных растениях [6].

В предыдущих исследованиях нами было установлено, что водно-спиртовые экстракты, выделенные из ряда морских гидробиионтов (*Halocynthia aurantium*, *Saccharina japonica*, *Sargassum pallidum*) содержат достаточно высокий процент веществ липидной природы, при этом большая часть относится к

категории мембраноактивных компонентов. В связи с этим нами был исследован состав липидной фракции, выделенной из водно-спиртового экстракта таллома бурой водоросли *Sargassum pallidum*, для изучения возможности ее применения в качестве источников эссенциальных фосфолипидов для репарации мембран.

Целью работы явилось изучение влияния экстракта из бурой водоросли *Sargassum pallidum* и коммерческого препарата сравнения «Эссенциале®» на физиолого-биохимические характеристики эритроцитов крыс при интоксикации четыреххлористым углеродом (CCl₄).

Образцы водоросли *S. pallidum* собирали в августе - сентябре в заливе Петра Великого Японского моря (б. Алексеева, о. Попова). Выборка водорослей составляла 10 талломов. Слоевища очищали от эпифитов и донного бентоса, промывали сначала морской, затем дистиллированной водой. После этого отжимали и погружали в кипящую воду на 2 мин. для инактивации ферментов. Обработанные таким способом водоросли сушили до суховоздушного состояния. Высушенный таллом измельчали до размеров частиц 0,5-1 мм и экстрагировали 70% этиловым спиртом в соотношении сырье: экстрагент (1:2 по объему) методом реперколяции. Выход экстракта составлял 1 л на 1 кг сухого сырья.

Для выделения липидной составляющей экстракта и исследования ее состава, экстракт предварительно освобождали от спирта путем упаривания на роторном испарителе при температуре не выше 37°C. Полученную маслообразную массу экстрагировали смесью хлороформ: метанол (1:2 по объему) в соответствии с общепринятым методом для выделения липидов из растительного и животного сырья [3]. Для разделения фаз к экстракту добавляли раствор хлористого натрия (0,73%) в количестве 20% от объема. После разделения фаз хлороформный слой, содержащий липиды, отделяли на делительной воронке и упаривали на роторном испарителе до отсутствия запаха хлороформа. Общее содержание липидов определяли весовым методом. Стандартизацию липидной композиции экстракта проводили по суммарному содержанию липидов и дозу вводимого препарата рассчитывали в мг общих липидов на 1 кг массы животного.

Выделение эритроцитов из крови и получение эритроцитарных мембран проводили традиционным способом. Средний объем (СОЭр) и средний диаметр эритроцитов (СДЭ) крови определяли на гематологическом анализаторе «Abacus» (Diatron, Австрия). Осмотическую резистентность эритроцитов к изменению концентрации NaCl рассчитывали по методу Б.Л. Эндрю. Экстракты общих липидов из мембран эритроцитов готовили по методу J. Folch et al. [5].

Эксперимент был проведен на крысах линии Вистар массой 180-200 г, содержащихся в стандартных условиях вивария. Животные были разделены на 5 групп по 10 крыс в каждой: 1 группа - контроль; 2 группа - введение CCl₄; 3-я - введение CCl₄ с последующей отменой в течение 7 дней; 4-я группа - введение CCl₄ в течение 4 дней с последующим введением липидной фракции *S. pallidum* в течение 7 дней; 5-я группа - введение CCl₄ с последующим введением эссенциале в течение 7 дней. Крысам вводили 50%-ный масляный раствор CCl₄ подкожно в дорсальную шейную складку из расчета 2 мл/кг в течение 4 дней. На следующий день после последнего введения CCl₄ животные получали внутривенно через зонд липидный комплекс из экстракта саргассума в вазелиновом масле в течение 7 дней в дозе 80 мг общих липидов на кг массы животного, что соответствует известной терапевтической дозе для препаратов липидной природы [1]. В качестве препарата сравнения использовали известный гепатопротектор «Эссенциале®», изготовленный на основе фосфатидилхолина соевых бобов, который вводили тем же способом и в той же дозе. Крыс выводили из эксперимента декапитацией под легким эфирным наркозом.

Введение CCl₄ в течение 4 дней показало типичную картину токсического действия. Это проявлялось в изменении размерных характеристик эритроцитов: увеличение СДЭ на 37% ($p < 0,001$) и СОЭр более, чем в 2,5 раза ($p < 0,001$) по отношению к контрольным показателям); их осмотической резистентности к гемолизирующему агенту: начало и окончание гемолиза эритроцитов происходило раньше, чем у контрольных крыс (начало при концентрации NaCl $0,55 \pm 0,01\%$, а завершение – при $0,50 \pm 0,01\%$); а также разбалансировкой липидного состава их

мембран. Так, в спектре нейтральных липидов произошло статистически достоверное повышение уровня холестерина на 26% ($p < 0,001$). Одновременно отмечалось снижение количества общих фосфолипидов (ОФЛ) на 20% ($p < 0,001$), в связи с чем коэффициент холестерин/фосфолипиды (ХС/ФЛ) увеличился более чем в 1,5 раза. Известно, что увеличение содержание холестерина в мембране эритроцитов приводит к существенному изменению ее физико-химических свойств: увеличивается микровязкость мембраны, ухудшается ее деформируемость и способность к прохождению в микроциркуляторном русле, в результате чего происходит развитие тканевой гипоксии [4]. Интоксикация четыреххлористым углеродом вызвало дисбаланс в содержании фосфолипидных фракций. Так, в мембранах эритроцитов после интоксикации произошло достоверное снижение основных структурных фосфолипидов: фосфатидилхолина (ФХ) на 5% ($p < 0,05$), фосфотидилинозита (ФИ) на 28% ($p < 0,001$) и фосфатидной кислоты (ФК) на 45% ($p < 0,001$). Известно, что ФИ и ФК необходимы для функционирования мембраносвязанных ферментов, таких как $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{АТФазы}$ [7]. Одновременно отмечалось увеличение уровня лизофосфатидилхолина (ЛФХ) на 27% ($p < 0,001$) и лизофосфатидилэтаноламина (ЛФЭ) на 5% ($p < 0,05$), что обусловлено активацией фосфолипазы A_2 под действием CCl_4 . Также стоит отметить факт повышения содержания сфингомиелина (СМ) на 26% ($p < 0,001$), который определяет степень устойчивости биологической мембраны и является компенсаторной реакцией на увеличение проницаемости мембран.

В период депривации (3-я группа) исследуемые параметры эритроцитов не восстанавливаются: сохраняется макроцитоз и низкая устойчивость к гемолизирующему агенту, по отношению к контрольной группе животных. Количество ОФЛ стало еще ниже, чем у крыс 2-й группы. В то же время, количество ХС было выше контрольных значений на 19% ($p < 0,001$), в связи с этим коэффициент ХС/ФЛ оставался таким же достоверно высоким, как и во 2-й группе. Также многие показатели фосфолипидного состава эритроцитов после отмены токсиканта к норме не возвращались. Так, содержание ФХ оставалось ниже контрольного уровня, а

количество ЛФХ при сравнении с соответствующими показателями 2-й группы практически не изменилось, и было выше контрольных показателей на 28 % ($p < 0,001$). Повышенным относительно контроля было содержание СМ (на 12%), и пониженными показатели ФИ (на 18%) и ФК (на 37%), что свидетельствует о сохранении высокой активности фосфолипаз. Следовательно, в период отмены CCl_4 в течение 7 дней полного восстановления физиологических характеристик и липидной составляющей мембран эритроцитов не наблюдалось, что говорит о сохранении стрессовой реакции, даже в отсутствии токсиканта.

Введение экстракта из бурой водоросли *S. pallidum* нормализовало большинство исследуемых параметров эритроцитов до контрольных значений. Однако, при сравнении этих величин с таковыми в 3-й группе (депривация) выявлены достоверные отличия по всем параметрам. Так, отмечалось снижение СДЭ на 15% ($p < 0,001$) и СОЭр на 39% ($p < 0,001$). Расширились границы устойчивости эритроцитов к гемолизирующему агенту: начало гемолиза происходило при $0,44 \pm 0,02\%$ NaCl, а завершение при $0,35 \pm 0,01\%$ NaCl. Возросло количество ОФЛ на 28% ($p < 0,001$), при этом содержание ХС достоверно снизилось на 12% ($p < 0,001$), что обусловило снижение коэффициента ХС/ФЛ на 31% ($p < 0,001$). Содержание фосфолипидных фракций в эритроцитах крыс 4-й группы не имело достоверных отклонений от такового в контроле. При этом отмечалось увеличение уровня ФХ до контрольных значений на фоне нормализации содержания его лизофракций. При сравнении этих показателей с величинами в период депривации выявлено снижение величины ЛФХ на 19% ($p < 0,001$), повышение уровня ФИ на 12% ($p < 0,01$) и ФК на 60% ($p < 0,001$), что свидетельствует о снижении активности фосфолипаз.

При введении препарата сравнения Эссенциале (5 группа) также произошло восстановление изученных физиолого - биохимических показателей, но стоит отметить, что некоторые параметры имели достоверные отличия от контрольных величин. Так, сохранялись повышенными относительно контроля СОЭр на 6% ($p < 0,05$), а осмотическая резистентность эритроцитов оставалась пониженной. Содержание ХС сохранялось на уровне, превышающем контрольные значения (на 8%; $p < 0,05$), при

одновременном снижении содержания ОФЛ (на 7%; $p < 0,05$). В связи с чем отношение ХС/ФЛ было выше контрольных показателей (на 16%; $p < 0,05$), что говорит о сохранении повышенной жесткости липидного бислоя эритроцитарных мембран. В количественном содержании фосфолипидных фракций также наблюдались достоверные отклонения. Так, содержание ЛФХ превышало контрольные значения на 9% ($p < 0,05$), а уровень ФИ и ФК был ниже контрольных величин, соответственно, на 15% ($p < 0,001$) и 17% ($p < 0,05$).

Таким образом, оба препарата обладали одинаковой направленностью в восстановлении исследуемых показателей, однако наиболее выраженный эффект проявлялся у экстракта из бурой водоросли *S. pallidum*, чем у гепатопротекторного препарата «Эссенциале». Поэтому водорослевый экстракт является перспективным для дальнейшего изучения в качестве профилактического средства при различных заболеваниях печени.

Литература

1. Саратиков А.С., Ратькин А.В., Фролов В.Н., Чучалин В.С. Влияние гепатопротекторов фосфолипидной природы на токсичность циклофосфана // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2004. № 2. С. 43-47.
2. Титлянов Э.А., Титлянова Т.В. Морские растения стран Азиатско-Тихоокеанского региона, их использование и культивирование. Владивосток: Дальнаука, 2012. 377 с.
3. Bligh E.G., Dyer W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification // J. Biochem. Physiol. 1959. N 37. P. 911-917.
4. Filippov A., Oradd G., Lindblom G. The effect of cholesterol on the lateral diffusion of phospholipids in oriented bilayers // Biophys J. 2003. V. 84, N. 5. P. 3079-3086.
5. Folch J., Less M., Sloane-Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue // Biol. Chem. 1957. V. 226. P. 497-509.
6. Sanina N.M., Goncharova S.N., Kostetsky E.Y. Fatty acid composition of individual polar lipid classes from marine macrophytes // Phytochemistry. 2004. V. 65. P. 721-730.
7. Satoh T., Cohen H.T., Katz A.I. Intracellular signaling in the regulation of renal Na-K-ATP-ase. II. Role of eicosanoids // J. Clin. Invest. 1993. V. 91. P. 409-415.

СОСТОЯНИЕ ДОННОЙ ФАУНЫ ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА

О.А. Еловская

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, olesya-sharova@mail.ru

Работы по исследованию макробентоса Татарского пролива в основном сводятся к изучению отдельных групп животных или растений, комплексные обследования в этом районе практически отсутствуют или немногочисленны [6]. В 2011 г. получены интересные данные о головоногих моллюсках. Виды-резиденты и сезонные и случайные мигранты отмечены в их фауне в Татарском проливе [4]. Среди двустворчатых моллюсков северо-западной части Татарского пролива зарегистрировано 99 видов, для каждого из которых приведены сведения по экологии и распространению [2]. Подробно изучен рост и продолжительность жизни мидии Грея в Татарском проливе [7]. Публикации, в основном, посвящены изучению промысловой фауны и массовых видов макробентоса [3, 5], и редко касаются количественных характеристик донных сообществ Татарского пролива.

В связи с этим, одной из целей экспедиции на НИС «Гагаринский» летом 2016 г. стало изучение донного населения Татарского пролива по сетке станций. Здесь, на преимущественно илистых грунтах в диапазоне глубин 22,5-205 м определен состав макробентоса, изучены количественные характеристики донных гидробионтов. Пробы макробентоса собирали дночерпателем системы Ван-Вина с площадью захвата 0,1 м². Содержимое промывали на судне через систему гидробиологических сит с наименьшей ячейей 0,5 мм, животных помещали в пластиковые ведра объемом 1 л и фиксировали 4 % раствором формалина, разведенным морской водой. Затем в лаборатории пробы промывали от фиксатора, разбирали по группам и видам, взвешивали на электронных весах с точностью до 0,01 г.

В результате исследования на 12 станциях было обнаружено 46 видов макробентосных животных из 11 таксономических групп. Кроме того, отмечены неопределенные до вида представители типа Sipuncula, классов Oligochaeta, Polychaeta, отряда Amphipoda, семейства Spionidae, родов Nephthus, Lumbrinereis, Ampharette, Terebellides, Bathymedon, Melita, Amphiodia. Наибольшим числом видов представлены многощетинковые черви, которые составляли

50 % от общего числа зообентоса акватории. Вклад двустворчатых моллюсков также значителен - более 20 %. Разноogie ракообразные представлены 7 видами (12,1 %), обнаружено 3 вида офиур. Остальные представители групп донной фауны включали по 1 виду. Многощетинковые черви встречены на всех станциях, за исключением станции с галечным грунтом, здесь фауна отличалась от остальных станций видовым составом. Доминировал морской еж *Strongylocentrotus droebachiensis* с биомассой 658,8 г/м², вид распространен во всех дальневосточных морях России на различных типах грунта на глубине от 0,5 до 1500 м. На песчаных и галечных грунтах района исследований отмечены неподвижные представители донной фауны: *Styella rustica* (409,4 г/м²) – одиночная асцидия; *Leieschara orientalis* (105,3 г/м²) – мшанка.

Многощетинковые черви *Scoloplos armiger* и *Nothria conchylega* оказались наиболее часто встречаемыми. *Ennucula (Leionucula) tenuis*, характеризующаяся по частоте встречаемости как редкий для Татарского пролива (Дуленина, 2013), в наших пробах отмечена практически на всех станциях.

Полихеты доминировали не только по видовому составу, но и по биомассе. Доля их на разных станциях составляла от 17,6 % до 100 %. Невысокий вклад в биомассу внесли разноogie ракообразные. По показателям численности доминирующими видами оказались полихеты (59,1 %) и офиуры (19,4 %). Среди многощетинковых ведущая роль у *Maldane sarsi* (от 10 до 420 экз./м²) и *Scoloplos armiger* (от 10 до 220 экз./м). Эти виды червей по данным Белан [1] являются негативным индикатором загрязнения и последовательно увеличивают плотность поселения в направлении уменьшения загрязнения.

Преобладающих по всем показателям полихет Татарского пролива можно отнести к 3 трофически различимым группам: избирательные детритофаги, неизбирательные детритофаги и плотоядные животные. По численности и биомассе доминируют неизбирательные детритофаги. Субдоминирующими группировками в районе исследования оказались собирающие детритофаги (офиуры) и мигрирующий компонент донной фауны, представленный плотоядными беспозвоночными (морские звезды).

Литература

1. Белан Т.А. Особенности обилия и видового состава бентоса в условиях загрязнения (зал. Петра Великого, Японское море): Автореф. дис... канд. биол. наук. - Владивосток, 2001. – 26 с.
2. Дуленина П.А. Видовой состав двустворчатых моллюсков западной части Татарского пролива Японского моря // Бюллетень Дальневосточного малакологического общества. 2013. Вып. 17. С. 27–78.
3. Дуленина П.А., Дуленин А.А. Распределение, размерный, возрастной состав и рост приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1856) (BIVALVIA: PECTINIDAE) в северо-западной части Татарского пролива // Биология моря. – Т. 38, № 4. – 2012. – С. 290–297.
4. Млынар М. Видовой состав головоногих моллюсков северной части Японского моря (Татарский пролив) и его экологическая классификация // Рыбное хозяйство, 2011, № 3. С. 59–61.
5. Млынар Е.В., Сидяков Ю.С. О воздействии дражного промысла на скопления приморского гребешка // Биология моря. – 2006. - № 3. – С. 32–35.
6. Надточий В.А., Галышева Ю.А. Ретроспективный анализ количественного распределения макробентоса в северной части Японского моря // Известия ТИНРО. 2012. Т. 168. С. 184-202.
7. Селин Н.И., Дуленина П.А. Рост и продолжительность жизни мидии Грея *Crenomytilus grayanus* (Bivalvia: Mytilidae) в Татарском проливе Японского моря в связи с особенностями обитания у северной границы ареала // Биология моря. 2012. Т. 38, № 4. С. 298-304.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОБИОНТОВ В БЕНТОСНЫХ
СООБЩЕСТВАХ
В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ ГБТС
(Б. АЛЕКСЕЕВА, О. ПОПОВА, ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО,
ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

А.А. Косьяненко, Д.В. Косьяненко,
ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, kosyanpoi@inbox.ru

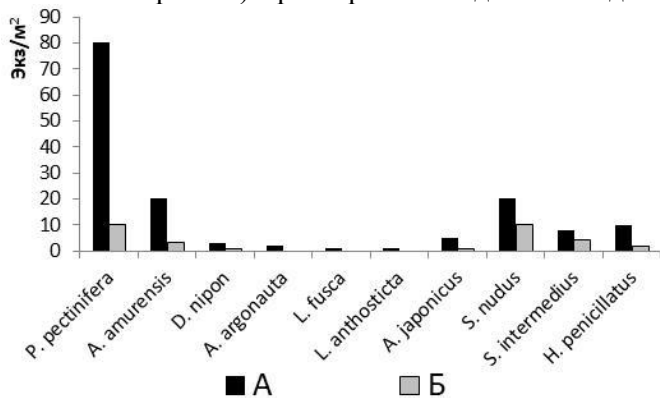
В основу работы вошли материалы, которые были собраны в ходе исследований обрастания коллекторов в период июль – октябрь 2017 г. Система коллекторов была установлена 20.04.2016 г. в кутовой части б. Алексеева (МЭС «о. Попова», ТОИ ДВО РАН) в диапазоне глубин 5-7 м.[1] Бухта Алексеева представляет собой полузакрытую акваторию эстуарного типа, глубоко врезающую в береговую линию о. Попова и выходящую в Амурский залив в

направлении с юго-востока на северо-запад. Малые глубины в ее кутовой части обуславливают прогрев этих участков и создают уникальные условия для развития гидробионтов. Наблюдение за системой коллекторов проводилось в течении 4 месяцев. Регистрация состояния коллекторов проводилась с помощью видеокамеры 2 раза в месяц с июля по октябрь.

Цель работы - изучение динамики развития гидробионтов в условиях применения искусственных субстратов. Для этого были поставлены следующие задачи: исследовать распределение биоты непосредственно на дне, под системой коллекторов и около нее. Работы проводились с использованием общепринятых гидробиологических методик.

В результате проведенных нами исследований, было обнаружено, что на донной части акватории б. Алексеева, находящейся непосредственно под экспериментальной системой коллекторов обнаружено большее количество видов гидробионтов, чем на участках дна, не подверженной ее влиянию. Из них доминировали классы морских звезд (Asterozoa), и морских ежей (Echinozoa). Далее следовали класс ракообразные (Crustacea) и голотурии (Holothurozoa). Так же встречаются такие виды рыб, как: опистоцентр глазчатый (*O. ocellatus*), бычок седловидный (*M. sellaris*). Отмечены 1 вид камбалы (*Pleuronectidae* sp.) и экземпляры *P. yessoensis* (Гребешок приморский). Из морских звезд самыми массовыми оказались такие виды как: *P. pectinifera* (Патирия гребешковая), количество которой на участке дна, куда происходило опадание *M. trossulus* с коллекторов, достигало 80 экз./м², обладали размером от 4 до 10 см; *A. amurensis* (Астерия амурская), количество которой на этих же участках достигало 10 экз./м², размер от 10 до 30 см; далее по убыванию шли такие виды, как: *A. argonauta* (Астерия аргонавта) - до 2 экз./м². (встречалась только на участке дна под коллекторами на субстрате из опавшей *M. trossulus*); *D. nipon* (Дистоластерия колкая) – до 1 экз./м²; *L. fusca* (Летастерия черная) и *L. anthosticta* (Лизастрозома мягкая) – встречены единично. Морские ежи представлены двумя видами: *S. nudus* (Невооруженный морской ёж) и *S. intermedius* (Промежуточный морской ёж). Из них преобладал *S. nudus*: плотность поселений достигала 20 экз./м²; количество *S.*

intermedius изменялось от 2-3 экз./м². На глубине 7 м. и 7-8 экз./м² на глубине 4 м. Так же в сообществе, образованном опавшей с коллекторов мидией, на всем протяжении было отмечено большое количество *H. penicillatus* (Краб прибрежный) до 10 экз./м². Класс Holothuroidea представлен экземплярами *A. japonicus* (дальневосточный трепанг) с размерами от 5 до 12 см – до 5 экз./м².



Гистограмма встречаемости массовых видов гидробионтов в бентосных сообществах. (А- под коллекторами, Б - на участках дна, не подверженной влиянию системы коллекторов).

Таким образом, на протяжении всего времени с момента установки системы коллекторов в бухту, наблюдается увеличение таксономического разнообразия биоты на участках дна, прежде бедных в отношении видового состава. Это показатель того, что экспериментальная система коллекторов может выступать в качестве донора для образования на морском дне своего рода искусственного рифа (роль которого в нашем случае играют опавшие экземпляры мидии съедобной и фрагменты оторвавшихся от несущих хребтин коллекторов), который в свою очередь дает убежище и пропитание разным видам гидробионтов. Тем самым оживляя некогда мертвое морское дно.

Литература

Динамика поселений *M. trossulus* на искусственном субстрате в бухте Алексева (о. Попова, Залив Петра Великого, Японское море). 3-я Научная конференция «Океанография Залива Петра Великого и прилегающей части Японского моря».

ЩЕТИНКОЧЕЛЮСТНЫЕ (CHAETOGNATHA) БУХТЫ АЛЕКСЕЕВА (О. ПОПОВА, ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Д.В. Косьяненко¹, А.А.Косьяненко¹, А.В. Луцюк²

¹ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, darya@poi.dvo.ru;

² ФГБОУ ВО «ДАЛЬРЫБВТУЗ», г. Владивосток

Тип Щетинкочелюстных (Chaetognatha, сагитта или морские стрелки) - небольшая, обособленная от других типов группа морских животных. Сагитты являются важным компонентом планктона всех морей и океанов [1]. Также морские стрелки могут выступать в роли индикаторов загрязнения морской среды [2].

В Заливе Петра Великого отмечено более 35 видов щетинкочелюстных: *L. acicula* Kassatkina et Panteleyeva, 2001, *L. collariata* Kassatkina, 1973, *L. nudata* Kassatkina, 1973, *L. eris* Kassatkina et Selivanova 2003, *L. exigua* Kassatkina et Sergeev, 2004, *L. ocis* Kassatkina et Sergeev, 2004, *L. pogodini* Kassatkina et Panteleyeva, 2001, *L. alba* Kassatkina et Selivanova 2003, *Licis* Kassatkina et Sergeev, 2004 и др. Исследование щетинкочелюстных необходимо как для оценки экологического состояния морской среды, так и моделирования процессов, происходящих при систематическом поступлении в нее разного рода загрязнителей [2]. В 2014 г. в ТОИ ДВО РАН впервые за последние 20 лет, возобновились исследования по проблеме использования искусственных рифов. Сотрудниками ТОИ ДВО РАН проведен эксперимент по постановке экспериментальных моделей искусственных рифов в акваторию бухты Алексеева (рис.1) и изучения их многолетнего влияния на функционирование планктонных и бентосных сообществ [3].

Цель работы: изучение динамики распределения щетинкочелюстных в районе постановки экспериментальных моделей искусственных рифов.

Так как установленные гидробиотехнические сооружения могут выступать в роли искусственного рифа, и являться центром скопления разного рода морских животных, представителей пищевой цепи, а щетинкочелюстные, в большинстве своем, являются хищниками, то соответственно, концентрация планктонных организмов косвенно является показателем

концентрации щетинкочелюстных в районе установки ИР [4]. Пробы зоопланктона были отобраны с помощью планктонной сети Джели на 4-х станциях в летний период 2014-2015гг. Собранные пробы переливали в маркированные пластиковые емкости и фиксировали 4% раствором формалина, хранили в темном прохладном месте до передачи в лабораторию ТОИ ДВО РАН для анализа. В лаборатории пробу промывали в пресной воде, в чашке Петри отбирали щетинкочелюстных пинцетом, мелкие особи пипеткой. Хетогнат изучали и подсчитывали под микроскопом МБС-10 и фотографировали под стерео-микроскопом оснащенным камерой AxioCamIsc 3 моделью Stemi 2000-C.

В результате исследования было установлено, что щетинкочелюстные были представлены умеренно холодноводным видом *Parasagitta elegans* (Verrill, 1873), который был отмечен на всех станциях. В 2014 году распределение щетинкочелюстных в бухте не намного различалось: на 1 станции – 2,46 экз/м³, на 2 ст. – 3,44 экз/м³, на 3 ст. – 2,02 экз/м³ и на 4ст. – 2,35 экз/м³. Однако, в 2015 году количество щетинкочелюстных заметно возросло: наибольшее количество особей *P. elegans* присутствовали на 4 ст. – 32,44 экз/м³, на 1 ст. – 17,22 экз/м³ и на 2 ст. – 14,76 экз/м³, наименьшее количество на 3 ст. – 9,18 экз/м³ (рис.2).

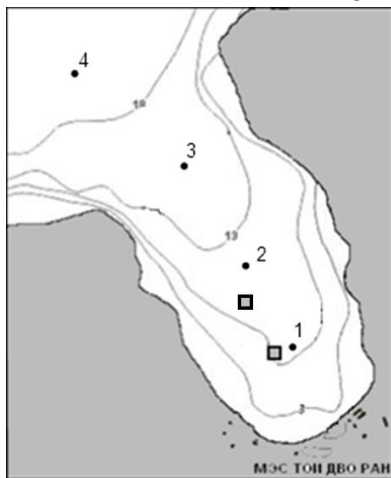


Рисунок 1. Карта-схема района работ. (□ - экспериментальный искусственный риф)

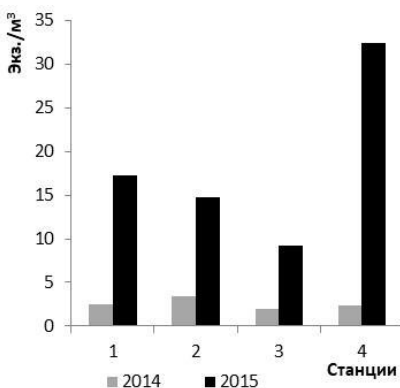


Рисунок 2. Динамика распределения Chaetognatha в б. Алексева.

Таким образом, изменение динамики распределения щетинкочелюстных в 2015г. по сравнению с 2014 может быть связано с установленными в бухте экспериментальными моделями искусственных рифов, которые могут оказывать влияние на развитие биоты исследуемого района, привлекая разные виды гидробионтов. Происходит это, как за счет заселения морскими беспозвоночными вновь созданных укрытий, так и вследствие быстрого формирования высокопродуктивного рифового сообщества, для которых ИР являются не только местом укрытия, но и воспроизводства.

Выражаю благодарность моему руководителю. А.П.Касаткиной, А.А. Косьяненко и Ю.В. Федорец за помощь в отборе, обработке и анализе материала.

Литература:

1. Касаткина А.П., Столярова М.В. Морфология, систематика, экология щетинкочелюстных Японского моря и сопредельных акваторий. Владивосток: Дальнаука. 2010. 200 с.
2. Касаткина А.П., Сергеев А.Ф., Морфологические отклонения у морских стрелок (*Chaetognatha*) в планктонной экосистеме бухты Чажма (Японское море) в зоне радиактивного загрязнения. Материалы конф. «V ДВ конф. по заповедному делу». Владивосток: Дальнаука. 2001. С. 253-255.
3. А.А. Косьяненко, Д.В. Косьяненко, П.Ю. Семкин. Установка и сезонный мониторинг состояния экспериментальных моделей искусственных рифов в б. Алексева о. Попова. VII Конференция молодых ученых «Океанологические исследования». Владивосток. 2016 г. Искусственные рифы для рыбного хозяйства. Сборник научных трудов. – М.: ВНИРО, 1990. 3 с.

ГЕНОТОКСИЧЕСКОСТЬ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА В МОРСКОЙ СРЕДЕ

С.П. Кукла, В.В. Слободскова, В.П. Челомин

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, kukla.sp@mail.ru

Стремительное внедрение достижений нанотехнологии в разнообразную деятельность человека сопровождается неуклонным ростом содержания наночастиц в окружающей среде, что представляет реальную опасность не только для человека, но и для живых организмов различного трофического уровня.

Наночастицы диоксида титана (НЧ TiO_2) – одни из самых широко применяемых НЧ на сегодняшний день. По разным оценкам в мире ежегодно производится до нескольких сотен тысяч тонн НЧ TiO_2 [3,4,5]. Благодаря своим фотокаталитическим и антибактериальным свойствам, НЧ TiO_2 входят в состав лакокрасочной продукции, косметики, медицины, продуктов личной гигиены, зубных паст, солнцезащитных кремов и т.д. Однако в процессе производства, транспортировки, хранения, потребления и утилизации продуктов, содержащих НЧ TiO_2 , часть частиц может поступать в окружающую среду. При этом, в результате различных миграционных процессов, они неизбежно оказываются в морских прибрежных экосистемах. Проникновение наночастиц в морскую среду чревато многочисленными последствиями, прогнозировать которые из-за недостатка информации пока не представляется возможным.

В этом плане особенно актуально изучение влияния относительно высокостабильных в морской среде наночастиц оксидов титана на двустворчатых моллюсков-фильтраторов, обладающих способностью концентрировать в своих тканях различные металлы. Благодаря этому свойству представители моллюсков семейства митилид (*Mytilidae*) стали уникальными моделями для изучения взаимоотношения живых организмов с ксенобиотиками неорганического происхождения и широко используются для мониторинга загрязнения различных акваторий Мирового океана [2]. Исходя из этих рассуждений, мы посчитали крайне важным исследовать биодоступность и токсические свойства (генотоксичность) TiO_2 -НЧ на примере дальневосточного моллюска *Mytilus trossulus*. Для их оценки мы сочли целесообразным использовать клетки пищеварительной железы и жабр, которые, учитывая особенности питания этих двустворчатых моллюсков, представляют ключевые точки взаимодействия организма с окружающей средой

Моллюски *M. trossulus* были отобраны в б. Средняя (зал. Восток, Японское море). Мидии были разделены на 3 группы по 40 экз. (контрольная и 2 экспериментальные) и помещены в аквариумы из расчета 0,7 литра на одного моллюска. В аквариуме с экспериментальной группой каждые 12 часов проводили смену

воды и вносили НЧ диоксида титана (Sigma–Aldrich, Cas. 13463-67-7) до рабочих концентраций 200 и 1000 мкг/л, в пересчёте на титан. На протяжении всего эксперимента (10 суток) и в период адаптации поддерживалась стабильная температура воды ($17 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$), использовалась принудительная аэрация, животных дополнительно не кормили. Контрольная группа мидий содержалась в тех же условиях, но без добавления НЧ TiO_2 .

После окончания экспозиции НЧ TiO_2 из моллюсков *M. trossulus* отбирались жабры и пищеварительная железа. Для оценки уровня повреждения ДНК использовался щелочной вариант метода ДНК-комет, количество титана в исследованных тканях моллюсков определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии.

За десять суток воздействия НЧ TiO_2 на моллюсков, существенного отличия в концентрации титана в жабрах по сравнению с контрольной группой не наблюдалось (рис.1). В пищеварительной железе на 7 сутки воздействия 200 мкг/л НЧ TiO_2 отмечался рост содержания титана (в 4 раза); при концентрации 1000 мкг/л рост отмечался на 5 сутки (в 27 раз). Максимальное же значение концентрации было отмечено на 10 сутки при концентрации НЧ TiO_2 в среде 1000 мкг/л (в 48 раз больше значений контрольной группы)

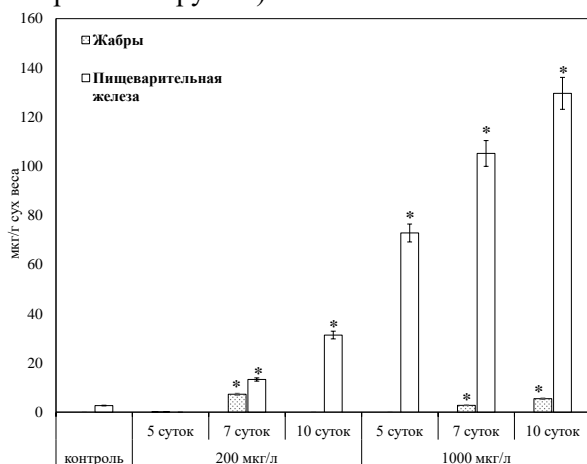


Рисунок 1. Изменение концентрации титана в тканях *M. Trossulus*, после воздействия НЧ TiO_2 . Знаком (*) отмечено достоверное отличие от контроля ($p < 0.05$)

Процент ДНК в «хвосте» значительно (до 4,5 раз) превышал соответствующий показатель контрольной группы для клеток пищеварительной железы и жабр экспериментальных групп (рис.2). При воздействии высокой концентрации (1000 мкг/л) НЧ TiO_2 показатель возрастал в зависимости от времени воздействия.

Известно, что жабры являются чувствительным органом-мишенью при воздействии растворённых форм тяжёлых металлов, таких, как медь, кадмий, цинк и др. Однако при воздействии НЧ, в данном эксперименте существенного роста концентрации титана в клетках жаберной ткани не наблюдалось, в то время как его содержание в клетках пищеварительной железы возросло. Это можно объяснить тем, что в жабрах происходит процесс селекции пищевых частиц по размеру, которые либо придвигаются реснитчатым эпителием к ротовой полости, либо выводятся организмом. Более того, часть НЧ, попавших на поверхность жабр, вероятно, были задержаны слоем слизи, их покрывающим. В клетках пищеварительной железы, в свою очередь, идёт усвоение НЧ, даже если они находятся в составе крупных агрегатов, за счёт активного процесса эндоцитоза, активность которого существенно влияет на аккумуляцию НЧ живыми системами [6].

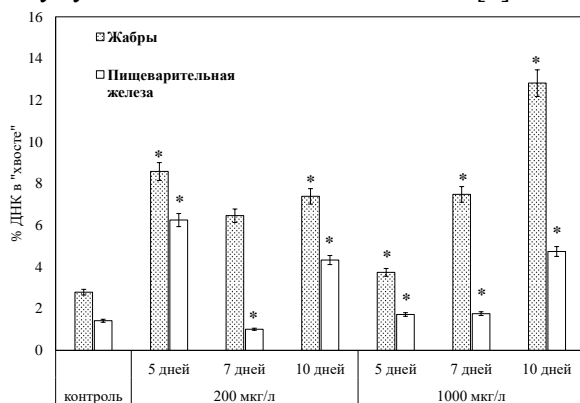


Рисунок 2. Процент повреждения ДНК в тканях *M. Trossulus*, после воздействия НЧ TiO_2 . Знаком (*) отмечено достоверное отличие от контроля ($p < 0.05$)

Воздействие НЧ TiO_2 на *M. Trossulus*, в условиях поставленного эксперимента, привело к росту повреждений цепей

ДНК в клетках жабр и пищеварительной железы моллюска, о чём свидетельствуют результаты кометного анализа. Генотоксичность НЧ TiO_2 ранее отмечалась ряда двустворчатых моллюсков [1] Важно отметить, что, несмотря на незначительную аккумуляцию титана в клетках жабр, по сравнению с клетками пищеварительной железы, в данной работе, степень деструкции ДНК жабрах была выше.

Результаты этого исследования показывают, что НЧ TiO_2 оказывают генотоксический эффект на клетки пищеварительной железы и жабр двустворчатого моллюска *M. trossulus*. НЧ TiO_2 может обладать специфическим воздействием на жабры. Таким образом, НЧ TiO_2 могут представлять реальную опасность для морских бентосных сообществ. Эта тема требует дальнейших исследований, а производство НЧ содержащих продуктов – контроля.

Литература

1. Mahaye N., Thwala M., Cowan D.A. Musee N. Genotoxicity of metal based engineered nanoparticles in aquatic organisms: A review // Mutation Research. 2017. Vol. 773. P. 134–160.
2. Moore M.N. Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment? // Environment International. – 2006. – Vol 32. – Pp 967 – 976.
3. Robichaud C.O., Uyar A. E., Darbym R., Zucker L.G., Wiesner M.R. Estimates of upper bounds and trends in nano-TiO₂ production as a basis for exposure assessment // Environmental science & technology. Vol. 43, No. 12, 2009. Pp 4227 – 4233.
4. Piccinno F., Gottschalk F., Seeger S., Nowak B. Industrial production quantities and uses of ten engineered nanomaterials in Europe and the world// J Nanopart Res. Vol 14: 2012.
5. Sun T.Y., Bornhöft N.A., Hungerbühler K., Nowack B. Dynamic probabilistic modeling of environmental emissions of engineered nanomaterials // Environ. Sci. Technol. Vol 50. 2016. Pp 4701–4711
6. Torres-Duarte C., Ramos-Torres K.M., Rahimoff R., Cherr G.N. Stage specific effects of soluble copper and copper oxide nanoparticles during sea urchin embryo development and their relation to intracellular copper uptake // Aquatic Toxicology. 2017. Vol. 189. P. 134–141.

ОЦЕНКА ОСТРОЙ ТОКСИЧНОСТИ ИОНОВ ЦИНКА И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ГАМЕТЫ ПЛОСКОГО МОРСКОГО ЕЖА *SCAPHESCHINUS MIRABILIS* (AGASSIZ, 1864)

А.А. Мазур¹, Е.В. Журавель², В.В. Слободскова¹, М.А. Мазур²

¹ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, mazur.aa@poi.dvo.ru

²ДВФУ, г. Владивосток, proshina_ma@students.dvfu.ru

В современном мире развитию нанотехнологий уделяется все больше внимания, что ведет к появлению огромного разнообразия материалов, содержащих наночастицы. Благодаря антикоррозионным и фотокаталитическим свойствам нанодispersный оксид цинка активно используется в производстве солнцезащитных кремов, косметических средств, красок и пластика [5]. Повышенная распространенность наноматериалов в производстве и потреблении, а также появление новых наноматериалов указывают на то, что необходимо изучение возможного воздействия наночастиц на живые организмы. Стоит отметить, что исследование возможных токсических воздействий наночастиц металлов менее изучено, чем токсический эффект ионных форм металлов. Водные организмы особенно подвержены воздействию наночастиц, которые концентрируются в атмосфере, преимущественно в солнечную сухую погоду и затем в результате атмосферных процессов попадают в водную среду. [4]. Цель работы заключалась в исследовании острой токсичности ионов цинка и наноразмерных частиц оксида цинка при воздействии на гаметы плоского морского ежа *S. mirabilis*.

Морских ежей *S. mirabilis* собирали в заливе Восток на глубине 4-4,5 м. После отбора животные выдерживались в морской воде с места отбора в течение двух суток. Для определения острой токсичности цинка были получены сперматозоиды и яйцеклетки плоского морского ежа *S. mirabilis*. Яйцеклетки получали и подготавливали к эксперименту по стандартной методике [1]. Сперму собирали непосредственно перед экспериментом, разбавляя чистой морской водой.

Сперматозоиды и яйцеклетки помещали в тестируемые растворы с добавлением 20, 50, 100, 200 и 400 мкг/л ионов цинка и наночастиц оксида цинка. Для приготовления раствора наночастиц был использован оксид цинка в ультрадисперсной форме фирмы Sigma-Aldrich, размер частиц <50 нм. Для приготовления раствора, содержащего ионы цинка, использовали хлорид

цинка. Контрольных животных содержали в профильтрованной и стерилизованной морской воде.

Затем в течение 48 часов наблюдали развитие до стадии среднего плутеуса, при этом проводя подсчет аномально развивающихся особей на основных индикаторных стадиях: образование оболочки оплодотворения (30 с), бластула (8 ч), гастрюла (18 ч) и средний плутеус I стадии (48 ч). Влияние цинка оценивали по количеству аномалий на всех стадиях развития.

Расчет показателя токсичности EC50 проводили методом пробит-анализа с использованием таблиц, предложенных В.Б. Прозоровским и соавторами [2]. Результаты эксперимента обрабатывали с помощью пакетов программ Excel и Statistica: определяли среднее арифметическое и стандартное отклонение. Достоверность оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа по критерию Даннетта (Dunnett).

При исследовании эмбрионального и личиночного развития морских ежей для выявления доли аномально развивающихся особей, обычно рассматривается остановка развития зародыша и сохранение оболочки оплодотворения на стадии бластулы, а также нарушения формирования личиночного скелета и изменения пропорции тела на стадии среднего плутеуса [3].

Данные о зависимости токсического эффекта от кратковременного воздействия ионной и наноформы цинка на ранее развитие плоского морского ежа *S. mirabilis* представлены на рисунке 1.

При анализе полученных данных было выявлено, что при воздействии как ионной формы цинка, так и наноразмерного оксида цинка на гаметы наблюдается снижение доли нормально развивающихся личинок. На стадии формирования оболочки оплодотворения, которая является одной из наиболее чувствительных, достоверные отличия от контроля наблюдались при экспозиции в растворах, содержащих 50 мкг/л наноразмерного оксида цинка и 100 мкг/л ионной формы этого элемента. Количество аномальных личинок на стадии гастрюлы при концентрации токсиканта 100 мкг/л достигло 30%, при том, что уровень 50% свидетельствует о сильном ингибирующем воздействии. Также стоит отметить, что на стадии плутеуса при воздействии растворов с концентрацией 200 и 400 мкг/л как ионов, так и наночастиц, процент аномально развивающихся личинок составил 100%, при этом у всех личинок наблюдалось отсутствие сформированного скелета.

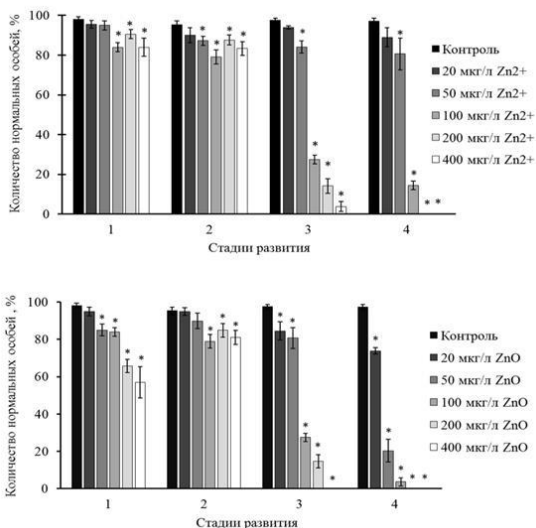


Рисунок 1. – Доля нормальных эмбрионов и личинок на разных стадиях развития при кратковременном воздействии ионов цинка (вверху) и наночастиц оксида цинка (внизу) (среднее \pm станд. откл., $n=8$). Стадии развития: 1- оплодотворение, 2- бластула, 3- гаструла, 4-средний плутеус. * - отличие от контроля достоверно ($p<0.05$).

Морфологические нарушения личиночного развития проявились и в изменении размеров личинок на стадии среднего плутеуса. При остром воздействии было выявлено достоверное отличие размеров экспериментальных и контрольных личинок *S. mirabilis* при концентрации 100 мкг/л (табл. 1).

Таблица 1. Размеры личинок на стадии среднего плутеуса (48 ч) в опыте и контроле при остром воздействии ($n=100$). * - отличие от контроля достоверно ($p<0.05$)

Концентрация, мкг/л	Длина (среднее \pm станд. откл), мкм	
	Zn ²⁺	ZnO
Контроль	247,2 \pm 17,9	
20	213,2 \pm 13,3	226,4 \pm 22,9
50	206,5 \pm 25,2	194,3 \pm 16,2
100	186,1 \pm 10,3*	182,4 \pm 9,2*
200	-	-
400	-	-

Стоит отметить, что для концентраций 200 и 400 мкг/л не удалось получить данные о длине личинок, так как все плутеусы имели аномально сформированный скелет (рис. 2)

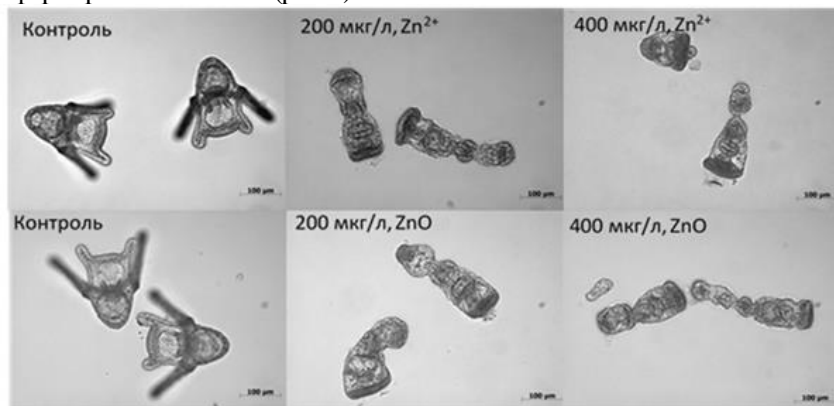


Рисунок 2. – Личинки морского ежа *S. mirabilis* на стадии среднего плутеуса.

Была рассчитана эффективная концентрация, которая на стадии оплодотворения $EC_{50}(0)$ для цинка в ионной форме составила 6526 ± 98 мкг/л, а для наночастиц оксида цинка – 489 ± 15 мкг/л. На стадии среднего плутеуса эффективная концентрация $EC_{50}(48)$ ионной формы цинка составила 67 ± 12 мкг/л, а наноразмерного оксида цинка 29 ± 4 мкг/л. Таким образом, установлено, что наночастицы оксида цинка оказывают более токсичное воздействие на гаметы плоского морского ежа *S. mirabilis*, чем ионы этого металла. Кроме того, установлено, что чувствительность гамет плоского морского ежа к воздействию цинка ниже по сравнению с личинками.

Литература

1. Бузников Г.Н., Подмарев В.К. Морские ежи *Stroglyocentrotus drobachiensis*, *S. nudus*, *S. intermedius* // Объекты биологии развития. – 1975. – С.179-216.
2. Прозоровский В.Б., Прозоровская М.П., Демченко В.М. Экспресс-метод определения средней эффективной дозы и ее ошибки. // Фармакол. и токсикол. – 1978. – Т.41. №4. – С.497-502.
3. Kobayashi N. Marine ecotoxicological testing with echinoderms // Ecotoxicological Testing for the Marine Environment. Ghent State Univ. and Inst. Mar. Scient. Res. – 1984. – Vol. 1. – P. 341-350.
4. Manzo S., Miglietta M., Rametta G., Buono S., Francia G. Embryotoxicity and spermotoxicity of nanosized ZnO for Mediterranean sea urchin *Paracentrotus lividus* // Journal of Hazardous Materials. – 2013. – Vol. 254. – P.1-9.

5. Ullah R., Dutta J. Photocatalytic activities of ZnO nanoparticles synthesized by wet chemical techniques // International Conference on Emerging Technologies. – 2006. – Vol. 17. – P. 353-357.

КАРБОНАТНАЯ СИСТЕМА ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Н.А. Орехова

МГИ РАН, г. Севастополь, natalia.orekhova@mhi-ras.ru

В современных условиях роста атмосферного CO₂, изменения климата и увеличения антропогенной нагрузки большое внимание уделяется Мировому океану, как самому большому резервуару и стоку углекислого газа. Около 30% углекислого газа поглощается океаном [3], растворяясь в верхнем слое вод. Являясь частью цикла углерода, карбонатная система обеспечивает буферную емкость морской воды и ее способность к поглощению атмосферного углекислого газа в условиях его непрерывного роста. При снижении способности поглощать атмосферный углекислый газ водами океана вследствие увеличения его концентрации в морских экосистемах происходят необратимые изменения за счет нарушения равновесия карбонатной системы, в т.ч. увеличения кислотности вод, как следствие ухудшаются экологические характеристики морской среды. На уровне изменения уровня углекислого газа Мирового океана очень сложно выделить факторы, обуславливающие его изменения. В прибрежных морских экосистемах эти изменения проявляются наиболее быстро. Именно здесь наиболее интенсивно протекают основные биогеохимические процессы: образование первичной продукции, дыхание, трансформация органического углерода в неорганический, осаждение и захоронение углерода, взаимодействие и обмен веществом с сушей и атмосферой. Изучение природных циклов, в частности цикла углерода в условиях антропогенного прессинга и наблюдающихся изменений климата на региональном уровне является основой в понимании глобального цикла углерода и прогноза его устойчивости.

Целью данной работы было исследование изменчивости компонентов карбонатной системы и цикла углерода прибрежных

экосистем в условиях интенсивной антропогенной нагрузки и изменения климата.

Типичным примером антропогенно нагруженной акватории является Севастопольская бухта, будучи зоной интенсивного судоходства, стоянкой и ремонтной базой судов. Помимо этого, в бухту выведены аварийные канализационные и хозяйственно-бытовые стоки, в верховье бухты поступают воды реки Черной, что обеспечивает дополнительный поток биогенных элементов и легкоокисляемого органического вещества. Заградительный мол на выходе из бухты создает ограниченный водообмен с открытой частью моря. Перечисленные выше характеристики позволяют отнести экосистему Севастопольской бухты к эстуарному типу (за исключением приливно-отливных колебаний). За последние 20 лет в экосистеме бухты отмечены значительные изменения физико-химических и биологических характеристик, приведшие к развитию зон дефицита кислорода и анаэробных условий, трансформации естественных режимов и смещению природных циклов.

Комплексный анализ пространственно-временной изменчивости компонентов карбонатной системы водной толщи, содержания органического и неорганического углерода в донных отложениях, а также химического состава поровых вод позволяет изучить особенности трансформации цикла углерода и его последствия для прибрежных экосистем в условиях антропогенной нагрузки.

Работа основывается на анализе результатов экспедиционных исследований, выполненных в Севастопольской бухте в период 1998 – 2017 гг. Отбор проб осуществлялся по схеме станций, приведенной на рисунке, с поверхностного и придонного горизонтов с помощью батометров; отбор проб донных отложений выполнен в 2016 – 2017 гг. на ст. 5, 12, 19, 22, 27 (рис.).

Определение гидрохимических и геохимических характеристик выполнялось в соответствии с общепринятыми методиками и подходами. Величины TCO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , CO_2 , pCO_2 вычислены по измеренным величинам pH и Alk с использованием констант угольной кислоты, рекомендованных отделом морских

наук ЮНЕСКО. Методы расчета компонентов карбонатной системы подробно описаны в работах [1, 3, 4].

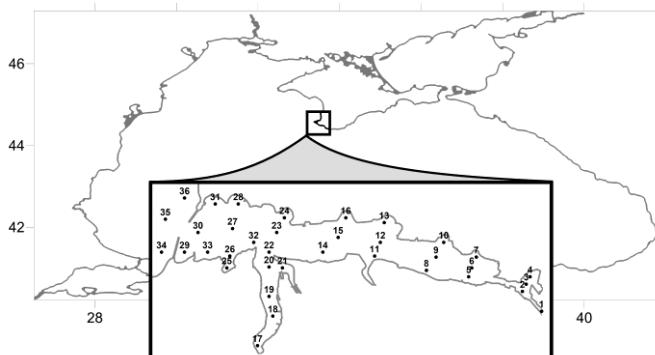


Схема станций отбора проб в Севастопольской бухте.

Величина TCO_2 представляет собой сумму продуктов диссоциации угольной кислоты и является интегральной характеристикой, отражающей происходящие в карбонатной системе изменения. Она, преимущественно, определяется концентрацией углекислого газа, величина которой обусловлена фотосинтезом в фотической зоне и окислением органического вещества в придонном слое, а также температурным и гидродинамическим факторами. Постоянство TCO_2 говорит о том, что, несмотря на изменения соотношений компонентов карбонатной системы, суммарный запас растворенного неорганического углерода в экосистеме остаётся постоянным. Значительное изменение его концентрации означает дополнительное поступление или истощение какого-либо компонента или компонентов карбонатной системы в результате воздействия естественных (паводковые явления и т.п.) или антропогенных факторов.

Увеличение концентрации CO_2 (за счет окисления органического вещества и/или поступления его с внешними источниками) и, как следствие, рост TCO_2 способствуют снижению буферной емкости экосистемы и ее способности поглощать атмосферный углекислый газ, что отражается в изменении гидрохимического режима и биоразнообразия экосистемы [2, 5].

Наиболее интересным результатом за анализируемый период представляется изменение величины TCO_2 в поверхностном слое вод: в течение 1998 – 2006 гг. величина TCO_2 практически не изменялась, однако с 2007 – 2008 гг. наблюдается выраженная тенденция к его росту. С 2008 по 2017 гг. концентрация TCO_2 увеличилась на ~ 6%. Это уже достаточно значимая величина, свидетельствующая о смещении равновесия продукционно-деструкционных процессов в сторону продукции углекислого газа и снижении способности экосистемы бухты поглощать углекислый газ из атмосферы. Подобный рост TCO_2 обусловлен как увеличением атмосферного углекислого газа, так и ростом концентрации растворенного углекислого газа, поступающего/образуемого за счет антропогенного вклада.

Величина щелочности за исследуемый период практически не изменилась (~ 1%). Так как эта величина не зависит от концентрации CO_2 , а определяется вкладом CO_3^{2-} и HCO_3^- , это подтверждает предположение, что в настоящее время состояние карбонатной системы бухты определяется вкладом углекислого газа, преимущественно антропогенного происхождения, т.к. среднегодовой вклад естественных источников целом постоянен.

О смещении равновесных процессов в сторону продуцирования CO_2 также свидетельствует снижающаяся величина отношения Alk к TCO_2 . При равновесном состоянии продукционно-деструкционных процессов эта величина $\text{Alk}/\text{TCO}_2=1.13$. В водах Севастопольской бухты это отношение, преимущественно, было меньше 1.13 за весь наблюдаемый период, что уже указывает на смещение равновесий в сторону продукции CO_2 . Однако для поверхностного слоя вод выделяется тренд к устойчивому снижению этой величины с 1998 – 2017 гг.: так, в 1998 г. эта величина составляла 1.13, в 2016 – 1.10, в 2017 г. (февраль – октябрь) – 1.09, что также указывает на дополнительные источники CO_2 и/или усиление вклада процессов продукции углекислого газа за последние десятилетия.

Все отмеченные изменения были характерны лишь для поверхностного слоя вод, для придонного слоя – компоненты карбонатной системы и их соотношение остались практически без изменений. Подобное распределение подтверждает предположение

о вкладе дополнительных внешних источников углекислого газа (хозяйственно-бытовые и ливневые стоки, сток р. Черной и пр.) в систему карбонатных равновесий экосистемы Севастопольской бухты.

Еще одной важной характеристикой состояния карбонатной системы является $p\text{CO}_2$, которая пропорциональна концентрации CO_2 , а также зависит от температуры, давления и рН морской воды. Величина $p\text{CO}_2$ является динамичной характеристикой и наиболее быстро реагирует на любые изменения в системе, в том числе антропогенного характера.

По величине $p\text{CO}_2$ поверхностного слоя можно судить об экосистеме как источнике или стоке углекислого газа. Если величина растворенного $p\text{CO}_2$ превышает величину атмосферного углекислого газа, то водная толща служит источником углекислого газа. Если меньше – поглощает. Снижение разницы величин парциального атмосферного давления углекислого газа и парциального давления углекислого газа поверхностного слоя вод Севастопольской бухты свидетельствует о снижении поглощающей способности водами бухты; наиболее выраженное снижение было характерно для периода 2008 – 2015 гг.

Рассчитанные величины потоков углекислого газа F_{CO_2} на границе поверхностный слой вод – атмосфера указывают на то, что, преимущественно, воды бухты находятся в состоянии инвазии, т. е. поглощают CO_2 из атмосферы, при этом максимальные значения величины потока приходятся на зимний период. Однако в летний период воды бухты являются источником углекислого газа для атмосферы, т.е. находятся в состоянии эвазии, что можно объяснить физико-химическими и физическими процессами: снижением растворимости газов с ростом температуры, гидродинамического и ветрового воздействий в водной толще. Подобная направленность потоков CO_2 наблюдается в прибрежных экосистемах с высоким содержанием органического углерода.

Исследования геохимического состава донных отложений и их поровых вод, выполненные в 2003 – 2017 гг., также свидетельствуют об изменениях, происходящих в природном цикле углерода. Однако, все изменения в донных отложениях, как в

квазистационарной системе, происходят гораздо медленнее, чем в водной толще и с некоторым запаздыванием.

Основными осадкообразующими компонентами являются органический углерод и карбонат кальция. В 2016 г. содержание органического углерода ($C_{орг}$) в осадках бухты составило $\sim 3,3\%$, однако в наиболее антропогенно нагруженных районах (б. Южная и район Инкермана) его содержание составило более 4% . В 2017 г. среднее содержание ($C_{орг}$) увеличилось до $4,13\%$. Среднее содержание карбонатов ($CaCO_3$) в донных осадках в 2016 – 2017 гг. составляло $\sim 30\%$. Максимальные величины карбонатности характерны для района выхода из бухты. По полученным данным установлено, что в настоящее время в биохимическом процессе углеродного цикла органическая и неорганическая играют в среднем примерно одинаковую роль. Однако при рассмотрении пространственной изменчивости отмечено преобладание процесса накопления $C_{орг}$ на большей части площади донных осадков бухты (б. Южная, район Инкермана – наиболее антропогенно нагруженные районы) и только на выходе из нее идет процесс накопления $CaCO_3$.

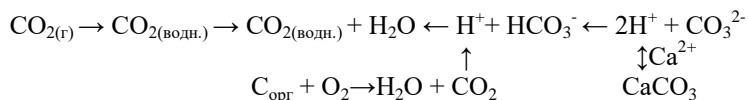
Накопление органического углерода, наблюдаемое в донных отложениях Севастопольской бухты, способствует активному расходованию кислорода на его окисление, что сопровождается продуцированием CO_2 . В этом случае донные осадки являются источником CO_2 для придонного слоя вод и, в конечном итоге, для водной толщи в целом. Об этом также свидетельствует величина T_{CO_2} поровых вод донных отложений, которая на порядок превосходит таковую в придонном слое вод (величина T_{CO_2} достигала 20495 мкмоль/кг, ст. 19, рис.). Кислород в верхнем слое отложений либо отсутствовал, либо глубина его проникновения в толщу осадков не превышала 3 -х мм, а концентрация в придонном слое вод изменялась от 0 (б. Южная) до 250 мкмоль/л (район Инкермана).

Исчерпание кислорода на окисление органического вещества в донных отложениях привело к тому, что в настоящее время основными компонентами поровых вод донных отложений бухты являются растворенные формы железа. При этом максимальные концентрации $Fe(II)$ $\sim 3 - 4$ ммоль/л отмечены в районе Инкермана,

что обусловлено не только наличием стока ГРЭС, но и расположенными в этом районе судоремонтными доками и производственными площадями, занимающихся распилом металла (Севастопольское ПП АПО «Вторчермет»). В более глубоких слоях отложений основными компонентами являются восстановленные формы серы (сульфиды, гидросульфиды) и продукты их взаимодействия с металлами. Максимальные концентрации сульфидов (до 700 мкмоль/л) и характерны для района б. Южной. В районе выхода из бухты кислород проникал в толщу осадка до 3-х мм, далее следовал слой, где основные процессы протекали за счет окисленных форм азота, марганца, железа, а восстановленные формы сульфидов появлялись ниже 50 мм.

Таким образом, распределение компонентов цикла углерода Севастопольской бухты является неоднородным, и определяется влиянием вод р. Черной в кутовой части бухты (зона смешения речных и морских вод), гидродинамическим воздействием (водообменном с открытой частью моря) и антропогенным влиянием. При этом состояние компонентов карбонатной системы в районе Инкермана (ст. 8) и бухте Южной обусловлены исключительно антропогенным воздействием: ливневых и аварийных канализационных стоков, расположением производственных участков, где осуществляется ремонт и стоянка судов, что приводит к накоплению органического углерода и других загрязняющих компонентов в придонном слое вод.

Исходя из полученных результатов, в настоящее время систему карбонатных равновесий можно выразить следующей схемой:



Таким образом на примере экосистемы Севастопольской бухты показано, что под влиянием антропогенной нагрузки цикл углерода претерпевает некоторые изменения: в донных отложениях происходит накопление органического углерода и растворение карбонатов, тем самым способствуя поступлению CO_2 в водную толщу и, при неблагоприятных условиях, выделение в атмосферу.

Работа выполнена в рамках гос. задания ФГБУН МГИ РАН № 0827-2018-0003 «Океанологические процессы» и проекта РФФИ №16-35-60006 мол_a_дк «Многoletние изменения характеристик цикла углерода Севастопольской бухты»

Литература

1. Современные методы гидрохимических исследований океана / под ред. О.К. Бордовского, А.М. Черняковой. – М.: Институт океанологии им. Ширшова АН СССР, 1992. 201 с.
2. Heinze L.C., Meyer S., Goris N. et al. The ocean carbon sink – impacts, vulnerabilities and challenges // *Earth Syst. Dynam.* 2015. № 6. P. 327–358.
3. Millero F.J. The marine inorganic carbon cycle // *Chemical Reviews.* 2007. 107, № 2. P. 308–341.
4. Unesco technical papers in marine science, №51, Thermodynamic of the carbon dioxide system in seawater. – Unesco, 1987. P. 3–21.
5. Zeebe R.E., Wolf-Gladrow D. CO₂ in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes // *Elsev. Oceanogr. Ser.*, 2001. №65. 346 p.

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД НА ВОСПРОИЗВОДСТВО *MIZUHOPECTEN YESSOENSIS* В ЗАЛИВЕ НАХОДКА

Е.С. Уколова¹, Е.В. Кустова², В.И. Пономарев², В.А. Дубина²

¹ДВФУ aravi@yandex.ru

²ТОИ ДВО РАН kustova_e@poi.dvo.ru

В данном исследовании была поставлена задача показать влияние динамики прибрежных вод западной части Японского моря на воспроизводство двустворчатых моллюсков на примере популяции *Mizuhopecten yessoensis* (Гребешка приморского) из бухты Козьмина залива Находка Японского моря в 2017 году.

Mizuhopecten yessoensis относится к классу двустворчатых моллюсков (*Bivalvia*) и является одним из важных объектов марикультуры. Успешное воспроизводство, как природных популяций, так и культивируемых в хозяйствах марикультуры напрямую зависит от количества оседающей молодежи (спата). В 2017 году в ряде хозяйств марикультуры расположенных в южной части Приморского края численность спата *Mizuhopecten yessoensis* была очень низкой. В рассматриваемой бухте Козьмина она

составляла менее одной штуки на коллектор, что является самым низким показателем за весь период наблюдений (2011-2017 гг.)

Количество молоди двустворчатых моллюсков варьируется год от года и зависит от таких показателей как наличие и численность маточного стада, успешное вызревание гонад, эффективность нереста и климатические условия в период развития и оседания личинок.

Для установления причин низкой численности спата *Mizuhopecten yessoensis* в бухте Козьмина в 2017 году проанализированы сроки нереста популяции обитающей в бухте Козьмина, сроки появления личинок в планктоне, сроки оседания молоди и природные факторы, способные повлиять на численность спата.

Сроки нереста определяли по резкому снижению гонадосоматического индекса (ГСИ). Контроль за ГСИ осуществлялся с мая по июнь раз в декаду по методу Ито. Для контроля появления личинок *Mizuhopecten yessoensis* на трех станциях, расположенных в бухте Козьмина и открытой части залива Находка, осуществлялся отбор планктонных проб с помощью сети Апштейна с диаметром входного отверстия 25 см и фильтрующим конусом из капронового сита с ячейей 100 мкм. Отбор проб проводился тотально от дна до поверхности. Фиксация и обработка проб осуществлялась по стандартной методике [3]. Для сбора спата *Mizuhopecten yessoensis* на П-образных ГБТС на глубинах 5-11 м выставлены мешочные коллектора из капроновой дели с ячейей 3-5 мм с наполнителем. Просчет осевшей молоди осуществлялся в октябре.

Одновременно с отбором планктонных проб в бухте Козьмина промерялась температура воды на горизонтах 0 м, 5 м и в придонном слое. Для уточнения данных о температуре воды были привлечены данные спутниковых наблюдений за температурой поверхности океана (ТПО). Были использованы данные инструмента MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer) спутников Terra и Aqua, запущенных NASA в рамках программы Earth Observation System (EOS). Спутники находятся на солнечно-синхронных орбитах на высоте 705 км. MODIS представляет собой 36-канальный пассивный

спектрорадиометр видимого и инфракрасного спектра с шириной обзора 2330 км.

Данные третьего уровня о температуре поверхности океана (ТПО) были получены с сайта Jet Propulsion Laboratory Калифорнийского Технологического Института (<https://podaac.jpl.nasa.gov/>), обработаны при помощи программ Ocean Data View (ODV) и Paint.net. Данные представляют собой информацию о яркостной температуре, собранную инструментом MODIS в среднем (mid-IR) и тепловом (TIR) инфракрасном диапазоне, с пространственным разрешением 4,63 км, и обработанную по алгоритму получения коэффициентов перевода яркостной температуры в ТПО путем регрессии ее к измеренным значениям в Physical Oceanography Archive Center (PO.DAAC). Алгоритм допускает ошибку в $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$. В этом исследовании использовались данные, полученные спутниками на частоте 4,02-4,08 мкм в ночное время (рис.1). Кроме того, были использованы спутниковые снимки Terra и Aqua видимого и TIR диапазонов, полученные с сайта NASA EARTHDATA (<https://lance.modaps.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/realtime.cgi>), которые затем были обработаны в программах QGis и Paint.net. Результаты натурных наблюдений были обработаны в программах Excel, Ocean Data View (ODV) и Paint.net (рис.2).

Одним из факторов, обуславливающих хороший сбор спата, является короткий период нереста маточного стада. Чем короче период нереста, а соответственно, и период нахождения личинок в планктоне, тем меньшее количество личинок выедается планктоноядными организмами. О периоде нереста можно судить по показателям гонадо-соматического индекса (ГСИ) половозрелого гребешка. Первая нерестующая особь в бухте Козьмина появилась в выборке от 15 июня. Основной нерест проходил с 22 по 29 июня. Особенностью нереста 2017 года является то, что он начинался на очень высоких показателях ГСИ (до середины июня в выборках встречались особи с индексом более 40, для сравнения – в 2011-2016 гг. индекс не превышал 34). В выборке от 29 июня у 40 % особей ГСИ меньше 10, т.е. нерест закончен на низких показателях. Результаты ГСИ показали, что нерест *Mizuhopecten yessoensis* в 2017 году в бухте Козьмина

проходил в сжатые сроки, а количество выметанных половых продуктов было очень велико.

После оплодотворения, личинки проводят в толще воды 20-25 дней, после чего оседают на субстрат. Первое появление единичных личинок *Mizuhopecten yessoensis* в 2017 году отмечено 5 июля. Пик численности пришелся на вторую декаду июля, когда численность личинок на стадии велигера составляла 18 экз./м³. Для сравнения, максимальная численность личинок *Mizuhopecten yessoensis* в бухте Козьмина в 2016 году составляла 11 экз./м³, 2015 году, также 14 экз./м³, а в 2014 году их численность не превышала 2-3 экз./м³.

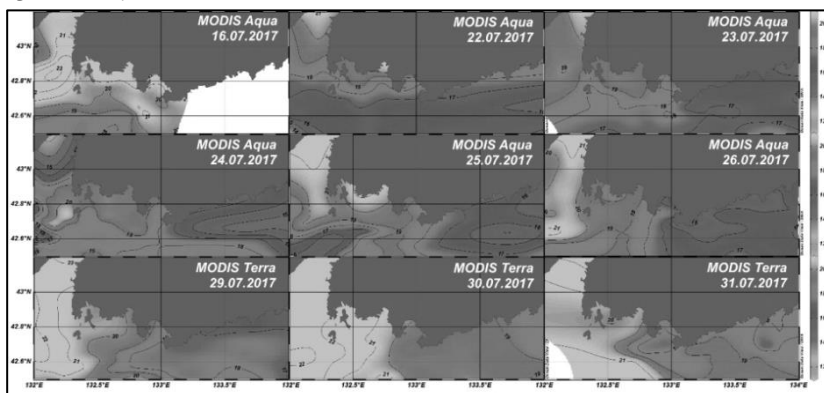


Рисунок 1. Карты распределения поверхностной температуры

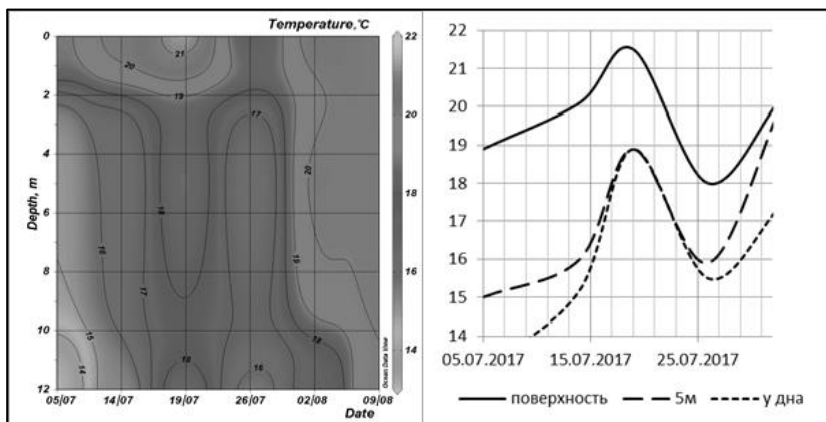


Рисунок 2. Изменение профиля температуры воды по времени

В пробах от 19 июля отмечено единичное появление личинок на стадии оседания. В пробах от 26 июля личинки *Mizuhopecten yessoensis* встречались единично, что может говорить об их массовом оседании или выносе основной массы личинок за пределы залива Находка. Разбор коллекторов в октябре месяце показал, что при высоком ГСИ, коротком периоде нереста, полном вымете сформировавшихся гамет, высокой, по сравнению с прошлыми годами, численностью личинок *Mizuhopecten yessoensis* в планктоне, результативность нереста, т.е. оседание молоди, крайне незначительна и, в среднем, составляет менее 1 экземпляра на коллектор. Помимо биологических факторов на численность молоди двустворчатых моллюсков, в том числе *Mizuhopecten yessoensis*, влияет так же гидрологический режим в период развития и оседания личинок. Так личинки и только прикрепившийся к субстрату спат могут погибнуть при опреснении или температурных аномалиях. Следствием смены водных масс является вынос личинок из прибрежной зоны в открытое море, где они, не сумев найти субстрата для оседания, погибают.

По наблюдениям Яричина и Юрасова [7], к северу от мыса Поворотный до 46° с.ш. вдоль шельфа в летний период (май–сентябрь) развиваются поверхностные течения с северной составляющей, направленные в сторону Татарского пролива. Однако, по результатам анализа спутниковых снимков, карт распределения температуры и изменения температурных профилей в толще воды на месте можно заметить, что в промежутке между 19.07.2017 и 22.07.2017 года в район залива Находка, к которому прилегает район наблюдений, поступила более холодная, чем окружающие, водная масса, вероятно, принесенная Приморским течением. Следует отметить, что до 19.07.2017 отмечалось довольно равномерное потепление воды, на поверхности в точке измерений она к этой дате достигла 21,5°C, на дне – 18,9°C. К 26 июля температура у поверхности упала до 18°C, а у дна – до 15,5°C (рис. 2). На картах распределения поверхностной температуры можно увидеть, как более холодные воды сначала подходят к району залива Находка, а после 29 июля уходят к северу вдоль побережья Приморья.

Таким образом, холодная водная масса, пришедшая в залив Находка в период в период массового развития личинок *Mizuhopecten yessoensis*, вынесла их с данной акватории. Следствием этого стало то, что популяция *Mizuhopecten yessoensis* в бухте Козьмина пополнилась лишь единичными особями, осевшими раньше прихода холодной водной массы и сумевшими пережить перепад температур. Исчезновение личинок *Mizuhopecten yessoensis* из планктона и единичное оседание молоди наблюдалось и ранее на прилегающих к району исследованиях акваториях [1].

Литература

1. Габаев Д.Д., Айздайчер Н.А. Воспроизводство некоторых двустворчатых моллюсков в Приморье (Японское море) // Бюллетень Дальневосточного малакологического общества. - 2012. - вып. 15/16. - С 135 – 153.
2. Дубина В.А., Файман П.А., Пономарев В.И. Вихревая структура течений в заливе Петра Великого // Известия ТИНРО. – 2013. – Т.173. – С. 247 – 258.
3. Куликова В.А., Колотухина Н.К. Пелагические личинки двустворчатых моллюсков Японского моря. Методы, морфология, идентификация: Препр. — Владивосток: ДВО РАН, 1989. — 60 с.
4. Приморский гребешок // Ин-т Биологии моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. – 244 с.
5. Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А. и др. Синоптическая вихревая динамика над северо-западным материковым склоном и шельфом Японского моря (моделирование и результаты дистанционных наблюдений) // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. — 2011а. — Т. 8, № 2. — С. 100–104.
6. Справочник по культивированию беспозвоночных в южном Приморье / Сост. А.В.Кучерявенко, Г.С.Гаврилова, М.Г.Бирюлина. — Владивосток: ТИНРО-центр, 2002. — 83 с.
7. Юрасов Г.И., Яричин В.Г. Течения Японского моря // Владивосток: Изд. ДВО АН СССР, 1991. – 174 с.

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ БЕЛКОВ В ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЕ БРЮХОНОГОГО МОЛЛЮСКА *LITTORINA MANDSHURICA* ИЗ МЕСТ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ

А. А. Чеснокова¹, А. Ф. Жуковская²

¹ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз», Владивосток, chesnokova_al@mail.ru

²ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, avianna@poi.dvo.ru

Среди актуальных областей исследования морской экотоксикологии является изучение вопросов функционирования биохимической системы адаптации у морских гидробионтов в ответ на изменяющиеся условия их среды обитания. Антропогенное воздействие является одним из важных факторов, оказывающих воздействие на морскую среду. Ярким примером антропогенного влияния являются прилегающие к городу Владивостоку акватории, такие как Амурский залив и Уссурийский залив. Поэтому целью работы является оценить степень антропогенного воздействия на организм морских гидробионтов, используя биохимические показатели стресса, на примере изучения степени окисления белков в пищеварительной железе брюхоногого моллюска *L. mandshurica* из мест с разной степенью загрязнения среды. В работе рассмотрен вид литорального брюхоногого моллюска *L. mandshurica* из трех мест обитания район с хроническим антропогенным загрязнением Амурский залив (район Вторая речка), район Токаревская кошка (района входа в бухту Золотой рог) и третий район бухта Горноста́й – бывшая городская свалка, законсервированная в 2011 году – с повышенным содержанием полиароматических углеводородов (ПАУ) [1, 2].

Взрослые особи брюхоногого моллюска *L. mandshurica* (размерами от 7 до 19 мм) были собраны в июле в заливе Петра Великого из трех мест с разным характером антропогенного загрязнения. Для эксперимента всего было отобрано 600 особей *L. mandshurica*. Из каждого исследуемого места по 150 экземпляров. Моллюски, из акватории бух. Алексеева (остров Попова), были приняты как контрольная группа, так же были взяты контрольные импактные моллюски (обитатели трех мест загрязненных акваторий) – 0 дней. Из каждой группы моллюсков, отбирали по 50 штук особей (10 групп по 5 экземпляров). Остальные особи,

обитатели районов с антропогенным загрязнением, были пересажены в бух. Алексеева. Пересаженных моллюсков содержали в специальных контейнерах с постоянным током воды и соблюдением приливно-отливного цикла. Для оценки уровня карбониллов белков в ответ на изменение окружающей среды, пересаженные особи брюхоногого моллюска *L. mandshurica* адаптировались в акватории бух. Алексеева в течении 20 дней. Отбор материала проводили через 10 и 20 дней адаптации. Для проведения биохимических исследований была выделена пищеварительная железа у 5 особей, которые были объединены в одну выборку. Всего было собрано 10 выборок с каждого эксперимента.

Для определения количества карбониллов белков в гомогенате пищеварительной железе *L. mandshurica* использовали классический метод Левина [4]. Регистрацию динитрофенилгидразонов проводили на спектрофотометре Shimadzu UV – 1650 PC, где измеряли оптическую плотность раствора при λ 370 нм. Концентрацию карбониллов выражали как наномоль на 1 мг белка в 1 мл, с учетом коэффициента молярной экстинкции для ДНФГ $22000 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$. Концентрацию общего белка определяли модифицированным методом Лоури [5].

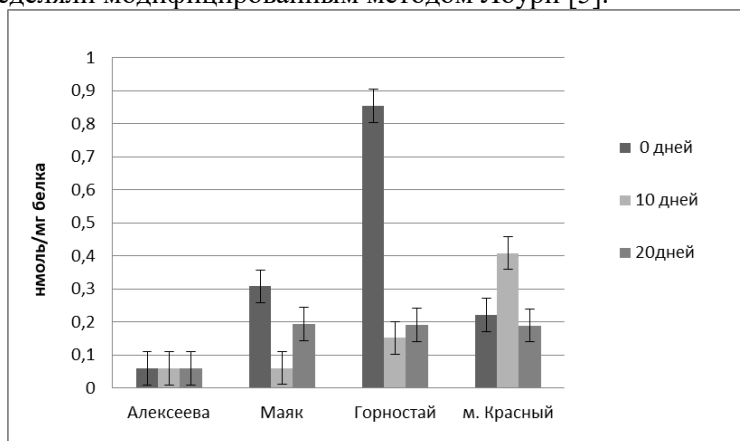


Рисунок. Сравнение концентраций карбониллов белков в ткани пищеварительной железе *L. mandshurica* из мест с разной степенью загрязнения морской среды в начале (0 дней), середине (10 дней) и конце эксперимента (20 дней).

Результаты эксперимента показали, что в загрязненных акваториях белки пищеварительной железы *L. mandshurica* окислены в большей степени по сравнению с контролем. Так в акватории Токаревская кошка концентрация окисленных белков в пищеварительной железе исследуемых моллюсков - 0,307 нмоль/мг белка в мл. В моллюсках из акватории бух. Горноста́й - 0,854 нмоль/мг белка в мл. В пищеварительной железе моллюсков из акватории м. Красный - 0,221 нмоль/мг белка в мл. Концентрация карбониллов в пищеварительной железе моллюсков из бух. Алексе́ева является наименьшей (0,059 нмоль/мг белка в мл) и поэтому показатели из бух. Алексе́ева приняты за контроль.

Результаты эксперимента по пересадке брюхоногого моллюска *L. mandshurica* из загрязнённых мест в чистую акваторию б. Алексе́ева показали уменьшение концентрации карбониллов в ткани пищеварительной железы после 10 дней адаптации моллюска в новом районе. У моллюсков из бух. Горноста́й произошло резкое снижение содержания карбониллов в пищеварительной железе в 5,5 раз с 0,850 до 0,150 нмоль/мг белка в мл. Также резкое снижение карбониллов (в 5 раз) наблюдали в моллюсках из акватории Токаревская кошка - с 0,307 до 0,06. Однако в акватории м. Красный наоборот наблюдается увеличения карбониллов в 1,8 (с 0,221 до 0,408) раз.

Таким образом подобная картина резкого снижения степени окисления белков, говорит о том, что условия обитания животных резко изменились. Содержание ксенобиотиков антропогенного происхождения, присущих загрязненным исследуемым акваториям, в бухте Алексе́ева не содержится, что приводит к резкому уменьшению окисления белков. Однако, в моллюсках из м. Красный мы наблюдаем не типичную для эксперимента картину (Рис 1). Данный феномен мы объясняем тем, что в Амурском заливе присутствует такое явление, как эвтрофикация, т.е. концентрация растворенного кислорода очень занижена и достигает минимального критического уровня [3]. Поэтому из-за того, что в бухте Алексе́ева кислорода выше по сравнению с м. Красный, повышенное содержание кислорода скорее всего вызывает окислительный стресс в тканях брюхоногого моллюска *L.*

mandshurica, что скорее всего и является причиной резкого увеличения степени окисления белка в данной группе моллюсков.

Результаты эксперимента показали значительное уменьшение концентрации карбониллов белков в пищеварительной железе *L. mandshurica* после 20 дней адаптации в более чистой акватории бух. Алексеева. Концентрация карбониллов в пищеварительной железе моллюсков из всех исследуемых мест с антропогенным загрязнением достигла одинакового значения к концу эксперимента и составила 0,190 нмоль/мг белка в мл. После 20 дней адаптации в бух. Алексеева по сравнению с аборигенами (0 дней) у моллюсков из бух. Горностай концентрация карбониллов уменьшилась в 4,5 раза, в 1,5 раза – для моллюсков из Токаревская кошка и отмечено незначительное уменьшение концентрации карбониллов для м. Красный – 1,2 раза.

Результаты также показали, что концентрация карбониллов белков у брюхоногих моллюсков *L. mandshurica* из экологически чистой акватории бух. Алексеева остается всё равно меньше (0,059 нмоль/мг белка в мл). Однако, по сравнению с 10 днями адаптации, после 20 дней адаптации в бух. Алексеева, пересаженные из района Токаревская кошка и бух. Горностай особи *L. mandshurica* показали увеличение концентрации карбониллов в ткани пищеварительной железы. Но данный показатель концентрации окисленных форм белков в исследуемой ткани всё же ниже, по сравнению с показаниями из мест обитания. Через 20 дней концентрация карбониллов белков в пищеварительной железе повышается и остается на одном уровне во двух исследуемых антропогенных районах. Для м. Красный характерно понижение значения. Всё это свидетельствует о том, что в организме брюхоного моллюска *L. mandshurica* произошла стабилизация в биохимических процессах и организм приспособился к новым условиям среды. Таким образом необходимое для адаптации время составляет 20 дней.

В ходе данного эксперимента полученные результаты свидетельствуют о том, что наиболее подверженной антропогенному влиянию является группа моллюска *L. mandshurica*, отловленная из бух. Горностай, данные показатели связаны с тем, что бухта является законсервированной городской свалкой. Можно предположить, что данная среда неблагоприятно

влияет на жизнь морских гидробионтов. Но при пересадке в экологически чистую акваторию наблюдается резкое снижение концентрации карбониллов белков, это говорит о том, что биологическая система испытывает на себе меньшее воздействие ксенобиотиков, которые вызывают меньшую степень окисления белков.

Увеличение концентрации карбониллов после 20 дней адаптации по сравнению с 10 днями адаптации и уменьшение по сравнению с аборигенами свидетельствует о влиянии загрязнения среды на биохимические процессы в организме моллюсков. Все, три исследуемых района, активно несут на себе антропогенную нагрузку. Поэтому, на пищеварительную железу моллюсков оказывают значительное воздействие токсиканты среды обитания. Кроме того, пищеварительная железа, являясь органом с высокой степенью метаболизма сама по себе в нормальных условиях является активным продуцентом окисленных форм липидов и белков, которые в норме всегда образуются в ткани пищеварительной железы. И содержание данных продуктов окисления важных биологических молекул выше в пищеварительной железе по сравнению с другими тканями. Поэтому после продолжительного периода адаптации к новой среде обитания биохимические процессы в ткани пищеварительной железы приходят в норму, реагируя незначительным повышением окисления белка по сравнению с 10 днями, но все-таки образуя значительно меньшее количество карбониллов относительно аборигенов антропогенно-загрязненных районов. Таким образом, полученные результаты отражают влияние внешней среды на биохимические процессы внутри организма гидробионтов. Так же можно сделать вывод о степени воздействия антропогенного загрязнения на организм гидробионтов. Однако необходимо упомянуть, что вне зависимости от степени воздействия, организм моллюсков способен реагировать на «очистение» среды, что возможно говорит о том, что, обитая в антропогенных импактных районах, данные организмы выработали адаптационные механизмы к среде обитания и данные условия обитания уже являются нормой. Однако степень нормы для каждого исследуемого района также отражена в количестве карбониллов в ткани пищеварительной

железы *L. mandshurica* и коррелирует с литературными данными о степени и характере загрязнения исследуемых районов.

Литература:

1. Ващенко М.А. Загрязнение залива Петра Великого Японского моря и его биологические последствия // Биол. моря. 2000. Т. 26, №3. С. 149-159.
2. Вейдеман Е.Л., Черкашин С.А., Щеглов В.В. Диагностика состояния прибрежных акваторий: некоторые проблемы и результаты // Изв. ТИНРО. 2001. Т. 128, ч. 3. С. 1036-1049.
3. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае / администрация Приморского края. Владивосток, 2011. 121 с.
4. Levine R. L., Wehr N., Williams J. R., Shacter E. Carbohyl assays for determination of oxidatively modified proteins. 1994. Methods Enzymol. 233:346-353.
5. Lowry O.H., Roenbrough N.J., Farr A. L. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. J Biol Chem 193: 265-275.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ В СХЕМЕ ОБРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Д.И. Ломагин¹, А.В. Буренин²

¹*Инженерная школа ДВФУ, г. Владивосток*

²*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, alex_bu@poi.dvo.ru*

В докладе представлен анализ результатов экспериментальной апробации системы звукоподводной связи, основанной на методе обращения времени. В задачи исследования входили: 1) проверка работоспособности метода и 2) оценка влияния изменчивости среды на качество связи.

Традиционно, в отечественных и зарубежных экспериментальных работах используются короткие сигналы (длительностью порядка нескольких десятков мс) с огибающей в виде гауссовского импульса или линейной частотной модуляцией [1,2]. В этой работе исследовались как параметры q -функции [3], так и возможность варьировать и идентифицировать эти параметры, используя в схеме обращения фазоманипулированные M -последовательностью сигналы (длительностью порядка сотен мс).

В эксперименте от 2012г. использовался сложный сигнал с несущей частотой $F_0=6$ кГц. Трасса распространения акустических сигналов была организована в мелководной бухте Витязь. Приемоизлучающие системы TRS и SR располагались в 1 метре от дна с общей глубиной места 10 м, на расстояние 1123 м друг от друга. Излучение сигналов осуществлялось в течение суток, периодом повторения $T=30$ с. В качестве зондирующего сигнала $s(t)$ использовался сложный фазоманипулированный сигнал на основе M -последовательности, длиной последовательности $N=255$ символов и с длиной одного символа равной $C=4$ периодам несущей частоты. Для того чтобы устранить наложение излученного и принимаемого сигнала в записи, моменты излучения трансиверов были разнесены во времени на 5 секунд (TRS излучала в 0-ю и 30-ю секунду, а SR в 5-ю и 35-ю секунду, соответственно).

Так как сигнал излучался периодически с периодом $T=30$ с., то моменты излучения можно естественно пронумеровать относительно этого периода, а именно $i=0,1,2,3,\dots$ и каждую полученную в i -ый момент времени функцию отклика канала (ФОК) обозначили $r_i(t)$.

В данной работе была реализована как классическая схема обращения времени, так и несколько модифицированная. Классическая схема (обозначим её римской цифрой “I”) состоит из нескольких этапов. Система SR излучает зондирующий сигнал $s(t)$, далее, система TRS регистрирует сигнал $r(t)$, обращает его во времени $r(-t)$ и переизлучает. На последнем этапе, SR принимает переизлученный сигнал. Математическое описание последовательности этапов представляются следующим образом:

1. SR→TRS: $s(t)$
2. TRS: $r(t)=s(t)*h(t); \quad r(-t)$
3. TRS→SR: $s'(t)=r(-t)*h(t)=s(-t)*h(-t)*h(t)=s(-t)*q(t)$

здесь $r(t)=s(t)*h(t)$ сигнал, прошедший через среду с импульсной характеристикой $h(t)$; * - оператор свертки; $q(t)=h(-t)*h(t)$ – q -функция волновода или фактор, характеризующий основную идею метода обращения времени. По форме во временной области q -функция должна представлять собой значительный пик с небольшими боковыми лепестками, расположенными симметрично относительно пика.

Так как в экспериментах применялись сложные сигналы, то для оценки q -функции волновода полученный сигнал $s'(t)$ сворачивался с обращенным во времени зондирующим сигналом $s(-t)$. Обозначим $q_{\text{exp}}(t)=s'(t)*s(-t)$ оценку q -функции.

Модификации схемы обращения заключалось в дополнительном излучении системой TRS ортогонального (сдвинутого по фазе на 90^0) к $r(-t)$ сигнала $r^{\text{opt}}(-t)$. То есть на 2-м этапе излучался пакет сигналов, который состоял из $r(-t)$, секундной паузы и $r^{\text{opt}}(-t)$. Данная модификация позволяет исследовать возможность варьирования фазы обращенной ФОК $r(t)$ и дальнейшей регистрации и идентификации этого изменения, т.е. эмитировать передачу информации.

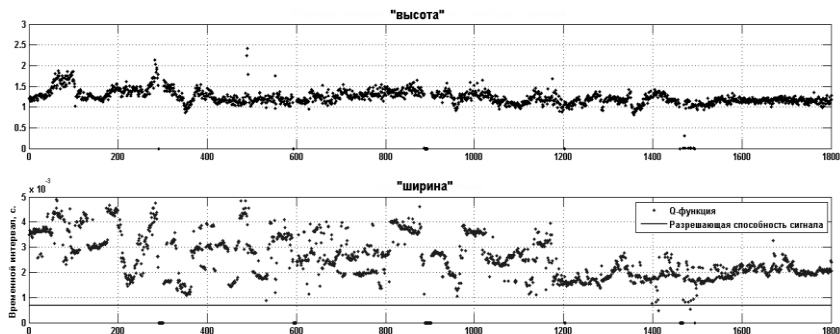


Рисунок 1. Натурные данные: отношение значения амплитуды пика $q_{\text{exp}}(t)$ к значению максимуму функции отклика канала («высота») и отношение ширины пика $q_{\text{exp}}(t)$ к ширине пика автокорреляционной функции зондирующего сигнала, равной C/F_0 («ширина»).

Обработка и анализ натуральных данных заключались в следующем. Оценивались отношение ширины пика $q_{\text{exp}}(t)$ к ширине пика автокорреляционной функции зондирующего сигнала, равной C/F_0 (обозначим его «ширина»), и отношение значения амплитуды пика $q_{\text{exp}}(t)$ к значению максимуму функции отклика канала («высота»). Разность фаз рассчитывалась по следующей формуле: $\Delta\varphi = \varphi(\max(q_{\text{exp}}(t))) - \varphi(\max(q_{\text{exp}}^{\text{орт}}(t)))$.

Результаты экспериментов по схеме «Г» показали, что: 1) кривая «ширина» сильно флуктуирует (среднее значение 4.5, амплитуда флуктуаций 2.5); 2) кривая «высота» изменяются плавно, в диапазоне от 0.75 до 2; 3) если «ширина» приближается к значению 2 и превышает его, то «высота» уменьшается. Типичная ФОК и $q_{\text{exp}}(t)$ представлены на рисунке 2.

Анализ разности фаз (возможности передачи информации) показал, что 1) отдельные участки кривой разности фаз (рис.3.) являются стабильными, практически постоянными; 2) скачки кривой (разность фаз между участками стабильности) составляют 360° ; 3) присутствие не скачкообразных переходов от участков стабильности связано с изменениями ФОК, вызванными динамическими процессами в среде.

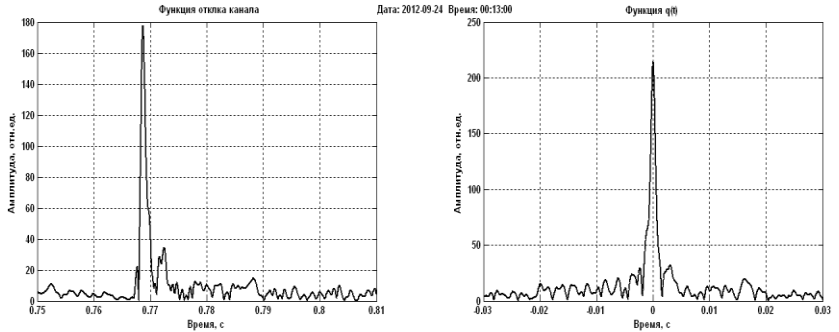


Рисунок 2. Натурные данные: функция отклика волновода (слева), соответствующая q -функция (справа)

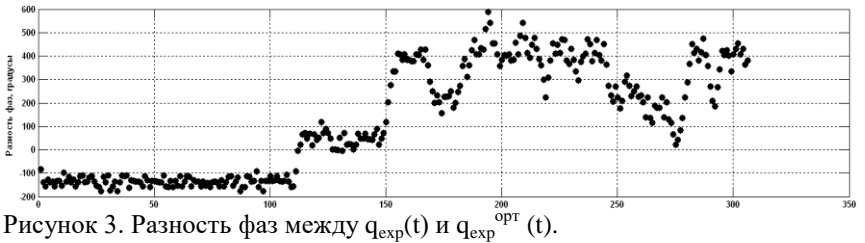


Рисунок 3. Разность фаз между $q_{\text{exp}}(t)$ и $q_{\text{exp}}^{\text{орт}}(t)$.

Суммируя изложенное выше, можно заключить, что измерение q -функции волновода с помощью продолжительных во времени сложных сигналов открывает новые возможности в реализации метода обращения времени. Несимметричность пика и боковых лепестков $q_{\text{exp}}(t)$, можно объяснить тем, что за время пробега сигнала в обе стороны среда успевает измениться и функция отклика волновода тоже (в экспериментах это время равнялось ~ 10 с). Разность фаз может быть выделена, но в силу того, что $q_{\text{exp}}(t)$ и $q_{\text{exp}}^{\text{орт}}(t)$ разнесены во времени, определение точного значения требует учета набега фазы за временной интервал, равный длительности паузы между сигналами.

Литература

1. W. A. Kuperman, W. S. Hodgkiss, H. C. Song, T. Akal, C. Ferla, and D. R. Jackson, "Phase conjugation in the ocean: Experimental demonstration of an acoustic time reversal mirror," J. Acoust. Soc. Am. 1998, **103**, p. 25–40.
2. Зверев В.А., Коротин П.И., Стромков А.А. Выделение мод в мелком море путем их обращения // Акустический журнал. 2009. Т. 55. № 6. С. 754-761.

3. T. C. Yang, Temporal resolution of time-reversal and passive-phase conjugation for underwater acoustic communications, IEEE J Oceanic Eng. 2003, 28, 229-245.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ СВИСТЯЩИХ
ЗВУКОВ ФОРСИРОВАННОГО ВЫДОХА В ИНТЕРЕСАХ
АКУСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ВОДОЛАЗНЫХ
ПОГРУЖЕНИЙ И ДРУГИХ ЭКСТРИМАЛЬНЫХ
ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ДЫХАТЕЛЬНУЮ
СИСТЕМУ ЧЕЛОВЕКА**

М.А. Сафронова, А.Д. Ширяев, В.В. Малаева

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, saf-m@poi.dvo.ru

Ранняя диагностика вентиляционных нарушений у лиц, подвергающихся воздействию экстремальных факторов внешней среды (водолазы, космонавты), на настоящий момент весьма актуальна. Однако современные методы обследования (компьютерная рентгеновская томография, магниторезонансная томография) имеют ряд ограничений. Отмечается, что эти методы характеризуют преимущественно структурную компоненту, но не отражают функциональные аспекты (региональные вентиляцию и вентиляционно-перфузионное отношение, локальные механические свойства паренхимы легких), которые очень важны для целей физиологии и медицины. Кроме того, эти методы не позволяют проводить обследования с достаточной для практических целей частотой повторения, весьма дорогостоящи, далеко не безвредны и сложны в эксплуатации. Достоинства же акустических методов очевидны (простота, общедоступность, безвредность, возможность частого повторения обследования для задач мониторинга). Однако сложность распространения звуковых колебаний в дыхательной системе человека, неясность механизмов и зон шумообразования являются основными причинами, затрудняющими их широкое применение.

Разработанный в нашем коллективе акустический метод, основанный на регистрации шумов дыхания, показал хорошие результаты при анализе продолжительности маневра форсированного выдоха (ФВ). Так в работе [2] при исследовании

сигналов ФВ до и после погружения, у 21% водолазов были выявлены признаки бронхиальной обструкции, что подтверждается спирографическим контролем. В работе [1] удалось более информативно оценить динамику вентиляционной функции легких человека при моделировании лунной гравитации.

При ФВ возникают свистящие звуки – свисты ФВ (СФВ), акустический феномен, сопровождающий дыхание человека, как в норме, так и при патологии. По мнению многих исследователей, СФВ потенциально применимы для диагностики бронхиальной обструкции. Однако до сих пор так и не ясны механизмы формирования СФВ, а также локализация их источников по уровням бронхиального дерева человека. Нами ранее было замечено, что СФВ достаточно часто сопровождаются нелинейными эффектами, связанными с появлениями на спектрограмме гармоник – дорожек спектральных пиков на частотах примерно кратных основной частоте СФВ. Исследование этих гармоник может служить ступенью к пониманию механизмов формирования СФВ.

Обследовано 28 добровольцев (15 больных и 13 здоровых). Запись шумов ФВ осуществлялась аппаратно-программным комплексом на основе 16-канального электронного самописца PowerLab (ADInstruments). Для приема акустических сигналов на поверхности грудной клетки человека использовали 11 датчиков акселерометрического типа.

Записанные акустические сигналы конвертировались в wav формат и далее подвергались 3D спектральной обработке в пакете прикладных программ SpectraLab. Динамический диапазон был выбран 80 дБ. На спектрограмме визуально выделяли «дорожки» среднечастотных свистов (СЧ СФВ) с частотами 400-600 Гц, ранних высокочастотных свистов (ранние ВЧ СФВ) на частотах выше 600 Гц, наблюдаемые в первой половине ФВ и поздних высокочастотных (поздние ВЧ СФВ) на частотах выше 600 Гц, наблюдаемые во второй половине ФВ.

Из 28 испытуемых у 19 (9 здоровых и 10 больных) были обнаружены спектральные гармоники СФВ.

На спектральной дорожке каждой гармоники СФВ фиксировалось 3 точки (начало, середина, конец свиста) (рис.1), в

каждой точке измерялись пиковая частота и амплитуда. Отмечалось, к какому типу СФВ относится та или иная гармоника. У одного человека могло быть несколько гармоник одного типа. Соответствие формы дорожек на спектрограммах служило главным признаком выявления нелинейных гармоник.

Над трахеей (канал 2) в каждой точке оценивалось отношение частот спектральных гармоник (F, разы), а также разность их амплитуд (A, дБ) по отношению к основной частоте СФВ. Эти величины усреднены по 3-м точкам измерений. В свою очередь, полученные результаты были усреднены по каждой из групп обследуемых (табл. 1 и 2).

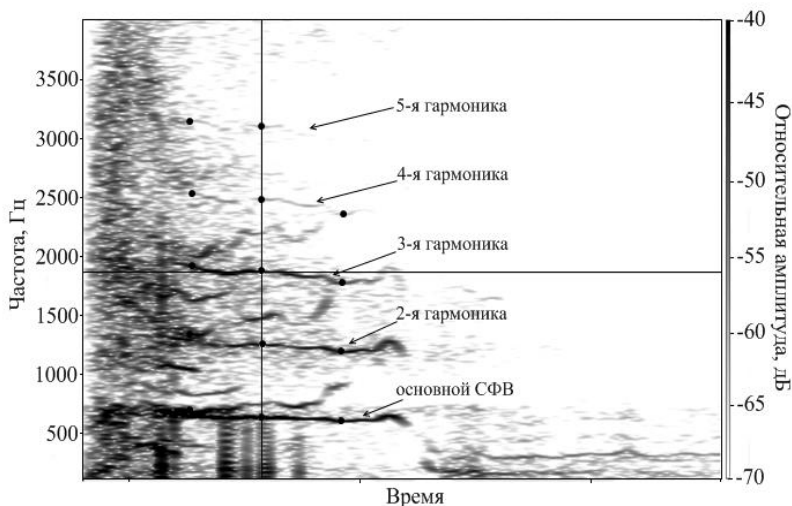


Рисунок 1. Спектрограмма трахеальных шумов форсированного выдоха.

Таблица 1. Осредненные значения отношений ($F \pm SD$) частот спектральных гармоник (№) и разностей их амплитуд ($A \pm SD$) по группе здоровых.

№	СЧ СФВ		Ранние ВЧ СФВ		Поздние ВЧ СФВ	
	F	A, дБ	F	A, дБ	F	A, дБ
2	2 ± 0.06	-7 ± 7	2 ± 0.1	-10 ± 12	2 ± 0.02	-3 ± 7
3	3 ± 0.3	-12 ± 9	3 ± 0.1	-18 ± 3	3 ± 0.01	-15 ± 10
4	4 ± 0.01	-5 ± 13	3 ± 0.8	-23 ± 4		

Таблица 2. Осредненные значения отношений ($F \pm SD$) частот спектральных гармоник (№) и разностей их амплитуд ($A \pm SD$) по группе больных

№	СЧ СФВ		Ранние ВЧ СФВ		Поздние ВЧ СФВ	
	F	A, дБ	F	A, дБ	F	A, дБ
2	2 ± 0.04	-4 ± 5	2 ± 0.07	-7.3 ± 11	2 ± 0.07	-14 ± 7
3	3 ± 0.4	-18 ± 13	3 ± 0.14	-25 ± 7		
4	4 ± 0.3	-27 ± 12				
5	5 ± 0.06	-11 ± 5				
6	6 ± 0.07	-16 ± 5				
7	7 ± 0.08	-17 ± 12				

Из таблиц видно, что значения отношений частот F близки к номерам гармоник. При этом число гармоник СЧ СФВ у больных намного больше, чем у здоровых. По амплитудам для СЧ СФВ у здоровых преобладают 2-я и 4-я гармоники, у больных – 2-я и 5-я. Для ВЧ СФВ характерно постепенное спадание амплитуды с номером гармоники.

На основе оценки частоты встречаемости гармоник СФВ по отделам грудной клетки для каждого человека был проведен анализ распределения нелинейных эффектов по отделам легких. Как у больных, так и у здоровых частота встречаемости гармоник СЧ СФВ (рис. 2) плавно убывает от трахеи и верхушек легких к более удаленным отделам легких (каналы 7, 8). Таким образом, максимальная нелинейность характерна для центральных и верхних отделов легких. Аналогичная картина наблюдается у здоровых для поздних ВЧ СФВ и у больных для ранних ВЧ СФВ.

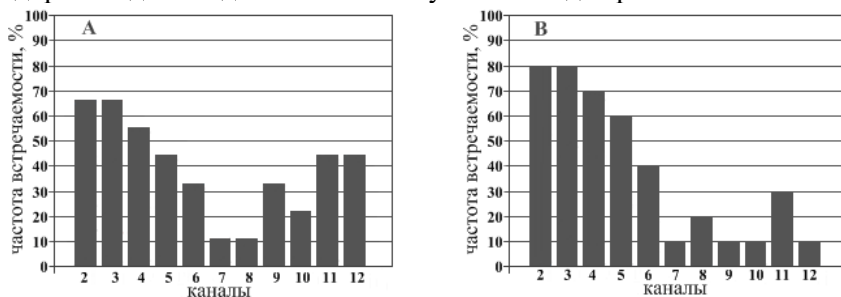


Рисунок 2. Распределение частот встречаемости нелинейных эффектов СЧ

СФВ по отделам легких (измерительным каналам): А – здоровые, В – больные.

Заметим, что основные частоты СФВ для одного и того же человека в каждом из каналов, как правило, совпадали. Анализ распределения нелинейных эффектов по сторонам грудной клетки (лево-право) не выявил статистически значимых различий.

Возникает вопрос, что же является источником наблюдаемых нелинейных эффектов?

Поскольку динамический диапазон измерительных трактов (датчик – АЦП) составлял не менее 80 дБ, маловероятно, чтобы наблюдаемая нелинейность была связана с ним. Если не в измерительном тракте, то нелинейность может возникать в источнике сигнала или в акустическом тракте его распространения к датчикам. Сходство основных частот СФВ и преимущественное распределение нелинейных эффектов в центральных отделах легких свидетельствует скорее в пользу нелинейности в источнике. Вероятно, что источник нелинейности расположен в трахее и крупных бронхах. В этом случае нелинейные гармоники должны затухать при распространении вдаль от источника, что и наблюдается на практике, по крайней мере, для среднечастотных СФВ (таблицы).

Интересно, что у разных добровольцев могут преобладать различные типы нелинейности (квадратичная, кубичная и т.д.).

Выяснение вопроса, могут ли выявленные нелинейные эффекты быть использованы для оценки влияния экстремальных воздействий среды на организм человека, требует дальнейшего исследования.

Литература

1. Малаева В.В., Коренбаум В.И., Почекутова И.А., Костив А.Е., Шин С.Н., Катунцев В.П., Баранов В.М. Акустическая оценка вентиляционной функции легких у человека при моделировании физиологических эффектов невесомости и лунной гравитации // Медицина экстремальных ситуаций. 2016. №1 (55). С. 40-49.
2. Почекутова И.А., Коренбаум В.И. Акустическая оценка влияния одиночного погружения в водолазном снаряжении закрытого типа на вентиляционную функцию легких // Физиология человека. 2011. Т.37. №3. С. 76-82.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ
ЗВУКОПОДВОДНОЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА
РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА ПРЯМОЙ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ**

М.А. Харченко¹, А.В. Буренин²

¹*Инженерная школа ДВФУ, г. Владивосток*

²*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, alex_bu@poi.dvo.ru*

В докладе представлен анализ результатов экспериментальной апробации системы звукоподводной связи, основанной на методе расширения спектра прямой последовательностью. В задачи исследования входили: 1) проверка работоспособности метода и 2) оценка зависимости скорости передачи информации к уровню ошибок в переданной информации.

С 60х годов прошлого века в радиофизике интенсивно разрабатываются методы цифровой передачи информации, позволяющие учитывать искажение принятых сигналов за счет неоднородности среды распространения и ее изменчивости во времени. С тех пор по этим вопросам были опубликованы сотни работ и множество обобщающих монографий (см., например, [1, 2]). Основные результаты здесь были получены методами так называемой *адаптивной эквализации (а.э.)* [3], суть которых сводится к предварительной передаче обучающего сигнала, по которому автоматически определяется обратный фильтр, выравнивающий переходную характеристику среды (эквализация) и позволяющий исправлять искажения передаваемого сигнала за счет многолучевого распространения и следить за временными вариациями среды. Такие методы в настоящее время широко применяются в радио, например, в сотовой телефонии. С 90х годов эти исследования стали применяться также и в области цифровой гидроакустической подводной связи, где методами *а.э.* были получены максимальные скорости передачи (десятки Кбит/с). Для океанологических целей, однако, главное значение имеет не скорость, а высокая надежность передачи в самых различных условиях, которая может быть достигнута снижением скорости передачи. В данной работе апробируется адаптивный метод расширения спектра с помощью прямой последовательности.

Исследуются различные скорости передачи информации и оценивается надежность декодирования.

В основе работы алгоритма связи лежит, использование синхронизирующих M – последовательностей на несущей, которые передаются перед информационными посылками, что при последующей взаимно-корреляционной обработке позволяет исключить влияние многолучевости и эффекта Доплера [1].

В данном алгоритме в качестве масок используется принятый синхронизирующий сигнал [5]. Первая половина синхронизирующего сигнала загружается в регистр маски канала «0», вторая в канал «1». Корреляционная обработка и сравнения уровней корреляционных функций производится с последующим связным сигналом и этими масками в течение сеанса связи. По истечении времени сеанса, алгоритм переходит в режим ожидания следующего синхронизирующего сигнала. Пример работы алгоритма представлен на рисунке.

Апробация метода проводилась 14 - 18 сентября 2016 г. в природных условиях в заливе Посьета и юго-восточнее, на акватории Японского моря. В ходе проведения эксперимента дистанции между излучающей и приемными системами составляли от 10 до 300 км.

У мыса Шульца, в 150 м от береговой черты, на глубине 34 м был установлен на грунт широкополосный пьезокерамический излучатель и соединен кабелем с береговым постом управления. Один раз в в минуты излучались сигнальные пакеты (синхронизирующий сигнал M -последовательность на несущей [4], 1023 символа, 4 периода несущей частоты на символ, с центральной частотой 400 Гц). Информационный сигнал передает значение скорости звука равное 1456.78 м/с. Для того чтобы устранить избыточность в информационном сообщении первая цифра «1» в значение скорости звука не передается и в сообщении будут передаваться цифры 45678 или в бинарном виде '1011001001101110'. Тестируются значения скорости передачи: 100, 50, 33.3, 25, 20, 16.7, 14.3, 12.5, 11.1, 10, 9.1 и 8.3 бод). Длительность сеансов излучения варьировалась от 20 до 120 мин.

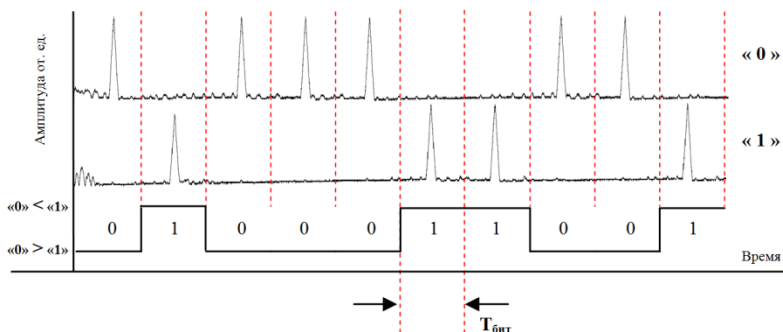


Рисунок 1. Пример работы алгоритма декодирования. Тбит – обратная величина от скорости передачи

В качестве имитатора приемного тракта ПО использовался радиогидроакустический буй, внутри которого размещались радиопередатчик, модуль GPS, система единого времени для синхронизации излучающей и приемной систем, усилитель акустических сигналов, источник питания. При помощи кабеля осуществлялось соединение надводной части буя с гидрофоном, заглубленным ориентировочно до оси ПЗК, глубина которого определялась непосредственно перед постановкой с помощью гидрологического зонда. В центр анализа данных, расположенный на судне, по радиоканалу передавалась поступающая с гидрофона акустическая информация и данных GPS о местоположении дрейфующего буя. Далее производилась декодирование переданной информации.

Результаты обработки принятого на дистанции 150 км информационного пакета приведены на рисунке 2. Скорость передачи информации равняется 100 бод. Результаты тестирования зависимости количества ошибок от скорости передачи информации приведены на рисунке 3.

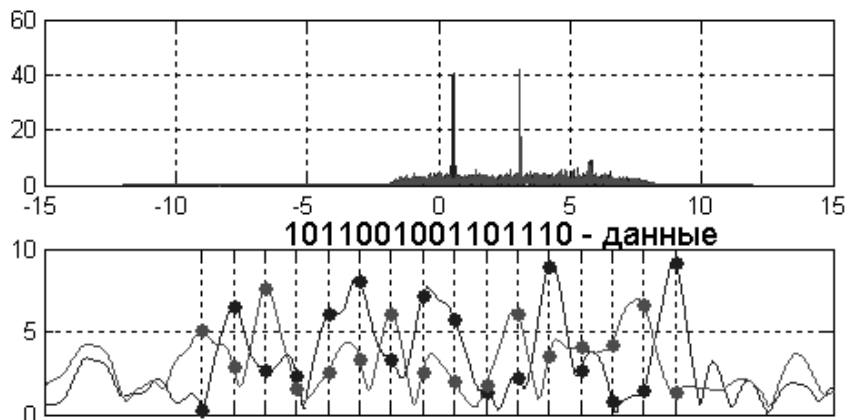


Рисунок 2. Пример декодирования сигнала, скорость передачи информации 100 бод.

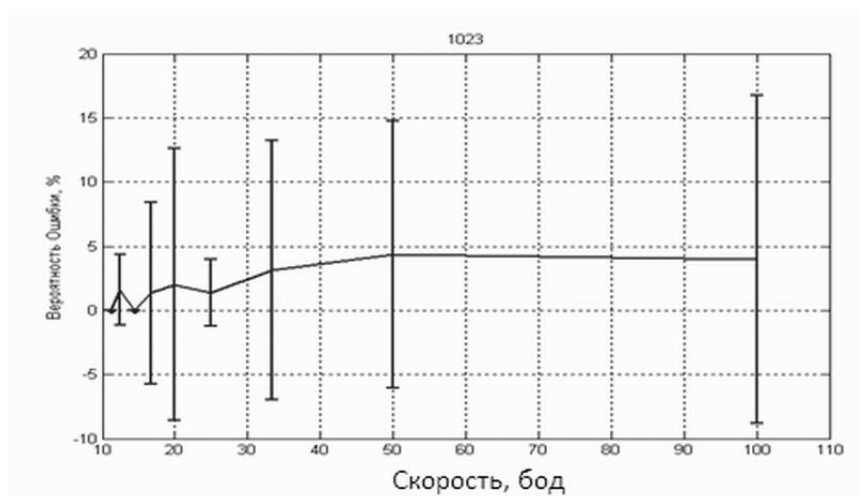


Рисунок 3. Эмперическая зависимость вероятности ошибочного декодирования переданной информации от скорости передачи.

В результате экспериментальной апробации передачи информации по гидроакустическому каналу с помощью метода расширения спектра прямой последовательностью были получены:

- 1) безошибочное декодирование информации на всех скоростях

передачи на дистанции в 10 км; 2) на дистанции 150 км вероятность ошибочного приема для максимальной скорости передачи в 100 бод равна не менее 5%; 3) для 300 км правильно было принято 25 % информационных сообщений при скорости передачи в 100 бод.

Литература

1. Уидроу Б., Стурнз С. Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1989. 440 с.
2. Proakis J.G. Digital communication // McGraw Hill, Inc. 1995. 928 с.
3. Proakis J.G. Adaptive equalization technics for acoustic telemetry channels // IEEE Journal of oceanic engineering. 1991. V. 16. № 1. P. 21–31.
4. Зверев, В.А. Выделение сигналов из помех численными методами / В.А. Зверев, А.А. Стромков. – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2001. 188 с.
5. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение: пер. с англ. - 2-е изд. / Б. Скляр. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

ПОДХОДЫ К АКУСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВОДОЛАЗА-АКВАЛАНГИСТА ПО ИЗЛУЧАЕМЫМ ИМ ДЫХАТЕЛЬНЫМ ШУМАМ

А.Д. Ширяев¹, В.И. Коренбаум¹, С.В. Горовой^{1,2}, А.Е. Костив¹

¹ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, med_phisiker@mail.ru

²ДВФУ, г. Владивосток, gorovoysv@mail.ru

Вопросы контроля местоположения водолаза-аквалангиста в пределах акватории являются важной задачей для контроля выполнения планируемых работ и организации при необходимости успешной спасательной операции [1, 2]. В данном докладе представлен опыт акустической оценки местоположения аквалангиста по излучаемым им дыхательным шумам.

При выполнении экспериментов линейная антенная решетка из 12 гидрофонов с межэлементными расстояниями 4 м была размещена в б. Иванцова. Чувствительности каналов антенной решетки (с усилением предусилителем в 12 раз) лежат в пределах от 1850 до 1200 мкВ/Па. Для записи шумов с акустических датчиков использован 16-канальный электронный самописец PowerLab (ADInstruments). Обработка сигналов выполнена универсальными программными средствами Chart, SpectraLab и специально разработанными скриптами на языке

программирования Python. Гидрофоны антенной решетки укладывались с пирса на дно в одну линию.

Независимый контроль положения аквалангиста осуществлялся с помощью стандартного GPS-логгера (Holux M241), установленного внутри герметичного 5 л пластмассового контейнера, буксируемого водолазом по поверхности воды на фале длиной около 8 м. Записанные данные визуализируются в open source программе SAS.Planet. Программа позволяет отображать географические местоположения точек зафиксированных по GPS (широта, долгота), при этом точки могут быть отображены в виде отдельных точек или в виде последовательности точек (трека) соответствующих некоторому событию.

Для позиционирования гидрофонов измерительной системы аквалангист, снабженный GPS-логгером, сидел рядом с каждым из приёмных устройств. По максимуму амплитуды сигналов, уточнялись интервалы времени нахождения у гидрофона. С учетом интервала времени нахождения у гидрофона построена плотность распределения GPS-точек полученная алгоритмом kernel density estimation (ядро Uniform, радиус 2 м). По максимуму этого распределения устанавливалось положение крайних гидрофонов решетки 1-го и 12-го. Далее Python-скрипт откладывал от GPS-точки 1-го гидрофона по курсу на GPS-точку 12-го гидрофона через каждые 4 метра местоположения остальных 11 гидрофонов.

Глубина места установки гидрофонов проверялась по данным карт, показаниям глубиномеров аквалангистов, данным эхолота и составила 10 – 10,5 м. Шумы аквалангистов регистрировались при их параллельных и перпендикулярных (относительно линии антенны) проходах над антенной с заглублением около 8 м.

В качестве примера рассмотрим проход аквалангиста вдоль антенной решетки в сторону противоположного берега б. Иванцова, с последующим возвращением назад, выполненный в период местного времени 14:01:00–14:26:00 (рис.1). Для определения временной задержки в направлении на аквалангиста с помощью пары акустических датчиков используется коррелограмма. Под коррелограммой, мы понимаем изображение показывающее зависимость оценок взаимно-корреляционной

функции (ВКФ) от сдвинутых по времени фрагментов сигналов. На рисунке 1 показаны результаты обработки для участка (14:01:00–12:06:00) в полосе частот 160–790 Гц. Трасса задержек максимумов ВКФ аквалангиста по величине задержек совпадает качественно и интервалами количественно с данными, реконструированными по GPS. Уровень нормированной ВКФ лежит в пределах 0,3-0,7 (фоновые значения до 0,3). Устойчивый пеленг на аквалангиста, совпадающий с пеленгом, полученным по GPS данным, наблюдается вплоть до дистанции 200 м.

Местоположение аквалангиста будем определять методом триангуляции – по пересечению пеленгов от двух баз гидрофонов: 1-й и 5-й гидрофоны, 6-й и 10-й гидрофоны, используя найденные максимумы ВКФ и соответствующие им временные задержки. Длины баз составляют 16 м.

На участке прохода (14:01:00-14:06:00) для базы 1-го и 5-го гидрофонов (рис. 1), и для базы 7 и 11 гидрофонов наблюдаются довольно устойчивые трассы задержек, которые позволяют найти пересечения пеленгов. Однако имеются моменты времени, когда максимум ВКФ перестраивается на помеху (выбросы).

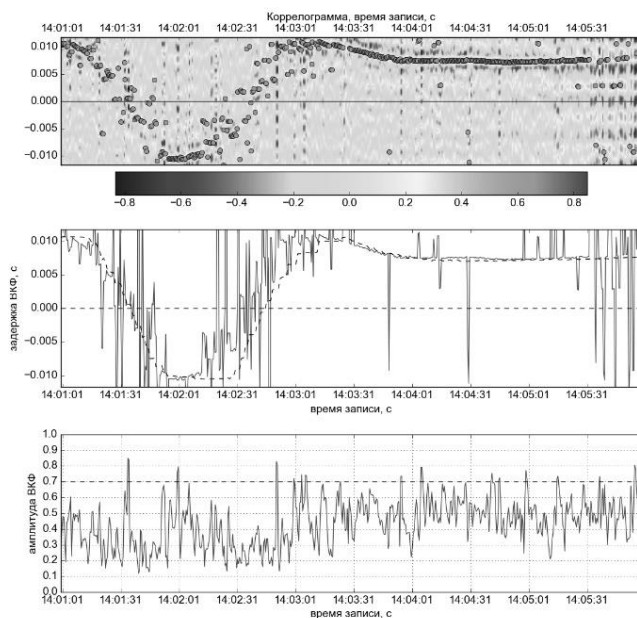


Рисунок 1. Результаты определения пеленга на аквалангиста (местное время 14:01:00-12:06:00):

1-й сверху график – коррелограмма ВКФ (маркерами отмечены максимумы),

2-й сверху график – задержки ВКФ (график тире – данные GPS),

3-й сверху график – амплитуды нормированной ВКФ, усреднение 1 с

Оценим точность полученных акустическим методом местоположений водолаза путем вычисления невязки с координатой буксируемого поплавка с GPS-логгером. На рисунке 2 представлен график невязки в сопоставлении с графиком дистанции водолаза от центра антенной решетки.

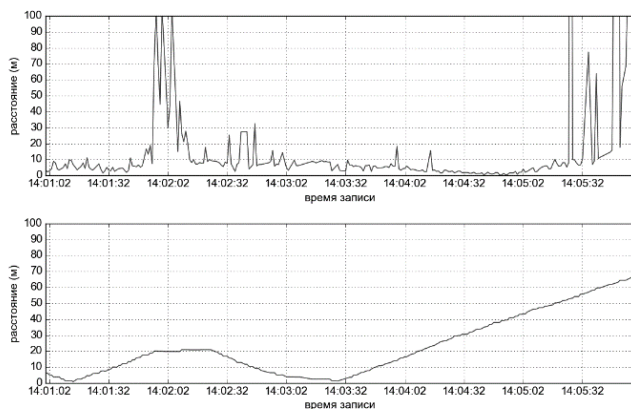


Рисунок 2. Зависимость невязки между акустической и GPS оценками местоположения аквалангиста и дистанции от водолаза до центра антенной решетки во времени:

верхний график – расчетное значение невязки, нижний график – дистанция до аквалангиста

Как видно из графика невязки (рис.2) наибольшие выбросы появляются при пересечении аквалангистом середины антенны (местное время 14:02:02). Вероятно, это связано с тем, что метод триангуляции хорошо работает только при расстояниях больших длины базы. Поэтому более информативными становятся участки, где дистанция до аквалангиста превышает 20 м. С 14:04:02 до 14:05:02 местного времени с увеличением дистанции величина невязки действительно убывает, достигая первым метров. Однако

при дистанциях более 60 м величина невязки вновь резко возрастает. Мы предполагаем, что это является следствием недостаточно точного позиционирования гидрофонов. Чем больше дистанция до аквалангиста, тем ошибки в определении акустических пеленгов по парам гидрофонов, очевидно, сказываются сильнее. Таким образом, проблема повышения точности позиционирования гидрофонов представляется ключевой для обеспечения акустической оценки местоположения водолаза с малой погрешностью. Альтернативой может являться использование разностно-дальнометрического метода, в меньшей степени подверженного влиянию ошибок позиционирования и, кроме того, обеспечивающих определения местоположения на малых расстояниях, сравнимых с размером используемых баз гидрофонов.

Стоит также отметить благоприятную с точки зрения помех обстановку при проведении экспериментов. Возможно, что при увеличении уровня помех, для достижения столь чистых акустических результатов определения местоположения аквалангиста потребуются более изощренный, чем простой выбор максимального значения, алгоритм выделения трасс задержек максимумов ВКФ на коррелограммах, обеспечивающий минимальное количество выбросов.

В заключение можно отметить, что первый опыт позиционирования водолаза-аквалангиста с помощью взаимно-корреляционной обработки излучаемых им дыхательных шумов дает обнадеживающие результаты.

Исследование выполнено при поддержке НИР № гос. рег. АААА-А17-117030110041-5 по Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг.

Литература

1. В. И. Коренбаум, С. В. Горовой, А. Е. Бородин и др. Экспериментальные исследования возможности обнаружения дыхательных шумов легководолазов // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*, 2015. Т. 8, № 4.
2. В. И. Коренбаум, С. В. Горовой, А. А. Тагильцев и др. Возможность пассивного акустического мониторинга легководолаза // *Доклады академии наук*, 2016, том 466, № 5, с. 602–606.

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы VIII конференции молодых ученых

Владивосток, 6 – 9 июня 2018 г.

Отпечатано с оригинал-макета,
подготовленного в ТОИ ДВО РАН,
минуя редподготовку в «Издательство Дальнаука»

Ответственный за выпуск *Е.А. Янченко*

Подписано в печать 22.05.2018 г.
Формат 60х90/16. Усл. п. л. 14,25. Уч.-изд. л. 13,45.
Тираж 90 экз. Заказ ИВ 18055

ФГУП «Издательство Дальнаука»
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7
Тел. 8 (423) 231-21-05. E-mail: dalnauka@mail.ru
<http://www.dalnauka.ru>

Отпечатано в ООО «ПОЛИГРАФ–СЕРВИС–ПЛЮС»
г. Владивосток, ул. Русская, 65, корпус 10