

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



ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
IX КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

29 - 30 апреля 2021 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ВЛАДИВОСТОК

2021

**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

**IX конференция молодых ученых
29 - 30 апреля 2021 г.
г. Владивосток, Россия**

Материалы конференции

**OCEANOGRAPHIC RESEARCH
IX Conference of young scientists
April 29 – 30, 2021, Vladivostok, Russia**

Collection of papers

**Владивосток
ТОИ ДВО РАН
2021**

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

Океанологические исследования: материалы IX конференции молодых ученых, 29 – 30 апреля 2021 г., Владивосток, Россия. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2021. – 205 с.

ISBN 978-5-6044821-7-9

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

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

Конференция проводится при финансовой поддержке Учебно-научной кафедры ТОИ ДВО РАН

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 IX conference of young scientists, April 29 – 30, 2021, Vladivostok, Russia. – Vladivostok: POI FEB RAS, 2021. – 205 p.

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

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

ISBN 978-5-6044821-7-9

© ТОИ ДВО РАН, 2021 г.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатели научного комитета

Врио директора ТОИ ДВО РАН
Вячеслав Борисович Лобанов

Зам. директора ТОИ ДВО РАН
д.б.н. Виктор Павлович Челомин

Ученый секретарь

к.г.н. Нина Ивановна Савельева

Председатель оргкомитета:

Ирина Александровна Прушковская

Председатели секций:

к.г.н. Галина Александровна Власова

к.г.н. Михаил Константинович Пичугин

к.г.н. Дмитрий Дмитриевич Каплуненко

к.б.н. Валентина Владимировна Слободскова

к.б.н. Федорец Юлия Владимировна

к.г.-м.н. Антонина Валериевна Артёмова

к.т.н. Александр Анатольевич Тагильцев

к.т.н. Михаил Юрьевич Фершалов

Материалы конференции публикуются в авторской редакции

Составитель:

Ирина Александровна Прушковская

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ <i>Океанология, физика океана и атмосферы</i>	9
<u>А.Д. Аллилуев.</u> Динамика нелинейного квантового осциллятора взаимодействующего с резервуаром	9
<u>А.А. Дидов, М.В. Улейский, М.В. Будянский.</u> Хаотическое рассеяние и его фрактальные свойства в нелинейной динамической системе с фиксированным вихрем под воздействием двухчастотного набегающего потока	10
<u>М.С. Казак, П.С. Петров.</u> Об адиабатическом распространении звука в мелком море с изогнутым подводным каньоном	13
<u>С.С. Капач, П.В. Журавлев, З.Ю. Лешневский.</u> Грозовая активность над Южно-Китайским морем	14
<u>К.К. Кивва, А.А. Сумкина.</u> Пространственные особенности сроков схода льда в Беринговом и Чукотском морях	13
<u>А.А. Кирилова, С.М. Гордеева.</u> Термохалинная адвекция через Датский пролив	22
<u>Н.А. Липинская, П.А. Салюк.</u> Исследование воздействия внутренних волн на цвет поверхности моря	24
<u>А.А. Полухин, Г.В. Борисенко, А.В. Костылева, Е.П. Маккавеев, Ю.О. Пронина, С.В. Степанова, П.В. Хлебопашев.</u> Особенности трансформации химического стока в барьерных зонах Обской губы Карского моря	28
<u>М.В. Казачек, Т.В. Гордейчук, А.С. Починок.</u> Определение температуры в коллапсирующих кавитационных пузырьках в воде	32
<u>А.А. Сумкина, К.К. Кивва, В.В. Иванов.</u> Тенденции в сроках очищения районов Баренцева моря ото льда	35
<u>А.А. Удалов, М.В. Будянский, М.Ю. Улейский.</u> Бифуркационный анализ стационарной динамически согласованной модели двумерного меандрирующего струйного течения	38
<u>Д.И. Фрей, Е.Г. Морозов, В.В. Фомин, Н.А. Дианский.</u> Потоки антарктических вод в придонном слое Атлантики: натурные наблюдения и численное моделирование	42
<u>Н.А. Мельниченко, А.В. Тювеев, А.Ю. Лазарюк, Е.В. Кустова, П.О. Харламов.</u> Микроструктура морского льда б. Новик по данным гидрологических измерений и результатов мрт-исследования	43
СЕКЦИЯ <i>Геология, геофизика и геохимия океана</i>	48
<u>К.А. Апарина, В.Н. Карнаух.</u> Современное формирование рельефа дна	48

северо-восточного склона впадины ТИНРО (Охотское море)	
<u>Л.Н. Василенко.</u> Особенности распределения инфузорий и радиолярий в верхнеголоценовых отложениях моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря	50
<u>И.А. Вишневская, П.Е. Михайлик, Ю.М. Иванова, Т.Г. Окунева.</u> Изотопные составы Sr и Nd минеральных фаз ЖМО Японского моря	55
<u>В.Ю. Калгин, И.В. Гончарова, Ф.В. Кузив.</u> Аутигенная сульфидная минерализация в отложениях Южно-Китайского моря	60
<u>А.В. Кишанков.</u> Потенциальная газоносность верхней части разреза арктических и субарктических акваторий	63
<u>А.Е. Коляда, М.С. Обрезкова.</u> Диатомовая флора голоценовых осадков шельфовой зоны моря Лаптевых	66
<u>Т.В. Корнюшенко, Т.А. Гребенникова.</u> Эволюция лагунного озера и ландшафтов на побережье бухты Красная (остров Русский) в среднем-позднем голоцене	69
<u>К.Ю. Крамчанин, Ф.В. Кулаков, И.В. Тихненко, В.А. Камынин.</u> Обзор некоторых золоторудных месторождений (проявлений) Курило-Камчатской островодужной системы	74
<u>А.В. Сорочинская, А.А. Легкодимов, Ф.В. Кузив.</u> Редкоземельные элементы в поверхностных осадках залива Тонкин	77
<u>А.Э. Леусов, А.Н. Чаркин, И.И. Пипко, О.В. Дударев, Г.Ю. Павлова, Ю.А. Барабаничиков, В.А. Горячев.</u> Геохимические особенности субмаринной разгрузки подмерзлотных грунтовых вод в губе Буор-Хая, море Лаптевых	81
<u>Д.С. Максеев, Р.Б.Шакиров, К.И. Аксентов, С.А. Федоров.</u> Геохимическая характеристика поверхностных отложений Южно-Татарского бассейна	83
<u>Е.Н. Малышева.</u> Сравнительная характеристика некоторых органогенных массивов (Находкинский риф и гора Брат) на юге Приморья на основе изучения сфинктозоа	86
<u>А.А. Пугачев, А.С. Теличко, А.С. Зверев, А.С. Маликов.</u> Минеральные парагенезисы и особенности метаморфизма магматических пород островов Римского-Корсакова (Японское море)	88
<u>А.С. Рубан, О.В. Дударев.</u> Условия формирования Mg-кальцита в донных осадках сиповых областей на шельфе моря Лаптевых	91
<u>А.А. Рюмина, Е.М. Шкирникова, П.Я. Тищенко.</u> Тяжелые металлы и органический углерод в донных осадках мелководных бухт залива Петра Великого	95
<u>О.В. Соловьёва, Е.А. Тихонова, О.А. Миронов, К.И. Гуров, Е.А. Котельянец, Т.О. Барабаин.</u> Генезис и распределение	98

полициклических ароматических углеводов поверхностного слоя донных отложений Балаклавской бухты (юго-западная часть Крымского полуострова, Чёрное море)	
<u>Н.С. Сырбу</u> . Газогеохимические поля гелия, водорода и метана острова Сахалин	102
<u>А.О. Холмогоров</u> . Концентрации метана в поверхностном слое воды Японского моря в контексте сейсмических событий	107
<u>М.В. Шаповалова, А.Н. Колесник</u> . Палеоокеанологическое значение геохимических и минералогических индикаторов тихоокеанских вод в Арктике	109
<u>А.К. Юмашева, А.С. Харыбина, А.И. Зворыкина</u> . Создание прототипа карты рисков морей арктического шельфа	110
<u>Т.С. Якимов</u> . Хребет Ямато: петрографическая характеристика (Японское море)	116
<u>А.В. Якук, А.И. Гресов, Д.А. Швалов</u> . Газогеохимические исследования юго-восточного сектора Восточно-Сибирского моря	117
СЕКЦИЯ Экология океана. Биоресурсы океана	121
<u>Е.В. Анисимова, П.Я. Тищенко</u> . Гидрохимические исследования нижнего течения и эстуария р. Амур	121
<u>Ю.А. Барабанищikov, П.Я. Тищенко, П.Ю. Семкин, В.И. Звалинский, Т.А. Михайлик, П.П. Тищенко</u> . Особенности временной изменчивости содержания кислорода в зарослях <i>Zostera marina</i> L. в бухте Воевода (Амурский залив, Японское море)	124
<u>В.А. Бучельникова, Т.Я. Чурилова, Т.В. Ефимова, Н.А. Моисеева, Е.Ю. Скороход</u> . Влияние спектральных биооптических показателей вод на продуктивность фитопланктона в прибрежных водах Черного моря	126
<u>Е.С. Другова</u> . Исследование липидного состава экстракта, выделенного из бурой водоросли <i>Sargassum pallidum</i>	128
<u>О.А. Еловская, В.А. Раков, Ю.В. Федорец, А.А. Косьяненко, А.А. Карпенко</u> . Угольная пыль в моллюсках бухты Врангеля (залив Находка)	132
<u>А.И. Еськова, А.Л. Пономарева, Н.С. Полоник, Я.В. Рыжманова, Р.Б. Шакиров</u> . Глубоководные углеводородоокисляющие штаммы <i>Bacillus kyonggiensis</i> POI87 и <i>Psychrobacter</i> sp. POI185, выделенные из донных отложений северной части Японского моря	137
<u>Т.В. Ефимова, Т.Я. Чурилова, Н.А. Моисеева, Е.Ю. Скороход</u> . Хроматическая адаптация фитопланктонного сообщества	140
<u>А.С. Зубцова, Е.А. Вах, И.Л. Зубцова, И.А. Дмитриев</u> . Гидрохимические исследования экологического состояния р. Объяснения, впадающей в б. Золотой рог	144

<u>И.Д. Козоброд.</u> Ареал черноморско-азовской проходной сельди в условиях меняющихся гидрологических особенностей в Азовском море	149
<u>М.А. Кольцова, С.В. Туранов, О.А. Рутенко.</u> Оценка внутривидовой изменчивости гидробионтов из акваторий бухты Витязь и залива Восток (Японское море) с использованием средней ДНК	153
<u>С.П. Кукла.</u> Воздействие ионов металлов и наночастиц оксидов металлов на беспозвоночных Японского моря	156
<u>В.В. Кулик, О.А. Мазникова.</u> Оценка запаса чёрного палтуса в Охотском море с учётом придонной температуры	158
<u>О.А. Мазникова, П.О. Емелин, Е.В. Ведищева.</u> Особенности биологии и пространственного распределения сайки (<i>Boreogadus saida</i>) в Восточно-Сибирском море	163
<u>О.А. Мазникова, П.О. Емелин.</u> Современное состояние запасов сайки (<i>Boreogadus saida</i>) моря Лаптевых	167
<u>А.А. Мазур, Н.В. Довженко, С.П. Кукла, М.А. Мазур.</u> Оценка токсического воздействия микросфер полистирола и наночастиц оксида меди на мидию тихоокеанскую <i>Mytilus trossulus</i> (Gould, 1850)	170
<u>Н.Д.А. Некрасова, О.А. Рутенко.</u> Трофические отношения опистоцентровых рыб (Perciformes, Opisthocentridae) бухты Витязь (Японское море) по данным анализа стабильных изотопов	175
<u>Н.А. Орехова, С.К. Коновалов.</u> Биогеохимические характеристики донных отложений прибрежных экосистем	178
<u>П.Ю. Семкин.</u> Разгрузка грунтовых вод в эстуарии р. Раздольной (Амурский залив) в феврале 2020 г.	183
<u>Н.А. Орехова, Е.А. Тихонова, Т.В. Витер.</u> Влияние окислительно-восстановительных условий донных отложений на макрозообентос некоторых бухт Севастопольского побережья	187

СЕКЦИЯ Информационные технологии, новые методы и технические средства исследования океана 192

<u>О.И. Кабанцова, В.В. Малаева, М.А. Сафронова, А.Е. Костив, С.М. Шин, В.И. Коренбаум.</u> Новый метод анализа шумов форсированного выдоха для контроля водолазов после погружения	192
<u>Е.Ю. Скороход, Т.Я. Чурилова, А.С. Бучельников, Н.А. Моисеева, Т.В. Ефимова, Е.А. Землянская.</u> Биооптические исследования в Арктическом регионе: вклад оптически активных компонентов в общее поглощение света в период наибольшего сокращения ледового покрова	197
<u>А.В. Буренин, Е.В. Смоленский.</u> Сравнение особенностей распространения акустических сложных сигналов в Японском и Охотском морях	198

СЕКЦИЯ *Океанология, физика океана и атмосферы*

ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНОГО КВАНТОВОГО ОСЦИЛЛЯТОРА ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО С РЕЗЕРВУАРОМ

А.Д. Аллилуев

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, jaazver@gmail.com

Взаимодействие различных квантовых систем с окружением это одна из самых важных проблем современной физики. Особенно это важно в таких областях как физика холодных и ультрахолодных атомных газов [5], квантовые вычисления и многие другие области. Наиболее часто используемые подходы к изучению открытых квантовых систем основаны на марковском приближении, которому соответствует кинетическое уравнение в форме Линдблада [2, 3]. Марковское приближение основано на предположении либо слабой связи с резервуаром, либо асимптотически высокой температуры резервуара. Если данные предположения оказываются неверны, данные уравнения переходят в уравнения типа Ланжевена, содержащими шумы и интегральные члены с ядрами памяти [1, 4]. Учет эффектов памяти может значительно обогатить физические свойства рассматриваемой системы [6, 7].

Данная работа посвящена динамике бозе-эйнштейновского конденсата, занимающего одно состояние и взаимодействующего с образовавшимся резервуаром, представляющим собой предконденсатные состояния. Предполагается, что плотность предконденсатных состояний значительно больше плотности конденсата. Такой режим характерен для экситонных и экситон-поляритонных конденсатов. Особенностью нашей модели является отстройка по энергии между конденсатом и предконденсатом, что приводит к осцилляциям ядра памяти. В работе изучается влияние данных осцилляций на динамику конденсата.

В ходе работы были найдены стационарные решения для уравнения бозе-эйнштейновского конденсата, взаимодействующего с резервуаром, а также значения параметров, при которых система переходит в тот или иной динамический режим. Одно из этих решений характеризуется разрывом связи между резервуаром и конденсатом и в следствие этого населенность конденсата остается постоянной. Второе стационарное состояние является асимптотическим пределом. По мере стремления к нему происходит неограниченное нарастание населенности конденсата.

Литература

1. Adamian G. G., Antonenko N. V., Kanokov Z., and Sargsyan V. V., Quantum Non-Markovian Stochastic Equations, Theoretical and Mathematical Physics, 145, 2005, P. 1443-1456.
2. Breuer H. P., Petruccione F. The Theory of Open Quantum Systems, Oxford Univ. Press, Oxford, 2002.
3. Bychek A. A., Muraev P. S., Maksimov D. N., and Kolovsky A. R., Open Bose-Hubbard chain: Pseudoclassical approach, Physical Review E, 101, 2020, P. 012208.
4. Chakraborty A., Sensarma R., Power-law tails and non-Markovian dynamics in open quantum systems: An exact solution from Keldysh field theory, Physical Review B, 97, 2018, P. 104306.
5. Cockburn S. P., Proukakis N. P., The Stochastic Gross-Pitaevskii Equation and some Applications, Laser Physics, 19, 2009, P. 558.
6. Makarov D. V., Elistratov A. A., Lozovik Yu. E., Non-Markovian effects in dynamics of exciton-polariton Bose condensates, Physical Letters A, 384, 2020, P. 126942.
7. Ribeiro P., Vieira V. R., Non-Markovian effects in electronic and spin transport, Physical Review B, 92, 2015, P. 100302.

ХАОТИЧЕСКОЕ РАССЕЙЯНИЕ И ЕГО ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА В НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ФИКСИРОВАННЫМ ВИХРЕМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДВУХЧАСТОТНОГО НАБЕГАЮЩЕГО ПОТОКА

А.А. Дидов, М.В. Улейский, М.В. Будянский

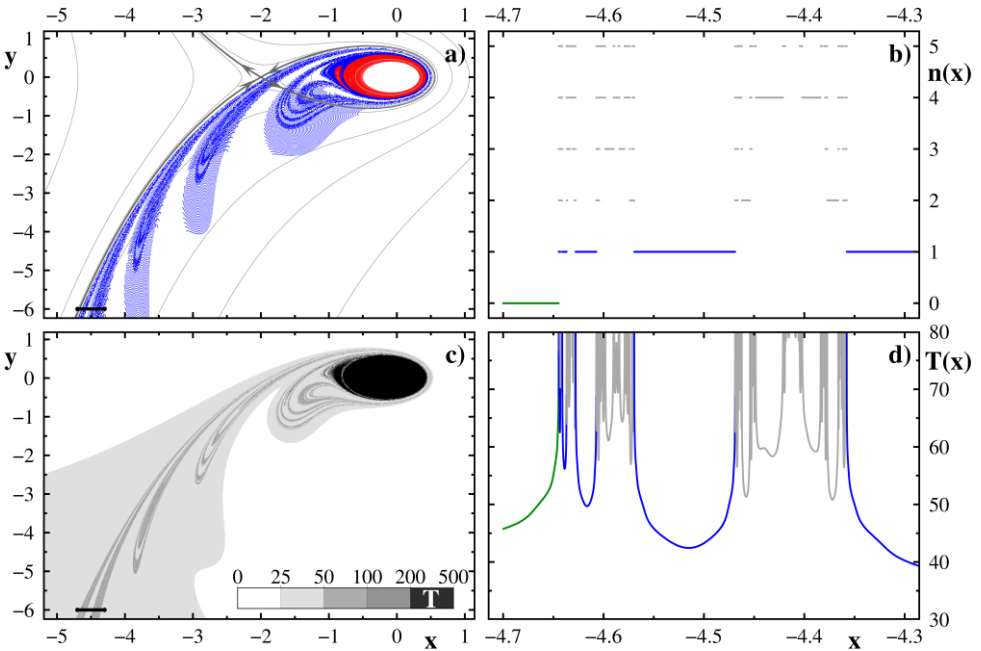
ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, didov.aa@poi.dvo.ru

Модели одиночного топографического вихря в океане активно изучаются на протяжении многих лет. В частности, хорошо изучена кинематическая модель точечного вихря, находящегося на фоне потока с постоянной и периодической составляющими. В работе [1] рассмотрено хаотическое рассеяние пассивных частиц таким вихрем. Показано, что зависимость от начальных координат времени пленения частиц и количества их оборотов вокруг вихря имеет фрактало-подобную структуру. В работе [2] подробно исследован механизм формирования фрактала рассеяния, выявлена его связь с инвариантным многообразием седловой точки. Помимо седловой точки на структуру фрактала оказывают влияние и другие неустойчивые периодические орбиты. В работе [3] рассмотрены периодические орбиты и их бифуркации в случае одночастотного периодического возмущения. Показано, что помимо универсального каскада бифуркаций удвоения периода, возможны другие бифуркационные сценарии, обладающие универсальной природой.

В кинематической модели топографического вихря под действием постоянного и двух периодических потоков функция тока определяется как

$$\Psi(x, y, t) = \ln \sqrt{x^2 + y^2} + x(\epsilon + \xi_1 \sin \omega_1 t + \xi_2 \sin \omega_2 t),$$

где x, y - координаты, t - время, ϵ и ξ_i - амплитуды зональных скоростей стационарного и переменных потоков, ω_i - частота i -го переменного потока. В этой системе точка $(0,0)$ является сингулярной, а в её окрестности всегда существуют замкнутые траектории при любых ϵ и ξ_i . Для любого $\xi_i > 0$ седловая точка превращается в седловую траекторию, взаимодействие этой траектории с частицами из набегающего потока порождает хаотическое рассеяние.



Модельный вихрь, в случае воздействия одночастотного периодического потока. а) серым цветом показаны линии тока невозмущенной системы ($\epsilon=0.5, \xi=0$). Жирной серой линией выделена сепаратриса, проходящая через седловую точку $(-1/\epsilon, 0)$ и разделяющая области финитного (ротационного) и инфинитного (баллистического) движения. Красными и синими точками показано сечение Пуанкаре при $\xi=0.1$. Для построения функции рассеяния начальные условия выбираются на отрезке в области набегающего потока $-4.7 < x < -4.1, y = -6$, показаном черным цветом на Рис. а, с. б) фрактал рассеяния для $\epsilon=0.5$ и $\xi=0.1$. Зеленым цветом показаны начальные условия частиц, для которых $n(x_0)=0$. Синим и серым цветами выделены начальные

координаты частиц, пересекающих луч Ox . с) карта времени пленения частиц $T(x_0, y_0)$. Черным цветом выделена область финитного движения. Темно-серая складчатая структура отображает устойчивому многообразию седловой орбиты. д) функция рассеяния (сечение карты времени пленения выбранным отрезком) для частиц, помещенных в «черный» отрезок (Рис. а, с)

В работе исследуется механизм перестройки фракталов рассеяния при вариации спектральных характеристик внешнего возмущения в нелинейной динамической системе с фиксированным точечным вихрем под воздействием двухчастотного набегающего потока.

Показано, что в случае воздействия двухчастотного возмущения зависимость от начальных координат времени пленения частиц и количества их оборотов вокруг вихря имеет фрактало-подобную структуру, для которой экспоненциальный закон убывания длин сегментов эпистроф сохраняется. Используя связь между частотой возмущения и коэффициентом наклона убывания длин сегментов эпистроф вычисляется эффективная частота внешнего воздействия на систему. Для различных соотношений частот w_1/w_2 показано, что при вариации амплитуд возмущений возможны два механизма перестройки фрактала рассеяния.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант №19-32-90031).

Литература

1. Budyansky M.V., Uleysky M.Yu., Prants S.V. Hamiltonian fractals and chaotic scattering of passive particles by a topographical vortex and an alternating current // *Physica D*, 195 (3–4) (2004), pp. 369-378, <https://doi.org/10.1016/j.physd.2003.11.013>
2. Budyansky M.V., Uleysky M.Yu., Prants S.V. Chaotic scattering, transport, and fractals in a simple hydrodynamic flow // *J Exp Theor Phys*, 99 (2004), pp. 1018-1027, <https://doi.org/10.1134/1.1842883>
3. Didov A.A., Uleysky M.Yu., Budyansky M.V. Stable and unstable periodic orbits and their bifurcations in the nonlinear dynamical system with a fixed point vortex in a periodic flow // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2020. V 91. P. 105426, <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2020.105426>
4. Didov A.A., Uleysky M.Yu., Budyansky, M.V. Chaotic scattering and its fractal properties in the nonlinear dynamic system with a fixed vortex in a two-frequency, time-periodic flow // *Nonlinear Dynamics*. 2021 (in press).

ОБ АДИАБАТИЧЕСКОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЗВУКА В МЕЛКОМ МОРЕ С ИЗОГНУТЫМ ПОДВОДНЫМ КАНЬОНОМ

М.С. Казак, П.С. Петров

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, kazak.ms@poi.dvo.ru, petrov@poi.dvo.ru

В работе рассматривается модельная задача о распространении звука в мелком море с изогнутым подводным каньоном. Каньон представляет собой кольцевидную неоднородность дна, наличие которой ведет к фокусировке звуковых волн в области над каньоном. Эта фокусировка является проявлением эффекта горизонтальной рефракции звука. В работе описана методика расчета акустического поля для волновода с неоднородностью такого типа, а также исследована геометрия горизонтальных лучей, захваченных каньоном. Методика основана на разделении переменных в уравнениях для модовых амплитуд и представлении решения в виде двойного ряда. Она имеет весьма общий характер и может быть использована для расчетов поля в любой задаче, где волновод имеет вращательную симметрию. Кроме того, установлено, какие члены этого ряда соответствуют горизонтальным лучам, сфокусированным над каньоном.

Литература

1. Б.Г. Кацнельсон, М. Бади, Дж. Линч. Горизонтальная рефракция звука в мелком море и ее экспериментальные наблюдения. Акустический журнал, 53(3):362–376, 2007.
2. Б.Г. Кацнельсон, С.А. Пересёлков. Горизонтальная рефракция низкочастотного звукового поля, вызванная солитонами внутренних волн в мелководном волноводе. Акуст. журн., 46(6):779, 2000.
3. Finn B Jensen, William A Kuperman, Michael B Porter, Henrik Schmidt. Computational ocean acoustics. Springer Science & Business Media, 2011.
4. Boris Katsnelson, Valery Petnikov, James Lynch. Fundamentals of shallow water acoustics. Springer Science & Business Media, 2012.12
5. Boris Katsnelson, Pavel Petrov. Whispering gallery waves localized near circular isobaths in shallow water. The Journal of the Acoustical Society of America, 146(3):1343–1352, 2019.
6. James F Lynch, Ying-Tsong Lin, Timothy F Duda, Arthur E Newhall. Acoustic ducting, reflection, refraction, and dispersion by curved nonlinear internal waves in shallow water. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 35(1):12–27, 2010.
7. Pavel S Petrov, Tatyana N Petrova. Asymptotic solution for the problem of sound propagation in a sea with an underwater canyon. The Journal of the Acoustical Society of America, 136(4):EL281–EL287, 2014.

ГРОЗОВАЯ АКТИВНОСТЬ НАД ЮЖНО-КИТАЙСКИМ МОРЕМ

С.С. Капач¹, П.В. Журавлев¹, З.Ю. Лешневский²

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

²Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Грозы относятся к опасным погодным явлениям. Они связаны с развитием мощных кучево-дождевых облаков и сопровождаются ливневыми осадками, шквалистыми ветрами и многократными электрическими разрядами (молниями) [1]. Частые ливни и грозы являются характерными для влажного муссонного климата Юго-Восточной Азии, включая и акватории Южно-Китайского моря (ЮКМ) [3, 4]. В летне-осенний период на ЮКМ выходят тропические циклоны (ТЦ) в широком диапазоне их интенсивности - от бесформенных облачных кластеров до супертайфунов [3, 4], при прохождении которых, как правило, наблюдаются проливные дожди с грозами.

Употребляемый нами термин «грозовая активность» далее будет иметь смысл набора определенных статистических характеристик гроз (или их совокупности) на некоторой территории за определенный период (час, сутки, месяц, год), характеризующие активность гроз, проявляющуюся в молниевых разрядах [1]. В данной работе она определяется плотностью молниевых разрядов или частотой, вычисляемых за определенный период времени (час, месяц, год).

В последние десятилетия для мониторинга гроз во многих странах используются автоматические системы обнаружения и определения координат молний (местные, региональные и глобальные системы локализации молний), которые позволяют ввести более объективные показатели грозовой активности, чем это могут дать субъективные данные наблюдений на метеостанциях. Так данные глобальной сети локализации молний World Wide Lightning Location Network (WWLLN, <http://wwlln.net/>) позволяют анализировать поля распределения молний с достаточно высоким пространственным разрешением и даже выделять мезомасштабные конвективные структуры в погодных системах (тайфунах) в районах открытого океана (и морей), не освещенных стандартными наблюдениями [2, 6].

Данные WWLLN были использованы для анализа «климатологии молний» за период 2005-2015 годы в северо-западной части Тихого океана в [7], где приводятся и некоторые результаты для центральной части ЮКМ (8°–18°N, 110°–120°E). В [7] поля плотности молний (на рисунке Fig.4), показывают их чрезвычайно большую пространственную изменчивость над

акваториями ЮКМ. Это делает актуальной задачу анализа климатологии гроз на масштабах отдельных географических регионов и акваторий ЮКМ.

В настоящей работе по данным глобальной сети локализации гроз WWLLN за десятилетний период 2009-2018 годы анализируются основные статистические характеристики грозовой активности и даны оценки вклада в них тропических циклонов для акватории Южно-Китайского моря и для акваторий в 5-ти градусных широтных поясах.

Для расчета статистических характеристик грозовой активности над ЮКМ использовались данные глобальной сети локализации молний WWLLN за период 2009-2018 гг., выбранные над морем в области ($0-25^\circ$ с.ш., $100-125^\circ$ в.д.). Данные сети WWLLN, осуществляющей регистрацию молниевых электрических разрядов облако – земля круглосуточно, включают в себя момент времени (UTC) отдельного разряда с точностью до микросекунды и его координаты. Среднее (медианное) значение погрешности координат положения молний WWLLN составляет 4.3 км (3 км), а диапазон ошибок на уровне 0.5 от максимума распределения составляет от 1 до 6 км [5]. Эффективность обнаружения молний (отношение молний, регистрируемых сетью WWLLN, к количеству наблюдаемых молний) составляют $\sim 11\%$ для всех разрядов облако – земля [5]. В [7] приводятся оценки эффективности сети WWLLN для северо-западной части Тихого океана ($0^\circ-55^\circ\text{N}$, $100^\circ-180^\circ\text{E}$) для периода 2005-2015 гг., которая по мере развития сети (от 24 станций до ~ 70) и совершенствования технологии выросла с 5,7% в 2005 г. до 18,4% в 2014 г. Для периода с 2009 по 2015 годы она изменялась в пределах от 12,8% до 18,4 %. Неопределенность и изменчивость эффективности WWLLN следует учитывать при интерпретации результатов статистических оценок. По этой же причине в настоящей работе широко используются относительные величины для демонстрации изменчивости грозовой активности.

Для всей акватории ЮКМ на географической сетке с шагом $0,1^\circ$ рассчитывались месячные поля плотности молний n – число молний, попадающих в круг площадью 100 км^2 с центром в узле сетки за месяц. Из-за широкого диапазона изменчивости полей плотности n при визуализации используется преобразование их в $\lg(1+n)$. Сезонный ход грозовой активности демонстрируют гистограммы распределения молний по месяцам. Для представления суточного хода грозовой активности и его изменчивости в течение года строились сезонно-суточные диаграммы, представляющие собой сглаженные (и нормированные на максимум) двумерные гистограммы распределения молний времени суток (по получасовым интервалам, время местное, равное UTC +7 часов) и по 10-

дневным интервалам в годовом ходе. Такие же характеристики рассчитывались и для 5-ти широтных поясов, показанных на рисунке 1б.

Как и в [7] по данным WWLLN, в работе проанализирован вклад тропических циклонов (ТЦ) в грозовую активность. Для этого по данным 6-ти часовых бесттреков ТЦ Японского метеорологического агентства Japan Meteorological Agency (<http://www.jma.go.jp>) с помощью сплайновой интерполяции широты и долготы ТЦ по времени [6] рассчитывались координаты центра ТЦ с часовыми интервалами. В каждой такой «часовой» точке траектории центра ТЦ за период в 1 час насчитывается число молний, попадающих в область влияния ТЦ радиусом 500 км. Полное число молний, связанных с ТЦ, определяется суммой числа молний по всем «часовым» точкам на отрезке траектории ТЦ, лежащем в акватории ЮКМ или отдельного его района.

Основные особенности пространственной и сезонной изменчивости грозовой активности над ЮКМ, полученные по данным WWLLN за десятилетний период, демонстрируют поля плотности молний в различные месяцы (рисунок 1) в зимние месяцы значимая плотность молний отмечается только в южной части ЮКМ. В течение весны плотность молний возрастает на порядки по всей акватории моря и остается довольно высокой в летне-осенний период. Во все сезоны поля плотности имеет значительную пространственную изменчивость такую, что на масштабах ~ 100 км плотность может изменяться в 10 раз и более. Повышенные плотности отмечаются вблизи побережья материка и больших островов, что может быть связано с эффектами бризовой циркуляции или с выносом грозовых систем фоновыми атмосферными потоками регионального и местного масштабов. В сезонном ходе количества молний за месяц на рисунке 1а отметим высокую грозовую активности в период летнего муссона и сравнительно малую ее изменчивость весь этот период до ноября. Сезонно-суточная изменчивость на рисунке 2б показывает типичную для районов открытого океана и моря повышенную грозовую активность в ночные и утренние часы. Основные элементы такого сезонно-суточного хода сохраняются на протяжении всего летнего муссона.

Отмеченная высокая пространственная изменчивость полей плотности молний над ЮКМ требует проведение анализа на региональных масштабах. На рисунке 2в наряду со всей акваторией ЮКМ (ограниченно пунктирным контуром) выделены пять районов, лежащие между параллелями 0, 5, 10, 15, 20 и 25° с.ш. и для которых рассчитаны сезонные гистограммы числа молний по месяцам и сезонно-суточные диаграммы.

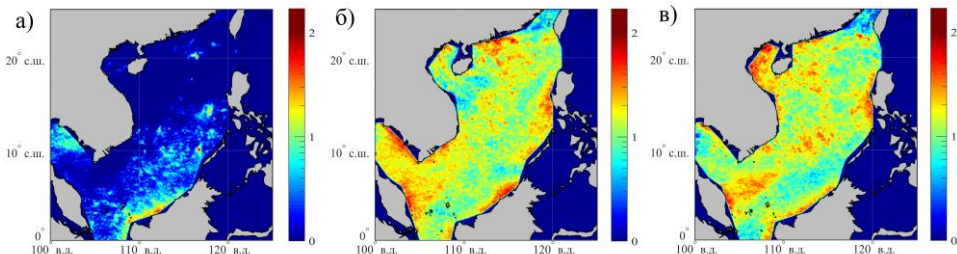


Рисунок 1. Поля плотности молний над ЮКМ в феврале (а), мае (б) и сентябре (в)

Наблюдаются значительные различия в общем числе молний за 10 лет и в сезонной изменчивости грозовой активности в выделенных районах. В общем числе молний за 10 лет и в сезонной изменчивости грозовой активности в выделенных районах получены значительные различия. Так общее число молний за рассматриваемый период в 3 районе составляет 8 688 226 и 6 873 912 в 4-ом районе, и снижается почти в $\sim 2,5$ раза в 1 районе 3 834 224 и в 5-ом – 3 280 634. Наибольшее число молний зарегистрировано во 2-ом районе 9 010 483.

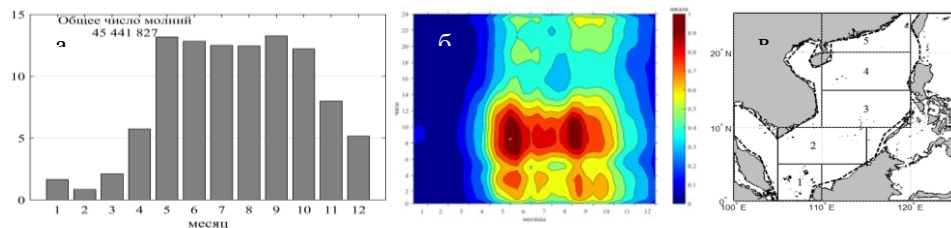


Рисунок 2. Годовой ход числа молний над ЮКМ, в % (а), сезонно-суточная диаграмма грозовой активности (б) и исследуемые районы в 5-ти градусных широтных поясах (в)

Общее в сезонных гистограммах – наличие двух максимумов (кроме 2, где имеется третий максимум). Первый в 1, 2 и 5 районах приходится на май, а в 3 и 4 – на июнь. Второй максимум в 1-м районе в октябре почти в два раза больше первого максимума в мае. В районе 2 второй максимум наблюдаем в июле, а третий широкий максимум отмечается – в октябре. В 3 районе второй максимум в сентябре, а в 3 и 4 районах - в августе.

Ливневые осадки и грозы в северо-западной части Тихого океана и над ЮКМ в основном связаны с областями низкого атмосферного давления в тропических возмущениях и циклонах синоптического масштаба [3, 4]. В летне-осенний период над ЮКМ проходит большое число тропических циклонов (ТЦ), достигающих здесь максимальной своей интенсивности на

стадии тайфуна. Поэтому важно оценить вклад ТЦ в оценки грозовой активности над ЮКМ.

Всего за период с 2009 по 2018 над ЮКМ прошли 135 ТЦ. Оценки их вклада в грозовую активность в разные годы и месяцы колеблются от 0,3 до 41%. В среднем за 10 лет полученный результат составляет от 0,3 до 10%. Наибольшее значение, полученное летом (июль – август) составило 10%, а наименьшие 0,3% весной (апрель – май). Минимальное и максимальное значение было получено в 2013 и 2015 гг. и составило 1,5% и 8% от среднегодового, что связано с известной высокой пространственной и временной изменчивостью числа зарождающихся над ЮКМ ТЦ и траекторий проходящих над ним ТЦ [3, 4]. Основной вклад ТЦ дают в летне-осенний период, что отражает известный годовой ход числа ТЦ в северо-западной части Тихого океана.

Выше уже отмечалась большая изменчивость характеристик грозовой активности по районам ЮКМ. Это же можно сказать и о вкладе ТЦ в грозовую активность в выделенных районах ЮКМ. В приэкваториальных районах 1-3 большой вклад ТЦ наблюдается в зимние месяцы, от 8 до 12%. Основной вклад ТЦ в северных районах ЮКМ (4-й и 5-й) приходится на летние и осенние месяцы от 18 до 38 %, что отражает здесь максимальную плотность траекторий ТЦ в этот период [7].

Приведенные результаты показывают, что грозовая активность, как и другие метеорологические характеристики (прежде всего связанные с ней ливневые осадки) показывают очень большую изменчивость на масштабе ЮКМ. В этой изменчивости проявляется действие планетарных, региональных и местных механизмов, определяющих развитие погодных систем, включающих мезомасштабные области с мощными кучево-дождевыми облаками. В сезонной и межгодовой изменчивости, сложным образом накладываются факторы, связанные со смещением основных крупномасштабных элементов атмосферной циркуляции в северо-западной части Тихого океана (экваториальной ложбины, зоны внутритропической конвергенции, циркуляции Уолкера [3]) и их взаимодействия с местными циркуляциями, связанными с контрастами суша-море и орографией прилегающей суши и крупных островов.

Представленные в работе результаты анализа грозовой активности по данным глобальной сети WWLLN над ЮКМ за 10-ти летний период носят предварительный характер. Осредненные по всему ЮКМ и его районам характеристики не отражают всех деталей высокой пространственно-временной изменчивости грозовой активности над ЮКМ и связей ее с глобальными, региональными и местными особенностями атмосферной циркуляции, морфологией прилегающих территорий суши, крупных и

мелких островов. Эти важные детали изменчивости грозовой активности станут предметом будущих исследований грозовой активности в районе ЮКМ и в прилегающих районах.

Литература

1. Атмосфера. Справочное издание. Л.: Гидрометеиздат. 1991. 509 с.
2. Пермяков М.С., Поталова Е.Ю., Шевцов Б.М., Чернева Н.В., Holzworth R.H. Грозовая активность и структура тропических циклонов // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 7. С. 638-643.
3. Рамедж К. Метеорология муссонов. Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. 335 с.
4. Риль Г. Климат и погода в тропиках. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 605 с.
5. Hutchins M. L., Holzworth R. H., Rodgers C. J., Heckman S. and Brundell J. B. WWLLN Absolute Detection Efficiencies and the Global Lightning Source Function // EGU General Assembly, 23– 27 April 2012, P. 12917.
6. Permyakov M., Kleshcheva T., Potalova E., Holzworth R.H. Characteristics of typhoon eye walls according to World Wide Lightning Location Network data // Monthly Weather Review. 2019. V. 147. № 11, P. 4027-4043.
7. Zhang W., Zhang Y., Zheng D. et al. Lightning climatology over the northwest Pacific region: An 11-year study using data from the World Wide Lightning Location Network // Atmospheric Research. 2018. № 210, P. 41-57.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СРОКОВ СХОДА ЛЬДА В БЕРИНГОВОМ И ЧУКОТСКОМ МОРЯХ

К.К. Кивва¹, А.А. Сумкина^{1,2}

¹*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, kirill.kivva@gmail.com*

²*МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

Сроки очищения морской акватории ото льда в высоких широтах Мирового океана определяют развитие многих физических процессов (потоки тепла на границе океан-атмосфера, ветровое перемешивание, волнение). В свою очередь от них зависит «цветение» фитопланктона и как следствие может зависеть выживаемость зоопланктона, молоди рыб, а также условия осаднения органического вещества на дно [1]. Таким образом, изучение сроков наступления данного явления и закономерностей их многолетней изменчивости важно для ряда научных дисциплин и планирования многих аспектов хозяйственной деятельности на море. Их далеко неполный список включает функционирование транспорта и

морской инфраструктуры, прогноз состояния запасов промысловых объектов и их рациональное использование, а также организацию охраняемых территорий и другой природоохранной деятельности. Цель данной работы – районирование акватории тихоокеанского сектора Арктики (включая Берингово море) по характеру изменчивости дат полного очищения ото льда (ДПО).

Работа основана на данных массива Climate Data Record (CDR) NOAA/NSIDC [4]. Этот продукт объединяет спутниковую информацию о концентрации льда (сплочённости в ячейке расчётной сетки) с 1979 года, сформирован в полярной стереографической проекции, имеет пространственное разрешение 25 км, шаг 2 суток до 1987 года и 1 сутки после. Используются ежедневные данные за 1979-2018 годы. Акваторию исследования расширили в западном и восточном направлениях для поиска возможных связей ДПО в рассматриваемых морях с ДПО в соседних районах Северного Ледовитого океана. Данные сглаживали 7-дневным скользящим осреднением как в работе [5].

В случае использования в анализе регулярных многомерных массивов по концентрации льда, ДПО обычно определяют либо по пороговому значению 0,15 [5], либо в некоторых случаях дополняют это пороговое значение какими-либо условиями [6]. В данной работе ДПО определена как первый день наиболее длинного из периодов в году с концентрацией льда меньше 0,15.

Для выделения в пределах рассматриваемой акватории районов с относительно синхронной межгодовой изменчивостью ДПО применён метод кластерного анализа DBSCAN [2]. Группировку проводили на основе данных за 1979-2008 годы ($n = 30$). Из анализа исключили узлы, для которых было менее 15 значений ДПО; отсутствующие значения заполнили нулями (концентрация льда в течение всего года была меньше 0,15) или 366 (концентрация льда не опускалась ниже 0,15). Матрица расстояний между рассматриваемыми объектами (узлами сетки) получена с использованием коэффициента корреляции Спирмена. Для выбора параметров алгоритма DBSCAN группировку выполняли многократно для всех значений радиуса поиска соседей (ϵ) в интервале 0,05-0,30 с шагом 0,01 и минимального числа соседей (m_{pts}) в интервале 10-62. Критерии наиболее удовлетворительного результата группировки задали априорно: доля «шума» не меньше 0,3, количество кластеров в Беринговом и Чукотском морях не менее 5. Дополнительным, но необязательным условием было наличие района вдоль западного побережья Берингова моря для проверки синхронности в освобождении акватории ото льда между этим районом и другими частями моря. В работе [3] в качестве общего правила выбора m_{pts} предложено, что

m_{pts} не должна быть меньше $n + 1$. Результат расчёта для всех таких m_{pts} и ϵ больше 0,12 всегда содержал 2-5 кластеров, только 2-3 из которых попадали в интересующий нас регион. При тех же значениях m_{pts} и ϵ меньше 0,11 доля «шума» превышала 0,5, кластеры имели относительно малый размер. В качестве финального значения m_{pts} выбрали 31 ($n + 1$). Финальное значение ϵ (0,116) выбрали после дополнительного перебора в интервале 0,11-0,12 с шагом 0,001.

Результат содержит 6 кластеров: 4 в Беринговом море и 2 в Чукотском. Для всех районов рассчитаны средние ДПО, проанализированы годы максимального расхождения средних ДПО между соседними районами. Результат позволяет предположить, что аномалия ДПО зависит, главным образом, от крупномасштабных особенностей циркуляции атмосферы над северной частью Тихого океана и тихоокеанским сектором Северного Ледовитого океана.

Литература

1. Кивва К.К., Селиванова Ю.В., Писарева М.Н., Сумкина А.А. Роль физических процессов в формировании весеннего «цветения» фитопланктона в Беринговом море // Труды ВНИРО. - 2020. - Т. 181. - С. 157-173.
2. Ester M., Kriegel H.P., Sander J., Xu X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise // KDD. - 1996. - 96. - 34. - P. 226-231.
3. Hahsler M., Piekenbrock M., Doran D. dbSCAN: Fast density-based clustering with R // Journal of Statistical Software. - 2019. - 91(1). - P. 1-30.
4. Meier W.N., Fetterer F., Savoie M., Mallory S., Duerr R., Stroeve J. NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration, Version 3. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. - 2017. - doi: <https://doi.org/10.7265/N59P2ZTG>
5. Peng G., Steele M., Bliss A., Meier W., Dickinson S. Temporal Means and Variability of Arctic Sea Ice Melt and Freeze Season Climate Indicators Using a Satellite Climate Data Record // Rem. Sens. - 2018. - 10(9). - P.1328.
6. Shabanov P.A., Shabanova N.N. Open water season changes over the Kara sea coastal zone: Marresalya example // IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium – 2019. - P. 4218-4221.

ТЕРМОХАЛИННАЯ АДВЕКЦИЯ ЧЕРЕЗ ДАТСКИЙ ПРОЛИВ

А.А. Кирилова¹, С.М. Гордеева^{1,2}

¹*Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, kirilova.anastasia.a@gmail.com*

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

Датский пролив представляет собой уникальный объект исследования ввиду особенностей его гидрологического режима, так как через него проходит основной поток арктических вод в Атлантику, представленный Восточно-Гренландским течением, а также течение Ирмингера – ответвление Северо-Атлантического течения. Этот район привлекает внимание многих исследователей в связи с текущим потеплением Арктики [Våge и др., 2011, 2013; Филюшкин, Мошонкин, 2013; Andrews, Jennings, 2014; Лебедев, Филюшкин, 2019; Lundrigan, Demirov, 2019]. Здесь встречаются две водные массы, значительно различающиеся по своим характеристикам: воды атлантического происхождения и воды полярного происхождения. А в результате такого взаимодействия водных масс проявляется исключительно важная особенность Датского пролива – наличие полярного фронта [Солянкин, 1962].

В данном исследовании оценка термохалинной адвекции производилась на широтном разрезе по 66° с.ш. между островами Исландия и Гренландия. Особенностью выбранного разреза является его расположение над наименее глубокой частью впадины морского дна Датского пролива. Исходными данными служили среднемесячные значения меридиональной скорости течения, температуры и солёности, представленные на портале Европейской программы наблюдения Земли из космоса Copernicus (The European Earth Observation Programme Copernicus Marine Environment Monitoring Service – CMEMS) за период с января 1993 г. по декабрь 2016 г. [Mertz, Mulet, 2020; Архив, 2020].

Оценки интегральной по глубине термохалинной адвекции через Датский пролив (объемный расход и потоки тепла и соли) рассчитывались с использованием следующих формул:

$$Q = v \cdot S,$$

$$Q_t = C_p \cdot (T - \theta) \cdot v \cdot \rho \cdot S,$$

$$Q_s = S_w \cdot v \cdot \rho \cdot S,$$

где Q – объемный расход, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, Q_t – поток тепла, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1}$, Q_s – поток соли, $\text{г} \cdot \text{с}^{-1}$, v – скорость течения, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$, C_p – удельная теплоемкость воды, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$, T – температура воды, °C , θ – температура замерзания, °C , S_w – солёность воды, епс, ρ – плотность воды, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$, S – площадь поперечного сечения потока, м^2 . Размерность расхода воды: Св (Свердруп), $\text{Св} = 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

В результате исследования было выявлено, что основные струи Восточно-Гренландского течения и течения Ирмингера располагаются в подповерхностном слое, на глубине 300-400 м, на восточном шельфе Гренландии и западном шельфе Исландии, соответственно. Средние многолетние характеристики в стрежнях течений составляют: для течения Ирмингера – скорость $16 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$, температура воды $6 \text{ }^\circ\text{C}$, соленость 35,1 епс; для Восточно-Гренландского течения – скорость $8 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$, температура воды $3,5\text{-}4 \text{ }^\circ\text{C}$, соленость 34,9 епс.

В среднем объемный расход через пролив направлен на юг и составляет $2,4 \pm 2,1 \text{ Св}$. Основная составляющая, определяемая Восточно-Гренландским течением, имеет годовую периодичность и составляет $6,6 \pm 1,6 \text{ Св}$. Поток воды, направленный на север, не имеет выраженного внутригодового хода и составляет $4,2 \pm 1,3 \text{ Св}$. Тепловой поток в среднем составляет $119,3 \pm 102,5 \text{ ТВт}$ и в целом направлен на юг. Южная составляющая имеет выраженную годовую периодичность и переносит $281,6 \pm 80,1 \text{ ТВт}$ тепла, а поток в направлении на север не имеет выраженного внутригодового хода и составляет $162,3 \pm 62,9 \text{ ТВт}$. Поток соли через пролив также направлен на юг и составляет $83,8 \pm 67,4 \text{ Кт}\cdot\text{с}^{-1}$. Поток соли, определяемый Восточно-Гренландским течением, имеет годовую периодичность и составляет $224,9 \pm 55,1 \text{ Кт}\cdot\text{с}^{-1}$, а поток соли, определяемый течением Ирмингера $141,0 \pm 42,8 \text{ Кт}\cdot\text{с}^{-1}$.

Все потоки в направлении на юг, определяемые Восточно-Гренландским течением, в долговременной изменчивости не имеют статистически значимого тренда. А потоки, определяемые течением Ирмингера обладают положительным трендом, усиливающимся 2012 г., а также длиннопериодным колебанием, которое проявилось усилением потока летом 1996, 2004, 2011 и 2015-16 гг, что привело к повороту общего потока воды через Датский пролив на север.

Литература

1. Лебедев К.В., Филошкин Б.Н., Кожелупова Н.Г. Водобмен полярных морей с Атлантическим и Северным Ледовитым океанами на основе наблюдений АРГО // Океанологические исследования. 2019. Том 47, № 2. С. 183–197. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(2).11
2. Солянкин Е.В. Некоторые особенности гидрологии Датского пролива. По материалам рейса э/с «Севастополь» летом 1958 // Труды ВНИРО. 1962. Т. 046, Сб. 1. С. 74 – 91.
3. Филошкин Б.Н., Мошонкин С.Н. Моделирование многолетней и сезонной изменчивости расхода вод придонного течения в Датском проливе // Океанология. 2013. Том 53, № 6. С. 725–736

4. Andrews J.T., Jennings A.E., Multidecadal to millennial marine climate oscillations across the Denmark Strait // *Climate of the Past*. 2014. N 10. P. 325–343.
5. Lundrigan S., Demirov E., Mean and eddy-driven heat advection in the ocean region adjacent to the Greenland-Scotland Bridge derived from satellite altimetry // *Journal of Geophysical Research*. 2019. Vol. 124. Pp. 2239-2260
6. Mertz F., Mulet S. Product user manual for global ocean multi observation products MULTIOBS_GLO_PHY_REP_015_002. /Сайт европейской программы наблюдений за Землей из космоса Copernicus. Электронный ресурс. Доступ: <https://resources.marine.copernicus.eu/> (требуется авторизация, 08.09.2020)
7. Våge K., Pickart R. et al. Revised circulation scheme north of the Denmark Strait // *Deep-Sea Research I*. 2013. N 79. Pp. 20–39

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ЦВЕТ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Н.А. Липинская, П.А. Салюк

*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, lipinskaia.na@poi.dvo.ru,
pavel.salyuk@gmail.com*

Одним из основных факторов, оказывающих существенное влияние на различные гидродинамические процессы и вертикальную стратификацию вод, являются внутренние волны (ВВ) [1].

Появление сканеров цвета моря, устанавливаемых на спутниках на геостационарных орбитах, и увеличение группировки спутников с радиометрами высокого пространственного разрешения расширяют возможности анализа частотных характеристик временных и пространственных вариаций яркостей моря на различных длинах волн. ВВ проявляются в изменениях температуры и солености воды, и оказывают существенное влияние на вертикальную стратификацию вод и турбулентное перемешивание, что в свою очередь ведет к изменению вертикального распределения основных оптически активных компонентов (ОАК) таких как: фитопланктон, окрашенное органическое вещество (ООВ) и взвешенные вещества [2] и соответствующему изменению цвета морской поверхности.

Традиционными спутниковыми методами для детектирования ВВ являются анализ радиолокационных изображений или оптических изображений в области солнечного блика, где волны проявляются за счет изменения шероховатости морской поверхности [3]. На основе этих данных возможно рассчитывать геометрические и динамические характеристики ВВ. Дополнительную информацию об амплитуде ВВ может дать анализ

спектральной яркости моря (Rrs) в видимом диапазоне вне зон солнечного блика, вариации которой могут быть связаны с изменением стратификации основных ОАК морской воды [5].

В работе исследуются возможности детектирования признаков ВВ с помощью *in situ* измерений и спутниковых измерений цвета морской поверхности в акватории Японского моря.

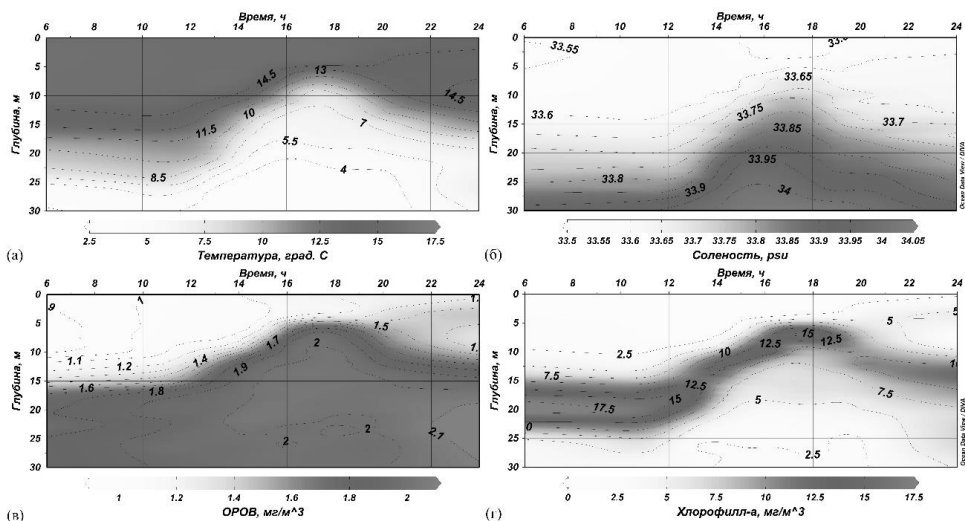
Проведен анализ проявления ВВ по спутниковым данным среднего пространственного разрешения со сканера GOCI - геостационарного спутника COMS-1, второго уровня обработки, прошедшие стандартные процедуры атмосферной коррекции центра KOSC (<http://kosc.kiost.ac.kr>), в южной части Японского моря [6] в августе 2013 г. Для данного проявления проводились сравнения спутниковых измерений Rrs и результатов прямого моделирования Rrs с различными возможными стратификациями ОАК на основе профилей плотности HYCOM (<https://www.hycom.org/>). Получен ряд решений, удовлетворяющих наблюдениям со спутника. Изменение концентрации хлорофилла-а (хл-а) составило около -11%-14% на всех гребнях. Определены пространственно-временные характеристики ВВ, с дополнительной оценкой амплитуды ВВ.

По данным спутниковых наблюдений GOCI-COMS в южной части Японского моря и данных реанализа модели HYCOM

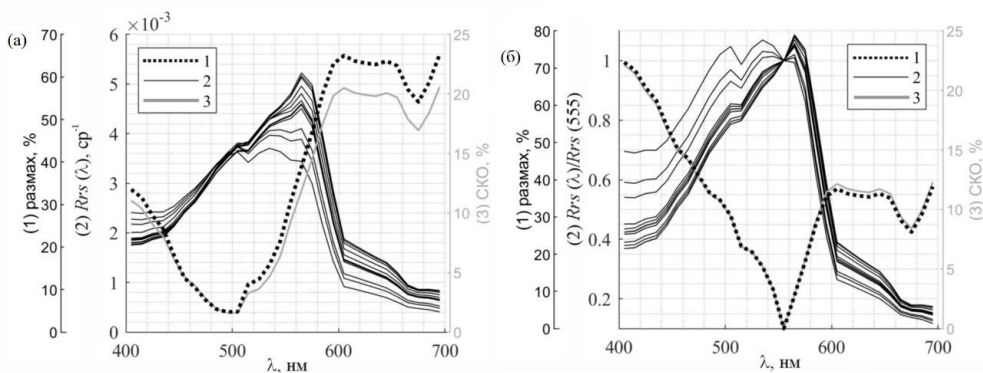
Характеристики ВВ	13.08.2013		14.08.2013		
	13:28:47 UTC + 10	14:28:47 UTC + 10	12:28:46 UTC + 10	13:28:47 UTC + 10	14:28:47 UTC + 10
L	17 км	19 км	12 км	14 км	17 км
S	8 км	8 км	4 км	5 км	5 км
n	3	3	3	5	5
C_0	1,38 м/с		1,25 м/с		
A	20,34 м		11,2 м		
направление перемещения с ЮЗ на СВ					
L - Длина волнового пакета; S - расстояние между гребнями; n - Количество волн в пакете; C_0 - Фазовая скорость; A – амплитуда					

Для определения оптимальных оптических характеристик для идентификации ВВ при спутниковом зондировании цвета моря, использовались ежечасные судовые СТД измерения гидрологических и гидрооптических профилей, полученных с использованием профилографа SBE-19plus в шельфовой зоне западной части Японского моря около мыса

Шульца (в серии прибрежных экспедиций 2008–2016 г.). Рассматриваемые параметры: температура, соленость, концентрация хла-а и ОРОВ.



Временной разрез вертикального распределения температуры (а), солености (б), концентрации ОРОВ (в), хлорофилла-а (г), выполненный 2008.10.03 в шельфовой зоне западной части Японского моря с морской стороны мыса Шульца



Рассчитанные спектры коэффициентов яркости моря $Rrs(\lambda)$ для 2008.10.03 (а), и нормированные спектры $Rrs(\lambda)$ на значение $Rrs(555)$ для 2008.10.03 (б) - линия 2. Линия 1 — размах в % от среднего, линия 3 — SKO в % от среднего

Характеристики цвета поверхности моря определялись путем прямого моделирования распространения света через морскую толщу с известными распределениями $\chi\lambda$ -а и ОРОВ по глубине с помощью демонстрационной версии программного обеспечения Hydrolight-Ecolight 6.0 [4, 7].

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что с помощью данных о цвете океана, полученные со спутников можно обнаружить некоторые типы ВВ, вследствие их проявления в вариациях Rrs моря в пространстве и времени, за счет изменения вертикальной стратификации ОАК и когда ряд условий совпадает. Так же эти измерения могут быть использованы для оценки амплитуд ВВ и вертикальной структуры ОАК с совместным использованием гидрофизических и биооптических моделей, а также учитывая изменение стратификации ОАК морской воды и изменение цвета моря в результате выглаживания морской поверхности. Получаемые оптические характеристики могут быть использованы для повышения избирательности автоматической идентификации проявлений ВВ на спутниковых изображениях цвета моря.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 20-35-90105).

Литература

1. Хартиев С.М. Влияние турбулентного обмена и плотностной стратификации на устойчивость внутренних волн // Теоретические исследования волновых процессов в океане. Севастополь: Изд-во МГИ АН УССР, 1983. С. 83–90.
2. Салюк П.А., Стёпочкин И.Е., Голик И.А., Букин О.А., Павлов А.Н., Алексанин А.И. Разработка эмпирических алгоритмов восстановления концентрации хлорофилла-а и окрашенных растворенных органических веществ для дальневосточных морей из дистанционных данных по цвету водной поверхности // Исследование Земли из космоса. 2013. № 3. С. 45.
3. Алексанин А. И., Ким В. Автоматическое обнаружение внутренних волн на спутниковых изображениях и оценка плотности перемешанного слоя // Исследование Земли из космоса. 2015. № 1, С.44-52
4. Липинская Н.А., Салюк П.А. Исследование воздействия внутренних волн на оптические характеристики поверхности моря в шельфовой зоне залива Петра Великого // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2020. Т. 13, № 2. С. 51–59.
5. Su F.-C., Ho C.-R., Zheng Q., Kuo N.-J. Estimating amplitudes of internal waves using satellite ocean colour imagery of the South China Sea, International Journal of Remote Sensing. 2008. 29:21, P. 6373-6380.
6. Kim H., Son YB, Jeong J.-Y., Jo Y.-H., Hourly Observed Internal Waves by Geostationary Ocean Color Imagery in the East/Japan Sea // J. Atmos. Oceanic Technol. 2018. N 35. P. 609–617

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ХИМИЧЕСКОГО СТОКА В БАРЬЕРНЫХ ЗОНАХ ОБСКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ

А.А. Полухин, Г.В. Борисенко, А.В. Костылева, Е.П. Маккавеев, Ю.О.

Пронина, С.В. Степанова, П.В. Хлебопашев

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

polukhin@ocean.ru

Обская губа является самым крупным заливом Карского моря. Эстуарий реки Обь простирается между полуостровом Ямал и полуостровом Гыданский. Длина губы – около 800 км, ширина варьируется от 30 до 80 км, глубина достигает не более 25 м. Залив Обская губа оттаивает в июле, а покрывается льдом в октябре. Основной сток принадлежит р. Обь, хотя в Обскую губу также впадают реки Ныда, Надым, Зеленая, Оя, Ивоча, Сеяха, Пур, Таз. Обь принадлежит к рекам западно-сибирского типа водного режима, характеризуется продолжительным весенне-летним половодьем, которое длится с апреля по август и устойчивой зимней меженью (ноябрь-март), питание Оби преимущественно снеговое. К концу октября – началу ноября объем стока понижается (с прекращением поверхностного питания и переходом на питание от грунтовых вод). Во второй половине марта – апреле расход воды становится минимальным [6].

Четко выделяются две области губы, гидрохимический режим которых имеет характерную только для них специфику: «речная», где все определяет пресный речной сток и «морская», где режимная особенность определяется характером взаимодействия соленых и пресных вод. Между ними выделяется промежуточная область, которую можно определить, как зону, в которой происходят сезонные изменения положения эстуарного фронта. По своим геохимическим свойствам она также известна как «маргинальный фильтр» [1]. Положение границ этих областей может значительно меняться как в зависимости от сезона, так и год от года. В «речной» части в период высоких вод, когда гидрологический режим губы близок к речному, наблюдался пик развития диатомового фитопланктона. В свою очередь в зоне смешения речных и морских вод (в «морской» области) в этот период, в условиях сильной стратификации, при массовой гибели пресноводных диатомовых в слое над галоклином образуется большое количество минеральных форм биогенных элементов. Основными

факторами неоднородности химического состава вод Обской губы являются её географические и морфометрические особенности [4].

Наиболее изучен «геохимический барьер», возникающий при контакте вод с различными свойствами и различным составом растворенного и взвешенного вещества. В пределах зоны смешения речных и морских вод выделяют три главные части: пресноводную (соленость до 1‰), солоноватоводную (от 1 до 20 – 30‰) и соленую (более 30‰). Здесь на геохимическом барьере происходит коренное изменение структуры стока для большинства элементов: выпадает в осадок 90–95% взвешенного вещества и до 20–40% растворенных форм элементов. К этому приводит совместная работа процессов механического осаждения взвеси, коагуляции под влиянием изменения свойств воды, флоккуляции растворенного органического вещества.

Сильное влияние на гидрохимический режим оказывает «динамический барьер», существование которого связано с изменением динамических характеристик потока. Вследствие резкого снижения скорости потока в русле падает несущая способность потока, и взвешенное вещество оседает на дно реки. Это сказывается и на составе растворенного стока. Изменение скорости может быть вызвано изменением морфологических характеристик русла, например, при расширении в верхней части устьевой зоны, воздействием приливной волны и другими причинами. Например, отчетливое влияние «динамического барьера» на распределение гидрохимических параметров наблюдалась нами в Обской губе в районе Надымского бара [3].

Сходным с геохимическим барьером механизмом воздействия обладает и «орографический» барьер, связанный с рельефом ложа реки. Так, в ямах на дне, на внутренней стороне баров и в других местах, может происходить накопление органического вещества в донных осадках. В местах активного осаждения как органического, так и минерального взвешенного вещества, и наблюдается изменение состава растворенного стока. В замкнутых отрицательных формах рельефа дна может накапливаться вода с более высокой плотностью. В таких углублениях затруднен обмен с вышележащими, менее плотными водами, возникает плотностная граница. При достаточно долгом существовании такой плотностной границы в углублениях может возникнуть гипоксия и даже сероводородное заражение [5].

Изменение свойств вод в устьевой области не может не отразиться на условиях существования водных организмов (биоты). Если воздействие биоты на гидрохимические свойства вод становится достаточно сильным и значительно меняет химический состав вод ниже по течению, применяют

термин «биологический барьер» или «биофильтр». Хотя, возможно, этот термин не совсем корректен. Воздействие биоты может быть различной направленности. Наиболее сильное проявление «биологического» барьера наблюдалось нами в нижнем течении р. Волга [2].

Исследование изменчивости химического состава речного стока проводились по данным 1993-2019 гг., полученных в ходе экспедиций ИОРАН в район Обской губы. На основе данных (содержание биогенных элементов, величины рН и карбонатной щелочности Alk_c) за 2003 – 2006 и 2009 – 2017 гг. проекта Arctic Great Rivers Observatory (arcticgreatrivers.org), была проведена оценка среднегодовой изменчивости химических параметров стока рек Обь.

По базе гидрохимических данных для акватории Обской губы была прослежена динамика отношения Alk/S (общая щелочность-соленость) для нескольких лет. Положение зоны контакта морских и пресных вод значительно меняется не только по сезонам, но и год от года, что связано с изменением объёма речного стока. При смешении вод морского и речного происхождения отношение Alk/S растет, что связано с тем, что в речной воде отношение гидрокарбонатного иона к общей минерализации значительно выше, чем в морской. Величина Alk/S более 0.06 – 0.08 свидетельствует о присутствии вод речного происхождения. В водах, находящихся под сильным воздействием материкового стока величина Alk/S может достигать 5 - 7 и более. Анализ данных экспедиционных работ в Обской губе позволил выделить один из основных факторов, влияющих на гидрохимический режим вод губы. Объем вод губы больше среднего стока р. Оби за год, и немногим меньше стока всех рек в нее впадающих. Вследствие этого для полного обновления вод в губе требуется значительное время. Внутригодовое распределение стока таково, что даже во время летних съемок в губе наблюдаются как паводковые воды, так и воды зимнего стока Оби, имеющие очень разные гидрохимические характеристики. Это обстоятельство, а не биологическая трансформация вод, как предполагалось ранее, является причиной большей части изменчивости состава вод в губе. Летние воды Оби поступают к морской границе губы только к следующей весне и с весенним паводком выносятся в Карское море, формируя там линзы распресненных вод [4].

Согласно расчетам, за исследуемый период в водах р. Обь концентрация нитратного азота выросла на 82%, аммонийного азота увеличилось на 210 %, рост общего содержания растворенных соединений азота составляет 38 %, концентрации сократились почти на 14 %, на 14 % увеличилось содержание общего растворенного фосфора, рост содержания неорганического кремния составил порядка 37 %, среднее значение

водородного показателя рН выросли на 0.1 ед. NBS, карбонатная щелочность увеличилась на 83 %.

В рамках изучения трансформации химического стока р. Обь в эстуарии Обской губы была рассчитана величина потоков биогенных элементов на границе вода-дно по разрезу, выполненному в ходе экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2019 году. Потоки неорганических форм фосфора из осадка во фронтальной зоне контакта вод Обской губы и Карского моря низкие, что можно объяснить высоким содержанием окисного железа в поровых водах. Потоки кремния и валового азота на протяжении исследованной трансекты значимо не изменяются, однако наблюдаются высокие абсолютные значения содержания кремния в зоне смешения пресных и морских вод (200-210 μM , при средней концентрации в морской воде 25 μM), что может быть связано с явлением лавинной седиментации, наблюдаемой в основной фронтальной зоне Обской губы, выделенной по соотношению щелочность-соленость.

Показанные изменения в химическом составе стока могут существенно повлиять на процесс смещения карбонатного равновесия в водах Карского моря, где влияние пресных вод проявляется наиболее интенсивно [7].

Последние исследования Обской губы, проводившиеся в июле 2019 г., зафиксировали волну раннего половодья, когда на ее фронте располагались воды сформированные, скорее всего, еще подо льдом. Отличительная их особенность — это аномально высокое содержание растворенного кремния (более 200 μM), всех минеральных форм азота, особенно аммонийного (до 24 μM). Поток весенних вод не однороден, основная струя «быстрого» сток проходит вдоль западного берега губы. У восточного берега, благодаря его форме и орографии дна, течение вод, видимо замедляется. В этих водах более активно, чем в струе основного течения, идут процессы окисления органического вещества.

При работе в Обской губе широко проводились исследования химического состава придонных и иловых вод. Показано наличие четко выделяющихся по химическим характеристикам зон седиментации (речная зона – зона смешения – морская зона), это дает основание предполагать, что фронтальная область река-море в Обской губе не подвержена сильным миграциям в меридиональном направлении и находится в масштабах 10-100 лет примерно в одном месте.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект №19-17-00196).

Литература

1. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С.765–747
2. Маккавеев П.Н. Особенности связи величины рН и растворенного кислорода на полигоне Чистая Банка в Северном Каспии // Океанология. 2009. Т. 49. № 4. С.508-515.
3. Маккавеев П.Н., Хлебопашев П.В. Изменение химического состава вод в нижнем течении арктических рек (по материалам экспедиций 2002 – 2003 г.). Геология морей и океанов. Тезисы докладов XVI Международной научной школы по морской геологии. Т.1. Москва, 14 – 18 ноября 2005 г. М.: ГЕОС. С.81 - 82.
4. Стунжас П.А., Маккавеев П.Н. Объем вод Обской губы как фактор формирования гидрохимической неоднородности // Океанология. 2014. Т.54. № 5. С. 622–634
5. Тищенко П.Я., Стунжас П.А., Ивин В.В., и др. Сезонная гипоксия вод Дальневосточного морского заповедника // Системы контроля окружающей среды. 2016. №3 (23). С. 124–129.
6. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая: гидролого-морфологические процессы, геоморфология и прогноз. / Под. ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 445 с.
7. Polukhin A. The role of river runoff in the Kara Sea surface layer acidification and carbonate system changes //Environmental Research Letters. – 2019. – Т. 14. – №. 10. – С. 105007.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В КОЛЛАПСИРУЮЩИХ КАВИТАЦИОННЫХ ПУЗЫРЬКАХ В ВОДЕ

М.В. Казачек¹, Т.В. Гордейчук¹, А.С. Починок²

¹*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, mihail@poi.dvo.ru, tgordeychuk@poi.dvo.ru*

²*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток,
pochinok.as@students.dvfu.ru*

Бурный коллапс кавитационных пузырьков сопровождается рядом эффектов, в том числе слабым световым излучением (сонолюминесценция - СЛ), звукохимическими реакциями, ударными волнами и, как следствие, эрозией и разрушением материалов. Бурный кавитационный коллапс формирует в жидкости микрообласти с экстремальными условиями. На пике коллапса температура в центре пузырьков достигает 3000-15000 К, а пиковое давление - порядка 1000 атм [1]. Интенсивность кавитационных эффектов прямо связана с пиковыми условиями в пузырьке, что делает их изучение актуальной задачей.

Спектральные исследования СЛ являются высокоинформативным методом для кавитационных процессов. Пиковая температура в

кавитационных пузырьках для различных растворов определена авторами по спектрам в [4, 5, 6]. Однако, есть недостаток данных для водных растворов.

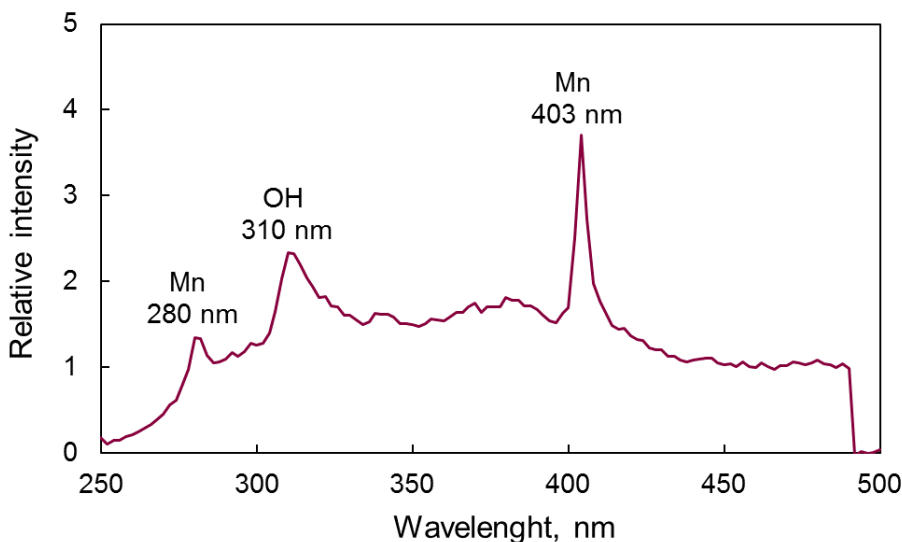
Целью данной работы является определение температуры многопузырьковой СЛ (МПСЛ) в водном растворе $MnCl_2$.

В оптических спектрах МПСЛ наблюдаются эмиссионные линии металлов, содержащихся в растворе, следовательно, можно применять метод Орнштейна для определения спектральной температуры. Измеряя соотношение между относительными интенсивностями двух линий, излучаемых атомом одного и того же элемента, можно вычислить электронную температуру T_e в пузырьке при МПСЛ по формуле [3]:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{g_1 A_1 \lambda_2}{g_2 A_2 \lambda_1} \exp \left\{ -\frac{E_1 - E_2}{k T_e} \right\}, \quad (1)$$

где $I_{1,2}$ интенсивность линий излучения в спектре, $g_{1,2}$ статистический вес данного возбужденного состояния, $A_{1,2}$ вероятность спонтанного перехода, k константа Больцмана, $E_{1,2}$ энергия уровней, $\lambda_{1,2}$ длина волны.

Для достижения цели был получен спектр МПСЛ водного раствора $MnCl_2$ 0,5 М. В процессе эксперимента раствор насыщали аргоном и поддерживали температуру близкую к 10-12 °С. Частота ультразвука 20 кГц.



Спектр многопузырьковой сонолюминесценции водного раствора $MnCl_2$ 0,5 М

С помощью справочных данных [2], в спектре МПСЛ (рисунок) были идентифицированы эмиссионные линии Mn I 280 и 403 нм, яркая линия радикала OH* 310 нм и широкий континуум от 250 до 500 нм. Спектр МПСЛ был скорректирован с учетом спектральной чувствительности прибора и поглощения раствора. Анализ интенсивности исследуемых линий марганца проводился с помощью аппроксимации функцией Гаусса. Атомные константы, используемые в формуле (1), были взяты из источника [2] для каждой эмиссионной линии. Так как линии марганца принадлежат мультиплетам, при расчетах использовались атомные константы наиболее ярких линий: 279,5 нм ($3d^5 4s^2 a^6 S_{5/2} - 3d^5 ({}^6S) 4s 4p ({}^1P^\circ) y^6 P_{7/2}^\circ$) и 403,1 нм ($3d^5 4s^2 a^6 S_{5/2} - 3d^5 ({}^6S) 4s 4p ({}^3P^\circ) z^6 P_{7/2}^\circ$).

Температура сонолюминесценции водного раствора $MnCl_2$, определенная методом Орнштейна, оказалась равной 3292 К. Полученное значение температуры при многопузырьковой сонолюминесценции соответствует данным других исследований, в которых измеренная температура МПСЛ составляла от 2000 К до 5000 К [1, 4].

Литература

1. Didenko Y.T., McNamara III W.B., Suslick K.S. Hot spot conditions during cavitation in water. // *Journal of the American Chemical Society*, V.121(24) – 1999 – P. 5817-5818.
2. Kramida Yu., Ralchenko J., Reader NIST ASD Team, NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.6) // National Institute of Standards and Technology, – 2018. URL: <https://physics.nist.gov/asd>
3. Kirkbright G.F., Sargent M., Vetter S. The selection of line-pairs for the iron ‘two-line’ method of flame temperature measurement. // *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, V. 25(9) – 1970 – P. 465–478.
4. McNamara W.B., Didenko Y.T., Suslick K.S. Pressure during Sonoluminescence. // *Phys. Chem. B*, V. 107(30) – 2003 – P. 7303–7306.
5. McNamara W.B., Didenko Y.T., Suslick K.S. Sonoluminescence temperatures during multi-bubble cavitation. // *Nature*, V. 401(6755) – 1999 – P. 772–775.
6. Sharipov G.L., Gareev B.M., Abdrakhmanov A.M. Spectroscopic measurement of electronic temperature in the bubbles during single- and multibubble sonoluminescence of metal carbonyl solutions and nanodispersed suspensions. // *J. Phys. Chem. B*, V. 107 – 2019 – P. 7303-7306.

ТЕНДЕНЦИИ В СРОКАХ ОЧИЩЕНИЯ РАЙОНОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ОТО ЛЬДА

А.А. Сумкина^{1,2}, К.К. Кивва¹, В.В. Иванов^{2,3}

¹ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва

²МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, alexandrasumkina@gmail.com

³ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург

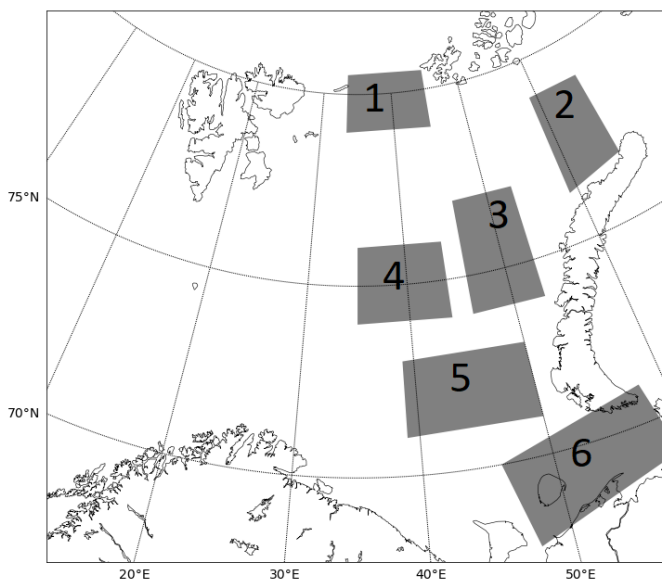
Баренцево море (БМ) - шельфовое арктическое море с высоким темпом сокращения площади морского льда в зимний период. В связи с этим БМ в настоящее время представляет собой регион, интересный для изучения взаимодействия между атмосферой, морским льдом и океаном [6]. Ледовитость и площадь ледового покрова считаются ключевыми климатическими индикаторами и включены в многочисленные национальные и международные отчеты об оценке климата. Однако два этих параметра предоставляют неполную информацию об изменчивости морского льда. Дата полного очищения акватории ото льда (ДПО) - один из параметров, характеризующих изменение морского льда и его эволюцию. Очищение акватории ото льда во многом определяет особенности протекания таких биологических процессов, как «цветение» фитопланктона и «вспышка» численности зоопланктона [1]. В работе [5] для определения ДПО в акватории Арктики использовано пороговое значение концентрации (сплочённости) льда до 15 %. В работе [2] ДПО определяли как последний день с концентрацией льда 15 % перед минимальной летней концентрацией льда. Мы дополнили это определение условием, что после данной даты продолжительность периода с концентрацией льда менее 15 % должна быть наибольшей.

Для расчета ДПО использованы данные о концентрации льда Climate Data Record (CDR) NOAA/NSIDC с 1993 по 2018 г [4]. Данные на полярной стереографической сетке с горизонтальным разрешением 25 км, имеют суточную дискретность. Для удаления синоптической изменчивости исходный массив сглажен 7-дневным скользящим средним.

Выполнен кластерный анализ значений ДПО методом HDBSCAN [3]. Группировали узлы сетки на основе данных за 1979-2008 годы (30 значений), в качестве меры сходства использовали коэффициент корреляции Спирмена. Из анализа исключили узлы, где за выбранный интервал было менее 15 лет со значениями ДПО (в отдельные годы концентрация льда могла не достигать 15 % или не опускаться ниже 15 %). В отличие от DBSCAN, метод имеет единственный параметр - минимальное число

соседей; при его изменении меняется размер кластеров (групп) и может изменяться их количество. Группировку выполнили для различных значений этого параметра. Из полученных вариантов группировки узлов выбрали тот, который максимально полно характеризовал географические особенности акватории. На основе полученного варианта выбрали шесть широтно-долготных районов для анализа временного хода значений ДПО.

В пределах моря выделено 6 районов с относительно однородной динамикой ДПО, которые находятся в центральной, северной и восточной части акватории Баренцева моря. По каждому району рассчитали среднее значение ДПО.



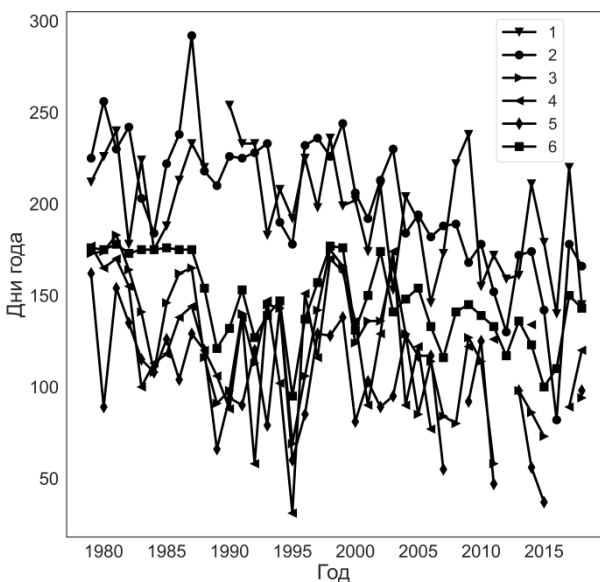
Районы осреднения значений ДПО, выделенные с использованием результатов HDBSCAN.

В описываемых 6 районах с 1979 г. наблюдается тенденция к освобождению ото льда в более ранние сроки. С 2007 г. в районах 3, 4, 5 стали присутствовать пропуски значений ДПО по причине того, что в некоторые годы средняя по району концентрация льда не превышала 15%. В районе 6, расположенном в южной части рассматриваемой акватории, пропуски в ряду ДПО отсутствуют.

В районах 1 и 6 наблюдается минимальный угол наклона линии регрессии, то есть в них сроки очищения ото льда имеют наименее ярко

выраженный тренд. С 2005 года наблюдается полное освобождение ото льда по всей акватории в апреле-мае, тогда как до 2005 года полное освобождение ото льда происходило в июле-августе.

В ближайшие десятилетия может сохраниться тенденция позднего осеннего образования морского льда и более раннего весеннего очищения акватории от морского льда. Важно продолжать изучение современных процессов изменения климата в Арктике и в частности ледовых условий, так как изменения в них протекают относительно быстро, что в значительной степени определяет риски ведения хозяйственной деятельности.



Ход средних значений ДПО для выделенных районов.

Литература

1. Дружкова Е. И. Нанофитопланктон ледовой прикромочной зоны Баренцева моря в летний период 2017 года // Труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – №. 4-5 (9).
2. Bliss A. C. et al. Regional variability of Arctic sea ice seasonal change climate indicators from a passive microwave climate data record // Environmental Research Letters. – 2019. – Т. 14. – №. 4. – С. 045003.
3. Campello R. J. G. B., Moulavi D., Sander J. Density-based clustering based on hierarchical density estimates // Pacific-Asia conference on knowledge discovery and data mining. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. – С. 160-172.

4. Meier W. N., F. Fetterer, M. Savoie, S. Mallory, R. Duerr, and J. Stroeve. 2017. NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration, Version 3. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. doi: <https://doi.org/10.7265/N59P2ZTG>.
5. Peng G. et al. Temporal means and variability of Arctic sea ice melt and freeze season climate indicators using a satellite climate data record //Remote Sensing. – 2018. – Т. 10. – №. 9. – С. 1328.
6. Smedsrud L. H. et al. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system //Reviews of Geophysics. – 2013. – Т. 51. – №. 3. – С. 415-449.

БИФУРКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИЧЕСКИ СОГЛАСОВАННОЙ МОДЕЛИ ДВУМЕРНОГО МЕАНДРИРУЮЩЕГО СТРУЙНОГО ТЕЧЕНИЯ

А.А. Удалов, М.В. Будянский, М.Ю. Улейский

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, udalov.aa@students.dvfu.ru

Рассмотрена динамически согласованная модель геофизического струйного потока с волнами Россби, где в качестве невозмущенного профиля скорости течения взята струя Бикли. Проведён анализ устойчивости двумерного струйного потока, полученного из закона сохранения потенциальной завихренности. Изучена структура фазового пространства, найдены стационарные точки для случая автономной системы уравнений адвекции. Установлены все топологически различные режимы потока. Полученные результаты могут быть использованы при моделировании перемешивания и хаотической адвекции в задачах о кросс-фронтальном транспорте в геофизических потоках с меандрирующими струями.

Для изучения хаотической адвекции, транспорта и перемешивания в геофизических потоках выделяют два метода: кинематический и динамический. В динамическом подходе поле скорости определяется из физических законов океанографии, в отличие от кинематического подхода, где функция тока задаётся без учёта законов движения жидкости. В настоящей работе рассмотрена динамически согласованная модель меандрирующего струйного течения, в основе которой лежит закон сохранения потенциальной завихренности. Форма полученного течения определяется таким образом, чтобы моделировать геофизические потоки типа западных пограничных течений в океане, например, Гольфстрим в Атлантике и Курошио в Тихом океане или стратосферные струи в атмосфере. Интерес к изучению геофизического струйного потока с волнами Россби

связан с задачей моделирования распространения радиоактивного загрязнения (цезия-137) поперек течения Куроисио после аварии на АЭС Фукусима в 2011 году.

Для моделирования транспорта и перемешивания водных (воздушных) масс удобен лагранжев подход, в котором рассматриваются пассивные частицы, быстро принимающие скорость потока и не оказывающие существенного влияния на его свойства. Уравнение движения такой частицы определяется классической механикой:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}(\vec{r}, t).$$

где \vec{r} и \vec{v} – радиус-вектор частицы и её скорость в точке. Связь между эйлеровым полем скорости и лагранжевой траекторией частицы может быть представлена сложным образом. Даже простое детерминированное эйлерово поле может порождать непредсказуемые лагранжевы траектории частиц. Из теории динамических систем известно, что решения таких уравнений могут быть хаотическими в смысле экспоненциальной чувствительности к малым изменениям начальных условий и/или параметров.

Закон сохранения потенциальной завихренности позволяет определить безразмерную функцию тока меандрирующего струйного течения, где в качестве стационарного потока выбрана струя Бикли.

$$\Psi(x, y, z) = -\tanh y + \operatorname{sech}^2 y [A_1 \cos N_1 x + A_2 \cos(N_1 x + \omega t)] + C_2 y,$$

где C_2 – фазовая скорость, A_1, A_2 – амплитуды волн, N_1, N_2 – волновые числа.

В настоящей работе рассматривается двумерное поле скорости несжимаемой жидкости с функцией тока и уравнениями адвекции составляющими гамильтонову систему с полутора степенями свободы

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= -\frac{d\Psi}{dy} = -C_2 + \operatorname{sech}^2 y [1 + 2A_1 \tanh y \cos N_1 x + 2A_2 \tanh y \cos(N_2 x + \omega t)] \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{d\Psi}{dx} = -\operatorname{sech}^2 y [A_1 N_1 \sin N_1 x + A_2 N_2 \sin(N_2 x + \omega t)]. \end{aligned}$$

В вышеуказанной системе возможно возникновение хаотической адвекции, которая в случае малости зависящего от времени возмущения тесно связана с сепаратрисами невозмущённой (стационарной) системы и с нелинейными резонансами между возмущением и собственной динамикой

системы вокруг эллиптических точек. Для качественного описания хаотической адвекции пассивных трассеров необходимо знание стационарных точек и типа их устойчивости, а также зависимости их количества от управляющих параметров системы.

В настоящей работе рассмотрен стационарный случай, при равенстве нулю амплитуды второй волны Россби ($A_2 = 0$)

$$\frac{dx}{dt} = -C_2 + \operatorname{sech}^2 y [1 + 2A_1 \tanh y \cos N_1 x],$$

$$\frac{dy}{dt} = -A_1 N_1 \operatorname{sech}^2 y \sin N_1 x.$$

Аналитически удалось получить координаты особых точек потока в зависимости от значений управляющих параметров N_1 , A_1 , C_2 .

$$x = \frac{2k}{N_1}, \quad \begin{cases} y = \operatorname{artanh} \sqrt{1 - z_2}, \\ y = -\operatorname{artanh} \sqrt{1 - z_3}, \end{cases}$$

$$x = \frac{2k + 1}{N_1}, \quad \begin{cases} y = -\operatorname{artanh} \sqrt{1 - z_2}, \\ y = \operatorname{artanh} \sqrt{1 - z_3}, \end{cases}$$

где $z_{2,3}$ корни уравнения $F(z) = 4A_1^2 z^3 + (1 - 4A_1^2)z^2 - 2C_2 z + C_2^2$.

Численно построена бифуркационная диаграмма (Рисунок 1) позволяющая выбирать значения управляющих параметров, при которых реализуются различные топологические режимы потока.

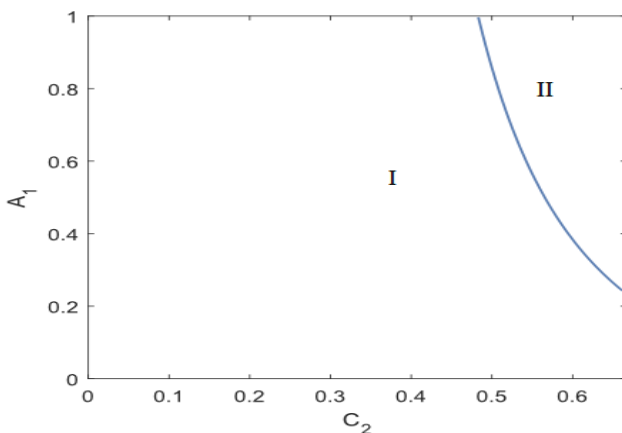


Рисунок 1. Бифуркационная диаграмма

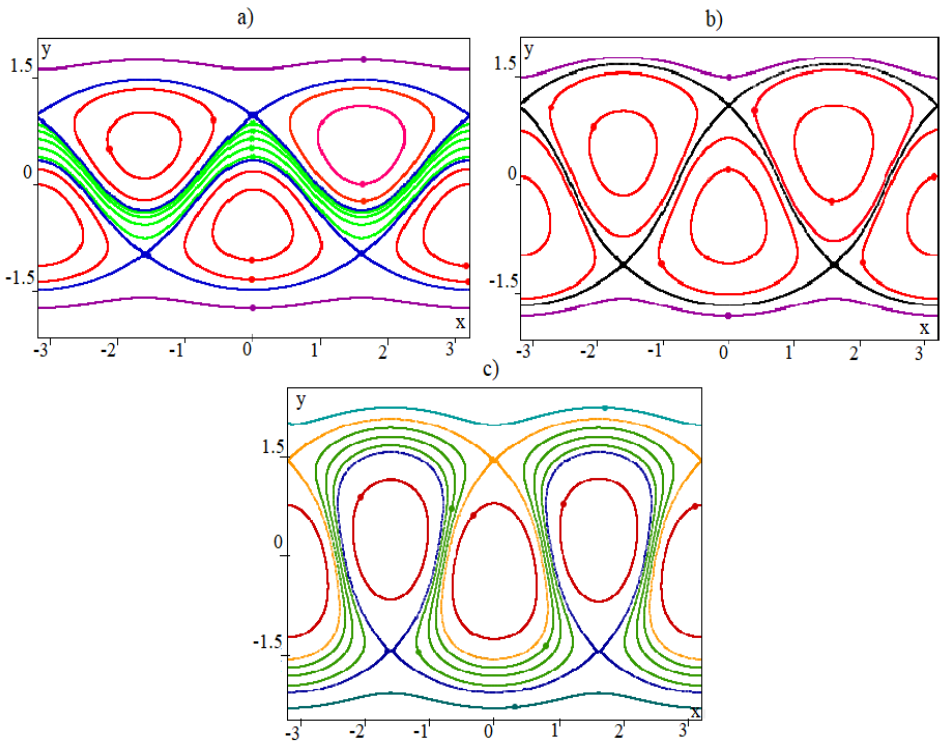


Рисунок 2. Фрагменты фазовых портретов стационарного потока в системе отчета, движущейся с фазовой скоростью первой волны: а) гетероклинический при $A1 = 0.21968$, $C2 = 0.6$, б) переходный при $A1 = 0.39155$, $C2 = 0.6$ и в) гомоклинический при $A1 = 1$, $C2 = 0.6$ режимы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ (проект 19-17-00006).

Литература

1. М. В. Будянский, С. В. Пранц, М. Ю. Улейский Хаотическая адвекция в меандрирующем струйном потоке. Нелинейная динамика, 2006, Т. 2, №2, с. 165–180.
2. B. Cushman-Roisin, J. M. Beckers Introduction to geophysical fluid dynamics: physical and numerical aspects. 2009, p.770.
3. S.V. Prants, M. Yu. Uleysky, M.V. Budyansky. Lagrangian oceanography, 2016, p. 278.

ПОТОКИ АНТАРКТИЧЕСКИХ ВОД В ПРИДОННОМ СЛОЕ АТЛАНТИКИ: НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Д.И. Фрей¹, Е.Г. Морозов¹, В.В. Фомин², Н.А. Дианский^{2,3,4}

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

²*Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова РАН,
Москва*

³*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

⁴*Институт вычислительной математики РАН (ИВМ РАН), Москва*

Антарктическая донная вода (ААДВ, потенциальная температура $\theta < 2^{\circ}\text{C}$) образуется на шельфе Антарктиды в осенне-зимний период [1] и распространяется в придонном слое Атлантического океана вплоть до средних широт Северного полушария [2]. Перепад уровня ААДВ между соседними котловинами обуславливает горизонтальный градиент давления, движущий воду через подводные хребты. В абиссальных каналах и разломах таких хребтов поток антарктических вод сужается и ускоряется – возникают придонные гравитационные течения. Современные глобальные модели океана ориентированы на расчеты верхнего слоя океана и имеют недостаточное разрешение у дна. Кроме того, для воспроизведения течения в узком канале необходимо хорошее разрешение по горизонтали. Для моделирования придонной циркуляции нами была проведена адаптация модели INMOM Института вычислительной математики РАН [3]. Расчеты проводились для нескольких акваторий Атлантики с интенсивными придонными течениями. Шаг по вертикали уменьшался при приближении ко дну и достигал 50 метров в нижнем слое океана. Горизонтальное разрешение выбиралось исходя из ширины каналов и составляло от 200 м до 2 км в различных расчетах. Для верификации численного моделирования использовались данные прямых измерений термохалинных характеристик и скоростей течений, выполненных STD и LADCP профилографами. Придонная циркуляция рассчитывалась для районов с различной топографией морского дна – для канала Вима в юго-западной Атлантике, экваториальных разломов Романш и Чейн, разломов Северо-Атлантического хребта. Результаты моделирования циркуляции придонного слоя океана позволили оценить переносы ААДВ между котловинами Атлантики и исследовать гидродинамические свойства течений в абиссальных каналах.

Работа поддержана грантами РНФ (проект 21-77-20004) и РФФИ (проекты 19-57-60001 и 20-08-00246).

Литература

1. Orsi A.H., Johnsson G.C., Bullister J.L. Circulation, mixing, and production of Antarctic Bottom Water // Prog. Oceanogr. 1999. V. 43. P. 55–109.
2. Morozov E., Demidov A., Tarakanov R., Zenk W. Abyssal Channels in the Atlantic Ocean: Water Structure and Flows. Dordrecht: Springer, 2010. 266 p.
3. Дианский Н. А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. — М.: Физматлит, 2013. — 272 с.

МИКРОСТРУКТУРА МОРСКОГО ЛЬДА Б. НОВИК ПО ДАННЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ МРТ-ИССЛЕДОВАНИЯ

Н.А. Мельниченко¹, А.В. Тювеев², А.Ю. Лазарюк³, Е.В. Кустова³, П.О. Харламов³

¹ДВФУ, г. Владивосток, melnichenko.na@dvfu.ru

²ВГУЭС, г. Владивосток, anton.bdk@gmail.com

³ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, lazaryuk@poi.dvo.ru, kustova_e@poi.dvo.ru,
pkharlamov@poi.dvo.ru

В работе представлены результаты расчетов пористости, проницаемости и числа Рэлея для льдов бухты Новик по данным гидрологических наблюдений. Приведены результаты изучения микроструктуры кернов морского льда с использованием магнитно-резонансной томографии для наиболее ярких примеров поведения рассола. Задача работы заключалась в установлении закономерностей формирования пористости и связанной с ней проницаемости и дренажа рассола морского льда б. Новик.

Динамика рассола внутри морского льда имеет тесную связь с его микроструктурой, т.е., пористостью и расположением дренажных каналов. Осолонение вод в период образования льда, как и опреснение растущего и близкого к таянию морского льда также во многом определяется процессами перемещения рассола в толще льда. Кроме того, распределение рассола влияет на перенос веществ, необходимых для поддержания жизни во льду, на образование очагов биоактивности.

Эти процессы зависят, в первую очередь, от проницаемости морского льда Π , которую рассчитывают исходя из его пористости ψ . Под пористостью принято понимать совокупность включений газа и рассола во льду; она зависит от температуры и солёности льда. При условии пренебрежения количеством твердых солей во льду (что при температурах

льда выше $-8,2^{\circ}\text{C}$, характерных для исследуемых образцов, является разумным приближением), объем рассола рассчитывается по формуле [2]:

$$\psi_b = \frac{\rho_i S_i}{\rho_b S_b}$$

где ρ — плотность, S — соленость, с индексами для: i — льда, b — рассола. Соленость льда в данном исследовании представляет собой измеренную величину, остальные — расчетные.

Объем газовых включений был рассчитан по формуле [6]:

$$\psi_a = 1 - \rho_i \left(\frac{1 - S_i}{0,917} + \frac{4,98 \cdot S_i}{T} \right)$$

где T — температура льда, также измеренная.

Для расчета проницаемости Π льда использовались формулы из [3]:

$$\Pi(\psi_b) = 1,995 \cdot 10^{-8} \cdot \psi_b^{3,1}$$

где ψ_b — относительный объем жидкой фазы (общая пористость) в долях.

$$\Pi(\psi) = 0,063 \cdot 10^{-8} \cdot \psi^{1,6}$$

где ψ — сумма относительного объема жидкой фазы и относительного объема газа, так же приведенная к долям.

Для определения начала гравитационного дренажа рассола в толще льда используется число Рэлея, которое зависит от проницаемости льда и вычисляется по следующей формуле [7]:

$$Ra = \frac{g \Delta \rho z \Pi(\psi)}{\kappa \mu}$$

здесь g — ускорение свободного падения, $\Delta \rho$ — разность между плотностью подледной воды и плотностью рассола в керне, $\Pi(\psi)$ — средняя проницаемость керна, h — толщина исследуемого слоя (керна), $k = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}^2$ — коэффициент термической диффузии, $\eta = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$ — динамическая вязкость.

Таблица. Значения объема жидкой фазы и газовых включений, проницаемости и числа Рэлея для ядер разных годов

Дата	ψ_b , %	ψ_a , %	$\Pi(\psi_b)$, мкм ²	$\Pi(\psi)$, мкм ²	$Ra(\psi_b)$	$Ra(\psi)$
06.02.2013	5,80	1,00	2,92	8,54	1,8	5,4
20.02.2014	6,07	1,07	3,38	9,25	2,1	5,7
07.02.2015	7,51	1,23	6,51	12,75	2,9	5,7
07.02.2016	5,70	1,03	2,77	8,38	1,5	4,4
18.02.2017*	8,04	1,33	8,06	14,26	3,1	5,5
21.02.2018	6,23	1,07	3,65	9,57	2,3	5,9

*Показатели рассчитывались для верхней части ядра, где температура льда была ниже -2°C

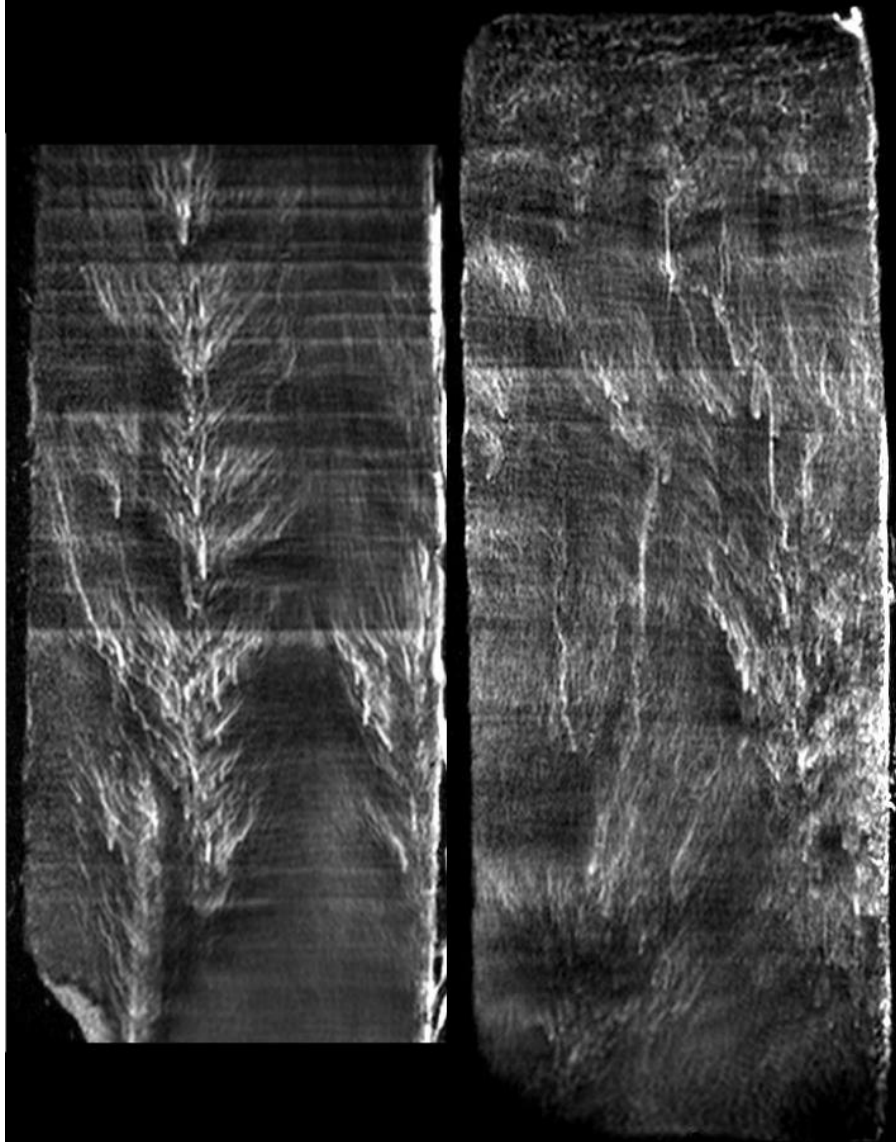
Из таблицы можно увидеть, что наибольшие значения пористости, проницаемости и $Ra(\psi_b)$ наблюдались в 2015 и 2017 году; средние температуры льда (не показано) в эти годы также были больше, чем в остальные. В 2015 г. нагрев ядра мог произойти снизу, от воды, за счет снежной зимы: практически весь холодный период до выемки ядра лед был покрыт относительно толстым (4–10 см) слоем снега, который служил теплоизоляцией. В 2017 г. за 42 часа до срока выемки ядра наблюдалась сильная оттепель, температура воздуха достигала $+6,2^{\circ}\text{C}$ и держалась выше 0°C более 12 часов (по данным сайта <https://rp5.ru/> «Расписание погоды»).

Гравитационный дренаж рассола в морском льду возникает при условиях, характеризующихся критическим числом Рэлея. В [5] критическое число Рэлея для морского льда оценивается авторами как $Ra = 10$. Однако, в этом исследовании лед был выращен искусственно в контролируемых условиях. В [1] были проведены полевые исследования в море Баффина в течение всего цикла роста-таяния льда. По результатам этих исследований авторы пришли к выводу, что число Рэлея для полярных льдов, рассчитанное по объему жидкой фазы, равно 3. Как видно из таблицы, среди исследованных ядер только для одного (2017 г.) число Рэлея, рассчитанное по количеству жидкой фазы, превышает 3. МРТ-изображение этого ядра (см. рисунок) показывает неупорядоченную структуру льда, которая соответствует процессу гравитационного дренажа рассола.

Числа Рэлея, рассчитанные с учетом газовых включений $Ra(\psi_a)$, в целом показывают согласованность с $Ra(\psi_b)$, однако значение критического числа Рэлея, рассчитанное таким способом, требует дальнейшего изучения.

07.02.2016

18.02.2017



МРТ-изображения кернов льда: 2016 г. – упорядоченная структура с каналами стока рассола; 2017 г. – хаотическое распределение рассола, неупорядоченная структура

Порог проницаемости, при котором лед становится полностью проницаемым, был определен в 5% содержания рассола [4] для идеального, ровного столбчатого льда. В работе [1] для льдов, изученных в море Баффина, авторы предлагают порог проницаемости в диапазоне 5-7%. Значения жидкой фазы в исследованных ядрах льдов бухты Новик соответствуют величинам, полученным [1] для майских припайных льдов моря Баффина (~6-7%), в двух случаях из шести эти значения были превышены (в 2015 и 2017 гг.), при этом на МРТ-снимках ядра 2015 г. не наблюдалось заметного гравитационного дренажа, а число Рэлея не достигло критического значения и составило $Ra = 2,9$. Это говорит о возможно более высоком пороге проницаемости для льдов изучаемого региона. Поскольку при объеме рассола 7,5% на снимке ядра 2015 г. не наблюдается массовых стоковых процессов, как на снимке 2017 г., однако число Рэлея близко к критическому, предполагается начало конвекционных процессов рассола. В ядре 2017 г. содержание рассола составляет 8%, на МРТ-изображении явно виден процесс гравитационного дренажа, а $Ra = 3,1$. Т.о., порог проницаемости может составлять 8% объемного содержания рассола.

Литература

1. Carnat G., Papakyriakou T., Geilfus N.X. et al. Investigation on physical and textural properties of Arctic first-year sea ice in Amundsen Gulf, Canada, November 2007 – June 2008 (IPY-CFL system study) // J. Glaciol. 2013. Vol. 59, N 217. P. 819–837.
2. Cox G. F. N., Weeks W. F. Equations for determining the gas and brine volumes in sea-ice samples // Journal of Glaciology. – 1983. – Т. 29. – №. 102. – С. 306-316.
3. Freitag J. The hydraulic properties of Arctic sea ice-implication for the small-scale particle transport. PhD Dissertation, University Bremen // Ber. Zur Polarforsch. 1999. Vol. 325. P. 150.
4. Golden K.M., Eicken H., Heaton A.L. et al. Thermal evolution of permeability and microstructure in sea ice // Geophys. Res. Lett. 2007. Vol. 34(16). L6501
5. Notz D., Worster M.G. Desalination processes of sea ice revisited // J. Geophys. Res.: Oceans. 2009. Vol. 114. C05006. – <https://doi.org/10.1029/2008JC004885>
6. Schwerdtfeger P. The thermal properties of sea ice // Journal of Glaciology. – 1963. – Т. 4. – №. 36. – С. 789-807.
7. Vancoppenolle M. et al. On the use of the mushy-layer Rayleigh number for the interpretation of sea-ice-core data // The Cryosphere Discussions. – 2013. – Т. 7. – №. 4. – С. 3209-3230.

СЕКЦИЯ Геология, геофизика и геохимия океана

СОВРЕМЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ДНА СЕВЕРОВОСТОЧНОГО СКЛОНА ВПАДИНЫ ТИПРО (ОХОТСКОЕ МОРЕ)

К.А. Апарина, В.Н. Карнаух

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, aparina1993@mail.ru

Впадина ТИПРО расположена к западу от полуострова Камчатка, между возвышенностями Академии Наук СССР и Института Океанологии. Первые сведения о строении дна Охотского моря были получены в экспедициях на научно-исследовательском судне «Витязь» в 1949-1955 гг. В результате работ были получены данные о сложной морфологии дна, обусловленной тектоникой и наложившимися на морфоструктуру следами деятельности экзогенных процессов, протекающих на фоне сложной динамики различных структур [1]. Характеризуя строение дна, очень важно учитывать, в какой степени структурный, тектонически обусловленный рельеф был переработан и замаскирован деятельностью экзогенных процессов и как отразились на этом тектонические движения новейшей эпохи.

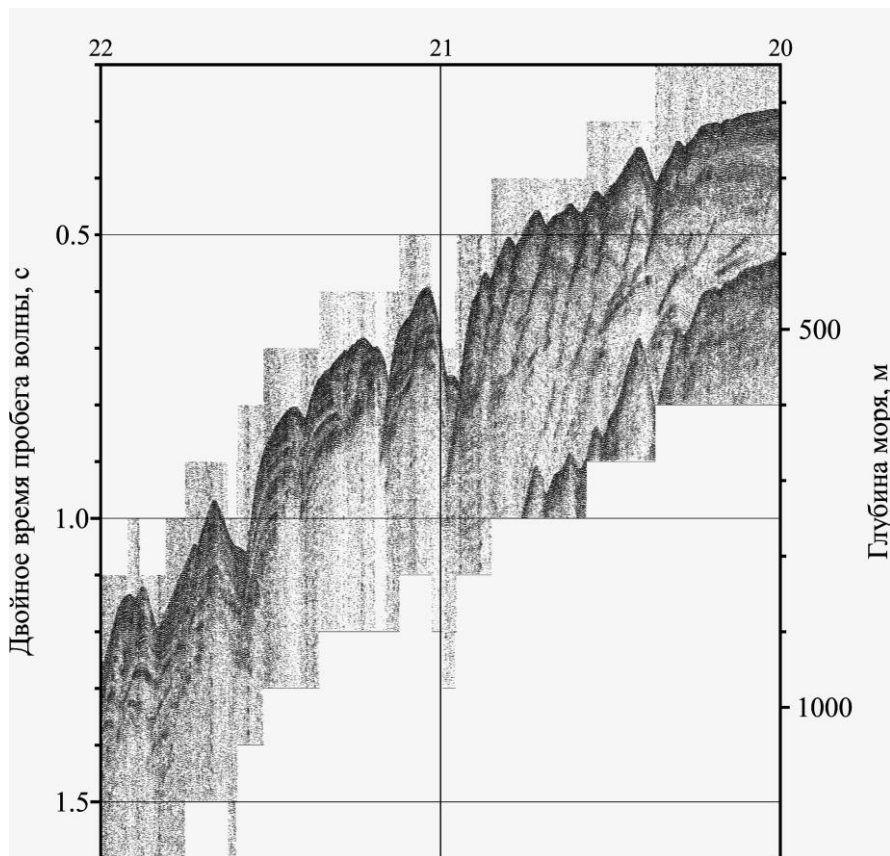
Важнейшим экзогенным процессом развития подводного рельефа дна впадины ТИПРО является аккумуляция донных осадков в различных условиях гидродинамической активности и их собственной подвижности.

В 2017 году была проведена комплексная экспедиция на научно-исследовательском судне «Академик Опарин» (рейс №53). Исследования рельефа дна в северо-восточной части впадины ТИПРО были выполнены многолучевым эхолотом SeaBeam3050 и непрерывным сейсмопрофилированием с электроискровым источником. Полученные данные показали, что дно материкового склона западной Камчатки здесь осложнено многочисленными узкими эрозионными долинами, ориентированными диагонально к простиранию склона.

Данный рельеф обусловлен размывом дна линейными потоками придонных водных масс и аккумуляцией осадков в зоне затухания этих потоков [2]. В направлении от дна впадины вверх по склону долины делятся на несколько более мелких. На грядках между долинами имеются локальные замкнутые отрезки палеодолин. Это указывает на достаточно быстрый процесс развития и отмирания долин, что может объясняться активно изменяющимися гидрологическими условиями.

Флювиальный, связанный с воздействием морских глубинных и придонных течений эрозионный рельеф также широко распространен на склонах подводных цоколей Курильских островов, в Курильских проливах и

проливе Лаперуза, а также в желобе залива Шелихова. Данный рельеф сформировался по периферии районов интенсивного эрозионного воздействия морских течений и при ослаблении их воздействия на дно. Придонные течения могут быть вызваны различными причинами – это могут быть штормовые, сгонно-нагонные, приливные и контурные течения [2, 3].



Эрозионные долины северо-восточной части впадины ТИНРО (Западная Камчатка)

Современный этап изучения формирования рельефа дна Охотского моря включает в себя решение ряд вопросов и задач, которые возможно решить только в комплексе с гидрологическими, палеоокеанологическими, геофизическими исследованиями.

Литература

1. Белоусов В.В., Удинцев Г.Б. Строение дна Охотского моря. М.: Наука, 1981. 176 с.
2. Котенов Б.Н. Подводные долины материкового склона Берингова моря. Советские рыбохозяйственные исследования в северо-западной части Тихого океана (Тр. ВНИРО. Т. 58).-М.: Пищевая промышленность, 1965. – С. 35-44.
3. Удинцев Г.Б. Геоморфология и тектоника дна Тихого океана. М.: Наука, 1972.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНFUЗОРИЙ И РАДИОЛЯРИЙ В ВЕРХНЕГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

Л.Н. Василенко

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

Инфузории (Ciliophora) представляют одну из многочисленных и широко распространенных в природе групп гетеротрофных одноклеточных организмов, населяющих морские и пресноводные водоемы, а также их грунты и почвы [4]. Они играют важную роль в круговороте биогенных веществ в водных экосистемах разного типа. Потребляя пикопланктон, инфузории служат промежуточным звеном в передаче энергии от пикопланктона к зоопланктону. Одним из наиболее распространенных отрядов инфузорий является Tintinnida – это группа планктонных морских, изредка пресноводных инфузорий, для которых характерно наличие гиалиновой или агглютинированной (инкрустированной) раковины, которая хорошо сохраняется в осадках.

В Арктическом и субарктическом регионах инфузории изучались в Баренцевом и Карском морях [8 и др.], в Балтийском и Белом морях [4 и др.], в Чукотском, Беринговом и море Бофорта [10 и др.], в Северном, Норвежском и Гренландском морях [5, 7 и др.]. Однако, сведений об инфузориях моря Лаптевых крайне мало, а для Восточно-Сибирского моря они вовсе отсутствуют.

Радиолярии (Radiolaria) – исключительно морские планктонные одноклеточные микроорганизмы, населяющие Мировой океан с кембрия по настоящее время. Кремниевый скелет позволяет им хорошо сохраняться в осадках и участвовать в накоплении кремнистых толщ в морях и океанах. Они являются биоиндикаторами нормальной солености (обычно не ниже 31-32 ‰) и глубины, поскольку обитают на разных горизонтах водной толщи. В осадках наиболее хорошо сохраняются радиолярии-полицистины (Spumellaria и Nassellaria), что позволяет использовать их для

палеоокеанологических, палеоэкологических и биостратиграфических реконструкций.

В последние годы состав сообществ радиолярий-полицистин Северного Ледовитого океана и окраинных арктических морей активно изучается как в донных осадках, так и в планктонных пробах [2, 6 и др.]. Современная фауна радиолярий здесь наиболее близка по составу к таковой из Норвежского моря и впервые проникла в этот район из Гренландско-Исландско-Новрежского бассейна 12 450 лет назад, либо несколько позднее [2]. В окраинные моря Баренцево, Карское и Лаптевых радиолярии поступают с Северо-Атлантическим, а затем Нордкапским течениями [3]. В настоящее время состав современных радиолярий-полицистин в донных осадках центрального Арктического бассейна и арктических окраинных морей насчитывает 62 вида [2]. Как отмечает С.Б. Кругликова, почти все виды, встречающиеся в современных донных отложениях распространены в Аркто-Бореальной области Тихого и Атлантического океанов (включая норвежские фьорды и Дальневосточные моря – Охотское и Берингово).

В настоящей работе приводятся данные о распределении скелетов радиолярий и раковин инфузорий в поверхностных донных осадках (33 станции: 23 – из моря Лаптевых, 8 – из Восточно-Сибирского моря, 2 – из прилегающей части Северного Ледовитого океана) и керне донных осадков LV83-29-1, отобранных в 83 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (2018 г.) сотрудниками ТОИ ДВО РАН. Автор выражает искреннюю благодарность д.г.-м.н. А.С. Астахову за предоставленный материал.

Результаты.

Инфузории. Впервые в поверхностных донных осадках исследуемых морей обнаружены агглютинированные раковины инфузорий из родов *Tintinnopsis* и, вероятно, *Didinium* и *Gymnozoium* (Рисунок, а). В керне LV83-29-1, расположенном в шельфовой зоне моря Лаптевых, и представленном верхнеголоценовыми отложениями, содержатся только представители рода *Tintinnopsis*, встреченные практически на всех горизонтах.

Представители рода *Tintinnopsis* являются неритическими и распространены в прибрежной шельфовой зоне морских и, реже, пресноводных бассейнов [9]. В исследуемых осадках найдены агглютинированные раковины, из которых наиболее многочисленны экземпляры вида *Tintinnopsis ventricosoides* Meunier, встреченные повсеместно как в шельфовой зоне, так и на континентальном склоне моря Лаптевых и в Восточно-Сибирском море. Раковины вида *T. nivalis* Meunier присутствует преимущественно в поверхностных осадках моря Лаптевых и единично в Восточно-Сибирском море. Раковины видов *T. turbo* Meunier, *T. nitida* Vtandt и *T. sp.* обнаружены только в осадках моря Лаптевых, причём

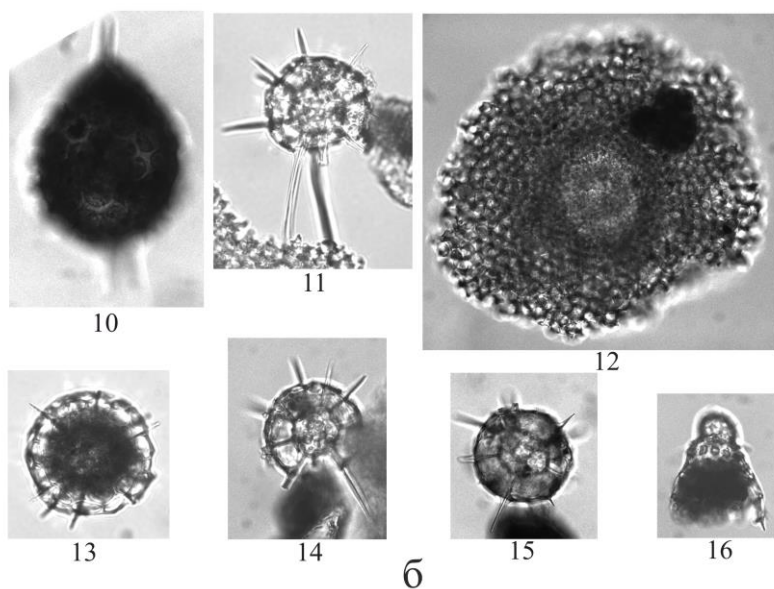
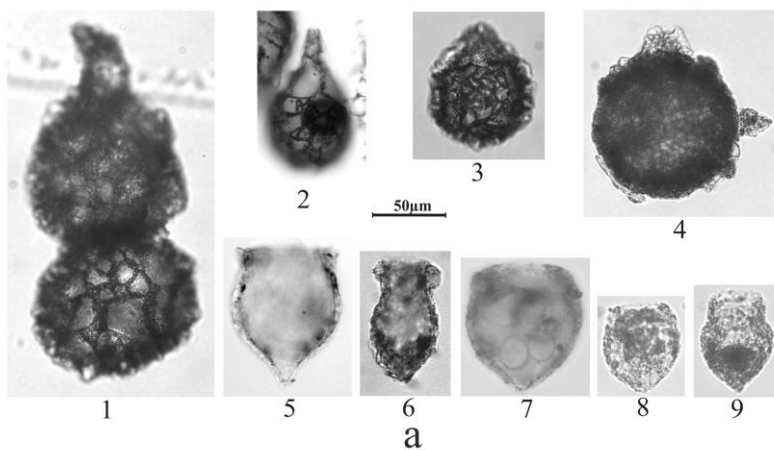
первых двух видов в шельфовой зоне, а последнего только на континентальном склоне. Немногочисленные раковины вида *T. fimbriata* Meunier также найдены только в шельфовой зоне моря Лаптевых и в Восточно-Сибирском море.

Представители родов *Didinium* и *Gymnozoum*, также присутствуют в поверхностных донных осадках. По-видимому, это морские виды хищных инфузорий *Didinium gargantua* Meunier и *Gymnozoum viviparum* Meunier. Автору не удалось найти сведений о сохранении этих видов в осадках, так как они имеют мягкое округлое, овальное или чашевидное тело, с отчетливым хоботком спереди [8]. Являются ли эти виды агглютинирующими, также не установлено. Тем не менее, в наших пробах встречены экземпляры, по общей форме близкие к данным видам, что требует дальнейшего их изучения. Следует отметить, что экземпляры, похожие на *D. gargantua* Meunier обнаружены в поверхностных донных осадках шельфа и континентального склона моря Лаптевых, шельфа Восточно-Сибирского моря и в Северном Ледовитом океане, тогда как экземпляры, близкие к *G. viviparum* Meunier найдены только в осадках континентального склона моря Лаптевых и в Северном Ледовитом океане, то есть в более глубоководных районах.

Радиолярии.

В исследуемых поверхностных осадках современные радиолярии-полицистины малочисленны и встречены только на континентальном склоне моря Лаптевых и прилегающей части Северного-Ледовитого океана. Ассоциация представлена аркто-бореальными таксонами: *Stylatractus* sp., *Echinomma leptodermum* Jørgensen, *Echinomma leptodermum longispinum* (Cortese et Bjørklund), *Spongodiscus* sp., *Cycladophora* cf. *davisiana* Ehrenberg (Рисунок, б). Скелеты имеют удовлетворительную, реже хорошую сохранность. Приведенные радиолярии характерны для верхнеплейстоценовых и современных осадков Северной Атлантики и морей Гренландско-Исландско-Норвежского бассейна [1]. Такие таксоны как *Stylatractus* sp., *Echinomma leptodermum longispinum* (Cortese et Bjørklund) и *Spongodiscus* sp. в поверхностных осадках континентального склона моря Лаптевых установлены впервые. Это позволяет дополнить полученные ранее данные [6]. Преобладающей группой здесь являются представители рода *Echinomma* (семейство Actinommidae), ярко выраженное доминирование которых, было установлено в отложениях Высокой Арктики и краевых арктических морей [3].

В осадках Восточно-Сибирского моря радиолярии-полицистины обнаружены не были, что объясняется мелководностью данного моря и месторасположением станций отбора проб в прибрежной шельфовой зоне.



Раковины инфузорий (а) и скелеты радиоларий (б) в поверхностных донных осадках морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, а также прилегающей части Северного-Ледовитого океана: 1 – *Gymnozoum* sp. *G. cf. viviparum* Meunier F.1; 2 – *Gymnozoum* cf. *viviparum* Meunier F.2; 3 – *Gymnozoum* cf. *viviparum* Meunier F.3; 4 – *Didinium* cf. *gargantua* Meunier; 5 – *Tintinnopsis fimbriata* Meunier; 6 – *Tintinnopsis nitida* Brandt; 7 – *Tintinnopsis ventricosoides* (Claparede et Lachmann); 8 – *Tintinnopsis nivalis* Meunier; 9 – *Tintinnopsis turbo* Meunier; 10 – *Stylatractus* sp.; 11, 14, 15 – *Echinomma leptodermum longispinum* (Cortese et Bjørklund); 12 – *Spongodiscus* sp.; 13 – *Echinomma* cf. *leptodermum* Jørgensen; 16 – *Cycladophora* cf. *davisiana* Ehrenberg.

Выводы.

1. В верхнеголоценовых отложениях арктических морей Лаптевых и Восточно-Сибирского впервые установлены агглютинированные раковины рода *Tintinnopsis* (6 видов) и, вероятно, двух видов из родов *Didinium* и *Gymnozoum*, которые ранее в осадках не обнаруживали.

2. Представители родов *Tintinnopsis* и *Didinium*, главным образом, распространены в прибрежной шельфовой зоне морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, а также единично встречены на континентальном склоне и в прилегающей части Северного Ледовитого океана.

3. Представители рода *Gymnozoum* найдены только в осадках континентального склона моря Лаптевых и в прилегающей части Северного Ледовитого океана.

4. Радиолярии-полицистины (5 таксонов) обнаружены только в поверхностных осадках континентального склона моря Лаптевых и прилегающей части Северного Ледовитого океана. Ассоциация характерна для Северной Атлантики и морей Гренландско-Исландско-Норвежского бассейна.

5. Таксоны радиолярий *Stylatractus* sp., *Echimonma leptodermum longispinum* (Cortese et Bjørklund) и *Spongodiscus* sp. в поверхностных осадках моря Лаптевых установлены впервые.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования (тема № 121021700342-9), а также при поддержке гранта РНФ (№ 19-77-10030).

Литература

1. Кругликова С.Б. Радиолярии-Polycystina из донных отложений Мирового океана как биоиндикаторы изменения окружающей среды. М.: ГЕОС, 2013. 231 с.
2. Кругликова С.Б., Бьерклунд К.Р., Засько Д.Н. Распространение полицистин (Euradiolaria) в донных отложениях и планктоне Северного Ледовитого океана и Арктических окраинных морей // Доклады Академии наук. 2007. Т. 415. № 2. С. 281-285.
3. Кругликова С.Б., Бьерклунд К.Р. Вторжение современных Polycystina (Euradiolaria) в Северный Ледовитый океан. Палеоэкологические аспекты // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2008. № 2. С. 67-77.
4. Миронова Е.И., Телеш И.В., Скарлато С.О. Планктонные инфузории Балтийского моря (обзор) // Биология внутренних вод. М.: Наука, 2009. № 1, с. 15-26.
5. Agatha S. Redescription of the tintinnid ciliate *Tintinnopsis fimbriata* Meunier, 1919 (Spirotricha, Choreotrichida) from coastal waters of Northern Germany // E. Aesch & H. Berger (eds.), The Wilhelm Foissner Festschrift: A tribute to an outstanding protistologist on the occasion of his 60th birthday. Denisia, 2008. Vol. 23. P. 261-272.

6. Bjorklund K.R., Kruglikova S.B. Polycystine Radiolarians in Surface Sediments in the Arctic Ocean Basins and Marginal Seas // *Mar. Micropaleontol.* 2003. Vol. 49. P. 231–273.
7. Feng M., Zhang W., Xiao T. Spatial and temporal distribution of tintinnid (Ciliophora: tintinnida) communities in Kongsfjorden, Svalbard (Arctic), during summer // *Polar Biol.* 2014. Vol. 37, P. 291-296.
8. Meunier A. Microplankton des Mers de Barents et de Kara. Duc d'Orléans. Campagne arctique de 1907. Imprimerie scientifique Charles Bulens: Bruxelles. 1910. 355 + atlas (XXXVII plates) pp.
9. Pierce R.W., Turner J.T. Global biogeography of marine tintinnids // *Marine Ecology Progress Series.* 1993. Vol. 94. P.11–26.
10. Sherr E.B., Sherr B.F., Hartz A.J. Microzooplankton grazing impact in the Western Arctic Ocean. *Deep Sea Res II*, 2009. Vol. 56. P.1264-1273.

ИЗОТОПНЫЕ СОСТАВЫ Sr И Nd МИНЕРАЛЬНЫХ ФАЗ ЖМО ЯПОНСКОГО МОРЯ

И.А. Вишневецкая^{1,2}, П.Е. Михайлик³, Ю.М. Иванова³, Т.Г. Окунева²

¹*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва, vishnevskaja.i.a@gmail.com*

²*Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург*

³*ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток*

Железомарганцевые образования (ЖМО) по текстурно-структурным особенностям, минеральному и химическому составам разделяют на гидрогенные, диагенетические и гидротермальные. Источником вещества, формирующего гидрогенные ЖМО служит придонная морская вода. Для диагенетического типа источником являются поровые воды, а гидротермальные образуются вследствие излияния гидротермальных флюидов [1].

В строении ЖМО выделяется четыре основные минеральные фазы, представленные: I – легкорастворимой биогенной, II – марганцевыми оксидами, III – железистыми гидроксидами и IV – остаточной алюмосиликатной. При формировании каждая из фаз в зависимости от условий её образования концентрируют различные элементы, в том числе, редкоземельные элементы (РЗЭ). Например, бóльшая их часть в гидротермальных образованиях связана с гидроксидами железа [5, 7], а в гидрогенных происходит перераспределение редких земель между марганцевой и железистой фазами [7].

На вещественный состав ЖМО, формирующихся в условиях задуговых бассейнов значительное влияние оказывает речной сток и пирокластический материал [4]. Результатом такой активной терригенной поставки может быть ошибочная интерпретация генезиса ЖМО, основанная на анализе валового вещественного состава. Данная работа посвящена изучению и изотопного состава Sr и Nd в минеральных фазах ЖМО Японского моря.

Материалом для изучения послужили образцы ЖМО драгированные с подводных возвышенностей Беляевского, Медведева и Евланова в 29, 33, 36-м рейсах НИС «Первенец» (табл. 1).

Таблица 1. Расположение и тип изученных ЖМО Японского моря

№ образца	Широта	Долгота	Местоположение	Тип
2069/2-Пб-1	41°25.998с.ш	134°59.598в.д	Возв. Беляевского	гидротермальный
1945-1	36°39.798с.ш	135°23.20в.д	Возв. Медведева	гидротермальный
7751/5	40°9.498с.ш	131°19.398в.д	Возв. Евланова	гидрогенный

Разложение проб ЖМО на минеральные фазы осуществлялось методом последовательного селективного выщелачивания [6], адаптированная схема которого детально изложена в [4].

Определение минерального и валового химического составов, а также разложение проб на минеральные фазы было выполнено в ЦКП ДВГИ ДВО РАН (Владивосток). Аналитическая работа по выявлению изотопных составов Nd и Sr в ЖМО выполнено в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН (Екатеринбург). Подготовка проб проводилась по методике, описанной в [3]. Определение изотопных отношений проводилось на многоколлекторном масс-спектрометре TritonPlus. Правильность методики измерения оценивалась с помощью международных стандартов Sr SRM-987 (в период работы отношение $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ составило 0.710250 ± 0.000008 , 2σ , $n=12$), NdLaJolla (отношение $143\text{Nd}/144\text{Nd}$ в стандарте во время работы составило 0.512756 ± 0.000008 , 2σ , $n = 6$). Ошибка измерения изотопного состава Sr составила 0.002%, отношения $143\text{Nd}/144\text{Nd} - 0.005\%$.

Разница в изотопном составе Nd разных горных пород и вод довольно невелика, поэтому используется показатель ϵNd рассчитанный относительно однородного хондритового резервуара (CHUR). По величине ϵNd породы могут быть контрастны. Например, значение ϵNd молодых базальтов зоны СОХ составляет около +8, для древних пород верхней коры характерна величина ϵNd ниже -20 [2]. Таким образом, величину ϵNd можно использовать, как инструмент диагностики источников вещества.

Для ЖМО подводных возвышенностей Беляевского и Медведева генезис был установлен ранее. Они относятся к гидротермальному типу [5]. Условия геологического залегания, минеральный и валовый химический составы ЖМО возв. Евланова отвечают гидрогенному накоплению.

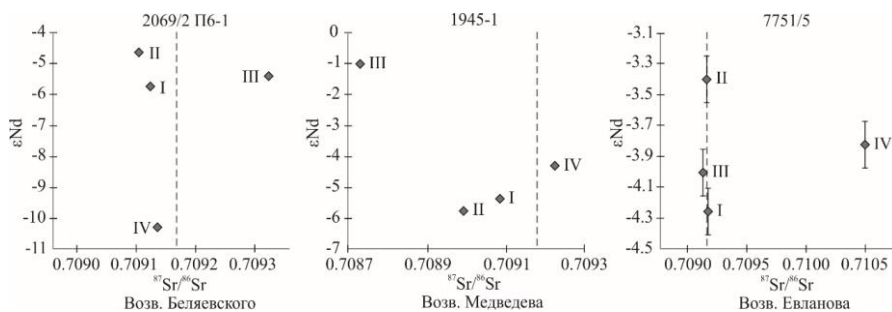
Таблица 2. Результаты определения изотопного состава Sr и Nd в минеральных фазах ЖМО Японского моря

Фаза	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm\sigma$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm\sigma$	ϵ_{Nd}	$\pm\epsilon_{\text{Nd}}$
2069/2-П6-1						
I	0.709124	0.000010	0.512345	0.000009	-5.7	0.2
II	0.709105	0.000008	0.512401	0.000020	-4.6	0.4
III	0.709326	0.000020	0.512361	0.000013	-5.4	0.3
IV	0.709136	0.000011	0.512111	0.000010	-10.3	0.2
1945-1						
I	0.709085	0.000009	0.512361	0.000018	-5.4	0.4
II	0.708991	0.000014	0.512343	0.000032	-5.8	0.6
III	0.708728	0.000012	0.512585	0.000015	-1.0	0.3
IV	0.709224	0.000008	0.512416	0.000014	-4.3	0.3
7751/5						
I	0.709171	0.000006	0.512420	0.000015	-4.3	0.3
II	0.709169	0.000004	0.512464	0.000008	-3.4	0.3
III	0.709129	0.000006	0.512433	0.000004	-4.0	0.1
IV	0.710499	0.000008	0.512442	0.000005	-3.8	0.1

Данные по изотопному составу стронция и неодима в минеральных фазах ЖМО Японского моря (табл. 2) приведены на графике в координатах $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\epsilon_{\text{Nd}}$.

Наибольшая концентрация стронция в аутигенных фазах ЖМО Японского моря отмечена в фазе, сложенной марганцевыми оксидами. Второй по значимости накопления стронция выступает карбонатная легкорастворимая фаза и наименьшее количество стронция связывается с оксигидроксидами железа. Общей чертой всех изученных ЖМО является близость их изотопного состава Sr первой фазы к изотопному составу воды Мирового океана ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 0.70917$). В образце 1945-1 в фазе I оно составляет 0.70909. По данным В.Т. Съедина и Т.А. Емельяновой магматическая активность вулк. Медведева закончилась 2 млн лет назад, отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в этих породах низкое, на уровне 0.70361. Вероятно,

что изотопный состав Sr легкорастворимой фазы является результатом смешения магматического флюида и морской воды. В отличие от двух других проб отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ связанное с оксидами марганца и гидроксидами железа ЖМО возв. Евланова совпадает с изотопным составом Sr морской воды (рис.). Этот факт показывает, что источником вещества, формирующего железомарганцевые оксигидроксиды, является только современная морская вода. Наибольший разброс в значениях отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отмечается в фазе III (рис.). Изотопный состав Sr четвертой, остаточной фазы разительно отличается от остальных. Это является свидетельством того, что материал данной фазы имеет аллотигенное происхождение либо представлен переотложенным материалом пород, слагающих структуру, несущую ЖМО.



Изотопный состав Sr и Nd гидротермальных и гидротермальных ЖМО Японского моря. Римскими цифрами на графиках обозначены фазы: I – легкорастворимая биогенная, II – марганцевые оксиды, III – железистые гидроксиды и IV – алюмосиликатная фаза. Пунктиром показано современное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ океане (0.70917). Ошибки измерения на всех, кроме третьего рисунка, не превышают размер символа.

Таким образом, приведенные графики показывают близость изотопного состава Sr в I и II фазах к его составу в воде, с небольшими отклонениями, вероятно являющимися отражением гидротермальной активности в зоне роста этих ЖМО.

Для гидротермальных и гидротермальных ЖМО Японского моря валовое значение ϵNd очень близкое: для первых оно одинаковое и составляет -4.5, для вторых – -4.1. При близких значениях концентраций марганца и железа гидротермальные корки Японского моря могут иметь абсолютно разные значения ϵNd в минеральных фазах. Образец с вулк. Беляевского представлен Mn-брекчией в составе которой выделяются микроконкреции и присутствует вернадит (основной минерал, слагающий гидротермальные ЖМО), а с вулк. Медведева - слоистой коркой, в которой определены тодорокит и

бёрнессит (главные минералы гидротермальных ЖМО). Поэтому марганцевая и железистая фазы ЖМО вулк. Беляевского в своем составе имеют более низкие значения ϵNd , чем в пробе ЖМО с подводного вулк. Медведева, отражающие изотопный состав неодима морской воды. В железистой фазе образца 1945-1 значение ϵNd повышается до -1.0, Его увеличение может свидетельствовать о фиксации довольно значительного количества материала эндогенного происхождения.

Значения ϵNd для марганцевой и железистой фаз в гидрогенном ЖМО возв. Евланова составляет -3.4 и -4.0, что, по всей видимости, наследуют величину ϵNd морской воды, а разница между ними имеет значение равное 0.6 Марганцевая фаза в образце 2069/2-П6-1 является более радиогенной по отношению к железистой фазе на 0.8 единиц. Возможно, такое соотношение изотопного состава неодима между двумя главными аутигенными фазами ЖМО является следствием гидрогенной поставки вещества, так как в гидротермальных слоистых образованиях более радиогенной является железистая фаза. Изотопный состав неодима в карбонатной фазе, скорее всего, соответствует водной толще, в которой они формировались.

Изучение изотопных характеристик минеральных фаз ЖМО находится еще на начальном этапе, поскольку представляет собой крайне трудозатратный метод. Первые полученные результаты показывают, что изотопные характеристики ЖМО задуговых бассейнов могут не соответствовать генетическому типу, установленному, основываясь на данных полученных для валовых проб этих образований. В связи с этим возникает ряд вопросов: как распределяется вещество между фазами во время роста ЖМО, как влияет скорость роста на это перераспределение и может ли фракционировать Sr и Nd в ходе этих процессов?

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-05-00436а.

Литература

1. Батурин Г.Н. Руды океана. М.: Наука, 1993. 303 с.
2. Интерпретация геохимических данных: Учеб. пособие / Е.В. Скларов и др.; под ред. Е.В. Скларова. М.: ИнтерметИнжинеринг. 2001. 288 с.
3. Михайлик П.Е., Вишневская И.А., Иванова Ю.М., Михайлик Е.В., Блохин М.Г., Червяковская М.В. Генезис и изотопный состав Nd железомарганцевых образований Охотского моря и Курильской островной дуги // Геология и геофизика, в печати.
4. Михайлик П.Е., Михайлик Е.В., Зарубина Н.В., Блохин М.Г. Распределение редкоземельных элементов и иттрия в гидротермально-осадочных

железомарганцевых корках Японского моря по результатам фазового анализа // Геология и геофизика, 2017. Т. 58. № 12. С. 1928-1943.

5. Михайлик П.Е., Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Зарубина Н.В., Блохин М.Г. Новые данные о распределении редкоземельных элементов и иттрия в гидротермально-осадочных Fe–Mn-корках Японского моря по результатам фазового анализа // Доклады академии наук, 2014. Т. 454. № 3. с. 322–327.

6. Koschinsky A., Hein J.R. Uptake of elements from seawater by ferromanganese crusts: solid-phase associations and seawater speciation // Mar. Geol., 2003. v. 198. p. 331—351.

7. Prakash L.S., Ray D., Paropkari A.L., Mudholkar A.V., Satyanarayanan M., Sreenivas B., Chandrasekharam D., Kota D., Kamesh Raju K.A., Kaisary S., Balaram V., Gurav T. Distribution of REEs and yttrium among major geochemical phases of marine Fe–Mn-oxides: Comparative study between hydrogenous and hydrothermal deposits // Chemical Geology, 2012. V. 312. p. 127-137.

АУТИГЕННАЯ СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ

В.Ю. Калгин¹, И.В. Гончарова², Ф.В. Кузив²

¹*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, kalgin.vladislav@yandex.ru,*

kalgin.vy@poi.dvo.ru

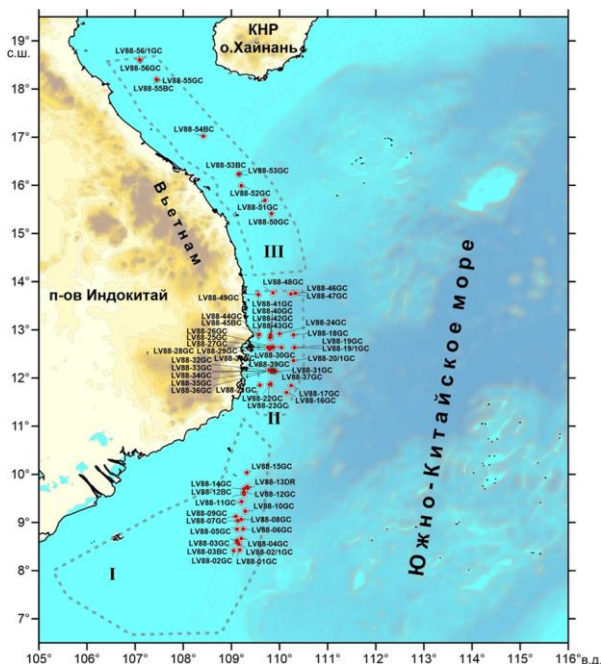
²*ДВФУ, г. Владивосток*

Южно-Китайское море является одним из задуговым бассейном западной части Тихого океана, которые являются тектонически-активными зонами тихоокеанского региона. Данный регион всегда привлекал внимание, т.к. в акватории зафиксированы проявления газовых выходов [3] и подводного вулканизма [2].

Материал был получен в ходе комплексной совместной Российско-Вьетнамской геолого-геофизической и океанографической экспедиции в Южно-Китайском море 88-го рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (25.10.2019-08.12.2019 г.). Организаторами морской экспедиции являются Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН и Институт морской геологии и геофизики, ВАНТ. Экспедиция в 88 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» входит в состав серии экспедиций в соответствии Десятилетием ООН, посвященным изучению Мирового океана в интересах устойчивого развития.

Аутигенная минерализация широко распространена в донных отложениях Южно-Китайского моря. Сульфидные конкреции были обнаружены во всех станциях районов работ, а особенно интенсивно в бассейне Фу Хань в меньшем количестве Нам Кон Сон и в осадочном бассейне Красной реки.

Верхняя часть колонки донных отложений бассейна представлена слабо уплотненными, чаще жидким пелитовым илом оливкового цвета. В этой окисленной зоне шлик представлен преобладанием терригенных минералов (кварц, слюды и полевые шпаты) над аутигенными сульфидами железа. Нижняя часть часто представлена плотным алевропелитовым илом серовато темного цвета. В восстановленной части кернов, чаще всего наблюдается обратная картина, где шлик в основном слагает аутигенный пирит с незначительной примесью терригенных минералов. Отмечается небольшая численность раковин фораминиферов камеры, которых заполнены сульфидами. По вещественному и рентгеноструктурному анализу все конкреции представлены пиритом.

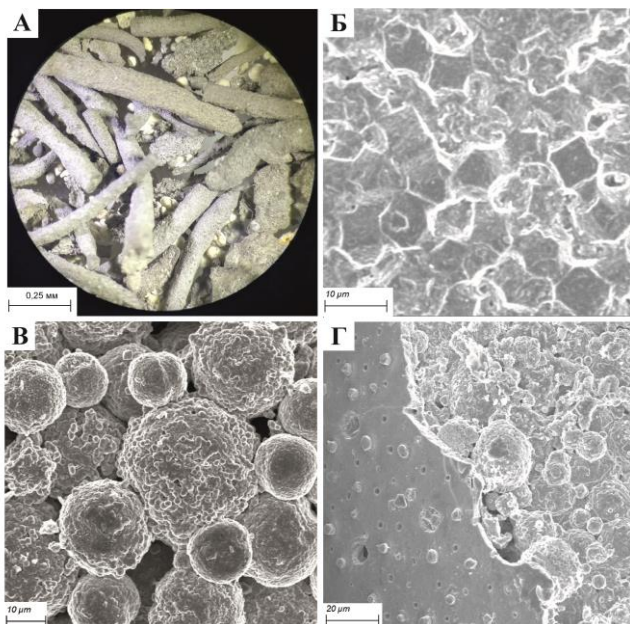


Карта станций отбора донных осадков в 88 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев». I, II, III районы работ (I - бассейн Нам Кон Сон, II - бассейн Фу Хань, III - бассейн Красной реки)

Найденные сульфидные конкреции на станции LV88-20/1GC отобранного с глубины 2400 метров имеют сравнительно большие размеры. Форма конкреции имеют вид сростков палочек и комочков неправильной формы. Цвет желтый, серый и черный на некоторых

наблюдается синяя побежалость.

При большом увеличении конкреции на экране сканирующего электронного микроскопа хорошо видно, что структура состоит из фрамбоидального пирита с хорошо ограниченными октаэдрическими и пентагон-додекаэдрическими кристаллами.



А - сульфидные образования в виде палочек; Б - октаэдрические и пентагон-додекаэдрические кристаллы аутигенного пирита; В - фрамбоидальный пирит; Г - замещение внутренней части раковины фораминиферов сульфидами

Для некоторых станций был выполнен изотопный состав серы для пиритов, в основном изотопные метки указывают на биогенное происхождение. Ранее уже были получены положительные изотопные соотношения в Южно-Китайском море. Так на станции 8388 сульфидная конкреция была отобрана в районе современного проявления подводного вулканизма, представляющее собой в структурном плане фрагмент одной из зон сочленения северо-восточных и субмеридиональных структур [1]. В нашем случае на станции LV88-32GC изотопный состав пирита ($\delta^{34}\text{S} = +1,1$) подтверждает его абиогенное происхождение. Станция расположена вблизи зафиксированного пункта теплового потока, где поток составляет 80-100 мВт/м²[4, 5]. Также, на тяжелый изотопный состав могло повлиять

близкое расположение тектонических разломов первого и второго порядка.

По результатам газогеохимических исследований по всей длине керна станции LV88-20/1GC и LV88-32GC наблюдаются незначительные изменения концентрации метана в осадке от 250 нМ/кг до 520 нМ/кг.

В результате проведенных исследований установлено различные формы кристаллизации аутигенных сульфидов. Локализация большей части сульфидной минерализации по колонке приходится на восстановленный слой. Генезис сульфидных образований в осадочном бассейне Фу Хань происходит как биогенным, так и абиогенным путем.

Выполнено при поддержке Темы № 4 «Газогеохимические поля Мирового океана, геодинамические процессы и потоки природных газов, влияющие на формирование геологических структур с залежами углеводородов и аутигенной минерализации» (0211-2021-0006), научн. Рук. Обжиров А.И. Регистрационный номер: 121021500055-0.

Литература

1. Астахова Н.В. Аутигенные образования в позднекайнозойских отложениях окраинных морей Востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2007. 244 с.
2. Горшков А.П. Исследование подводных вулканов в 10-м рейсе НИС «Вулканолог». Вулканология и сейсмология, 1981. № 6. 39-45 с.
3. Обжиров А.И. Ильичев В.И. Кулинич Р.Г. Аномалии природных газов в придонной воде Южно-китайского моря // Докл. АН СССР, 1985. Т.281. №5. 1206-1209 с.
4. Pollak H. N., Hurter S. J., and Johnson J. R. The new global heat flow compilation. Department of Geological Sciences, University of Michigan, U.S.A., March, 1991.
5. The Global Heat Flow Database of the International Heat Flow Commission. Web Page: <http://www.heatflow.und.edu/>

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ГАЗОНОСНОСТЬ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЙ

А.В. Кишанков^{1,2}

¹*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва,
alexey137k@yandex.ru*

²*Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва*

В работе изучалась потенциальная газоносность верхней части разреза (ВЧР) четырех северных акваторий. Актуальность изучения газоносности ВЧР обусловлена несколькими причинами. Приповерхностные газовые

залежи, могут указывать на расположения крупных месторождений углеводородов на больших глубинах. Газонасыщенные отложения ВЧР представляют опасность при поисковом и разведочном бурении – вскрытие таких отложений может приводить к выбросам газа на поверхность [3]. Кроме того, эмиссия метана из залежей свободного газа и газовых гидратов в атмосферу усиливает парниковый эффект и является важным фактором изменения климата.

Объектами исследования являлись моря Лаптевых, Чукотское, Бофорта, Берингово. Целью работы являлся поиск потенциальных залежей свободного газа и газовых гидратов в ВЧР на основе интерпретации сейсмических данных. Аномалии сейсмической записи, указывающие на скопления свободного газа, определялись по следующим признакам: 1 – повышенные амплитуды отражений (яркие пятна), 2 – инверсия фаз отражений, 3 – прогибание осей синфазности, 4 – поглощение высоких частот упругих волн, 5 – зоны пониженных амплитуд под предполагаемыми залежами газа, 6 – горизонтальные оси синфазности (плоские пятна). Газовые гидраты прогнозировались по наличию отражающего горизонта BSR (bottom simulating reflector). Всего в ходе работы проанализировано около 27,4 тыс. км сейсмических профилей. В результате выявлено примерно 1,5 тыс. аномалий, указывающих на потенциальные объекты, насыщенные свободным газом, выделены зоны вероятного распространения газовых гидратов на континентальных склонах морей Лаптевых, Бофорта, Берингова [4,5,6]. Также выполнен анализ распределения потенциальных газонасыщенных объектов в ВЧР по глубинам и горизонтальным размерам.

Большинство объектов по всем рассмотренным морям прогнозируется на глубинах от дна до 200 м. Схожая статистика для исследованных акваторий может быть связана с интенсивными тектоническими движениями в соответствующих регионах на стадии накопления отложений ВЧР. Разрывные нарушения, доходящие близко к поверхности осадочного чехла, вероятно, способствовали миграции газа к придонным отложениям и в гидросферу. В море Лаптевых в позднемiocен-плейстоценовое время произошла активизация растяжения коры, связанная с ускорением спрединга в соседнем Евразийском бассейне. В результате многочисленные разрывные нарушения деформировали большую часть разреза осадочного чехла, в том числе ВЧР. Лаптевоморский регион и в настоящее время характеризуется активной сейсмичностью [1]. В Анадырском бассейне Берингова моря в среднем миоцене произошла активизация осадконакопления, связанная с рифтогенезом [2]. В Чукотском море, предположительно, при накоплении отложений ВЧР имела место активизация разломов, смещавших более древние отложения. В море

Бофорта разломные зоны нарушают четвертичные отложения и поверхность морского дна [7]. Полученные распределения потенциальных газонасыщенных объектов в ВЧР могут также быть связанными со схожими криологическими условиями морей. Поскольку на рассмотренных акваториях залежи в ВЧР прогнозируются преимущественно в приповерхностных отложениях, можно предполагать, что в данных морях на значительных площадях отсутствуют сплошные многолетнемерзлые породы, способные экранировать газ при его вертикальной миграции из глубинных резервуаров или нефтегазоматеринских толщ.

Таким образом, в морях Лаптевых, Беринговом, Чукотском, Бофорта на основе интерпретации сейсмических материалов выделены потенциальные газонасыщенные объекты и проанализирована статистика их распределения. Предположительно, закономерности распространения газонасыщенных объектов в ВЧР связаны как с геологическим развитием соответствующих регионов, так и с современными криологическими условиями.

Работа выполнена по государственному заданию по теме «Рациональное природопользование и эффективное освоение нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли» (№ АААА-А19-119021590079-6).

Литература

1. Аветисов Г. П. Некоторые вопросы динамики литосферы моря Лаптевых //Физика Земли. – 1993. – № 5. – С. 28-38.
2. Антипов М. П., Бондаренко Г.Е., Бордовская Т.О., Шипилов Э.В. Тектоническая эволюция Анадырской впадины в связи с перспективами ее нефтегазоносности (Северо-Восток Евразии) //Геотектоника. – 2009. – № 5. – С. 74-96.
3. Богоявленский В. И. Арктика и Мировой океан: современное состояние, перспективы и проблемы освоения ресурсов углеводородов //Научные труды Вольного экономического общества России. – 2014. – Т. 182. – С. 12-179.
4. Богоявленский В. И., Казанин Г. С., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: море Лаптевых //Бурение и нефть. – 2018. – № 5. – С. 20-28.
5. Богоявленский В. И., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Берингово море //Бурение и нефть. – 2018. – № 9. – С. 4-12.
6. Богоявленский В. И., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Чукотское море (Россия и США) //Арктика: экология и экономика. – 2020. - № 2. – С. 45-58.
7. Thurston D. K., Theiss L. A. Geologic report for the Chukchi Sea planning area. Anchorage, Alaska, Minerals Management Service OCS Report MMS. – 1987.

ДИАТОМОВАЯ ФЛОРА ГОЛОЦЕНОВЫХ ОСАДКОВ ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

А.Е. Коляда^{1,2}, М.С. Обрезкова¹

¹ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, kolyada.ae@poi.dvo.ru

²ДФУ, г. Владивосток

Арктический шельф Евразии является самым обширным шельфом мира, а его изучение является актуальной задачей в связи с влиянием полярных областей Земли на формирование климата планеты и их быстром реагировании на эти изменения, как в настоящем, так и в прошлом [6].

Диатомовые водоросли – одноклеточные низшие растения, являющиеся основным продуцентом органического вещества в арктических морях. Их распределение в донных осадках морей отражает особенности гидробиологических и седиментационных условий, что дает возможность широко использовать данную микропалеонтологическую группу для палеореконструкций. Ассоциации диатомей моря Лаптевых дают информацию о гидрологических условиях поверхностных, а на мелководье и придонных вод: температуре, солености, возможном характере ледового покрова, притоке пресной речной воды, проникновении водных масс атлантического происхождения [2].

Основной целью настоящей работы является реконструкция изменений среды на основе изучения диатомовой флоры. Для этого был детально изучен таксономический и экологический состав диатомей и их количественное содержание в осадках.

Изучение диатомей в Арктике проводится с середины 19 века. С конца прошлого столетия работы по изучению диатомей и других групп микроископаемых в донных осадках Арктических морей резко активизировались из-за значительного влияния глобального потепления климата на полярные районы. Последнее десятилетие характеризуется пристальным изучением Арктических морей, в частности, моря Лаптевых [2, 3, 6, 8, 10, 11 и др.].

Море Лаптевых является центральной частью широко Сибирского шельфа и считается ключевым в формировании баланса пресной воды и морского льда в Арктическом океане [9]. Море принимает в себя около трети от общего речного стока в арктические моря, причем более 70% объема стока в море Лаптевых приходится на долю р. Лены [5].

Колонка донных осадков LV83-29-1 была отобрана мультикорером восточнее дельты р. Лена в ходе 83 рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2018 г. Длина колонки LV83-29-1 составляет 53 см. Образцы отбирались с интервалом в 1 см. Обработка осадков и приготовление

постоянных препаратов для изучения диатомей и определение их концентрации на 1 г воздушно-сухого осадка проводились по стандартной методике [1]. Для качественного анализа диатомей образцы обогащались тяжелой калиево-кадмиевой жидкостью с удельным весом 2,6. Для приготовления постоянных препаратов использовалась синтетическая среда MOUNTHEX в толуоле с показателем преломления 1,67.

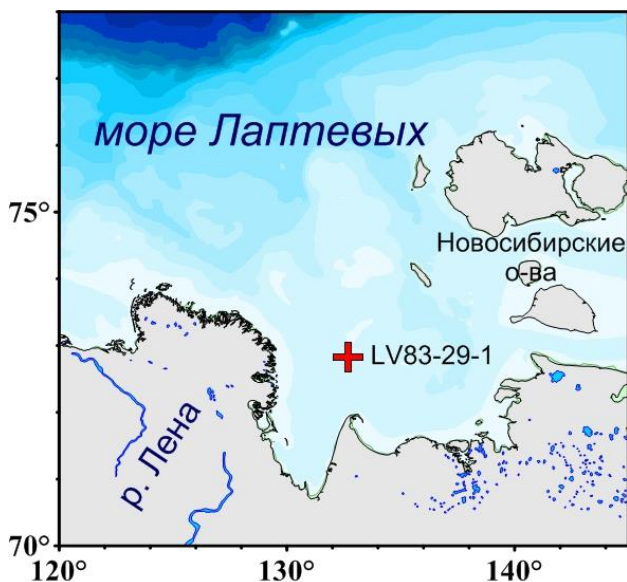


Рисунок. Местоположение изученной колонки LV-83-29-1

Количественное содержание диатомей в колонке варьируется между 0,1 и 0,9 млн створок/г. Эти значения достаточно низкие по сравнению, например, с Чукотским морем, но нормальны для самого моря Лаптевых [6, 7]. Низкое количественное содержание может объясняться обильным поступлением терригенного материала, поступающего как с речным стоком, так и за счёт термоабразии берегов, что приводит к резкому снижению концентрации диатомей на отдельных участках шельфа. На протяжении колонки наблюдается несколько резких падений численности, что может быть связано с изменениями гидрологических условий, либо плохой сохранностью створок диатомей в осадках колонки.

В колонке LV83-29-1 выявлена богатая диатомовая флора, насчитывающая 218 видов и внутривидовых таксонов. Определение систематической принадлежности некоторых диатомей являлось

затруднительным из-за частичного растворения их створок. Наибольшим видовым разнообразием отличаются роды *Navicula*, *Pinnularia*, *Cymbella*, *Eunotia*, *Gomphonema*, *Fragilaria*.

Доминирующим в колонке является солоноватоводный вид *Thalassiosira hyperborea*, типичный представитель планктона в окрестностях дельт и устьев рек в Арктических морях. Достигает 40-60 % во многих препаратах, максимальное содержание 60,3 % зарегистрировано в интервале 0-1 см, что соответствует современному распределению диатомей в поверхностных осадках данного района [3, 4].

Субдоминирует ледово-неритический солоноватоводный вид *Melosira arctica* с содержанием 20-30 % и пресноводный вид *Aulacoseira subarctica*, содержание которого меняется от 6 до 23 % по колонке. *A. islandica* занимает менее 12 % в препаратах, либо совсем отсутствует. Такие высокие концентрации вышеперечисленных видов свидетельствуют о выраженном влиянии пресной воды в данном участке моря.

В целом содержание морских и солоноватоводных диатомей снижается, пресноводных видов увеличивается вниз по колонке. Это может говорить о том, что во время накопления осадков с повышенным содержанием пресноводных видов влияние речного стока р. Лена было выше, чем в современности.

Автор благодарна А.С. Астахову за предоставление материала и Л.В. Осиповой (ТОИ ДВО РАН) за техническую обработку образцов и приготовление препаратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования (тема № 121021700342-9) и проекта РНФ (21-17-00081).

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. Матуль А.Г., Хусид Т.А., Мухина В.В., Чеховская М.П., Сафарова С.А. Современные и позднеголоценовые природные условия на шельфе юговосточной части моря Лаптевых по данным микрофоссилий // Океанология. 2007. Т. 47. №1. С. 90-101.
3. Обрезкова М.С., Колесник А.Н., Семилетов И.П. Распределение диатомей в поверхностных осадках морей Восточной Арктики России // Биол. моря. - 2014. - Т. 40, № 6. - С. 473-480.
4. Обрезкова М.С., Коляда А.Е., Цой И.Б. Распределение диатомей в поверхностных осадках морей Восточной Арктики (по материалам 77-го и 83-го рейсов НИС

- «Академик М.А. Лаврентьев» (2016, 2018 гг.) // Вопросы современной альгологии. 2019. №2 (20). С. 50–54. URL: <http://algology.ru/1491>
5. Пивоваров С. В. Химическая океанография арктических морей России. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — 86 с.
6. Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. М.: Научный мир, 1997. 146 с.
7. Полякова Е.И. Особенности формирования диатомовых танатоценозов в осадках арктических морей Евразии // Океанология. 1994. Т. 34. № 3. С. 444-453.
8. Cremer H. Distribution patterns of diatom surface sediment assemblages in the Laptev Sea (Arctic Ocean) // Marine Micropaleontology. – 1999, No 38. - P. 39-67.
9. Kassens, H., I. Dmitrenko, V. Rachold, J. Thiede and L. Timokhov, 1998. Russian and German scientists explore the Arctic Laptev Sea and climate system. EOS, American Geophysical Union, 79 (27), pp. 317, 322-323.
10. Polyakova Ye.I., Bauch H.A., Klyuvitkina T.S. Early to Middle Holocene changes in Laptev Sea water masses deduced from diatom and aquatic palynomorph assemblages // Global and Planetary Change. 2005. № 48. P. 208 – 222.
11. Tsoy I.B. Diatoms in surface sediments of the Siberian Arctic shelf (Laptev and East-Siberian seas) // Proceedings of the Arctic Regional Center. – Vladivostok: Dalnauka. 2001. V. 3. – P. 245-249.

ЭВОЛЮЦИЯ ЛАГУННОГО ОЗЕРА И ЛАНДШАФТОВ НА ПОБЕРЕЖЬЕ БУХТЫ КРАСНАЯ (ОСТРОВ РУССКИЙ) В СРЕДНЕМ- ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ

Т.В. Корнюшенко, Т.А. Гребенникова

*ТИГ ДВО РАН, г. Владивосток, Tatyana.Kornyushenko@yandex.ru,
tagrebennikova@mail.ru*

Введение. Комплексное изучение лагунно-озерных отложений позволяет выявить особенности развития побережий в голоцене, ответить на ряд вопросов, относящихся к проблеме колебаний уровня моря и изменения границ морских бассейнов. Палеогеографические реконструкции развития береговых озер фиксируют малоамплитудные колебания уровня водоемов и такие аномальные явления, как цунами, штормовые заплески и др. Изучение разрезов разнофациальных отложений также позволяет определить проявление антропогенного фактора в развитии ландшафтов и восстановить развитие природной среды.

Цель работы – выявить стадии развития палеоозера на побережье бух. Красная, о. Русский и определить этапы развития островных ландшафтов. Одной из задач было оценить проявление на данном участке побережья экстремальных гидрологических событий.

Материалы и методы. Изучен разрез разнофациальных отложений на побережье бух. Красная. Бухта открытая (глубина до 9 м), относится к абразионно-бухтовому типу. Здесь за штормовым валом (высотой 3.5 м.) расположена заболоченная лагунная терраса. На этом участке на абс. высоте 2 м над уровнем моря в 35 м от уреза вскрыт разрез, сложенный (снизу-вверх) светло-серыми неслоистыми алевропелитовыми илами (2.4 м), оторфованной глиной (0.10 м), торфом (0.40 м). Проведено опробование с шагом 5 см.

Результаты и обсуждение. Лагуна-палеозеро прошло 11 стадий развития. Лагуна образовалась 7500-6750 кал. л.н., когда уровень моря был близок к современным отметкам [1]. 7090-7170 кал. л.н. размеры водоема сократились. В максимальную фазу голоценовой трансгрессии (6750-5090 кал. л.н. кал. л.н.), соответствующей оптимуму голоцена, лагуна была наиболее обширной. Соленость водоема менялась, отмечено повышение солености водоема, которые совпадали с пиками трансгрессии. Выделены две закрытые фазы развития лагуны, совпадающие с кратковременным снижением уровня моря: первая 6500-6080 кал. л.н., вторая фаза ~5750-5340 кал. л.н. В закрытые фазы продуктивность диатомей существенно повышалась.

~5090 кал. л.н. озеро стало солоноватым и высокопродуктивным – численность диатомовых водорослей в отложениях максимальная. В это время в малоамплитудную регрессию на границе среднего-позднего голоцена [1] на побережье широко развивались барьерные формы. На севере о. Русский также лагуна превратилась в озеро [3].

С 4090 кал. л.н. существовало пресное озеро, которое постепенно деградировало. Около 3270±150 л.н., 3510±90 кал. л.н. резко снизились скорости накопления илов, это соответствует длительной фазе снижения увлажнения, проявившееся в континентальных районах Приморья [6]. Около ~700 кал. л.н. началось органогенное осадконакопление, связанное с обводнением озерной чаши, но минеральные взвеси в водоем в прежнем объеме не поступали. Озеро стало активно зарастать, и 360-270 кал. л.н. здесь сохранилось только мелководное озерко, которое прекратило существование в последующую кратковременную сухую фазу.

Наличие линзы песка с глубоководными видами диатомей дает основание предположить, что отложения были оставлены палеоцунами ~4920-5000 кал. л.н. Сильная инъекция морской воды была ~4510-4590 кал. л.н. Появление неритического *Chaetoceros* sp. в илах, образованных 3270±150 л.н., 3510±90 кал. л.н., ЛУ-8851, может фиксировать прохождение цунами. Есть данные по проявлению палеоцунами близкого возраста на побережье бух. Триозерье. Наиболее сильная инъекция морской воды,

зафиксированная в кровле оторфованной глины, предположительно связана с цунами 1026 г. Здесь выявлено наибольшее число морских и солоноватоводных диатомей, обнаружены фрагменты глубоководных *Coscinodiscus* sp., *Thalassiosira* sp., бентосные *Rhabdonema arcuatum* и колонии *R. adriaticum*, широко распространенного в теплых морях.

Развитие островных ландшафтов. Остров отделился от материка ~8800 кал. л.н. На острове произрастали широколиственные многопородные леса, довольно устойчивые к изменениям климата за последние 7500 кал. л. Леса с широким участием граба и других термофильных древесных пород не испытали существенных изменений в похолодания внутри атлантического периода и глобального похолодания 4800-4600 кал. л.н. Кратковременное похолодание ~4840-4760 кал. л.н. фиксируется лишь снижением содержания пыльцы граба.

Присутствие микроуглей позволяет выделить периоды активизации пожаров (~4840-4760, 4670-4590 кал. л.н.), которые, вероятно, происходили при засушливых условиях в отдельные сезоны года. Дубово-грабовые леса существовали в южной части острова до 3800 кал. л.н. В условиях снижения температурного фона доминантом стал дуб. На севере острова ~4680 кал. л.н. сократилось участие граба, и других термофильных широколиственных пород (ясеня, ореха) [3]. Причем еще в первой половине малого ледникового периода на юге острова росло два вида дуба.

Кедр корейский на острове появился 6460-6420 кал. л.н., возможно, современными аналогами хвойно-широколиственных лесов, существовавших на о. Русский в среднем голоцене, являются грабовые широколиственно-кедровые леса – редкие сообщества, сохранившиеся на юге Приморья.

Роль кедра корейского в южной части о. Русский снизилась в потепление ~5750 кал. л.н., в северной части – 5640 кал. л.н. Хвойно-широколиственные леса сохранились в горах и внутренних частях острова [3]. Восстановление кедрово-широколиственных лесов произошло во второй половине малого ледникового периода 360-300 кал. л.н.

Появление пихты на о. Русский около 2600 кал. л.н. отвечает глобальному холодному событию. На юге острова увеличение содержания пыльцы *Abies* фиксируется в первой половине малого ледникового периода, которая отличалась наиболее холодными условиями на юге Дальнего Востока.

Сосна густоцветковая сейчас отсутствует на острове. Судя по палинологическим данным, она могла произрастать, начиная с похолодания 4920 кал. л.н. и до середины XIX в. и наибольшее распространение получила в малом ледниковом периоде.

В среднем голоцене были более широко представлены орех маньчжурский и ильм, роль которых снизилась 3600-3800 кал. л.н. и особенно в малом ледниковом периоде. Участие ясеня сократилось ~5670-5500 кал. л.н. Ольхи в долине ручья и на берегу озера стало больше с 3510 кал. л.н. и особенно много в малом ледниковом периоде. Ивняки, были мало распространены, и представлены по берегам ручьев в малом ледниковом периоде.

В мелководной лагуне-палеоозере была богатая водная флора, чутко реагирующая на изменение солёности и трофности водоема. Большую роль в развитии этих геокомплексов играли малоамплитудные колебания уровня моря, контролируемые во многом развитие литодинамических процессов в прибрежной зоне. Около 700 кал. л.н. были развиты сообщества, селившиеся на влажных и заболоченных лугах, широко представлены болотные группировки, что говорит о сокращении и зарастании палеоозера. В пресноводном водоеме встречались водяной орех, болотноцветник, кубышка. На завершающем этапе развития 540-450 кал. л.н. в озере появилось редкое водное споровое (плауновидное) растение из рода *Isoetis*, предпочитающего ультрапресные водоемы. Во второй половине малого ледникового периода на болоте мог расти *Heloniopsis orientalis* (Colchicaceae). В малом ледниковом периоде при высоком увлажнении исчезли сообщества с хвойником, 270 кал. л.н. – можжевельник. Встречена пыльца травяные и кустарниковые растения, которых нет в настоящее время на острове.

Вклад антропогенного фактора в трансформацию ландшафтов. На о. Русский найдены археологические памятники бойсманской, зайсановской культур и раннего железного века – янковской культуры [4], а также памятники раннего средневековья (мохэ) [2]. Палинологические данные полученные из разреза отложений палеоозера-лагуны, указывают на следы пребывания древнего человека на берегу бухты с 6800-6700 кал. л.н. Найдена как пыльца сорных растений (маревые, подорожниковые, сурепка), так и культурных злаков (6300-6250 кал. л.н.).

Наибольший вклад антропогенного фактора в развитие ландшафтов зафиксирован в конце среднего голоцена (5750-4920 кал. л.н.). Высокопродуктивная лагуна с богатыми ресурсами способствовала оседлости и промыслу древнего человека. На берегу бух. Красная была роща шелковицы (Moraceae), которая, возможно, связана с поселением древнего человека. Обнаружена пыльца принсепии китайской (*Prinseria sinensis*), этот реликтовый вид, в настоящее время на островах не встречается. Некоторые исследователи рассматривают этот вид, как культурный. Обнаружено высокое содержание пыльцы коноплевых

(Cannabaceae), одной из древнейших сельскохозяйственных культур. Пыльца Moraceae в сочетании с *Cannabis sativa* интерпретируется, как свидетельство сельскохозяйственной экономической базы древнего населения [7]. Найдена пыльца сорных растений сопутствующая человеческому жилью – крапива, подорожник, лопух, стало много цикориевых, маревых. В это же время сократилась площадь зарослей можжевельника на берегу. Пыльца культурных злаков найдена и в илах, образованных 3840-3760 кал. л.н.

Присутствие мелких углей в отложениях показывает, что 6300-6250 кал. л.н., 6000-5920 кал. л.н., 5500-4920 кал. л.н., 4510-4420, 4170-4090 кал. л.н. регулярно проходили пожары. Скорее всего, они имели антропогенную природу. Вероятно, после пожаров в лесах возростала роль дуба.

Активная трансформация ландшафтов о. Русский началась со второй половины XIX века. Из-за активной рубки леса. К 1922 г. о. Русский был наполовину обезлесен. В палиноспектрах из поверхностного слоя антропогенные изменения в ландшафтах фиксируются, в основном, в составе трав, среди которых появилось много пыльцы полыни, маревых, только в этой части разреза есть пыльца дурнишника (*Xanthium*), который обычно растет по обочинам дорог и в канавах. Доминантом среди древесных, стал дуб монгольский. Рост содержания его пыльцы наряду с другими широколиственными таксонами может объясняться, как более теплыми условиями после малого ледникового периода, так и развитием вторичных дубняков. Для таких лесов, подверженных частым низовым палам, характерен разреженный подлесок, о чем свидетельствует сокращение разнообразия и количества пыльцы кустарников, за исключением лещины.

Литература

1. Короткий А.М., Гребенникова Т.А., Пушкарь В.С., Разжигасва Н.Г., Волков В.Г., Ганзей Л.А., Мохова Л.М., Базарова В.Б., Макарова Т.Р. Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем плейстоцене-голоцене // Вестник ДВО РАН, 1997. № 3. С. 121-143.
2. Крупянко А.А., Пискарева Я.Е., Раков В.А., Глухов А.В. Местонахождение Новик-V. Раковинная куча мохэского времени // Россия и АТР, 2016. №4. С. 34-48.
3. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Палеосреда острова Русский (Южное Приморье) в среднем-позднем голоцене // Фундаментальные исследования, 2014. № 3. С. 516-522.
4. Попов А.Н., Раков В.А., Лазин Б.В., Еловская О.А., Васильева Л.Е. Междисциплинарные исследования археологического памятника Боярин-6 (Владивосток, о. Русский) в 2013 г.: предварительные данные // Гуманитарные исследования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, 2014. №1. С. 20-27.

5. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Макарова Т.Р., Корнюшенко Т.В., Кудрявцева Е.П., Ганзей К.С., Судьин В.В., Харламов А.А. Палеозеро острова Шкота: природный архив изменений климата и ландшафтов // Геосистемы переходных зон, 2020. Т. 4. № 2. С. 230-249.
6. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Корнюшенко Т.В., Ганзей К.С., Кудрявцева Е.П., Гридасова И.В., Клюев Н.А., Прокопец С.Д. Соотношение природных и антропогенных факторов в становлении ландшафтов бассейна реки Раздольная, Приморье // Известия РАН. Серия географическая, 2020. Т. 84. № 2. С. 246-258.
7. Long T., Qin J., Atahan P., Mooney S., Taylor D. Rising waters: new geoarchaeological evidence of inundation and early agriculture from former settlement sites on the southern Yangtze Delta, China // Holocene, 2014. V. 24. № 5. P. 546-558.

ОБЗОР НЕКОТОРЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ПРОЯВЛЕНИЙ) КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ОСТРОВОДУЖНОЙ СИСТЕМЫ

К.Ю. Крамчанин¹, Ф.В. Кулаков², И.В. Тихненко³, В.А. Камынин⁴

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

²*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, fvk@igem.ru*

³*Воронежский государственный университет, г. Воронеж,
2018tiv1986@gmail.com*

⁴*ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток, vkatun@gmail.com*

Приведен обзор некоторых золоторудных месторождений (проявлений) Курило-Камчатской островодужной системы на которых авторы работали во время научных командировок, студенческих практик и производственных работ. Рассмотрены их взаимосвязи, закономерности размещения и даны рекомендации на поисковые работы.

Эпитермальное золото-серебряное месторождение Аметистовое (Север Камчатского края). Месторождение Аметистовое относится к числу наиболее крупных золоторудных объектов не только Северо-Камчатского горнорудного района, но и всего Дальнего Востока. Оно принадлежит Тклаваямскому рудному полю—одному из главных объектов Ичигин-Уннейваямского рудного района, который входит в состав Корякско-Западно-Камчатского наложенного континентального вулканоплутонического пояса и располагается в юго-западной части Корякского нагорья [4].

В строении района участвуют отложения мела и палеогена ичигинского комплекса: лавы, туфы дацитов, андезито-дацитов, субвулканические тела диоритовых порфиритов, андезитов, дацитовых порфиритов [1].

Месторождение относится к числу полихронных, полигенных вулканогенных гидротермальных золото-серебро-полиметаллических рудных объектов сравнительно «древних» (39-41 млн. лет) для Камчатского края. Оно отличается сложным минеральным составом за счет появления минералов олова и ртути и разнообразием текстурно-структурного рисунка руд. Ртуть образует не только собственные минералы, но и входит в состав самородного золота, достигая в некоторых случаях количеств равных 15-20%. На месторождении достаточно уверенно просматривается вертикальная зональность [4].

О. Шумшу (Северные Курилы). Остров Шумшу находится на самом севере Большой Курильской гряды, он граничит с северной стороны через 1-й курильский пролив, шириной до 12 километров, с полуостровом Камчатка и через 2-й Курильский пролив, шириной 1.5 километра с островом Парамушир.

В 2018 году на острове были проведены поисково-оценочные работы на золото, которые не дали существенных результатов. Предпосылками для поисков золота на о. Шумшу стали обнаруженные здесь предшественниками существенные содержания этого благородного металла. Спектральным анализом литохимической (сколковой) пробы было определено $Au > 20$ г/т (Пункт минерализации Океанский) [5].

Имеет смысл пересмотреть методику и подход к поискам золота на этом острове для перевода этого проявления в промышленную категорию, так как наличие достаточно высоких содержаний золота на о. Шумшу остается фактом. Наиболее высокие содержания золота на острове приходится на интенсивно сульфидизированные метасоматически измененные вулканогенно-осадочные породы среднего состава в северо-восточной части острова.

Айнское золоторудное месторождение на о. Уруп (Южные Курилы)

Промышленная добыча золота на Курилах ведется в южной части острова Уруп (Южные Курилы) на полуострове Ван-дер-Линд на месторождении Айнское [3]. Золотоносность здесь связана с массивом вторичных кварцитов. В кварцитах отмечаются реликтовые структуры риолитов(?), туфопесчаников, туфоалевролитов и туфоконгломератобрекчий [2].

Выводы и рекомендации. Все рассмотренные золоторудные объекты тектонически относятся к энсиматической островодужной системе на краю

Охотской плиты над зоной субдукции. Несколько севернее этой структуры находится месторождение Аметистовое, но вмещающие его вулканогены имеют и более древний возраст чем остальные рассмотренные месторождения (проявления). Это не исключает нахождения месторождения Аметистовое в прошлом в непосредственной близости к зоне субдукции. Было отмечено, что на всех рассмотренных месторождениях (проявлениях) золото-серебряная минерализация приурочена к метасоматически измененным вулканогенно-осадочным породам, часто интенсивно сульфидизированным. На всех Курильских островах и на континентальном северном продолжении этой системы (Камчатка), а также на юге Сахалина при проектировании поисковых работ на золото в полях развития вулканогенно-осадочных пород (преимущественно средне-кислого состава) следует обращать внимание на метасоматоз (пропилитизацию, окварцевание, сульфидизацию и д. р.).

В районе пункта минерализации Океанский (о. Шумшу) рекомендуется провести драгирование прилегающей Тихоокеанской акватории в связи с тем, что массивы с повышенными содержаниями золота (более 20г/т) находятся в береговых обнажениях и могут иметь свое продолжение на дне вышеуказанной акватории.

Литература

1. Газизов Р.Б. Геологическое строение и оценка промышленного значения золото-серебряного месторождения Аметистовое Тклаваямского рудного поля. Отчет Аметистовой партии по результатам предварительной разведки флангов и нижних горизонтов месторождения и поисково-оценочных работ на участках: Светлый, Северный, Рудный Тклаваямского рудного поля за 1986-1990 гг. Северо-Камчатская ГРЭ, Корф, 1990. – 1354с.
2. Камынин В.А. Геологическое строение юго-западной части о. Уруп и проект оценочных работ на золоторудном проявлении Айнском. Дипломный проект. Дальневосточный государственный технический университет (ДВПИ им. В.В.Куйбышева). Владивосток. 2008. 103 с.
3. О компании ООО «КУРИЛГЕО». [Сайт ООО «КУРИЛГЕО»] // URL: http://kurilgeo.ru/?page_id=37 (Дата обращения: 17.01.2020).
4. Округин В.М., Шишканова К. О., Яблокова Д. А. О рудах месторождения Аметистовое (Камчатка) // Горный вестник Камчатки. Выпуск № 3-4 (33-34). 2015. С 46-52.
5. Тихненко И.В. Гипергенные образования вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород острова Шумшу: Магистерская диссертация. Воронежский государственный университет. Воронеж. 2019. 139 с.

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ ЗАЛИВА ТОНКИН

А.В. Сорочинская¹, А.А. Легкодимов¹, Ф.В. Кузив²
¹ТОИ ДВО РАН, г.Владивосток, *Sorochin2001@mail.ru*,
legkodimov.aa@poi.dvo.ru
²ДВФУ, г.Владивосток, *frostimus@gmail.com*

Введение

В последнее время все большее внимание в фундаментальных и прикладных исследованиях уделяется изучению районов западной части Тихого океана в отношении их нефтегазового потенциала. Тонкинский залив в Южно-Китайском море - один из таких интересных геологических объектов. Эта акватория представляет особый интерес, так как шельф северного Вьетнама также считается перспективным на нефтегазоносность, и нефтегазовый потенциал связывают с отложениями от позднего палеозоя до плейстоцена включительно [4]. По некоторым данным запасы нефти здесь оцениваются в 2.5 млрд. т. Тонкинский залив сопряжен с одной из крупнейших дизъюнктивных структур Юго-Восточной Азии, что оказывает влияние на происходящие здесь геологические процессы.

Комплексные газогеохимические исследования (2013 г) позволили получить материалы, которые дают представление о распределении углеводородных газов, водорода и гелия, а также макро- и микроэлементов в поверхностных осадках [6]. Но поведение РЗЭ в акватории Северной части Тонкинского залива ранее не изучалось. Редкоземельные элементы (РЗЭ) являются чувствительными индикаторами геологических процессов. РЗЭ обладают близкими химическими свойствами, что ведет к слабому изменению их составов в различных геологических обстановках и позволяет РЗЭ использовать в качестве индикаторов генезиса руд и пород [2]. Изучение особенностей поведения РЗЭ в осадках Тонкинского залива позволит охарактеризовать процессы осадконакопления, поступление терригенного вещества, распространение его по акватории и влияние на эти процессы геологических и гидрологических характеристик.

Характеристика района работ

Зал. Бакбо (Тонкинский) является частью Южно Китайского моря и расположен в осадочном бассейне Бейбуван (Weibu Wan). Длина залива составляет 330 км, ширина на входе 241 км. Залив мелководен: максимальные глубины – до 70–80 м в центральной части 52 м [3].

На формирование осадочного бассейна Бейбуван оказали влияние полициклические рифтогенные процессы в Мезозое и Кайнозое, которые заложили разломы Северо-Восточного направления. Основание бассейна

осложнено депрессиями, опусканиями и поднятиями, которые фиксируются на картах спутниковых гравитационных аномалий. В Тонкинском заливе развиты тектонические депрессии северо-восточного и западного простирания, причем последние более глубокие. Бассейн пересечен разломами субширотного и субмеридионального простирания, и разломы северо-восточного – юго-западного направления преобладают и являются более глубокими. Разломы субмеридионального простирания более мелкие, но встречаются чаще [7].

Система разломов Красной Реки, с которой сопряжен Тонкинский залив является одной из крупнейших дизъюнктивных структур Юго-Восточной Азии. На территории Северного Вьетнама система представлена серией субпараллельных разломов, прослеженных на расстояние около 200 км при ширине 20-50 км от границы с Китаем вдоль долины реки Красной вплоть до ее устья. Разломы перекрываются Плиоцен - Четвертичными отложениями дельты реки Красная. Кайнозойские осадочные отложения бассейна Красной Реки прослеживаются на юго-восток в акватории Южно-Китайского моря вдоль побережья Вьетнама [3].

Климатические и гидрологические условия зал. Бакбо во многом определяются муссонным характером циркуляции атмосферы. С ноября по март над заливом дуют устойчивые и сильные ветры зимнего северо-восточного муссона. С мая по сентябрь преобладают более слабые ветры южного муссона. Ветра создают довольно сильные дрейфовые течения. В зал. Бакбо схема циркуляции вод более сложная. В сухой сезон (зимний Северо-Восточный муссон) здесь у берега также преобладает течение Южного направления, и в заливе формируется один круговорот течений циклонического типа (против часовой стрелки). Во влажный же сезон (летний южный муссон) образуются два круговорота, разделяющиеся как раз в районе морского края дельты р.Красная: северная ветвь вдоль берегового течения следует на север, южная – на юг [5]

Материалы и методы

Материалы для исследований были получены в результате отбора поверхностных донных отложений (0-10 см) по 6 профилям в Тонкинском заливе (Бакбо) в 2013 г. Отбор проб осадков осуществлялся гравитационной трубкой на глубинах от 7,5 м до 53,3 м.

Было проанализировано 35 проб. Для интерпретации результатов использовали трехкомпонентную классификацию по соотношению содержания фракций псаммита (1–0,1 мм), алеврита (0,1–0,01 мм) и пелита (<0,01 мм), предложенную в работе [Лихт и др., 1983]. Основной тип осадка по профилю – алеврит пелитовый.

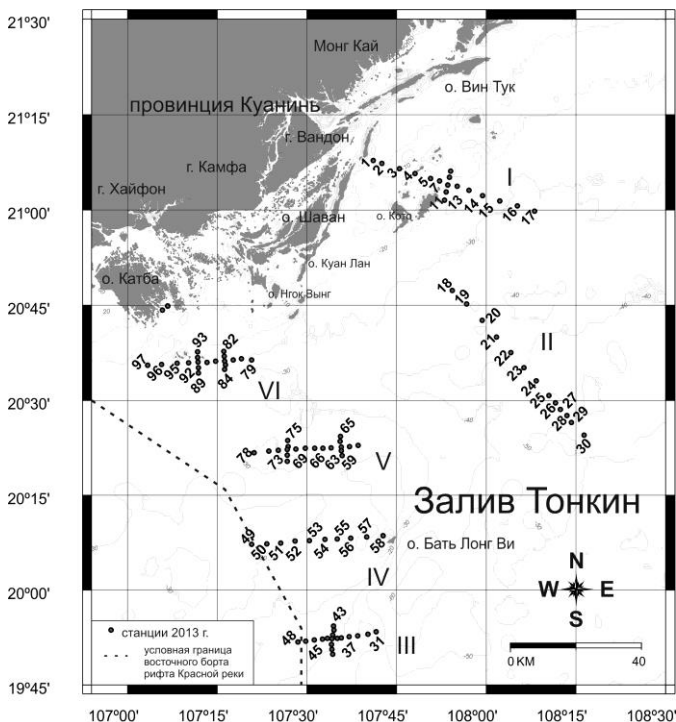


Рисунок. Карта станций

Определение содержания РЗЭ в поверхностных пробах донных осадков производилось ICP-MS на спектрально-аналитическом комплексе PLASMAQUANT 110 немецкой фирмы «Analytik Jena A» в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН. Содержание органического углерода определялось методом сжигания на анализаторе фирмы «SHIMADZU» в ТОИ ДВО РАН. Статистическая и графическая обработка результатов проводилась в пакетах стандартных программ EXCEL, карты – схемы строились в пакете ArcGis 10.4.

При интерпретации результатов содержания РЗЭ рассматриваются в виде, нормализованном на состав северо-американского сланца (Дубинин, 2006) и используются следующие критерии оценки составов лантаноидов:

$$E_{\text{ан}} = \text{Eu} / \text{Eu}^* = \text{EuN} / (\text{SmN} + \text{GdN}) / 2;$$

$$C_{\text{ан}} = \text{Ce} / \text{Ce}^* = \text{CeN} / (\text{LaN} + \text{PrN}) / 2.$$

Отношение легких РЗЭ к тяжелым рассматривается как:

$$\left(\frac{\text{Pr}}{\text{La}}\right)_{\text{TP}} = \frac{\text{Pr}/\text{PrN} + 2 \times \text{Nd}/\text{NdN}}{\text{Er}/\text{ErN} + \text{Tm}/\text{TmN} + \text{Yb}/\text{YbN} + \text{Lu}/\text{LuN}}$$

Результаты

Среднее суммарное содержание РЗЭ в поверхностных осадках Тонкинского залива - 131,62 г/т, разброс значений от 67,7 до 211,9 г/т. (среднее содержание в северо-американском сланце NASC – 172,6 г/т, в постархейском австралийском сланце PAAS – 183 г/т, в верхней континентальной коре UCC – 146,37 г/т, в андезите – 95,98 г/т) (Дубинин). Концентрации РЗЭ увеличиваются при удалении от берега, достигают максимума на профиле V, затем идет уменьшение содержания РЗЭ в осадках. Это связано, очевидно, с особенностями гранулометрического состава осадков, который формируется благодаря климатическим и гидрологическим условиям зал. Бакбо [5]. Коэффициент корреляции Al-Si-модуля и Σ РЗЭ равен 0,72 (по модулю).

На профиле V (станции 61 и 71) зафиксированы максимальные содержания РЗЭ в поверхностном слое осадка (соответственно 211,88 и 205,89 г/т) и минимальное значение Eu/Eu* (0,63). Здесь же отмечаются и максимальные содержания Al (8,74 mass %), Fe (6,11 mass %), Mn (0,17 mass %) и большинства микроэлементов: Zn (2,01 × UCC), Pb (2,59 × UCC), Th (1,79 × UCC) [7].

Нормированные на состав северо-американского сланца [1] спектры РЗЭ на всех профилях характеризуются сингенетичным (когерентным) распределением с четко выраженной отрицательной европиевой аномалией (Eu/Eu* от 0,63 до 0,89). Цериевая аномалия слабо отрицательная (Ce/Ce* от 0,85 до 0,96).

Отмечается преобладание группы легких лантаноидов над тяжелыми: $\left(\frac{\text{Pr}}{\text{La}}\right)_{\text{TP}}^{\text{NASC}}$ от 1,51 до 3,00. Все образцы обогащены средними лантаноидами: величина Gd/Yb от 1,44 до 2,47.

В данном случае, очевидно, работает механизм накопления легких лантаноидов, характерный для морских осадков: тяжелые РЗЭ имеют существенно более высокие скорости миграции для растворимых комплексных соединений по сравнению с таковыми для соединений легких РЗЭ [1]. Кроме того, легкие и средние РЗЭ преимущественно накапливаются в осадке, так как они изоморфно замещают Ca⁺² в минералах (фосфориты, полевые шпаты и т.д.).

Анализ корреляционных взаимосвязей РЗЭ с другими элементами показывает, что наиболее высокие положительные связи РЗЭ наблюдается с типично литофильными элементами Ti, Al, Fe, т.е. литогенный фактор в накоплении РЗЭ доминирует над сорбционным. Высокие коэффициенты корреляции у всех лантаноидов с алюмо – силикатным модулем

(Al₂O₃/SiO₂): от 0,67 для La до 0,91 для Lu. Это связано, очевидно, с преимущественным концентрированием лантаноидов в тонкодисперсных фракциях. Отрицательная корреляция с Si, нет корреляции с Ca, Sr, As. Слабая корреляция отмечена с C_{орг.} (0,42-0,52).

Литература

1. Вовк В.С., Гулев В.Л., Дзюбло В.Д., Соколов В.И., Тронов Ю.А., Шнип О.А. Нефтегазо-носность фундамента шельфа Северного и Центрального Вьетнама // Геология нефти и газа. 2008. № 2. С. 45–51.
2. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука. 2006. 360 с.
3. Касаткин С.А., Голозубов В.В., Фунг Ван Фать, Ле Дык Ань. Проявление кайнозойских сдвиговых дислокаций системы разломов Красной Реки в палеозойских карбонатных толщах острова Катба (северный Вьетнам) // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33, №3. С. 14-28.
4. Леонова Е.А. Геологическое строение и нефтегазоносность Шонгхонгского прогиба (северный шельф Вьетнама). // Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2016. №2 (283). С. 15-22.
5. М. В. Исупова, В. Н. Михайлов. Гидрологические процессы в устьевой области р. Хонгха (Красная) // водные ресурсы, 2011, том 38, № 5, с. 524–537
6. Шакиров Р.Б., Сорочинская А.В., Сырбу Н.С. и др. Газогеохимические особенности осадков залива Тонкин (Южно-Китайское море) // Вестник ДВО РАН. 2017. №4. С. 38-49.
7. Шакиров Р.Б., Обжиров А.И., Сырбу Н.С., и др. Особенности распределения природных газов в донных осадках и воде северо-западной части Тонкинского залива (Южно-Китайское море, Вьетнам) // Водные ресурсы. 2015. № 4. С. 178-188.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДМЕРЗЛОТНЫХ ГРУНТОВЫХ ВОД В ГУБЕ БУОР-ХАЯ, МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

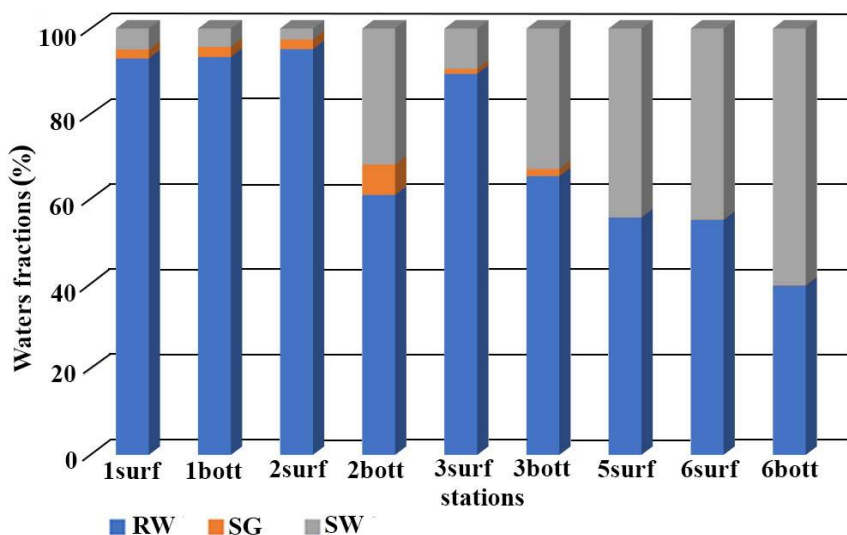
А.Э. Леусов, А.Н. Чаркин, И.И. Пипко, О.В. Дударев, Г.Ю. Павлова, Ю.А. Барабанщиков, В.А. Горячев

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, leusov.ae@poi.dvo.ru

На сегодняшний день разгрузка субмаринных грунтовых вод была признана повсеместным явлением, которое способно существенно влиять на гидрологические, гидрохимические и гидробиологические режимы прибрежных морских районов [1-5]. В то же время, вопрос о наличии разгрузки субмаринных грунтовых вод в восточно-арктических морях России долгое время был дискуссионным, по причине повсеместного

распространения субмаринных многолетнемерзлых пород, являющихся криогенными водоупорами. Однако в 2015 году в губе Буор-Хая было открыто место разгрузки субмаринных грунтовых вод, с оцененной скоростью поступления в 1.7×10^6 м³ в сутки, что превышает зимний сток арктической реки Яны. Установлено, что в данном районе большая часть короткоживущих изотопов радия (^{224}Ra , ^{223}Ra , ^{228}Ra) поступает из осадочного материала и лишь высокая активность долгоживущего изотопа ^{226}Ra обеспечивается вкладом грунтового источника. Подмерзлотный генезис грунтовых вод подтверждается низкими значениями $\delta^{18}\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ отношения и максимальной щёлочностью относительно остальных вод исследуемой акватории (губа Буор-Хая). С помощью модели трёх источников смешения «Monte Carlo» установлено, что содержание подмерзлотных грунтовых вод в районе их разгрузки достигает 7% (Рис., ст. 2 bott).

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ 19-17-00058.



Фракционирование водных масс трёх источников смешения (RW - речная вода, SG – подмерзлотные грунтовые воды, SW – морская вода) на разрезе вдоль восточного края дельты реки Лена (губа Буор-Хая), рассчитанные на основе данных $\delta^{18}\text{O}$ - солёность.

Литература

1. Burnett, W.C., Bokuniewicz, H., Huettel, M., Moore, W.S., Taniguchi, M. Groundwater and pore water inputs to the coastal zone // Biogeochemistry 66, 2003, P. 3–33. <https://doi.org/10.1023/B:BIOG.0000006066.21240.53>.
2. Charette, M.A., Splivallo, R., Herbold, C., Bollinger, M.S., Moore, W.S. Salt marsh submarine groundwater discharge as traced by radium isotopes. // Mar. Chem. 84, 2003, P. 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2003.07.001>.
3. Moore, W.S. Sources and fluxes of submarine groundwater discharge delineated by radium isotopes. // Biogeochemistry 66, 2003, P. 75–93. <https://doi.org/10.1023/B:BIOG.0000006065.77764.a0>.
4. Swarzenski, P.W., Reich, C.D., Spechler, R.M., Kindinger, J.L., Moore, W.S. Using multiple geochemical tracers to characterize the hydrogeology of the submarine spring off Crescent Beach, Florida. // Chem. Geol. 179, 2001, P. 187–202.
5. Taniguchi, M., Burnett, W.C., Cable, J.E., Turner, J.V. Investigation of submarine groundwater discharge // Hydrol. Process. 16, 2002, P. 2115–2129. <https://doi.org/10.1002/hyp.1145>.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНО-ТАТАРСКОГО БАССЕЙНА

Д.С. Максеев¹, Р.Б. Шакиров¹, К.И. Аксентов¹, С.А. Федоров²

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, taxdan@bk.ru

²Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: концентрация, компонент, донные осадки, шельф, эпибатиальная зона, фракция.

Изучение влияния островной и материковой суши на формирование современных осадков представляется крайне важным для выяснения особенностей осадконакопления и решения вопросов минерагии в конкретной акватории [5]. Татарский пролив, расположенный между разными по степени зрелости элементами суши, является хорошей лабораторией для изучения различных сторон седиментогенеза.

Отбор проб донных осадков был осуществлен в комплексной геолого-геофизической экспедицией ТОИ ДВО РАН на 54-м рейсе НИС «Академик Опарин». Исследованию подвергнута площадь центральной части Южного осадочного бассейна В структурном плане, площадь захватывает: Тернейский прогиб, Холмский прогиб, Совганское поднятие, Пионерское поднятие, Приморскую моноклираль и северную часть Татарского трога. Так как глубина отбора в среднем не превышала 250 см,

то большинство проб донных осадков представлены терригенным материалом псаммитовой и пелитовой фракций.

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа проб донных осадков, анализу с кларковыми значениями выявлена отчетливая асимметрия в накоплении ряда элементов в Южно-Татарском осадочном бассейне. На приматериковом шельфе, в прибрежной его части, степень основности осадков выше, по сравнению с осадками приостровного шельфа. На это указывают содержания таких элементов, как Si, Al, Ti, Mg, K. По ним возможно установить основность донных осадков, если провести сравнения с кларками содержаний в главных типах пород [3, 2]. Для анализа были взяты оксиды перечисленных пяти компонентов:

Кремнезем (SiO_2). Максимальное накопление - почти до 75 масс.% наблюдается в прибрежной зоне приостровного (Сахалинского) и приматерикового шельфа, в частности в северной части бассейна (на сублиторальной зоне). Минимальные содержания (68-70 масс.%) - в центральной и южной, глубоководной части бассейна (Тернейский прогиб, зона батиаля). На приостровном шельфе содержание SiO_2 выше примерно на 1-2 масс.%, чем на приматериковом. Такие содержания кремнезема свойственны бассейну Татарского пролива [5], однако содержание выше среднего [4].

Глинозем (Al_2O_3). Самые высокие содержания компонента (до 12 масс.%) в северной эпibatальной зоне бассейна, а также на континентальном шельфе. За такие высокие значения отвечают щелочные магматические комплексы Сихотэ-Алиньской складчатой системы, с которых вымывается глиноземистый материал. Самые низкие содержание в батимальной зоне (около 8 масс.%), и на приостровном шельфе - 7,1 масс.%, что противоречит [4], так как отмечается основная концентрация Al в шельфовых зонах. Содержание Al почти в 1,5 раза меньше, чем в земной коре - характерно для бассейнов Татарского пролива [4].

Оксид магния (MgO). Самые высокие содержания в батимальной зоне бассейна: там содержания достигают 5,1 масс.% - связано это с перераспределением компонентов в водном бассейне (количество от сублиторальной зоны к батимальной меняется с 2,7 до 5 масс.%), с образованием аутигенных минералов (группа брусита, доломит, магнезит) и легкой подвижностью самого магния. На приматериковом шельфе содержания окиси магния выше, чем на приостровном шельфе - разница достигает 0,4 масс.%.

Оксид титана (TiO_2). Аналогичное различие в прибрежных шельфовых зонах: содержания в приматериковой зоне 0,47-0,64 масс.% (преобладающее около 0,6 масс.%) и 0,36-0,61 масс.% в приостровной зоне

(преобладающее 0,57 масс.%). В северной, эпибатиальной зоне бассейна отмечены повышенные содержания оксида титана по сравнению с прибрежными зонами - 0,63-0,64 против 0,47-0,59 масс.%. Образует (вместе с железом), в связи с достаточным количеством, возможные прибрежные титаномагнетитовые россыпи [1].

Оксид калия (K_2O). Один из немногих компонентов, который выбивается из общей картины: здесь содержания выше на приматериковом шельфе, нежели на приостровном - 3,2 против 3,0 масс.%. Может быть связано с аутигенной минерализацией: образование калийных солей и глинистых (каолинита) минералов. Либо связано с наличием щелочных массивов (сиенитов) недалеко от суши. В северной эпибатиальной зоне бассейна так же высокие содержания K_2O - 3,0-4,1 масс.%.

Повышенное содержание рудных компонентов Fe, V, Mn наблюдаются, соответственно, в центральной, эпибатиальной, зоне бассейна, на Тернейском прогибе и частично на Пионерском поднятии. Связаны они с тонкой фракцией осадка (илами) и образуют там аутигенные минералы (оксиды и гидроксиды). Содержания компонентов в батиальных зонах (прогибы) Fe сумм, MgO, MnO (против содержаний на прибрежной зоне) соответственно (в масс.%): 4 (5); 0,02-0,03 (5); 0,1-0,2 (0,06-0,07). Отмечено повышенное содержание железа на приматериковой шельфовой зоне (до 5,5 масс.%), что также указывает на более высокую степень основности, чем на приостровной шельфовой зоне. Высокие значения отмечены для ванадия - содержания намного выше среднего, близкие к кондиционным. Сера, которая зачастую образует аутигенные марказит и пирит с железом, и концентрируется в эпибатиальной зоне (Тернейский прогиб), равномерно уменьшаясь к прибрежной зоне. Так же это может быть связано с наличием углеводородов.

В целом, полученные данные согласуются с геологическим строением суши в прибрежных зонах: на материке, недалеко от берега простирается хр. Сихоте-Алинь, в строении которого участвуют интрузии среднего и кислого (щелочно-кислого) состава; возле берега наблюдаются большие покровы вулканитов и туфов основного состава. В связи с наличием указанных интрузивов и отмечается повышенные содержания некоторых щелочных (K_2O) компонентов в донных осадках. На острове наоборот, в основном находятся миоценовые, неогеновые и меловые терригенные породы и осадочные толщи кислого состава. Повышенные содержания отдельных компонентов (SiO_2 и TiO_2) в северной шельфовой части бассейна связаны с сужением акватория в этой области, и наличием преимущественно псаммитовой и псефитовой фракций.

Экспедиция выполнялась в рамках выполнения государственного задания ТОИ ДВО РАН по программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг. раздела 8 "Науки о Земле".

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-00153 и Комплексной программы ДВО РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 годы 18-1-008.

Литература

1. Аксенова Т.П., Сараев С.В., Писарева Г.М. Осадконакопление в сублиторальной зоне Татарского пролива и современные россыпи титаномагнетита // Бассейновый литогенез и минералогия: Сб. науч. тр. / АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т геологии и геофизики. Новосибирск, 1989. с. 9-16.
2. Геохимия осадочного процесса / В.Н. Холодов. - М.: ГЕОС, 2006. 608 с.
3. Интерпретация геохимических данных: Учеб. пособие / Е. В. Складов и др. - М: Интернет Инжиниринг, 2001. - 288 с.
4. Морская геология и геологическое строение областей питания: Яп. и Охот. морей: Сб. науч. тр. / АН СССР, Дальневост. науч. центр, Дальневост. геол. ин-т. - Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. - 166 с.
5. Современное осадкообразование в Татарском проливе / В. Ф. Игнатова. - М.: Наука, 1980. - 78 с.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ОРГАНОГЕННЫХ МАССИВОВ (НАХОДКИНСКИЙ РИФ И ГОРА БРАТ) НА ЮГЕ ПРИМОРЬЯ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ СФИНКТОЗОА

Е.Н. Малышева

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

Сфинктозоа на юге приморья встречаются в известняковых массивах гор Брат, Сестра, Находкинский риф, Безымянная, Екатериновский массив. Они встречаются в составе биогермов и биостромов и выступают в роли каркасостроителей, участвующих в формировании органогенных построек и рифолюбов, просто соседствующих с другими организмами.

Сфинктозоа в органогенных массивах Южного Приморья встречаются как колониальными, которые развивались при благоприятных условиях и играли роль каркасостроителей, так и единичными таксонами, которые жили в менее благоприятных условиях.

Изучением сфинктозоа в Приморском крае ранее занималась Г.В. Беляева [1], а затем начала заниматься автор [2].

Целью работы было изучение видового разнообразия сфинктозоа в карбонатных отложениях на юге Приморья (горы Брат и Находкинский риф), а также сопутствующей фауны и проведение сравнительной характеристики между изучаемыми органогенными постройками.

Среди верхнепермских сфинктозоа на юге Приморского края обнаружены представители 17 родов. Выделяются два комплекса позднепермских сфинктозоа, возраст которых, предположительно раннекептенский (раннедзюльфинский) и позднекептенский-ранневучаптинский (познедзюльфинский-раннедорашамский). Выделенные комплексы со сфинктозоа [1] четко различаются для указанных выше возрастных уровней пермских отложений Южного Приморья и могут применяться для стратиграфических целей. Все это делает сфинктозоа важной группой для стратиграфии, палеогеографии и палеоэкологии.

Были проведены исследования на Находкинском рифе и горе Брат отобраны образцы со сфинктозоа и проведена сравнительная характеристика этих организмов.

В результате проведенного монографического изучения сфинктозоа было обнаружено несколько новых местонахождений сфинктозоа, и проведен анализ послонных изменений систематического и количественного состава. Была сделана схема находок и выполнена послонная привязка.

В процессе работы было проведено палеоэкологическое сравнение между Находкинским рифом и горой Брат на основе изучения сфинктозоа и другой сопутствующей фауны, обнаруженной в известняках данных массивов. Анализ распределения ископаемых остатков фауны показал наличие на Находкинском рифе всех стадий рифообразования (банки, биострома, биогерма, рифа). Сфинктозоа встречаются на всем протяжении рифа и образуют многочисленные колонии. На горе Брат обнаружены стадии банки, биострома, биогерма и, возможно, начальные стадии рифа. Сфинктозоа здесь не так многочисленны, как на Находкинском рифе, но также имеют очень хорошую сохранность [3].

Учитывая избирательность сфинктозоа к определенным условиям окружающей среды, можно сделать вывод об определенных палеоэкологических условиях, при которых формировались данные органогенные массивы. Результаты исследований показывают, что изучаемые рифы имели разные обстановки осадконакопления. Находкинский риф развивался на мелководье в зоне с активной

гидродинамикой. Гора Брат, наоборот, была удалена от берега, и её формирование, скорее всего, завершилось на стадии биогерма.

Общими для изучаемых рифов являются 11 родов и 10 видов сфинктозоа [3].

Проведенные исследования позволяют дополнить новыми данными интервал распространения некоторых видов сфинктозоа для более точного составления стратиграфических карт.

Литература

1. Бойко Э.В., Беляева Г.В., Журавлева И.Т. Сфинктозоа фанерозоя территории СССР. М.: Наука, 1991. 222 с.
2. Малышева Е. Н. Новые находки сфинктозоа на юге Приморского края // Вестник ДВО РАН. Владивосток, 2012. № 3. С. 107-111.
3. Малышева Е.Н. Сравнительная характеристика комплексов сфинктозоа, обнаруженных в органогенных постройках Находкинского рифа и горы Брат (Южное Приморье) // Вестник ДВО РАН. Владивосток, 2019. № 4. С. 120-127.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ И ОСОБЕННОСТИ МЕТАМОРФИЗМА МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД ОСТРОВОВ РИМСКОГО-КОРСАКОВА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

А.А. Пугачев, А.С. Теличко, А.С. Зверев, А.С. Маликов

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

Острова Римского-Корсакова расположены в заливе Петра Великого в Японском море. Отбор образцов горных пород производился при проведении геологических маршрутов в пределах пяти островов архипелага и сопровождался магнитометрическими измерениями. В геологическом строении островов принимают участие магматические (преобладают) и осадочные породы (терригенные с примесью кремнистого материала). В данной работе приведены результаты исследований петрографических особенностей магматических комплексов, представленных, главным образом, габбро, габбро-долеритами и долеритами, реже гранитами, диоритами, а также их вулканическими и вулканокластическими аналогами – базальтами, андезитами, риолитами и их туфами. По степени увеличения магнитной восприимчивости пород было выделено шесть петромагнитных комплексов [2].

К наиболее намагниченным относятся клинопироксен-плаггиоклазовые габбро-долериты, долериты и базальты шестого петромагнитного комплекса, впервые описанного на островах Попова и Риккорда [1]. На

островах Римского-Корсакова габбро-долериты и долериты состоят из удлиненных кристаллов или широких плохо индивидуализированных таблиц плагиоклаза размером от 0.8 до 3 мм, в интерстициях которых развиты ксеноморфные зерна клинопироксена, реже оливина. Суммарное содержание последних достигает 15–25%, что позволяет отнести данные породы к меланократовым разновидностям. Породы подвержены интенсивным (18–25%) вторичным изменениям изохимического (ороговикование) и гидротермального характера. Ороговикование выразилось в развитии тонкочешуйчатого буроватого биотита, гидротермальный метасоматоз – в развитии волокнистого актинолита, в сумме составляющих 20–25%. В ассоциации с вторичными минералами отмечаются зерна или кубические кристаллы магнетита (10–12%). Акцессорные минералы представлены апатитом (1–3%) и магнетитом, имеющим, вероятно, как первичную (акцессорную), так и вторичную природу. Клинопироксен-плагиоклазовые базальты также интенсивно ороговикованы (10–15%) и характеризуются спорадически проявленным эпидот-амфибол-хлоритовым замещением (10–12%) и развитием крупных кристаллов магнетита (10–12%).

К пятому петромагнитному комплексу отнесены лавы и кластолавы клинопироксен-плагиоклазовых базальтов, реже оливин(?)-клинопироксен-плагиоклазовые габбро-долериты. Базальты с разной степенью интенсивности подвержены эпидот-хлорит-актинолитовому замещению (7–25%), реже ороговикованию. Вторичные минералы развиты по клинопироксену и вулканическому стеклу, с ними ассоциирует магнетит (8–10%), который также развит как акцессорный минерал в виде микровкрапленности в основной массе. Габбро-долериты относятся к меланократовым разновидностям, характеризуются интенсивным хлоритовым замещением (20–25%) и содержат магнетит в количестве 10–12%.

Четвертый петромагнитный комплекс представлен гранитами, габбро, андезитами и базальтами, т.е. по сравнению с пятым и шестым комплексами здесь появляются кислые и умеренно кислые интрузивные и вулканические породы. Порфиновые биотит-роговообманковые граниты характеризуются достаточно свежим обликом и наличием акцессорного рудного минерала (5–7%). Биотит и роговая обманка в сумме составляют около 10% и с краев корродируются тонкочешуйчатым биотитом. В среднезернистом оливин-клинопироксен-плагиоклазовом габбро суммарное содержание темноцветных минералов составляет 15% (преобладает клинопироксен). Акцессорный магнетит (8–10%) образует крупные зерна и кристаллы. Андезиты и базальты интенсивно (15–20%) замещены хлоритом и

актинолитом, реже эпидотом, в основной массе отмечается микровкрапленность магнетита (5–8%).

Третий комплекс представлен массивными среднезернистыми биотит-роговообманковыми или лейкократовыми гранитами, реже их порфиоровыми разностями. Породы состоят из плагиоклаза, кварца, калишпата и темноцветных минералов (биотита и роговой обманки), суммарное содержание которых не превышает 8%. Вторичные изменения весьма слабые, носят поствулканический характер и проявились в развитии хлорита и эпидота (5–8%). Акцессорный магнетит встречается в редких зернах в количестве 7–8%.

Второй петромагнитный комплекс представлен в основном риолитами и андезитами. Риолиты слабо биотитизированны (8–10%) и характеризуются наличием эпидот-кварцевых гнездообразных скоплений (15%) с вкраплениями рудного минерала (1–2%). Аналогичные вторичные изменения отмечаются и в андезитах, в которых на отдельных участках проявлено актинолит-эпидот-хлоритовое замещение, а количество рудного минерала не превышает 5%. К первому комплексу отнесены клинопироксен-плагиоклазовые микродолериты, спорадически ороговикованные с развитием скоплений тонкочешуйчатого биотита (до 10%) и спорадически слабо замещенные эпидотом, актинолитом и хлоритом. Рудный минерал представлен магнетитом, возможно, сульфидами, которые в сумме составляют не более 5–7%.

Таким образом, в результате петрографических исследований были установлены типы магматических пород островов Римского-Корсакова. Среди них преобладают габбро-долериты, долериты и базальты. Суммарное содержание клинопироксена и оливина в них часто достигает 20–25%. Породы подвержены интенсивным вторичным изменениям – ороговикованию, эпидотизации, хлоритизации, актинолитизации и др. Вторичные минералы развиты в гнездообразных скоплениях, а также формируют прожилки, которые макроскопически прослеживаются в основных породах береговых обнажений. С вторичными минералами ассоциируют рудные минералы, главным образом, магнетит и, возможно, сульфиды, в сумме составляющие 10–12%. По сравнению с другими магматическими породами островов габбро-долериты и долериты характеризуются наибольшей магнитной восприимчивостью и отнесены к шестому и пятому петромагнитным комплексам. Проведенный на основе петрографических исследований корреляционный анализ разных типов пород позволил наметить признаки, с которыми связана та или иная степень магнитной восприимчивости. К этим признакам относятся особенности минерального парагенезиса, специфика и интенсивность вторичных

изменений, наличие и количество рудного минерала (магнетита, пирротина?), предполагаемый возраст пород и др. Однако для полного понимания этой связи требуется более широкий спектр исследований, который включает в себя определение радиоизотопного возраста и изотопно-геохимического состава магматических пород архипелага Римского-Корсакова.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУН ТОИ ДВО по теме № АААА-А17-117030110033-0 и, частично, при финансовой поддержке комплексной программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (тема № 18-1-008).

Литература

1. Бессонова Е.А., Никифоров В.М., Зверев С.А., Коптев А.А., Залищак В.Б. Аномальное магнитное поле северо-западной части залива Петра Великого (Японское море) / Вестник ДВО РАН. 2013. №6. С. 213–220.
2. Теличко А.С., Бессонова Е.А., Зверев С.А., Емельянова Т.А., Пугачев А.А., Маликов А.С. Результаты петромагнитных исследований горных пород архипелага Римского-Корсакова (Залив Петра Великого, Японское море) // Мат. Докладов 11 Всероссийского симпозиума «Физика геосфер. 9–14 сентября 2019 г. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2019. С. 353–355. ISBN 978-5-6043211-1-9.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ Mg-КАЛЬЦИТА В ДОННЫХ ОСАДКАХ СИПОВЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ А.С. Рубан¹, О.В. Дударев²

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

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

Формирующиеся в сиповых областях аутигенные карбонаты представляют собой уникальные архивы для изучения физико-химических условий геологической среды и биогеохимических процессов, активность которых связана с миграцией метан-содержащих флюидов через толщу отложений [1]. Ввиду того, что аутигенные карбонатные образования, осаждение которых связано с анаэробным окислением метана, сохраняют в своем составе «материнскую» углеродную метку, их детальное изучение также позволяет получить информацию об источниках метана, поступающего в атмосферу в результате его разгрузки с поверхности морского дна [2]. Более того карбонатообразование является естественным

механизмом, ограничивающим поступления метана – сильнейшего парникового газа – в атмосферу.

Исследуемые аутигенные карбонатные образования были обнаружены в пробах донных осадков, отобранных в северной части моря Лаптевых на участке разгрузки метан-содержащих флюидов. Минералогические и изотопные исследования карбонатов проводились с использованием методов сканирующей электронной микроскопии (TESCAN VEGA 3), рентгенодифракционного анализа (РДА) (Bruker D2 Phaser), оптической микроскопии (Zeiss с фотокамерой AxioCam MRc5) и хроматомасс-спектрометрии (Delta V Advantage).

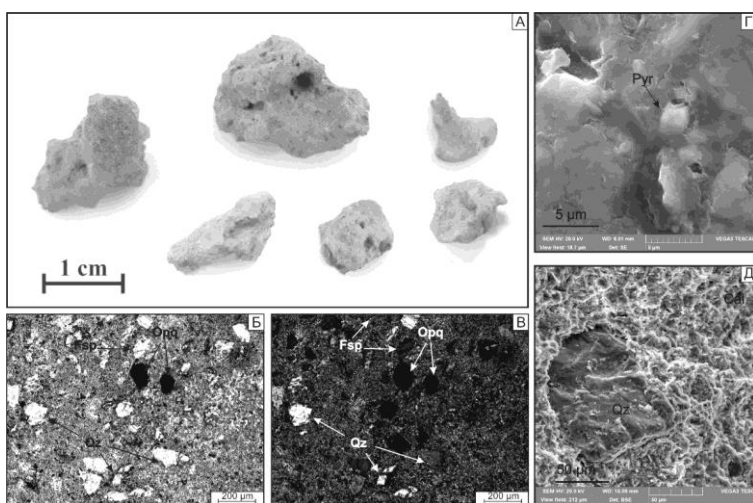


Рисунок 1. Карбонаты из донных осадков северной части моря Лаптевых: общий вид изометричных стяжений (А); микрофотографии карбонатного цемента в параллельных (Б) и скрещенных (В) николях; СЭМ-фотографии идиоморфного пирита (Г) и обломков кварца (Д) в Mg-кальцитовом цементе. Qz – кварц, Cal – Mg-кальцит, Pyr – пирит, Fsp – полевые шпаты, Opq – непрозрачные минералы.

Вмещающие донные осадки представлены очень плотным алевролитом черного цвета с примесью пелитовых частиц (13,28 %) и отчетливо выраженным запахом сероводорода. Цвет карбонатных образований от светло-серого до желтовато-коричневого, текстура плотная, биотурбированная, крепкоцементированная, структура разноразмерная. По морфологии эти образования представлены стяжениями изометричной формы с размерами в поперечнике до 2 см и конкрециями диаметром 2–3 мм (рис. 1, А). В стяжениях отмечаются пустоты в виде каверн диаметром

до 4 мм и полых каналов диаметром 1-2 мм. Происхождение подобных поровых пространств может быть связано с жизнедеятельностью трубчатых червей, вокруг которых осаждается карбонатный материал.

Результаты РДА (рис. 2) показывают, что карбонатная фаза этих стяжений представлена Mg-кальцитом (25–36%). Акцессорные некарбонатные минералы представлены в основном кварцем (22–28%), полевым шпатом (23–29), глинистыми минералами (иллит + хлорит + монтмориллонит, 18–23%), амфиболами (~1%) и галитом (~1%). Кварц и полевой шпат встречаются в виде полуокатанных зерен алевритовой размерности, беспорядочно разбросанных в карбонатной матрице (рис. 1, Б,В,Д). Результаты анализа EDS показывают, что содержание Mg в кальците варьировалось от 2% до 8%. В парагенезисе с Mg-кальцитом был обнаружен аутигенный пирит, представленный отдельными микрокристаллами кубической, иногда октаэдрической формы и отдельными фрамбоидами, внедренными в конкреции Mg-кальцита (рис. 1, Г).

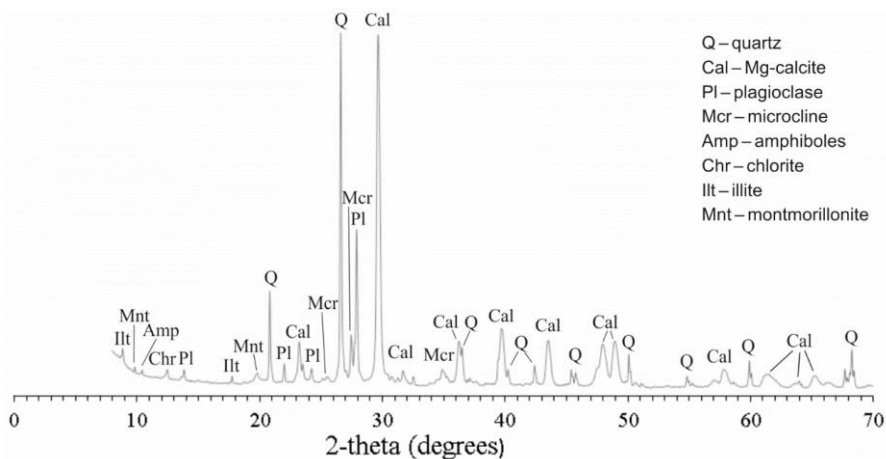


Рисунок 2. Рентгенограмма карбонатных стяжений, отобранных в северной части моря Лаптевых (образец АМК-6045)

Состав стабильных изотопов углерода и кислорода исследуемых карбонатных стяжений характеризуется крайне близкими значениями. Все образцы показывают отрицательные значения $\delta^{13}\text{C}$ (от $-27,5\text{‰}$ до $-28,2\text{‰}$ VPDB) и положительные значения $\delta^{18}\text{O}$ (от $3,5\text{‰}$ до $3,8\text{‰}$ VPDB). Как правило, карбонатам свойственны более высокие значения $\delta^{13}\text{C}$, чем в метане, участвующим в их образовании. Например, карбонаты, образованные из биогенного метана, имеют чрезвычайно низкие значения

$\delta^{13}\text{C}$ (-60‰), в то время как изотопные значения биогенного метана варьируют от -50‰ до -110‰ [3]. Отрицательный изотопный состав углерода исследованных образцов карбонатов (среднее $\delta^{13}\text{C} = -27,7\text{‰}$) указывает на то, что источником углерода является в основном термогенный метан (значения $\delta^{13}\text{C}$ термогенного метана находятся в диапазоне от -30‰ до -50‰ [4]). Следует отметить, что карбонаты, образующиеся в результате окисления сырой нефти, имеют значения $\delta^{13}\text{C}$ в диапазоне от -25‰ до -30‰ , но в этом случае на поверхности стяжений отмечаются пятна нефти [4, 10-12]. В нашем случае подобные признаки обнаружены не были. Вклад осадочного органического вещества не учитывался, поскольку общее содержание органического углерода в отложениях, собранных на участках отбора карбонатов и вблизи них, не превышает 1% [5]. Теоретические значения $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$ были рассчитаны с использованием температуры придонной морской воды и уравнения, предложенного Андерсоном и Артуром [6]. Средняя температура придонной морской воды на станциях отбора карбонатов составляла около $-1,5\text{ °C}$. Рассчитанные значения $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$ находятся в диапазоне от $-0,5\text{‰}$ до $-0,2\text{‰}$ VSMOW и сопоставимы со значениями $\delta^{18}\text{O}$ придонной морской воды в северной части моря Лаптевых (от $-0,7\text{‰}$ до $-0,4\text{‰}$ VSMOW% [7]). Равновесие $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{seawater}}$, вероятно, указывает на то, что температура поровой воды, из которой осаждались исследуемые аутигенные карбонаты, была близка к температуре придонной воды.

Присутствие исследуемых стяжений в верхнем (2-5 см) горизонте толщи донных осадков в совокупности с расчётными данными о температуре порой воды при осаждении карбонатов может говорить о близкповерхностном положении сульфат-метановой транзитной зоны. Включения аутигенного пирита в Mg-кальците является свидетельством активности процесса бактериальной сульфат-редукции при анаэробном окислении метана. Продуцируемый при этом сероводород, взаимодействуя с содержащимися в поровой воде ионами железа, способствовал осаждению моносulfидов железа, которые затем перекристаллизовывались в пирит.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 19-77-00016).

Литература

- 1 Bayon G., Dupré S., Ponzevera E., Etoubleau J., Chéron S., Pierre C., Mascle J., Boetius A., De Lange G.J. Formation of carbonate chimneys in the Mediterranean Sea linked to deep-water oxygen depletion // Nature geoscience, 2013, Vol. 6, 755–760.
2. Mansour A.S., Sassen R. Mineralogical and stable isotopic characterization of authigenic carbonate from a hydrocarbon seep site, Gulf of Mexico slope: Possible

- relation to crude oil degradation // *Marine Geology*, 2011, Vol. 281, 59–69.
3. Whiticar M.J., Faber E., Schoell M. Biogenic methane formation in marine and freshwater environments: CO₂ reduction vs. acetate fermentation-Isotope evidence // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1986, Vol. 50, 693–709.
4. Sackett W.M. Carbon and hydrogen isotope effects during the thermocatalytic production of hydrocarbons in laboratory simulation experiments // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, Vol. 42, 571–580.
5. Гринько А.А., Гончаров И.В., Шахова Н.Е., Густафссон О., Обласов Н.В., Романкевич Е.А., Зарубин А.Г., Кашапов Р.С., Гершелис Е.В., Дударев О.В., Мазуров А.К., Семилетов И.П., Черных Д.В. Характерные особенности молекулярного состава органического вещества осадков моря Лаптевых в районах аномального выброса метана // *Геология и геофизика*, 2020, №4, С. 560-585.
6. Anderson T.F., Arthur M.A. Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems. In: *Stable Isotopes in Sedimentary Geology*, Society of Economic Paleontology and Mineralogy, Short Course 10, Section 1.1-1.151.
7. Dubinina E.O., Miroshnikov A.Y., Kossova S.A., Shchuka S.A. Modification of the Laptev Sea Freshened Shelf Waters based on Isotope and Salinity Relations // *Geochemistry Int*, 2019, Vol. 57, 1–19.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД В ДОННЫХ ОСАДКАХ МЕЛКОВОДНЫХ БУХТ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

А.А. Рюмина, Е.М. Шкирникова, П.Я. Тищенко

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

Значительная часть тяжелых металлов, поступающих с материковым стоком, аккумулируется в донных осадках прибрежных акваторий. По этой причине химический состав донных осадков прибрежной зоны несет важную информацию о их поступлении в морскую среду.

Одним из факторов, определяющим накопление и распределение тяжелых металлов в донных осадках, являются органические вещества, как поступающие с терригенным стоком, так и аутогенного происхождения, в частности, образующиеся при функционировании фитобентоса.

Целью данной работы является исследование вертикального распределения свинца, меди, цинка и органического углерода в донных осадках трех мелководных бухт залива Петра Великого, две из которых (Воевода и Новгородская) имеют значительные площади, покрытые морской травой (*Zostera Marina L.*), в третьей (залив Угловой) морские травы практически отсутствуют.

Пробы донных осадков отобраны во время прибрежной экспедиции лаборатории гидрохимии в 2019 г. в точках с координатами: 43°00.434' с.ш. 131°47.149' в.д. и 42°59.882' с.ш. 131°47.558' в.д. (бухта Воевода); 42°39.323' с.ш. 130°52.326' в.д. и 42°38.132' с.ш. 130°55.334' в.д. (бухта Новгородская.); 43°18.774' с.ш. 132°00.902' в.д. и 43°14.621' с.ш. 131°58.650' в.д. (залив Угловой).

Металлы определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии на аппарате Shimadzu AA-3600. Общий органический углерод - определялся на анализаторе TOC-VCPN Shimadzu.

Керны осадков отобраны с помощью прямоточной геологической трубой (1 м). Отбор кернов сопровождался видеосъемкой.

Каждый керн был разделен на 7–9 интервалов опробования по 8–10 см каждый и на 3 фракции в зависимости от размера частиц (меньше 0,2 мм, от 0,2 мм до 0,5 мм и больше 0,5 мм). В работе приводятся данные для пяти кернов для фракций с размером зерна меньше 0,2 мм, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Содержание химических элементов и органического углерода по глубине в донных осадках бухт залива Петра Великого

Интервал опробования, см	Pb, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	C _{орг} , %
Угловое-2				
0-10	19	28	117	1,35
10-20	14	27	120	1,33
20-30	19	29	119	1,25
30-40	18	30	111	1,28
40-50	22	34	122	1,32
50-60	19	32	112	1,26
60-69	22	29	110	1,36
65-78	15	24	106	1,18
79-89	18	23	104	1,15
Воевода -1				
0-5	37	91	204	6,01
5-15	27	75	142	3,72
15-25	25	78	150	3,67
25-35	25	58	110	3,24
35-45	21	41	95	2,13
45-54,5	18	37	90	1,94
54,5-64,5	21	39	98	1,89
Воевода -2				
0-10	35	29	108	3,03

10-20	26	28	100	2,54
20-30	28	26	96	2,43
30-40	29	26	94	1,99
40-50	26	25	92	1,74
50-60	27	28	97	1,95
60-73	26	26	91	1,92
Новгородская -1				
0-13	21	18	105	3,05
13-23	24	17	112	1,76
23-33	26	17	104	1,60
33-43	24	17	104	1,64
43-53	26	17	91	1,62
53-63	27	18	106	1,40
63-73	21	19	102	1,37
73-83	23	17	104	1,40
Новгородская -2				
0-9	35	19	117	5,59
9-18	21	18	104	2,85
18-27	25	16	93	2,01
27-37	25	17	104	1,69
37-47	21	15	93	1,63
47-57	30	18	106	1,83
57-67	45	20	110	1,82
67-77	35	20	102	2,06
78-87	23	23	120	2,35

При сравнении профилей металлов по глубине видно следующее.

1) Концентрации микроэлементов донных осадков залива Угловой и бухты Новгородской мало зависят от глубины донных отложений и содержания органического углерода;

2) Концентрации микроэлементов в донных отложениях, отобранных в бухте Воевода существенно выше, особенно в керне, взятом в зарослях зостеры морской (Воевода-1). Для бухты Воевода существует линейная корреляция между концентрациями микроэлементов и содержанием органического углерода. Эту корреляционную связь можно объяснить физиологическими особенностями зостеры. В листьях зостеры синтезируется полисахарид – зостерин. Это вещество является природным комплексом по отношению к тяжелым металлам. При отмирании травы органокомплексы обогащают донные осадки микроэлементами и органическим углеродом [2].

В заливе Угловой наблюдались минимальные концентрации свинца и органического углерода, несмотря на сильное антропогенное воздействие на

акваторию залива [1]. На наш взгляд, данный факт объясняется отсутствием на дне водоема растительности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, № 20-05-00381-а и программы фундаментальных научных исследований, тема № 0211-2021-0014.

Литература

1. Лосев О.В. Анализ источников загрязнения залива Угловой (залив Петра Великого) и факторов его загрязненности // Вестник ДВО РАН. 2019. № 2. С. 95 – 103.
2. Христофорова Н.К., Чернова Е.Н. Сравнение содержания тяжелых металлов в бурых водорослях и морских травах// Доклады академии наук. 2005. Т. 400. №4. С. 571-573.

ГЕНЕЗИС И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА, ЧЁРНОЕ МОРЕ)

О.В. Соловьёва¹, Е.А. Тихонова¹, О.А. Миронов¹, К.И. Гуров², Е.А. Котельянец², Т.О. Барабашин³

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, kozl_ya_oly@mail.ru

²ФГБУН ФИЦ «Морской гидрографический институт РАН», г. Севастополь

³Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону

Российское побережье Чёрного моря обладает внушительным рекреационным потенциалом с одной стороны, и подвержено воздействию от мощного транспортного потока нефти и нефтепродуктов с другой. По разным оценкам [1,5,9] через морские порты России осуществляется транзит около 20 % отечественного и большая часть казахстанского нефтяного экспорта. Общий объем транспортных перевозок составляет от 100 млн. т до 200 млн. т в год. При таких нагрузках в российском секторе Черного моря в зону риска попадают прибрежные акватории следующих городов: Новороссийск, Геленджик, Туапсе, Сочи, Севастополь [10]. В портовой акватории Севастополя находится несколько бухт: Севастопольская,

Камышовая и Балаклавская. И, если, две первые акватории изучаются систематически [7,13,14], то интерес в отношении б. Балаклавской активизировался только в последние годы [4,11,12,15].

Наиболее информативным объектом, отражающим антропогенное загрязнение водоёма, являются донные отложения. Их загрязнение демонстрирует воздействие антропогенного фактора за длительный промежуток времени [3].

Среди загрязняющих городскую среду веществ особое место занимают полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Приоритетность исследования этих соединений связана не только с их неизбежным масштабным поступлением в окружающую среду, но и с их канцерогенными свойствами. Некоторые из многочисленных ПАУ являются доказанными канцерогенными не только для животных, но и для человека. В городскую среду эти соединения поступают преимущественно с выбросами от передвижных и стационарных источников, в результате сжигания органического топлива, и осаждаются или вымываются осадками на подстилающую поверхность. Оттуда они попадают в водные объекты, где накапливаются в донных отложениях и могут сохраняться в них в течение многих лет [8]. Как известно, сорбционную способность донных отложений в значительной степени определяет их гранулометрический состав (относительное содержание частиц различных размеров). Он в существенной мере определяет как количественный, так и качественный состав загрязнения донных отложений [2,6].

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы стала оценка уровня загрязнения донных отложений Балаклавской бухты ПАУ в зависимости от их гранулометрического состава и антропогенной нагрузки, а также выявление потенциальных источников их поступления.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили пробы верхнего слоя донных отложений, которые отбирались в октябре 2018 г. в акватории б. Балаклавской согласно карте-схеме (рис. 1), разработанной с учётом гидрологических и гидродинамических особенностей изучаемого объекта. Всего было отработано 16 станций. Глубина пробоотбора составляла от 4 до 22 м.

Отбор и подготовка проб донных осадков выполнялись в соответствии с нормативными документами [ГОСТ 17.1.5.01-80; ISO 5667-12:1995; ISO 5667-19:2001]. Гранулометрический состав определялся методом декантации и рассеивания с использованием стандартных сит согласно ГОСТ 12536-2014 (введен с 01.07.2015 г.) с рекомендациями.

Определение ПАУ в донных отложениях проводили согласно ФР.1.31.2007.03548. «Методика выполнения измерений массовой доли полициклических ароматических углеводородов в пробах почв и донных отложений пресных и морских водных объектов». Она основана на их выделении из донных осадков и почв экстракцией смесью гексана и ацетонитрила (10:1), концентрировании экстракта, хроматографическом отделении углеводородной фракции в тонком слое оксида алюминия, концентрировании его элюата. Идентификация и количественное определение ПАУ проводится методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Идентификацию и определение индивидуальных полициклических ароматических углеводородов в воде и донных отложениях проводили на жидкостном хроматографе Beta-10US фирмы «ЕКОМ» с люминесцентным детектором (RF-5301 PC) и колонкой Yanapak ODS-T. Корреляционный анализ проводился с помощью пакета анализа Microsoft Excel 2019.

В среднем по акватории б. Балаклавской общее содержание ПАУ составляло 2459,58 нг/г. В зависимости от района оно колебалось в пределах от 16,09 до 10432,00 нг/г сухого вещества. Данные показатели соответствуют уровню от природно-чистого, до умеренно загрязнённого. Повышенное содержание ПАУ приурочено к восточному берегу и центральной части бухты.

В донных отложениях бухты Балаклавская в 2018 г. идентифицировано 14 ПАУ, 4 из которых (нафталин, 2-метилнафталин, флуорен, антрацен) имели следовое содержание. Из рассчитанных молекулярных индексов следует, что обнаруженные в д.о. б. Балаклавской ПАУ имеют смешанное происхождение. Часть индексов указывают на пирогенную природу контаминантов, а другая часть – на петрогенную.

Повышенное содержание Б(а)П отмечено практически по всей акватории бухты. С учётом фракционного состава донных отложений бухты, сильно загрязнённым по этому показателю, можно считать центральный участок водоёма в районе восточного берега. Относительно благополучными по содержанию Б(а)П можно считать вершинную часть бухты и её мористые участки.

Для исследуемой акватории была проведена оценка зависимости общего количества ПАУ от доли отдельных фракций донных осадков. Количество полиаренов коррелировало с долей илистой фракции (0,05 – 0,1 мм). В связи с увеличением размера молекул, зависимость концентрации отдельных фракций ПАУ в мелкодисперсных осадках достоверно возрастала ($r=0,99$), а в крупных, обломочных отложениях – снижалась ($r=0,89$). При этом не выявлена корреляционная зависимость между

наличием мелких алевритовых фракций (до 0,05 мм) и содержанием полиароматических соединений.

Работа выполнена в рамках государственных заданий: ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ АААА-А18-118020890090-2), ФГБУН ФИЦ МГИ «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование прибрежных зон Черного и Азовского морей» (№ 0827-2019-0004), при поддержке проекта РФФИ № 18-45-920007 «Геохимия загрязняющих веществ донных отложений Балаклавской бухты (Черное море)».

Литература

1. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. М.: Ин-Октаво, 2005. 375 с.
2. Гуров К.И., Овсяный Е.И., Котельянец Е.А. и др. Геохимические характеристики донных отложений Каламитского залива Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 2014. № 5. С. 69 – 80.
3. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2015. Под. Ред. Коршенко А.Н. М.: Наука, 2016. 184 с.
4. Котельянец Е.А., Гуров К.И., Тихонова Е.А. и др. Загрязняющие вещества в донных отложениях Балаклавской бухты // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 5. С. 469 – 480.
5. Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А., Заграничный К.А. Нефтяное загрязнение побережья Черного моря в районе г. Новороссийск (по результатам многолетних исследований) // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. Естественные науки. 2013. № 1. С. 71 – 77.
6. Ломакин П.Д., Попов М.А. Оценка степени загрязнения и перспектива экологических исследований вод Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2014. № 28. С. 195 – 213.
7. Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В. Санитарно-биологические аспекты экологии севавтопольских бухт в XX веке. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. 185 с.
8. Митрофанова Е.С. Геоэкологическая оценка загрязнения рек и каналов Санкт-Петербурга полициклическими ароматическими углеводородами. Дисс. на соиск. уч. степени к. геогр. наук. Санкт-Петербург. 2016. 134 с.
9. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М: Научный мир, 2013. 432 с.
10. Немировская И.А., Онегина В.Д., Коновалов Б.В. Углеводороды во взвеси и осадках различных районов российского сектора Черного моря // Морской гидрофизический журнал. № 4. 2017. С. 48 – 60.

11. Орехова Н.А., Овсяный Е.И., Гуров К.И. и др. Органическое вещество и гранулометрический состав современных донных отложений Балаклавской бухты (Черное море) // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 6. С. 523 – 533.
12. Орехова Н.А., Овсяный Е.И., Тихонова Е.А. Органическое вещество и окислительно-восстановительные условия в донных отложениях Балаклавской бухты // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2019. Т. 5 (71), № 3. С. 49-64.
13. Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя / Под общей ред. О.Г. Миронова; ИнБЮМ НАН Украины. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. 192 с.
14. Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века / под ред.: О.Г. Миронова, С.В. Алемова; Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН. Симферополь: ИТ «Ариал», 2018. 276 с.
15. Тихонова Е.А., Котельянец Е.А., Гуров К.И. Содержание органических веществ и тяжелых металлов в донных отложениях Балаклавской бухты (Чёрное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. Вып. 3. С. 82 – 89.

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ГЕЛИЯ, ВОДОРОДА И МЕТАНА ОСТРОВА САХАЛИН

Н.С. Сырбу

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

В настоящее время как ответ на глобальные вызовы природы и возрастающую потребности общества особую важность имеют исследования на стыке наук об окружающей среде и минеральных ресурсов.

Сахалинский регион представляет огромный интерес с позиций генезиса и экологической значимости природных газов осадочных бассейнов, скоплений подводных газогидратов, геотермальных и грязевулканических систем, газонасыщенных подземных вод и морских осадков.

Большинство окраинных бассейнов, примыкающих к континенту заложено на материковом основании. В связи с этим недооценка материковой части окраинных морей, зоны перехода "континент-океан", приводит к неполному пониманию процессов распределения газогеохимических полей, напрямую связанных с основными геологическими структурами, тектоникой и углеводородным потенциалом территории. В настоящее время проблема изменчивости газогеохимических параметров в

транзитных зонах становится одной из самых актуальных и наиболее сложных.

В работе представлены результаты серии экспедиционных исследований на острове Сахалин в рамках локальных грантов и проектов совместно с коллегами из ИМГиГ ДВО РАН. Расположение объектов и районов работ показана на Рисунке 1.

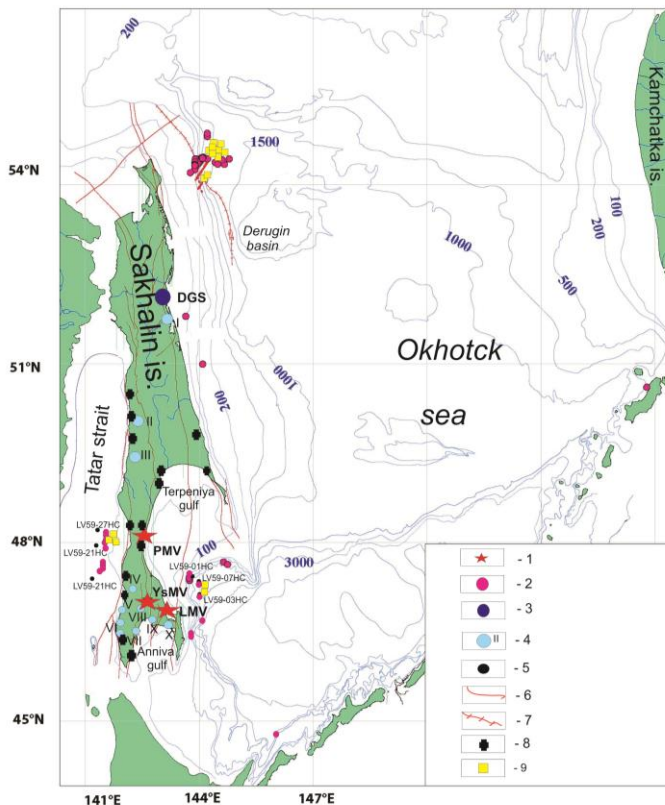


Рисунок 1. Карта района работ и основных объектов опробования относительно положения основных субмеридиональных разломов: 1 – грязевые вулканы: LMV – Лесновский, YsMV – Южно-Сахалинский, PMV - Пугачевский; 2 – газовые факелы; 3 – Дагинская газогидротермальная система; 4 – термальные и минеральные воды: I – Луньские, II – Лесогорские, III – Волчанские, IV – Синегорские, V – Холмская группа сероводородных источников, VI – Невельская группа, VII – Амурские, VIII – ручей Безмянный, IX – Приточные; X – Аннивские; 5 – станции отбора осадка

рейс 54 НИС «Академик М.А. Лаврентьев»6 – разломы; 7 – Восточно-Сахалинская сдвиговая зона; 8 – палеовулканы; 9 – газовые гидраты

Выходы газов, как правило, связаны с крупными и мелкими подвижками земной коры, антиклинальными поднятиями, грязевыми вулканами. С тектоническими линейными трещинами связаны многочисленные выходы газов, которые проявляются в виде вытянутых линейных аномальных зон по метану, его гомологам, водороду, а иногда и по углекислому газу и гелию.

За время работ в районе острова Сахалин совместно с коллегами из Института морской геологии и геофизики ДВО РАН был получен представительный фактический материал. Подавляющее число проб и образцов носят уникальный характер ввиду труднодоступности районов и их небольшой изученности в газогеохимическом аспекте.

Согласно ранее проведенным газогеохимическим исследованиям на острове Сахалин выделено две эколого-газогеохимические зоны первого порядка: Метановая и Углекисло-Метановая [5].

В последние годы газогеохимические исследования были продолжены на участках разгрузки термальных и минеральных вод на о. Сахалин. Всего на острове было опробовано свыше 16 объектов, ранее мало или совсем неизученных ввиду их труднодоступности. Полученные данные распределения метана и углекислого газа на водоминеральных участках газовой разгрузки подтвердили наличие двух газогеохимических зон.

Участки повышенных концентраций метана также локально выявлены в южной части острова (Рисунок 2). Воды опробованных Холмских источников принадлежат к сульфидным (слабосероводородным) и распространены в южной части Сахалина [2; 4], на западном побережье (Татарский бассейн) и приурочены к зонам тектонических разломов.

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, а также гелия до 900 нл/л и водорода до 500 нл/л. В некоторых пробах обнаружены – этан. В составе глубинных флюидов наряду с водородом, метаном и другими углеводородами присутствуют кислые серосодержащие газы. Поскольку температурный градиент в земной коре составляет около 20 °С/км, то из глубин к поверхности поступает теплая вода, подкисленная сильными кислотами. Повышенные концентрации метана, наличие тяжелых углеводородных газов и водорода можно связать с повышением сейсмотектонической активности в регионе, которая, видимо, усиливает продвижение газов в зонах проницаемости.

Очевидна связь проявлений минеральных вод с нефтегазопроявлениями и проявлениями газогидратов южной части Татарского пролива, находящие во влиянии проницаемой зоны Западно-Сахалинского разлома. По данным нескольких морских экспедиций, проведенных в рамках международного проекта Сахалин (2012-2016 гг., руководитель – д.г.-м.н. Обжиров А.И.) 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.



Рисунок 2. Группа сернистых источников на юго-западном побережье о. Сахалин: а) сернистые источники, белый налет; б) сернистый источник в районе г. Невельск, измерение дебита и температуры; в) Холмские сернистые источники

Повышенная сейсмичность юга острова, а также наличие в этом районе активных грязевых вулканов и минеральных источников

свидетельствует об активности разломов. Дополнительным локальным источником углекислого газа, а также водорода в юго-западной зоне являются палеовулканы, однако, они имеют единично-групповое распространение (рис. 1).

В центральном Сахалине, в районе Синегорских, Волчанских и Лесогорских минеральных источников расположено локальное поле повышенных концентраций гелия (от 315 до 625 ppm). Образование контрастного распределения поля гелия коррелирует с системой разломов и зонами проницаемости, а также выходами гранитоидов в пределах центрального Сахалина (лангерийский гранодиоритовый комплекс) [1].

Глубина сахалинских сдвигов определена по глубине очагов землетрясений – 15-20 км. По данным сейсмических исследований [3] таким глубинам соответствуют зоны трещиноватости, насыщенные флюидами, соединяющиеся с вертикальными разломами сдвигового типа. В таких местах происходит активная миграция газов. Вдоль Хоккайдо-Сахалинского и Центрально-Сахалинского разломов вертикальная амплитуда смещения блоков составляет 400-600 м. В периоды землетрясений в районе глубоких тектонических прогибов, вероятно, может происходить процесс смешивания глубинных флюидов и седиментогенных растворов, содержащих углеводородные газы, а гелий и водород и др. Во время сейсмо-тектонического сдвига происходит миграция флюидов в проницаемые зоны. Флюиды заполняют трещины и выдавливаются вверх по разлому. Если разлом перекрыт осадочным чехлом (северо-восточная часть Сахалина), то флюиды скапливаются в пластах пористых и трещиноватых пород, а если разлом сообщается с земной поверхностью (южная и юго-западная часть Сахалина), то флюиды выходят на поверхность.

Исследования выполнены при поддержке гранта Президента МК-357.2021.1.5.

Литература

1. Александров И. А., Ч.-П Ляо (С.-Р. Liao), Б.-М Чжан (В.-М. Sahn), Голозубов В.В., Ивин В. В., Степнова Ю.А. Эоценовый возраст гранитоидов Охотского гранодиоритового комплекса (южный Сахалин) // ДАН, 2018, том 483, № 5, с. 528–532.
2. Иванов В.В. Курортные ресурсы Сахалина и перспективы их лечебного использования: отчёт комплексного отряда Сахалинской экспедиции. Москва: Центральный институт курортологии, 1954. 265 с.
3. Николаевский В.Н., Рамазанов Т.К. Генерация и распространение волн вдоль глубинных разломов // Известия АН СССР. Физика Земли, 1986, № 10, с. 3.

4. Челноков Г.А., Брагин И.В., Харитонов Н.А., Бушкарева К.Ю., Лаврушин В.Ю., Жарков Р.В., Челнокова Б.И., Карабцов А.А. Геохимия минеральных вод и гидрогенных отложений Антоновского сероводородного минерального источника (о. Сахалин) // Тихоокеанская геология, 2020, Т. 39, № 6, с. 98-113. DOI: 10.30911/0207-4028-2020-39-6-98-113

5. Shakirov R. B., Syrbu N. S. Natural Sources of Methane and Carbon Dioxide on Sakhalin Island and Their Role in the Formation of Ecological GasGeochemical Zones // Water Resources, 2013, Vol. 40, No. 7, pp. 752–760.

КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОДЫ ЯПОНСКОГО МОРЯ В КОНТЕКСТЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

А.О. Холмогоров

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, kholmogorov.ao@poi.dvo.ru

Пространственное распределение метана, растворенного в морской воде, во взаимосвязи с сейсмической активностью играет исключительно важную роль. На примере 54ого рейса НИС «Академик Опарин» рассмотрена концентрация метана в приповерхностном слое морской воды (нМ/л), на основе полученных результатов можно проследить связь сейсмической активности и концентрации метана в пробах морской воды.

Отбор проб морской воды для определения концентрации метана с дискретностью 1-2 часа осуществлялся по ходу движения судна с помощью судового заборного проточного устройства на глубине 4 м от поверхности моря, которая затем поступала в термосолинограф SBE 21SEACAT (USA, Washington) для непрерывного определения температуры и солености. Для выражения концентрации метана в морской воде выбрана объемная доля — нл/л, которая является одной из общепринятых размерностей при газогеохимических исследованиях [1].

Для сопоставительного анализа были взяты данные о землетрясениях, произошедших в период проведения рейса 29.09.2017- 31.10.2017 в пределах разломов рассматриваемой области (Японское море), данные взяты с сайта <https://earthquake.usgs.gov>.

В период проведения работ (экспедиции) зарегистрировано 33 землетрясения. В основном это поверхностные землетрясения с глубинами до 70 км, 4 события можно отнести к промежуточным, с глубиной 100-300 км и 3 - к глубокофокусным с глубинами 358км, 368 км, и 374 км.

Выявлена тенденция к повышению концентрации метана в пробах морской воды после землетрясений, что указывает на связь данных явлений. Возможно, после землетрясений флюидопроводящие каналы литосферы

деформируются либо закупориваются, что приводит к накоплению поднимающихся газов в теле литосферы. Резкий рост концентрации и такой же резкий спад с последующим сохранением уровня концентрации вызван интенсивным выбросом скопившихся газов через новые флюидопроводящие каналы литосферы, образованные избыточным давлением газов и флюидов. При этом явление автершоков представляется следствием закупорки каналов, приводящей к образованию новой области скопления газов и их взрыва.

Выявлена тенденция к понижению уровня концентрации метана в пробах морской воды перед землетрясениями.

На примерах видно падение уровня концентрации метана на 10-30% за 2-4 часа до землетрясения (Рисунок). Подобная картина наблюдается перед каждым землетрясением, произошедшим в рассматриваемый период. Причем уровень концентрации метана снижается не зависимо от глубины землетрясения.

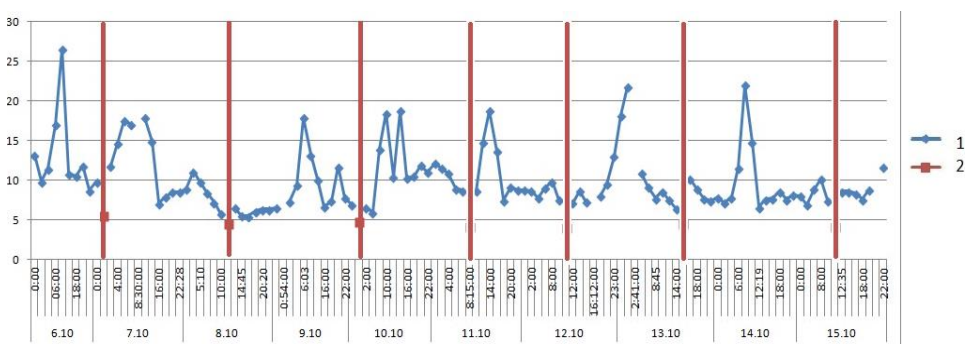


Рисунок. Диаграмма изменения концентраций метана до и после сейсмических событий с 6.10.2017 по 15.10.2017. 1 – концентрация метана, нл/л в поверхностном слое морской воды; 2- землетрясение

Триггер землетрясения неким образом связан с процессом глубинного образования метана и его трансферта к поверхности литосферы.

Термохимические и ядерные реакции, участвующие в формировании и трансферте метана, связаны с механизмом сейсмической активности.

Исходя из данных по снижению уровня концентрации метана в пробах морской воды, можно предположить, что относительно интенсивное движение литосферных плит происходит примерно за 2-4 часа до их контакта друг с другом, приводящего к землетрясению. Видимо, факторы,

приводящие литосферные плиты в движение, связаны с процессами образования и трансферта метана к поверхности.

Литература

1. Yamamoto S., Alcauskas J.B., Crozier T.E., 1976. Solubility of methane in distilled water and seawater. J. Chem. Engineering Data 21, 78-80. <http://dx.doi.org/10.1021/je60068a029>

ПАЛЕООКЕАНОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ ТИХООКЕАНСКИХ ВОД В АРКТИКЕ

М.В. Шаповалова, А.Н. Колесник

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, shapovalova.mv@poi.dvo.ru

Северный Ледовитый океан играет важную роль в регулировании климата Земли через механизм обратной связи лед-альbedo. Уникальные температурные и соленосные качества влияют на перемещение вод внутри бассейна и на силу глубоководной конвекции. Так же отличительными особенностями обладает процесс взаимодействия с водами других бассейнов. Оценивая степень взаимодействия в системе Тихий океан–Северный ледовитый океан–Атлантический океан, можно проследить историю развития данных водных бассейнов. Получаемые данные в ходе изучения водной толщи и донного осадка на границе Северного ледовитого и Тихого океана можно применить для палеореконструкций [5].

Целью работы явилось обобщение информации по изменчивости голоценового чехла Чукотского моря для выявления особенностей вещественного состава донных осадков, указывающих на привнос осадочного вещества водами, поступающими через Берингов пролив. В основу исследования были положены данные по химическому составу донных осадков и голоценовых отложений Чукотского моря из баз данных ТОИ ДВО РАН [1,2] и результаты изучения их минерального состава по данным различных авторов [3,4,5,6].

Выявлено, что наиболее характерными индикаторами осадочного вещества, поступающего через Берингов пролив является содержание некоторых биогенных и редокс-чувствительных элементов в соотношении с типичными литогенными (Ca/Al; Sr/Al; Mg/Al, As/Rb), а также содержание хлорита, соотносено к минералам характерным для терригенного стока бассейна Северного Ледовитого океана. Вариации значений (хлорит + каолинит)/иллит и хлорит/ иллит в донных осадках чукотского моря,

отражают долю вещества, поступившего из Берингова моря и, с учетом перераспределения его течениями, могут использоваться для оценки притока тихоокеанских вод через Берингов пролив.

Проведенное исследование показало, что, опираясь на данные полученные в ходе геохимических и минералогических исследований, применимы для палеореконструкций палеоокеанологических условий на границе Чукотское море, Тихий океан.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, грант № 21-17-00081.

Литература

1. Astakhov, A.S. et al. Sediment geochemistry and diatom distribution in the Chukchi Sea: Application for bioproductivity and paleoceanography // *Oceanography*. 2015; 28(3):190–201.
2. Astakhov A.S. et al. Reconstructing ice conditions in the southern Chukchi Sea during the last millennium based on chemical composition of sediments and diatom assemblages // *Mar Geol*. 2020 г.;106220.
3. Kobayashi D. et al. Distribution of detrital minerals and sediment color in western Arctic Ocean and northern Bering Sea sediments: Changes in the provenance of western Arctic Ocean sediments since the last glacial period // *Polar Sci*. 2016;10(4):519–31.
4. Nwaodua, E.C. et al. Diffuse spectral reflectance of surficial sediments indicates sedimentary environments on the shelves of the Bering Sea and western Arctic // *Marine Geology*. 2014; 355, 218–233.
5. Ortiz J.D. et al. Provenance of Holocene sediment on the Chukchi-Alaskan margin based on combined diffuse spectral reflectance and quantitative X-Ray Diffraction analysis // *Glob Planet Change*. 2009;68(1):73–84.
6. Swärd H. et al. Sedimentary proxies for Pacific water inflow through the Herald Canyon, western Arctic Ocean // *arktos*. 2018;4(1):1–13.

СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПА КАРТЫ РИСКОВ МОРЕЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

А.К. Юмашева, А.С. Харыбина, А.И. Зворыкина

РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, г. Москва
anastasiayumasheva@yandex.ru, anfisa.haribina@yandex.ru,
purple.lobster1998@gmail.com

Необходимость в ресурсах приводит к большому вовлечению Арктического региона в экономическое развитие, и прежде всего морских

районов, где добыча углеводородов становится важнее транспортной функции и использования биологических ресурсов.

В мировой практике добычи нефти и газа Арктический регион не имеет аналогов, поэтому требуются новые подходы к анализу рисков, которые возникают в процессе эксплуатации месторождений. Но исследования, посвященные геоэкологическим проблемам региона, относятся в основном к его континентальной части.

Эксплуатация морских объектов топливно-энергетического комплекса несет значительную опасность, что приводит к возникновению различных рисков [1]. Существует несколько видов рисков, такие как: индивидуальный, экологический, дифференцированный, допустимый, интегральный, социальный, экономический и другие [2].

Наряду с разработкой нефтяных и газовых месторождений существует целый комплекс геоэкологических проблем, который в перспективе затронет не только Баренцево и Карское моря, но и такие моря, как море Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское, так как их недостаточно изученная шельфовая зона является самой обширной и мелководной.

В ходе работы были проведены исследования антропогенного воздействия объектов не только на акваторию, но и на окружающую среду. Автором представлен прототип «Карты риск-факторов Арктического шельфа», включающий районы размещения месторождений, лицензионных участков, ареалы обитания морских животных и т.д.

Исследуемая территория: акватория Арктического региона Российской Федерации, а именно моря российского сектора арктического шельфа, вот они слева направо: Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море, Чукотское море.

Целью исследования является создание прототипа карты геоэкологических рисков Арктического шельфа.

Для достижения намеченной цели в ходе работы предполагается решение следующих задач:

1. Определение рисков, которые могут возникнуть при эксплуатации месторождений нефти и газа Арктического шельфа;
2. Построение прототипа карты природных и техногенных факторов геоэкологического риска Арктического шельфа.

Данные и методы исследования. Для выполнения поставленных задач использовалось программное обеспечение (ПО) ArcGIS, которое представляет собой систему для построения геоинформационной системы любого уровня. ArcGIS помогает использовать географическую информацию для проведения анализа, лучшего понимания данных и принятия информационно-обоснованных решений. Данное ПО позволяет

визуализировать большие объёмы статистической информации, имеющей географическую привязку. В среде создаются и редактируются карты всех масштабов: от планов земельных участков до карты мира. Также в программу встроен широкий инструментальный анализа пространственной информации.

Информационные массивы, содержащиеся в географической информационной системе, следует объединять в базу данных, которая должна позволять хранить разнородные пространственные данные, такие как векторные слои, растровые данные, легко масштабировать решение по хранению данных, максимально эффективно использовать имеющиеся пространственные данные.

Понятие геоэкологического риска. Под геоэкологическими рисками понимаются все возможные негативные проявления опасности и ущерба на окружающую среду, население, хозяйство, биологические объекты, вытекающие из геологической составляющей окружающей природной среды.

Данный вид риска необходимо рассматривать как сочетание вероятности и последствий проявления опасности, вытекающее из комплексного негативного воздействия на все компоненты среды.

Для геоэкологических рисков можно использовать следующую классификацию, выделенную на основе понятия «экологический риск»:

1. Природно-геоэкологические риски, обусловленные отрицательными изменениями в природной среде.

2. Техногенно-геоэкологические риски, обусловленные появлением и развитием техносферы: риск устойчивых техногенных воздействий, связанный с изменениями окружающей среды в результате обычной хозяйственной деятельности; а также риск катастрофических воздействий, связанный с изменениями окружающей среды в результате техногенных катастроф, аварий, инцидентов. [3]

К природно-геоэкологическим рискам можно отнести геодинамические риски: нестабильность сейсмической ситуации в Арктическом шельфе, распространение многолетнемерзлых пород, вулканизм, мелкозалегающие отложения, насыщенные газом и слабонесущие грунты.

Техногенно-геоэкологические риски связаны непосредственно с месторождениями. В основном, сказывается влияние на недра, но также на каждой стадии происходит физическое воздействие на биоту и акваторию в целом, а именно – шумовое, электромагнитное воздействие, тепловое загрязнение в результате сброса воды из контуров охлаждения; также возможно попадание в морскую среду малотоксичных отходов, что

приводит к гибели водоплавающим птиц и рыб, Основные источники загрязнения атмосферы – дизельные двигатели, передвижные электростанции, цементировочные агрегаты.

Ядерные отходы и твердые отходы, также можно отнести к техногенно-геоэкологическим. Известно, что проводились атомные взрывы в буровых скважинах для целей глубинного сейсмического зондирования земной коры, а около архипелага Новая Земля затоплены суда с радиоактивным топливом.

На основе произведенного анализа были выделены несколько основных рисков, которые будут нанесены на карту.

Создание прототипа карты геоэкологических рисков. Данные по участкам и месторождениям были взяты с сайта «Роснедра», векторная карта Арктического шельфа Российской Федерации – с ресурса «ВСЕГЕИ», остальные данные были позаимствованы из опубликованных источников в сети Интернет. Так как карты Национального атласа Арктики не находятся в свободном доступе, многие были взяты со следующего сайта URL: [«https://geographyofrussia.com/»](https://geographyofrussia.com/). На Интернет-портале «OPENMAP.MINERAL.RU» создана карта лицензионных участков и месторождений, а также заповедников и районов проведения геологоразведочных работ (ГРП).

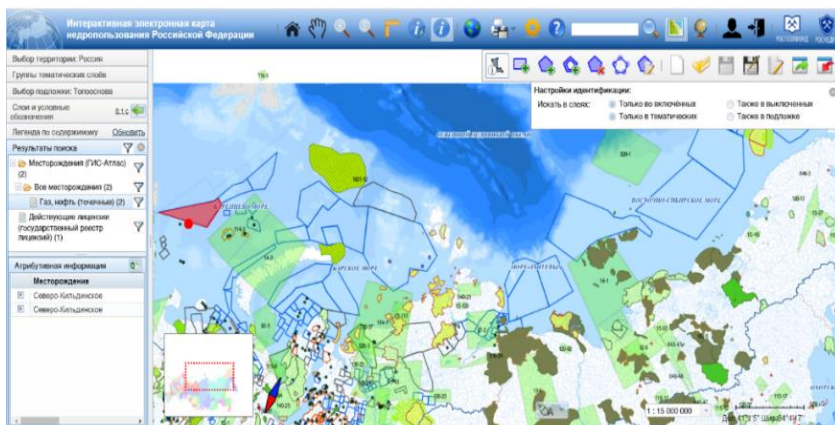


Рисунок 1. Карта лицензионных участков и месторождений

В качестве основы использовалась векторная карта циркумполярного субконтинента Арктика (из ресурса «ВСЕГЕИ»), имеющая пространственную привязку. Далее были нанесены месторождения и лицензионные участки (Рисунок 1), затем слой «ООПТ». Все ООПТ

выделены единым цветом. Также добавлен слой участков проведения геологоразведочных работ – «ГРР», привязаны к векторной основе и нанесены на карту захоронения радиоактивных отходов и ядерные испытания, а также следующим слоем – очаги землетрясений.

Также на данной карте необходимо отразить слой биологических ресурсов, в качестве примера был выделен район обитания моржей.

В легенде содержатся символы, использующиеся для отображения объектов карты. В легенде имеются небольшие фрагменты – образцы символов на карте. По умолчанию, такими образцами являются точки, прямые линии или многоугольники, соответствующие символам карты. (Рисунок 2).

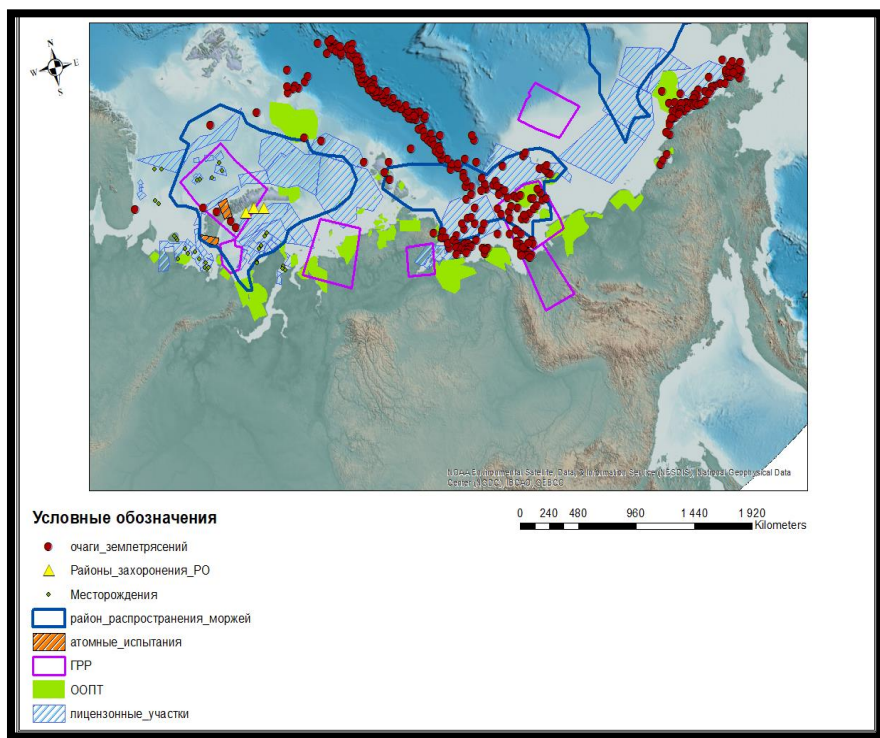


Рисунок 2.Итоговая комплексная карта

Выводы. По итоговой карте видно насколько близко расположены ООПТ к лицензионным участкам, на которых ведется либо добыча углеводородов, либо геологоразведочные работы.

Также по карте можно сказать, что для некоторых участков геодинамические риски являются одним из ведущих.

Местонахождение затопленных радиоактивных отходов также представляют серьезную опасность, так как рядом располагаются очаги землетрясений.

В работе не использовались карты Национального атласа Арктики, так как в нем созданы карты в основном для континентальной части Арктики. Данный атлас не представлен в открытом доступе. Было найдено несколько карт в государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». Атлас достаточно сложно актуализировать, поэтому придется выпускать несколько томов, что неудобно для пользователя, так как почти каждый год проводятся новые исследования. В 2020 году подход создания печатных атласов является устаревшим, так как нужные карты необходимо отцифровывать, если использовать печатную версию атласа. При использовании электронной версии, скорее всего, нельзя скопировать карту без потери качества изображения.

Исходя из этого, актуальной и современной технологией является создание интерактивной карты с возможностью включения и составления необходимых слоев. Пример современного интерфейса геоинформационных систем (ГИС) представлен на сайте orenmap.mineral.ru. Данный тип ГИС достаточно удобен, так как есть возможность вывода карты в виде раstra нужного масштаба, а также можно создать комплексную карту путем совмещения нескольких слоев.

Автором был создан прототип карты на базе ArcGIS, который в дальнейшем необходимо разрабатывать в сети Интернет на основе исследований, сделанных различными научными как российскими, так и зарубежными институтами, чтобы каждый человек мог иметь доступ к актуальной информации о состоянии Арктического шельфа, а также Арктики в целом. В качестве платформы для электронной интернет-карты можно использовать ПО ArcGIS – онлайн.

Подверженность месторождений нефти и газа Арктического региона одновременно различным группам рисков обуславливает необходимость синергетического подхода к их анализу и минимизации на разных стадиях ведения проектов.

Литература

1. Аковецкий В.Г. Лекции «Геоэкологические аспекты в задачах оценки рисков развития геодинамических процессов», – М.: РГУ нефти и газа НИУ) имени И.М. Губкина, 2020. С. 11-20.

2. Воронина Е.П. Анализ рисков при реализации проектов освоения нефтегазовых ресурсов Арктического шельфа / Е.П. Воронина – М.: Региональные проблемы преобразования экономики : Проблемы современной энергетики и топливно-энергетического комплекса, 2012. С. 159-168.
3. Молочко А.В. Геоинформационное картографирование геоэкологических рисков эксплуатации нефтяных месторождений / А.В Молочко – М.: Известия Саратовского университета Т. 10. Сер. Науки о Земле (1), 2010. С 35-40.

ХРЕБЕТ ЯМАТО: ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Т.С. Якимов

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, yakimov-timur@mail.ru

Интрузивные породы широко развиты на дне Японского моря и играют важную роль в строении складчатого фундамента шельфа, материкового склона и подводных возвышенностей, характеризующихся “субконтинентальным” типом коры. Эти породы слагают крупные тела, протягивающиеся на десятки и сотни километров. По возрасту, составу и геологическому положению среди них Е.П. Леликов, А.Н. Маляренко[1] выделяют шесть возрастных комплекса на основании К-AR метода: архей-раннепротерозойский, позднепротерозойский, среднепалеозойский, позднепалеозойский, раннемеловой и позднемеловой. Кроме того, в Японском море обнаружены включения гранитоидов в кайнозойских вулканитах [Леликов Е.П., Маляренко А.Н. 1994]. В данной работе будут рассмотрены следующие возрастные комплексы: позднепротерозойский и позднепалеозойский.

Позднепротерозойские гранитоиды находятся в западной оконечности Южного хребта и западного склона Северного хребта возвышенности Ямато. Выделяются гранодиориты, граниты и гнейсо-граниты. Первые представляют из себя биотит-роговообманковые гранодиориты с гипидиоморфной структурой состоящую из плагиоклаза (50-60%), кварца (15-20%), роговой обманки (до 30%) и биотита (до 5%). Граниты состоят из плагиоклаза (30-35%), кпш (30-35%), кварца (до 30%), биотит, цирконы, апатиты и рудные минералы (до 5%), лейкократовость гранитов проявляется в увеличении доли кпша до 40%. Гнейсо-граниты имеют именно гранитную гетеробластовую структуру, с присущей им, гнейсовой текстурой, состоящие из кпша (до 40%), плагиоклаза (до 20%), и биотита (до 15%).

Позднепалеозойские гранитоиды располагаются в складчатом фундаменте подводной возвышенности Ямато, которые в свою очередь

делятся на 2 основных типа пород: гранодиориты, граниты. Гранодиориты неравномернозернистые (средне-мелкозернистые) породы с гранитной структурой состоящие из плагиоклаза (40-45%), кварца (до 20%), роговой обманки (до 25%) и биотита (до 15%), акцессорными минералами представлены апатит и магнетитом. Граниты слагают большую часть массива биотит и роговообманково-биотитовыми разностями. Биотитовые граниты – это обычно среднезернистые, реже мелкозернистые и неравномернозернистые (средне-мелкозернистые) разности, состоят из плагиоклаза (45-55%), кпш (10-30%), кварца (25-30%) и биотита (5-10%), акцессорные минералы представлены цирконом и апатитом. Роговообманково-биотитовые граниты имеют гранитную типичную гранитную структуру и сложены плагиоклазом (40-60%), пертитизированный кпш (25-30%), кварцем (25-30%), биотитом (5-10%) роговой обманкой (до 5%), акцессориями в виде магнетита и апатита.

Таким образом гранитоиды позднепротерозойского и позднепалеозойского возраста имеют структурные, минералогические и петрографические различия находясь в центре Японского моря, соответственно следует рассматривать Южное и Северное Ямато, как две комплексные структуры, претерпевшие различного рода изменения.

Выполнено при поддержке Темы № 4 «Газогеохимические поля Мирового океана, геодинамические процессы и потоки природных газов, влияющие на формирование геологических структур с залежами углеводородов и аутигенной минерализации» (0211-2021-0006), научн. рук. Обжиров А.И. Регистрационный номер: 121021500055-0

Литература

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

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

А.В. Яцук, А.И. Гресов, Д.А. Швалов

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

В современной структуре шельфа юго-восточного сектора Восточно-Сибирского моря (ВСМ) выделяются Айонский, Лонгский и Пегтымельский осадочные бассейны, история газогеохимических исследований которых может быть подразделена на три этапа. Начальный этап, относящийся к

периоду 1967–1989 гг., характеризовался изучением состава газа пород и газопроявлений материкового и островного обрамления Чаунской губы. Первые сведения о газонасыщенности донных осадков в районе острова Айон и пролива Лонга получены сотрудниками НИИГА в период 1975–1981 гг. Позже, сотрудниками треста «Дальвостуглеразведка» и производственного объединения «Северовостокзолото» было проведено изучение состава газа и газоносности угольных пластов и вмещающих пород, а также газонасыщенности четвертичных прибрежных и донных осадков Чаунской и Валькарайской впадин с целью определения степени газобезопасности буровых работ на участках выходов пластов угля под наносы.

В период 1990–2007 гг. проведено обобщение данных газогеохимических работ в пределах Восточно-Арктического шельфа [1, 7] на фоне единичного газового опробования донных осадков Чаунской губы и изучения газонасыщенности поверхностных и придонных вод [6].

Начиная с 2008 года и по настоящее время, изучение газонасыщенности донных осадков юго-восточного сектора ВСМ носит целенаправленный и комплексный характер. Определение газонасыщенности донных отложений осуществлялось совместно с изучением газонасыщенности поверхностных и придонных вод, приводной атмосферы в комплексе с геофизическими исследованиями [2, 3, 5].

Опробование донных осадков осуществлялось дночерпателями (5 станций в интервале отбора 0.2–0.4 м от дна) и керноотборными трубками (57 станций – 0.6–4.0 м) на глубинах моря 3–45 м, с поинтервальным отбором проб грунта в герметические сосуды и последующей их дегазацией и анализом газа. В процессе опробования отобрано 124 герметических сосуда и проанализировано 267 проб газа, извлеченных на разных стадиях дегазации.

В геологическом строении юго-восточной части ВСМ принимают участие допалеозойские образования и палеозой-кайнозойские отложения, в которых выделяются пять структурно-стратиграфических сейсмокомплексов, разделенных между собой поверхностями несогласий: девон-среднепермский, верхнепермско-нижнеюрский, верхнеюрско-барремский, апт-верхнемеловой и кайнозойский.

В составе газа пород и донных осадков установлены: углеводородные газы (CH_4 , УВГ - C_2 – C_5 и их непредельные гомологи), CO_2 , H_2 , He, N_2 и Ar, в редких случаях CO и H_2S [3, 4]. В донных отложениях присутствуют сингенетические УВГ современных осадков и эпигенетические – буроугольной формации, газовых скоплений и залежей кайнозойского возраста, мезозойских магматических пород, угольных и газовых залежей, а

также предполагаемых мезозой-палеозойских битуминозных, конденсатногазовых, газоконденсатных, нефтегазовых, газонефтяных скоплений и залежей, характеризующиеся индивидуальными геохимическими показателями, близкими по значениям к аналогам Ленского, Анадырского и Сахалинского углефтегазоносных бассейнов.

Формирование газонасыщенности донных отложений и газогеохимических полей района исследований в большинстве случаев связано с процессами смешивания различных по генезису УВГ, подчиняющегося правилам аддитивности, т.е. путем последовательного накопления миграционных УВ. Это наглядно наблюдается в осадочных бассейнах, где продукты генерации разных газоматеринских источников, вследствие вышеуказанного процесса суммируются, а генетические особенности газовой фазы донных осадков как бы сглаживаются, при этом отмечается доминирование геохимических показателей УВГ более газоносного газоматеринского источника.

Установлено, что газонасыщенность донных осадков в целом зависит от комплексного влияния геологических факторов, основными из которых являются история геологического развития, тектоника, магматизм, литологический состав и катагенез осадочных пород, геокриологические условия, угленосность, битуминозность и нефтегазоносность района исследований.

Авторы выражают искреннюю благодарность руководству АО «Севморгео», а также своим коллегам по ТОИ ДВО РАН Шакирову Р.Б. и Астахову А.С. за поддержку газогеохимических работ в морских экспедициях, Калинчуку В.В. за помощь с отбором проб донных осадков.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-05-70038 Ресурсы Арктики: «Геологические условия формирования аномальных парагенетических углеводородных и геохимических ассоциаций в донных отложениях Восточно-Сибирского моря и прилегающего российского сектора Северного Ледовитого океана».

Литература

1. Геология и полезные ископаемые шельфов России. Арктические моря России. Атлас. Лист 3–14. М.: Научный мир, 2003, 278 с.
2. Гресов А.И., Шахова Н.Е., Сергиенко В.И., Семилетов И.П., Яцук А.В. Изотопно-геохимические показатели углеводородных газов донных осадков шельфа Восточно-Сибирского моря // ДАН. 2016, № 6, с. 711–713.
3. Гресов А. И., Обжиров А. И., Яцук А. В., Мазуров А.К., Рубан А.С. Газоносность донных осадков и геохимические признаки нефтегазоносности шельфа Восточно-Сибирского моря // Тихоокеанская геология, 2017, № 4, с. 78–84.

4. Гресов А.И., Яцук А.В. Геохимия и генезис углеводородных газов Чаунской впадины и Айонского осадочного бассейна Восточно-Сибирского моря. Тихоокеанская геология, 2020, Том 39, № 1, С. 92–101.
5. Шакиров Р.Б., Сорочинская А.В., Обжиров А.И. Геохимические аномалии в осадках Восточно-Сибирского моря // Вестник КРАУНЦ. 2013, № 1, с. 98–110.
6. Шахова Н.Е., Семилетов И.П., Бельчева Н.А. Растворенный метан в шельфовых водах Арктических морей // ДАН, 2005, № 4, с. 529–533.
7. Яшин Д.С., Б.И. Ким. Геохимические признаки нефтегазоносности Восточно-Арктического шельфа России // Геология нефти и газа. 2007. № 4, с. 24–35.

СЕКЦИЯ Экология океана. Биоресурсы океана

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ И ЭСТУАРИЯ Р. АМУР

Е.В. Анисимова, П.Я. Тищенко

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

Река Амур при впадении в Татарский пролив образует эстуарий – Амурский лиман. Побережье Сахалина изолирует лиман от Охотского и Японского морей, соединяя их мелководными и узкими проливами. С речным стоком в Амурский лиман попадает несколько миллионов тонн пресной воды ежегодно, благодаря обширному речному стоку.

Лабораторией гидрохимии ТОИ ДВО РАН была проделана исследовательская работа по изучению нижнего течения и эстуария р. Амур с отбором проб на гидрохимический анализ с CTD зондированием 14-20 июня 2005 г. и 5-20 июня 2006 г.

Важно отметить, что в период исследований Амур подвергался активному загрязнению через приток р.Сунгари химической промышленностью Китая. В Татарском проливе нефтяные компании прокладывали нефтепровод.

Цель данной работы – исследование процессов, определяющих трансформацию вещества на геохимическом в зоне смешения речных и морских вод, установление гидрохимического статуса района.

За время экспедиции было выполнено 48 гидрохимических станций, из них 11 в реке. На каждой станции проводилось зондирование профиля температуры и солености с помощью зонда. Измерялись следующие параметры: соленость (кондуктометрический метод), рН, щелочность, концентрация кислорода, кальция, главных биогенных элементов (силикатов, фосфатов, нитритов, нитратов и аммония), гумусовых веществ (ГВ), хлорофилла "а" и глубины эвфотического слоя по диску Секки.

Таблица. Потоки биогенных веществ, гумусового вещества (ГВ) и растворенного неорганического углерода (DIC)

	Расход, м ³ /с	P, т/сут	Si, т/сут	NO ₂ ⁻ , т/сут	NO ₃ ⁻ , т/сут	NH ₄ ⁺ , т/сут	DIC т/сут	ГВ, т/сут
июнь 2005	20 805	28.4	3952.1	–	270.3	–	6021	10883
июнь 2006	12 854	18.3	1846.7	2.5	95.1	43.5	4409	5753

Для кальция, магния и щелочности было установлено консервативное смешение речных и морских вод в Амурском лимане. Однако, биогенные вещества, гумусовое вещество, растворенный неорганический углерод (DIC), проявляют отклонения от линейной зависимости между параметром и соленостью для эстуария реки Амур. Были рассчитаны потоки растворенных веществ, поставляемых рекой Амур в приемные бассейны (Таблица).

Несмотря на то, что исследования в разные годы проводились в июне, водность реки значительно отличалась, так в 2005 году в период исследований расход реки составил 20 805 м³/с, а в следующем году он был равен 12 854 м³/с. Различие расхода повлияло и на значение потоков веществ, поставляемых с речным стоком. Из таблицы 1 видно, что в 2005 году поток кремния был существенно выше, как и других гидрохимических параметров.

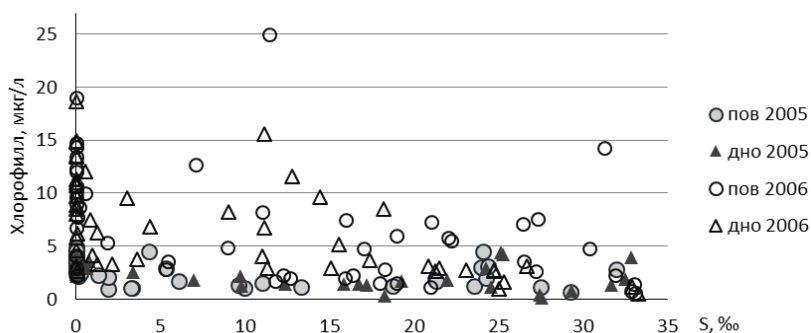


Рисунок. Распределение концентрации хлорофилла-а относительно солёности в нижнем течении р. Амур и его эстуарии

В июне 2005 году концентрация хлорофилла-а в районе исследований не превышала 5 мкг/л в морских и пресных водах. Парциальное давление углекислого газа в речной части достигало 1705 мкатм, что говорит о выделении CO₂ из реки в атмосферу. В 2006 году концентрации хлорофилла в реке были существенно выше (Рисунок 1). Наибольшие значения концентрации хлорофилла а удалось зафиксировать в эстуарии в 2006 году с максимумом в зоне смешения с солёностью 12 ‰. Меньший расход реки способствовал лучшему проникновению фотосинтетически активной радиации в воду и соответствен вызвал более интенсивное цветение воды летом 2006 года. Вероятно, благодаря интенсивному цветению фитопланктона в этом году, значения рН было выше, но при этом сохранялась пересыщенность вод по отношению к атмосферному

углекислому газу (парциальное давление углекислого газа речных вод было около 800 мкатм). Высокая концентрация хлорофилла и пересыщенность вод по отношению к атмосферному углекислому газу в нижнем течении Амура свидетельствует о высокой скорости минерализации аллохтонного органического вещества.

Выводы

1. Потоки основных биогенных веществ, гумусового вещества и растворенного неорганического углерода, поставляемых Амуром, увеличивается в соответствии с ростом расхода реки.

2. Высокая концентрация хлорофилла в р. Амур, достигающая 20мкг/л и 25 мкг/л в эстуарии, указывает на высокую первичную продукцию для этого сезона. Однако не смотря на высокую продуктивность, река является источником углекислого газа, что означает высокую скорость минерализации аллохтонного органического вещества.

3. Благодаря высокой микробиологической активности, речная часть эстуария является также источником углекислого газа для атмосферы. Эта часть эстуария может рассматриваться как гетеротрофный бассейн.

4. В противоположность речной части, внешняя область эстуария является стоком для атмосферного углекислого газа, что обусловлено интенсивным фотосинтезом. Внешнюю часть эстуария можно рассматривать как автотрофный бассейн.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ТОИ ДВО РАН, участвовавшим в полевых и лабораторных работах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-55-53015-а и программы фундаментальных научных исследований, тема № 0211-2021-0014.

Литература

1. Соколов А.А. Гидрография СССР. (Воды суши) // Ленинград: Гидрометеиздат. 1964. 535с.
2. Тищенко П.Я., Тищенко П.П., Звалинский В.И., Шкирникова Е.М., Чичкин Р.В., Лобанов В.Б. Карбонатная система Амурского залива (Японское море) летом 2005 г. // Изв.ТИНРО. 2006. Т.146. С.235-255.
3. Rashid M.A. Geochemistry of Marine Humic Compounds. Springer-Verlag, N.-Y., Berlin, Helderberg, Tokio. 1985. 300p.

ОСОБЕННОСТИ ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В ЗАРОСЛЯХ *ZOSTERA MARINA L.* В БУХТЕ ВОЕВОДА (АМУРСКИЙ ЗАЛИВ, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Ю.А. Барабанщиков¹, П.Я. Тищенко¹, П.Ю. Семкин¹, В.И. Звалинский¹,
Т.А. Михайлик², П.П. Тищенко¹

¹ТОИ ДВО РАН, Владивосток, biw90@mail.ru

²Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург

В настоящее время существует много доказательств, что в Мировом океане происходят такие глобальные изменения как деоксигенация и ацидификация [1, 2]. Эти глобальные изменения затрагивают как прибрежные воды, так и открытую часть Мирового океана. Объяснения этим изменениям для прибрежных акваторий и открытой части Мирового океана даются с разных позиций. Большинство исследователей связывают глобальные изменения открытого океана с потеплением, которое уменьшает растворимость кислорода и приводит к стагнации вод, т.е. уменьшению скорости подачи кислорода с поверхностных горизонтов в глубинные слои океана. Изменения в прибрежных акваториях объясняют, главным образом, эвтрофикацией (обогащением биогенными веществами прибрежных вод), увеличением интенсивности продукции и деструкции органического вещества [3]. Ацидификацию Мирового океана связывают, как правило, с ростом концентрации углекислого газа в атмосфере [2]. Мелководные бассейны с лугами *Zostera marina L.* (ZM) рассматривают в качестве поглотителей атмосферного углекислого газа, способных сдерживать дальнейший рост содержания углекислого газа благодаря высокой продуктивности [4]. Очевидно, что в результате фотосинтетической активности ZM происходит не только поглощение углекислого газа и образование органического вещества (вегетативные и генеративные побеги и корневища), но также выделение в среду кислорода.

Цель данной работы: установление особенностей проявления продукционной активности мелководных бассейнов, покрытых лугами ZM, на примере б. Воевода (Амурский залив, о. Русский). Для реализации этой цели были проведены мониторинговые наблюдения гидрологических параметров (температура, соленость, мутность) и продукционных параметров (содержание растворенного кислорода и флуоресценции хлорофилла). Результаты мониторинговых наблюдений для восьми с половиной месяцев (с 22 сентября 2012 г. по 7 июня 2013 г.) с интервалом измерений 3 часа (станция WQM) и 1 час (ARO-датчик кислорода) обсуждаются в данной работе.

Бухта Воевода располагается в восточной части мористого района Амурского залива, глубоко вдаваясь в западное побережье о. Русский. В б. Воевода было обнаружено 6 участков, занятых зарослями ZM.[5] Все эти участки располагаются в верхней сублиторали на глубинах не более 10 м и характеризуются наличием илистых и илисто-песчаных грунтов. Луга ZM расположены в спокойных, защищенных от волнового воздействия местах, таких как южное мелководье бухт Воевода, Круглая и Мелководная.

Установлено два типа изменчивости содержания кислорода в среде бухты Воевода: а) долгопериодная изменчивость, обусловленная сезонными изменениями среды; б) суточная изменчивость в период ледостава, обусловленная интенсивностью проникновения ФАР в подледную воду. Низкие концентрации кислорода, достигающие уровня гипоксии, наблюдались в осенний сезон. Для зимнего и весеннего сезонов содержание кислорода находилось, как правило, на уровне 100 – 130% насыщения. Высокую суточную изменчивость наблюдали в период ледостава, в отсутствие снега. В феврале амплитуда суточных колебаний концентрации кислорода достигала 730 мкмоль·кг, с трехкратным пересыщением по отношению к атмосферному кислороду воздуха. Установлено, что максимальная скорость продукции кислорода, отнесенная к 1 грамму сырой массы ZM, равна 6,5 мгО₂·час·г. На суточную динамику кислорода в морской воде оказывает влияние физиологические особенности ZM (воздухоносные полости), которые могут играть роль буферной системы в поддержании стабильной концентрации кислорода в темный период суток. Полусуточные приливы в бухте, воздействуя на воздухоносные полости, увеличивают-уменьшают поток кислорода от ZM в морскую воду в период отлива-прилива, соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, № 20-05-00381-а и программ фундаментальных научных исследований, темы АААА-А17-117030110042-2 и АААА-А17-117030110038-5.

Литература

1. Schmodtko, S.; Stramma, L.; Visbeck, M. Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, 2017, no.542. <https://doi.org/10.1038/nature21399>.
2. Dore, J.E.; Lukas, R.; Sadler, D.W.; Church, M.J.; Karl, D.M. Physical and biochemical modulation of ocean acidification in the central North Pacific. *PNAS*, 2009, vol. 106, pp. 12235-12240. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906044106>.
3. De Jonge V.N., Elliot M., Orive E. Causes, historical development, effect and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. *Hydrobiology*, 2002, vol. 475/476, pp. 1–19.

4. Nellemann C., Corcoran E., Duarte C. M., Valdés L., De Young C., and Fonseca L. Blue Carbon, A Rapid Response Assessment. *GRID-Arendal: United Nations Environment Programme*, 2009, p.1-80.

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

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ БИООПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОД НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

В.А. Бучельникова, Т.Я. Чурилова, Т.В. Ефимова, Н.А. Моисеева, Е.Ю.

Скореход

Федеральный исследовательский центр "Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН", г. Севастополь, salo@ibss-ras.ru

Исследование вариабельности первичной продукции в зависимости от условий среды не теряет своей актуальности в связи с тем, что первичный синтез органического вещества определяет в целом продуктивность водоемов. Цель настоящей работы состоит в оценке сезонной вариабельности показателей продуктивности прибрежных вод в зависимости от влияния растворенного и взвешенного вещества, что критично для условий существования прибрежного фитопланктона.

На основе данных многолетнего (с 2009 года) биооптического мониторинга в прибрежных водах Черного моря в районе Севастополя и использования спектральных моделей [1] проведена оценка диапазона вариабельности концентрации хлорофилла a (Chl- a), спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона ($a_{ph}(l)$), неживым взвешенным веществом ($a_{NAP}(l)$) и окрашенным растворенным органическим веществом ($a_{CDOM}(l)$), а также оценка влияния соотношения между отдельными оптически активными компонентами среды на спектральный состав излучения, проникающего в водную толщу и способность фитопланктона поглощать свет и использовать его на фотосинтез в теплый и холодный периоды года.

Прибрежные воды (фиксированная станция исследований, расположенная в 2-х милях от входа в Севастопольскую бухту) характеризовались высокой вариабельностью исследованных биооптических показателей вод в поверхностном слое моря. Летом и зимой значения Chl- a изменялись от 0,22 до 1,1 (медиана 0,51) $mg \cdot m^{-3}$ и от 0,56 до 2,2 (медиана 1,0) $mg \cdot m^{-3}$, значения $a_{NAP}(440)$ находились в диапазоне от

0,0061 до 0,068 (медиана 0,024) м^{-1} и от 0,0061 до 0,013 (медиана 0,025) м^{-1} , значения $a_{\text{CDOM}}(440)$ варьировались от 0,035 до 0,24 (медиана 0,085) м^{-1} и от 0,064 до 0,19 (медиана 0,083) м^{-1} соответственно. Связь между $a_{\text{ph}}(l)$ и $\text{Chl-}a$ описывалась степенной зависимостью, коэффициенты которой различались между летним и зимним периодом и соответствовали значениям, установленным для верхнего перемешанного слоя глубоководной части моря [3]. Значения $a_{\text{ph}}(440)$ варьировались практически в той же степени, как и $\text{Chl-}a$. Однако, удельные показатели $a_{\text{ph}}^*(440)$ значительно различались (до двух раз). Применение разработанной ранее модели спектрального проникающего излучения для равномерного перемешивания зимой и двуслойной модели летом показало, что в средних условиях в летний и зимний периоды года проникающее на глубину излучение (I_{max}) было одинаковым – на 528 нм. Это связано с тем, что для лета и зимы получено одинаковое среднее соотношение между $a_{\text{ph}}(l)$, $a_{\text{NAP}}(l)$ и $a_{\text{CDOM}}(l)$ (28/16/56 летом и 30/16/54 зимой). В случае относительного увеличения растворенного вещества до максимально отмеченных за период исследований, значение I_{max} смещалось в длинноволновую часть (до ~550 нм), а при минимальном – в коротковолновую (до ~520 нм). Среднее значение по освещенному слою удельной эффективности поглощения света фитопланктоном (\bar{a}_{ph}^*) изменялось летом от 0,011 $\text{м}^2 \cdot \text{мг}^{-1}$ при максимальном содержании оптически активных компонентов до 0,051 $\text{м}^2 \cdot \text{мг}^{-1}$ – при минимальном. Характер влияния содержания взвешенных и растворенных веществ зимой был аналогичен отмеченному летом, но в более узком диапазоне (0,011-0,026 $\text{м}^2 \cdot \text{мг}^{-1}$), что в основном было связано с различием между сезонами по удельным значениям показателей поглощения света. В летний и зимний периоды года значения первичной продукции в поверхностном слое моря в среднем равнялись 18 и 15 $\text{мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$, в случае минимального содержания взвешенного и растворенного вещества – 31 и 18 $\text{мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$, а для максимального – 11 и 10 $\text{мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$ соответственно.

Влияние содержания оптически активных компонентов на первичную продукцию связано не только с влиянием на прозрачность вод, но также и с изменением спектрального состава света. Использование спектрального подхода к оценке первичной продукции позволяет учитывать спектральные свойства света в море и показателя поглощения света фитопланктоном, а также квантовую эффективность использования поглощенных квантов на фотосинтез [2], что определяет его точность в сравнении с методами, основанными на интегральной фотосинтетически активной радиации.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант №18-45-920070) и в рамках темы гос. задания №АААА А19 119061190081 9.

Литература

1. Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Кривенко О.В., Ефимова Т.В., Моисеева Н.А. Спектральный подход к оценке скорости фотосинтеза фитопланктона в Черном море по спутниковой информации: методологические аспекты развития региональной модели // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Биология». 2016. Т. 9. №4. С. 367-384. <https://doi.org/10.17516/1997-1389-2016-9-4-367-384>. <http://elibr.sfu-kras.ru/handle/2311/30322>
2. Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Сосик Х.М. Зависимость квантового выхода фотосинтеза от поглощения света фитопланктоном: получение количественных связей для оценки первичной продукции в Черном море // Морской гидрофизический журнал. 2021. Т. 37. №1. С. 73–84. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2021-1-73-84>
3. Churilova T., Suslin V., Krivenko O., Efimova T., Moiseeva N., Mukhanov V., Smirnova L. Light Absorption by Phytoplankton in the Upper Mixed Layer of the Black Sea: Seasonality and Parametrization // *Frontiers in Marine Science*. 2017. V. 4, artical 90. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00090>. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2017.00090/full>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИПИДНОГО СОСТАВА ЭКСТРАКТА, ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ БУРОЙ ВОДОРОСЛИ *SARGASSUM PALLIDUM*

Е.С. Другова

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

На сегодняшний день морские водоросли представляют значительный интерес для фармакологической, косметической и пищевой промышленности, благодаря входящим в их состав биологически активным соединениям. Это уникальное самовозобновляемое сырье, способное в короткие сроки формировать большую биомассу, синтезировать химические соединения, обладающие высокой биологической активностью. В составе водорослей обнаружены белки (5-15%), углеводы (70%), липиды (1-3%), а также фенольные соединения, ферменты, витамины, макро- и микроэлементы и др. [2]. Согласно данным литературы бурые водоросли являются наиболее богатым источником сырья для получения полисахаридов - фукоиданов, ламинаранов и альгиновых кислот, широко используемых в качестве пищевых добавок и энтеросорбентов. Большинство работ отечественных и зарубежных авторов посвящено исследованию фармакологических свойств именно полисахаридной

составляющей бурых водорослей, и значительно меньше сведений о других компонентах, входящих в их состав. Среди них значительное место занимает липидная фракция, к которой относятся нейтральные липиды, гликолипиды, фосфолипиды, полиненасыщенные жирные кислоты. Липиды выполняют важные функции в клетках растений: являются источником энергии, структурными компонентами клеточных мембран, а также участвуют в процессах фотосинтеза [7]. Содержание липидов в бурых водорослях составляет до 3% от сухой массы и зависит от внешних условий и физиологического состояния растений. Определено, что фосфолипидами у бурых водорослей обогащена нижняя часть таллома водорослей. Уровень фосфатидилэтаноламина и фосфатидилглицерина в верхней части слоевища наибольший, а фосфатидилхолина – в основании таллома. Они представляют большую пищевую фармакологическую ценность благодаря высокому содержанию незаменимых ненасыщенных жирных кислот – линоленовой, арахидоновой, эйкозапентаеновой. Основные гликоглицеролипиды в бурых водорослях: моногалактозилдиацилглицерин, дигалактозилдиацилглицерин, сульфохиновозилдиацилглицерин. Также липиды бурых водорослей богаты полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), на долю которых приходится до 40 % всех жирных кислот. Они обладают высокой биологической активностью, не синтезируются в организме человека, поэтому относятся к эссенциальным, то есть незаменимым в питании веществам [3].

Sargassum pallidum является наиболее распространенным видом водорослей, произрастающих в прибрежных водах Японского моря Дальнего Востока. Этот вид относится к отряду бурых водорослей семейства Sargassaceae. *S. pallidum* традиционно используется в странах Юго-Восточной Азии, как пищевой продукт с высокой биологической ценностью, а также как сырье для получения препаратов альгиновой кислоты (полисахаридный комплекс). Кроме того, данный вид используется в виде водных и спиртовых экстрактов в традиционной китайской медицине [6].

Нами был исследован состав липидной фракции, выделенной из водно-этанольного экстракта таллома бурой водоросли *Sargassum pallidum*, для изучения возможности ее применения в качестве сырьевого источника эссенциальных фосфолипидов.

Целью настоящей работы явилось изучение липидного состава, выделенного из водно-этанольного экстракта таллома бурой водоросли *Sargassum pallidum*.

Образцы водоросли *S. pallidum* собирали в августе-сентябре в заливе Петра Великого Японского моря (бухта Алексева, о. Попова). Выборка

водорослей составляла по 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. Для выделения липидной составляющей экстракта и исследования ее состава, экстракт предварительно освобождали от спирта путем упаривания 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 [4]. Общее содержание липидов определяли весовым методом. Качественный анализ липидов проводили с помощью микротонкослойной хроматографии на силикагеле, используя системы для разделения растительных гликолипидов [9] и фосфолипидов [8]. Хроматографическое распределение нейтральных липидов по фракциям и их количественное определение проводили методом одномерной микротонкослойной хроматографии [5].

Суммарное содержание общих липидов в экстракте *Sargassum pallidum* составляло 26 мг на 1 г сухого образца (Таблица).

Таблица. Химический состав липидного комплекса в экстракте *Sargassum pallidum*

Показатели	мг/г сухой ткани
Общие липиды	26,0±0,23
Общие гликолипиды	10,8±0,11
Общие нейтральные липиды	12,6±0,12
Общие фосфолипиды	2,60±0,02
Фракции нейтральных липидов (% от суммы всех фракций)	
Диацилглицерины + моноацилглицерины	15,02±0,68
Свободные стеринны	19,04±1,62
Свободные жирные кислоты	12,64±0,97
Триацилглицерины	37,33±1,23
Эфиры стерина	10,06±0,56
Остаточная фракция	5,91±0,37
Фракции фосфолипидов (% от суммы всех фракций)	
Фосфатидилэтаноламин	48,3±1,78
Фосфатидилглицерин	28,5±0,81
Фосфатидилинозит	10,5±0,54
Другие	12,7±0,38

При исследовании липидной составляющей экстракта установлено, что на долю гликолипидов приходилось 41,5%, нейтральных липидов – 48,5% и полярных липидов – около 10% от общей суммы липидов. В составе нейтральных липидов в процентном отношении преобладали триацилглицерины (37,33%) и свободные стеринны (19,04%). Известно, что триацилглицерины морских растений, как и наземных, исполняют роль запасных липидов, в то время как стеринны являются обязательными компонентами плазматических мембран, фотосинтетического аппарата, мембран лизосом и мембран аппарата Гольджи [1]. Остальные фракции нейтральных липидов, среди которых были обнаружены диацилглицерины, свободные жирные кислоты и эфиры стериннов, составляли в среднем 9-12% от общего количества нейтральных липидов. При анализе фосфолипидного состава были обнаружены следующие известные представители этого класса: фосфатидилэтаноламин, фосфатидилглицерин, фосфатидилинозит. В состав других фракций, согласно литературным данным, входит редкий фосфолипид – фосфатидил-О-[N-(2-гидроксиэтил)глицин] (ФГЭГ), который является обязательным компонентом водорослей *S. pallidum* и, возможно, берет на себя роль отсутствующего фосфатидилхолина. Из фосфолипидных фракций превалировали по содержанию фосфатидилэтаноламин (48,3%) и фосфатидилглицерин (28,5%), являющиеся структурными компонентами мембран, обеспечивающих функционирование мембранных структур и клеток в целом. На долю фосфатидилинозита приходилось 10,5%. В состав других фракций, составляющих 12,5%, по-видимому и входит ФГЭГ.

Таким образом, анализ липидного состава экстракта из бурой водоросли *S. pallidum* показал широкий спектр нейтральных и полярных липидов. Это вторичные метаболиты водорослей, которые проявляют выраженную фармакологическую активность, не оказывая при этом характерных для многих лекарственных препаратов побочных токсических эффектов.

Полученные результаты позволяют говорить о перспективе дальнейшего исследования липидных комплексов из водорослей и возможности разработки на их основе препаратов с липидкоррегирующим действием.

Литература

- 1 Гончарова С.Н., Костецкий Э.Я., Санина Н.М. Влияние сезонных изменений температуры на липидный состав морских макрофитов // Физиология растений. 2004. Т. 51, № 2. С. 169-175.
2. Титлянов Э.А., Титлянова Т.В. Морские растения стран Азиатско–Тихоокеанского региона, их использование и культивирование. Владивосток: Дальнаука, 2012. 377 с.

3. Шевченко Н.М., Анастюк С.Д., Герасименко Н.И. и др. Полисахаридный и липидный состав бурой водоросли *Laminaria gurjanovae* // Биоорганическая химия. 2007. Т. 33, № 1. С. 96-107.
4. Bligh E.G., Dyer W.J. A rapid method of total extraction and purification // Can. J. Biochem. Physiol. 1959. N 37. P. 911-917.
5. Amenta J.S. A rapid chemical method for quantification of lipids separated by thin-layer chromatography // J. Lipid Res. 1964. V. 5, N 2. P. 270-272.
6. Liu L., Heinrich M., Myers S., Dworjanyn S.A. Towards a better understanding of medicinal uses of the brown seaweed *Sargassum* in traditional chinese medicine: a phytochemical and pharmacological review // J. Ethnopharmacology. 2012. V. 142, N 3. P.591-619.
7. 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.
8. Svetashev V.I., Vaskovsky V.E. A simplified technique for thin-layer microchromatography on lipids // J. Chromatogr. 1972. V. 67, N 2. P. 376-378.
9. Vaskovsky V.E., Khotimchenko S.V. HPTLC of polar lipids of algae and other plants // J. High Resol. Chromatogr. 1982. V. 5, N 11. P. 635-636.

УГОЛЬНАЯ ПЫЛЬ В МОЛЛЮСКАХ БУХТЫ ВРАНГЕЛЯ (ЗАЛИВ НАХОДКА)

О.А. Еловская¹, В.А. Раков¹, Ю.В. Федорец¹, А.А. Косьяненко¹, А.А. Карпенко²

¹*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, olesya-sharova@mail.ru*

²*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток*

Организация хранения и перевалки угля в морских портах увеличивает негативное воздействие на окружающую среду не только в окрестностях производственных площадок, но и за их пределами. На Дальнем Востоке твердое топливо повсеместно складывается на открытых площадках, а погрузка осуществляется с использованием открытых терминалов.

В бухте Врангеля помимо предприятия АО «Восточный Порт», оснащенного комплексом закрытой выгрузки и пылеулавливающими установками, перевалкой угля занимается еще 4 стивидорные компании с суммарным грузооборотом более 9 млн. тонн угля в год. При сортировке и перегрузке угля происходит запыление территории и распространение угольной пыли при сильном ветре на несколько километров, а затем оседание ее на суше и на акватории. Со стороны угольных причалов пыль попадает на поверхность воды, в толщу, где разносится течениями и оседает

на дно. Гидробионты, обитающие на припортовых акваториях, находятся в зоне воздействия угольной пыли, которая может проникать в организм фильтраторов (двустворчатых моллюсков, асцидий, губок, планктонных ракообразных) и детритофагов (голотурий, офиур, некоторых морских ежей, многощетинковых червей, рыб) через органы дыхания и пищеварительную систему.

Влияние угольной пыли на большинство морских беспозвоночных и позвоночных животных совершенно не изучено. Целью настоящей работы является изучение воздействия угольной пыли на некоторых крупных беспозвоночных (двустворчатых и брюхоногих моллюсков), обитающих вблизи угольных терминалов в бухте Врангеля залива Находка. В задачи входило обнаружение частиц угля или угольной пыли в основных органах моллюсков (жабры, мантия, пищеварительная система и др.), мантийной полости и на поверхности раковин. Изучали также частоту встречаемости или интенсивность накопления угольной пыли, ее усвояемость или выведение из живых организмов.

Сборы моллюсков для исследования были выполнены водолазным гидробиологическим методом в бухте Врангеля. Осенью 2018 г. и весной 2019 г. изучался участок в непосредственной близости от причала АО «Восточный Порт» [2]. В летне-осенний период 2019 и 2020 гг. пробы биоты собирали в кутовой, средней и открытой частях б. Врангеля (Рисунок 1).

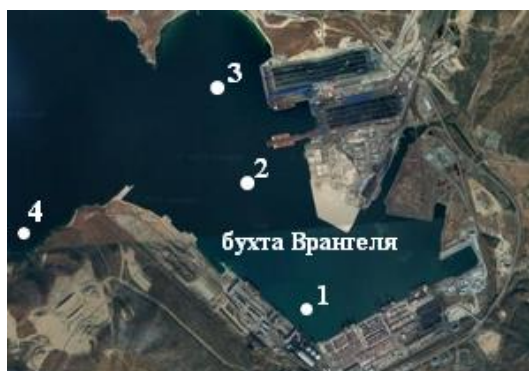


Рисунок 1. Карта-схема отбора моллюсков в бухте Врангеля

Точка 1 располагалась в 50-100 м от причала производственно-перегрузочного комплекса 1 АО «Восточный Порт» на илистом дне на глубине 12 м. Точка 2 находилась в средней части бухты Врангеля на

глубине 15 м на илах мощностью 7-10 см. Точка 3 располагалась в 250 м от производственно-перегрузочного комплекса 3 АО «Восточный Порт» на глубине 14 м на илах. Точка 4 находилась в открытой части бухты Врангеля к западу от мыса Петровского на глубине 15 м и служила фоновой станцией. Со всех точек были отобраны разноразмерные и разновозрастные особи гребешка *Mizuhopecten yessoensis*. Кроме того, с первой точки отобраны друзья мидии *Mytilus trossulus* и модиолуса *Modiolus kurilensis*, друзья мидии *Crenomytilus grayanus*, арка *Arca boucardi*, гребешки *Azumapecten farreri* и *Swiftopecten swiftii*, брюхоногие *Cryptonatica janthostoma* и *Neptunea bulbacea*. С точки 2 отобраны брюхоногие моллюски *Nucella heyseana*. С точки 3 кроме приморского гребешка отобраны *Cryptonatica janthostoma* и *Neptunea bulbacea*. На точке 4 у мыса Петровского отобран гребешок *Swiftopecten swiftii*.

У всех животных с помощью штангенциркуля произведены замеры основных параметров (длина, ширина), на лабораторных весах установлена масса тела моллюсков с точностью до 0,1 г. Проведен осмотр внешнего состояния раковины, регистрировалось наличие обрастателей, повреждение и деформация створок. Гидробионтов вскрывали скальпелем и регистрировали наличие/отсутствие в полости тела частичек угля. Содержимое кишечника всех моллюсков исследовали под бинокулярным микроскопом МБС-10 с увеличением в 28 раз и под стереомикроскопом МИКМЕД-5 с увеличением в 400 раз, фотографии выполняли на стереомикроскопе, оснащенный камерой AxioCam Icc 3 модель Stemi 2000-C. Содержимое кишечника приморского гребешка, мидии Грея и модиолуса, грунт с поверхности раковин, содержимое полости тела, фекалии и псевдофекалии были проанализированы методом комбинационного рассеивания с помощью романовского микроскопа-спектрометра (in Via Renishaw, UK) объединённого с микроскопом падающего света (Leica DM2500M, Leicamicrosystems, Germany). Для возбуждения использовали диодный лазер 532 нм при 1,0 мВт мощности на уровне объекта и времени экспозиции 0,1 С и 100 повторах. Лазерное пятно диаметром около 1,6 мкм на образце формировалось объективом (20x, NA=0.4, Leica).

Угольная пыль проникает в двустворчатых моллюсков с током воды при дыхании и питании, попадает в мантийную полость и органы пищеварения и выводится также током воды.

Исследования показали, что на поверхности жабр, в мантийной полости и органах пищеварения (кишечнике) приморского гребешка, отобранного с точки 1 во все периоды исследования, были обнаружены частички угольной пыли. Подтверждение наличия частиц угля в кишечнике

приморского гребешка показано на Рисунке 2. При изучении образцов методом комбинационного рассеяния получили спектры, свидетельствующие о наличии частиц угля. Линия, близкая к частоте 1600 см⁻¹, наблюдается в спектрах комбинационного рассеивания угля. Пики спектра эталонного угля и образца из кишечника приморского гребешка совпадают.

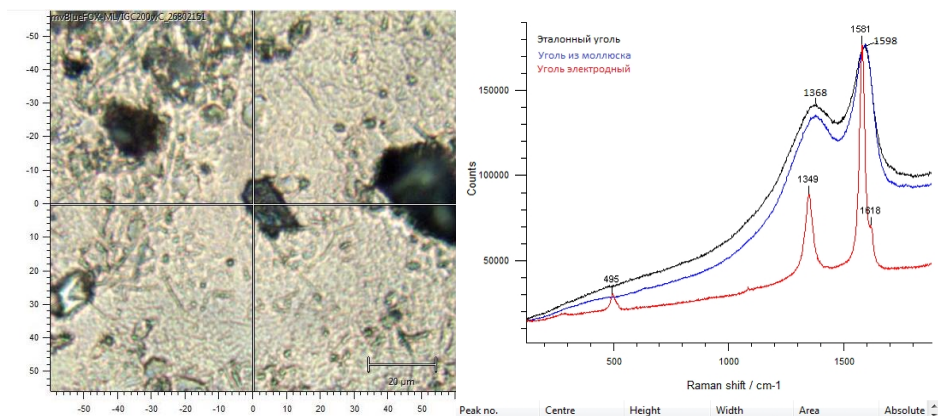


Рисунок 2. Спектр образца из кишечника приморского гребешка и пики спектров угля

Организмы, поедаемые гребешком (фитопланктон и зоопланктон) имеют размеры в пределах 9-950 мкм. Наиболее крупные частицы угля в кишечнике приморского гребешка достигали размеров 15 и 120 мкм.

Процесс дыхания у приморского гребешка заключается в прокачивании воды через мантийную полость, где растворенный кислород извлекается с помощью жабр. Частички грунта, содержащего включения угольной пыли, отмечены на жабрах приморского гребешка с точки 1. Частички угольной пыли были зарегистрированы в мантийной полости и на жабрах и крупных половозрелых особей приморского гребешка, отобранных с точки 3 в районе производственно-перегрузочного комплекса 3 АО «Восточный Порт». У приморского гребешка со станции 2 и с фоновой точки в полости тела, на жабрах и в содержимом кишечника не обнаружено следов угольной пыли.

Mizuhopecten yessoensis активно заселяется эндо- и эпибионтами, с которыми моллюску приходится конкурировать за пищу. В относительно чистых районах основными группами эпибионтов являются полихеты,

водоросли, двустворчатые и, реже, брюхоногие моллюски, в загрязненных – усонogie раки, полихеты и двустворчатые моллюски [1].

По результатам настоящего исследования на верхней створке приморского гребешка отмечены организмы-обрастатели *Hesperibalanus hesperius*, *Balanus rostratus*, причем на станции 1 большинство домиков усоногих раков оказались пустыми или заполненными донным грунтом. На станциях, расположенных вблизи причалов (точки 1 и 3), степень обрастания верхних створок гребешка баянусом достигала 90 %, эпибиозу подвержены разновозрастные особи моллюска. Тогда как на станциях, значительно удаленных от причальных стенок (точки 2 и 4), степень покрытия гребешка домиками усоногих раков составляла не более 45 %, раковины молодых особей (2+) были свободны от обрастаний. Помимо баянусов на поверхности створок наблюдались ходы сверлящей паразитической губки *Cliona* sp., отпечатки трубок и сами илiстые трубки многочетинковых червей, молодь моллюсков *Hiatella arctica* и *Mytilus trossulus*. Только на станции 1 в мантийной полости приморского гребешка были обнаружены литоральные брюхоногие *Odostomia fujitani*, которые нередко нападают на различных двустворчатых моллюсков, питаясь на них как временные паразиты с помощью длинного хоботка, проникающего между створок моллюска-хозяина. На раковинах 10 % изученных гребешков с точки 1 отмечены небольшие буро-зеленые утолщения и блистеры, образуемые моллюском из-за воздействия паразитических сверлящих губок и полихет. На остальных станциях таких образований на раковинах гребешка не наблюдалось.

На станции 1 отмечены друзы *Modiolus kurilensis*+*Mytilus trossulus* и *Crenomytilus grayanus*. В мантийной полости, содержимом кишечника и на жабрах моллюсков отмечены частички угольной пыли до 0,9 мм. В полости тела одного из модиолусов зарегистрирован крупный фрагмент каменного угля (около 5 мм). У гребешков *Azumapecten farreri* и *Swiftopecten swiftii* на поверхности жабр и в кишечнике также отмечены частички угольной пыли, различимые под бинокулярным микроскопом. В то время как у гребешка Свифта с фоновой точки (у мыса Петровского) в мантийной полости, органах дыхания и пищеварения следов угольной пыли не обнаружено.

У арки Боукарда со станции 1 наличие частичек угля либо следов грунта в полости тела и содержимом кишечника не выявлено.

Хищные брюхоногие моллюски *Cryptonatica janthostoma*, *Neptunea bulbacea*, *Nucella heyseana* способны нападать на морских желудей и двустворчатых моллюсков, нанося последним значительный вред. У брюхоногих моллюсков со станций 1 и 3 в пищеварительном тракте и на поверхности ктенидия (жабры) частичек угля не зарегистрировано.

Таким образом, угольная пыль или частицы угля проникают с током воды в мантийную полость, на жабры и в органы пищеварения практически всех видов двустворчатых моллюсков, обитающих в непосредственной близости от угольных терминалов бухты Врангеля. Угольная пыль может проникать под края мантии и накапливаться в блистерах, что приводит к утяжелению раковины, уменьшению объема пространства между створками, сдавливанию тела моллюска. В организме хищных Gastropoda угольная пыль не была отмечена, как и у двустворчатых моллюсков, обитающих на выходе из бухты Врангеля.

Литература

1. Баранов А.Ю., Левенец И.Р., Сабитова Л.И., Лебедев Е.Б. Макроэпibiоз трех видов гребешка в водах Приморья // Известия ТИНРО. 2017. Т. 191. С. 196-209.
2. Раков В.А., Еловская О.А., Васильева Л.Е., Косьяненко А.А., Федорев Ю.В. Влияние угольной пыли на двустворчатых моллюсков на припортовых акваториях бухты Врангеля (Приморский край) // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана. Материалы VI Международной научно-технической конференции. В 2-х частях. 2020. С. 157-160.

ГЛУБОКОВОДНЫЕ УГЛЕВОДОРОДООКИСЛЯЮЩИЕ ШТАММЫ *BACILLUS KYONGGIENSIS* POI87 И *PSYCHROBACTER* SP. POI185, ВЫДЕЛЕННЫЕ ИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

**Еськова А.И.¹, Пономарева А.Л.¹, Полоник Н.С.¹, Рыжманова Я.В.²,
Шакиров Р.Б.¹**

¹ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, eskova.ai@poi.dvo.ru

²Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина
Российской академии наук (ИБФМ РАН), г. Пушино

Глубоководная морская среда составляет более 65% поверхности Земли, и являются средой обитания для разнообразных микроорганизмов [1]. В последние десятилетия было обнаружено и задокументировано множество уникальных глубоководных местообитаний и экосистем, таких как холодные просачивания, газовые гидраты, хребты, грязевые вулканы, гидротермальные источники и бассейны с рассолом, в которых обитают многочисленные микробные сообщества и которые играют важную роль в глобальном биогеохимическом круговороте. Несмотря на огромный прогресс в изучении таких экосистем, большая часть глубоководных

океанов остается неисследованной, и менее 0,001% были детально исследованы [2].

В районах газо-флюидных потоков на дне океана наблюдается формирование «оазисов жизни» в том, числе и за счет деятельности нефтеокисляющих бактерий.

Цель нашей работы заключалась в получении микроорганизмов из глубоководных донных отложений Японского моря, способных к деструкции углеводов.

Материалы и методы

В качестве образцов исследования использовали восстановленный слой донных отложений Японского моря, отобранный в рейсе LV81 НИС «Академик А.М. Лаврентьев» (2018). Отбор проб проводили с помощью геологической трубки. С момента отбора и до начала исследований образцы хранились в морозильной камере при температуре – 30 °С.

Выделение и культивирование микроорганизмов проводили с использованием модифицированной среды Ворошиловой-Диановой следующего состава, г/л: NH_4NO_3 - 1,0; K_3HPO_4 - 1,0; KH_2PO_4 - 1,0; MgSO_4 - 0,2; CaCl_2 - 0,02; FeCl_2 - 2 капли концентрированного раствора на 1 000 мл искусственной морской воды. Искусственная морская вода (г/л): NaCl – 27.5, MgCl_2 – 5.0, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 2.0, CaCl_2 – 0.5, KCl – 1.0, FeSO_4 – 0.001. В среду добавляли 2% стерильной сырой нефти. Накопительные культуры инкубировали при температуре 4°C и 22°C от недели до месяца.

Идентификацию выделенных изолятов проводили с помощью молекулярно-генетических методов. Выделение ДНК полученных чистых культур проводили методом Мармура [3]. Полимеразную цепную реакцию ПЦР с геномной ДНК проводили на амплификаторе Терцик (ДНК-Технология, Россия). Секвенирование ДНК проводили в Межинститутском центре коллективного пользования Геном ИМБ РАН с помощью набора реактивов "ABI PRISM® BigDye™" Terminator v. 3.1 ("Applied Biosystems", США) с последующим анализом продуктов реакции на автоматическом секвенаторе ДНК ABI PRISM 3730 ("Applied Biosystems", США).

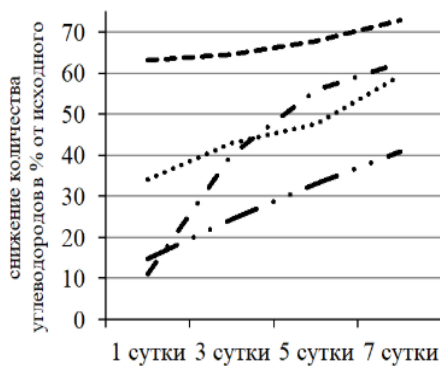
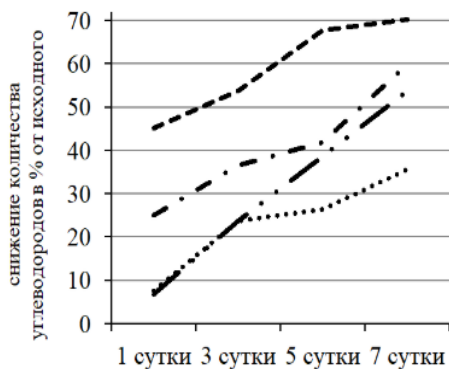
Способность к биодеградации определяли на питательной среде, которой единственным источником углерода были летнее дизельное топливо, сырая нефть, марки ESPO, гексадекан и бензол. Рассчитывали снижение количество углеводов в процентах в зависимости от концентрации в исходной смеси. Изменение состава тестируемых углеводов проводили с помощью хромато-масс-спектрометрический анализа на Хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS 2010 Ultra в ТОИ ДВО РАН.

Результаты

Всего было обработано 10 проб глубоководных донных отложений. Из 2 станций, расположенных в Центральной котловине Японского моря, были выделены 2 изолята нефтеокисляющих бактерий. Штамм *Bacillus kyonggiensis* был выделен с глубины 2141 м. станции LV81-30GC., *Psychrobacter* sp. – с глубины 1754 м. станции LV81-11GC. Отметим, что *Bacillus kyonggiensis* выделен из донных отложений морей впервые.

B. kyonggiensis – грамположительный, палочковидный штамм, образующий эндоспores. Оптимум роста 26-28°C при содержании NaCl 2%.

Psychrobacter sp. имеет форму палочек, окрашивается по Граму отрицательно. Температурный оптимум роста 22°C с содержанием в среде NaCl 2%.



— гексадекан

- · - бензол

--- дизельное топливо

..... сырая нефть

А

Б

Степень биодegradации углеводородов штаммами *B. kyonggiensis* (А) и *Psychrobacter* sp. (Б) в течение семи суток эксперимента

B. kyonggiensis в равной степени окислял бензол и гексадекан, в то время как *Psychrobacter* sp. в наибольшей степени элиминировал гексадекан. Степень биодegradации гексадекана в присутствии *Psychrobacter* sp. превышала степень биодegradации бензола более чем в 1,5 раза. На первые и третьи сутки эксперимента *Psychrobacter* sp. превосходил *B. kyonggiensis* в интенсивности окисления дизельного топлива, но на пятые и седьмые сутки эти показатели выравнивались. *Psychrobacter* sp. отличался более выраженной способностью разлагать сырую нефть, чем *B. kyonggiensis*.

Убыль углеводов составляла 59,37 и 35,57 % от исходного количества, соответственно. Наименьшую степень разложения нефти наблюдали между третьими и пятыми сутками для обоих штаммов. Степень деструкции углеводов увеличилась на 2,6% для *B. kyonggiensis*, и на 4,5 % для *Psychrobacter sp.* от исходного количества, соответственно.

Выводы

Штамм *Bacillus kyonggiensis* выделен из донных отложений Японского моря впервые.

Выделенные из глубоководных донных отложений Японского моря штаммы *Bacillus kyonggiensis* и *Psychrobacter sp.* обладали способностью к деструкции углеводов нефти, гексадекана, бензола и дизельного топлива, но в разной степени. При этом *Psychrobacter sp.* лучше деградировал сырую нефть, а *Bacillus kyonggiensis* - бензол. Оба исследуемых штамма практически в равной степени элиминировали дизельное топливо.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ МК-357.2021.1.5.

Литература:

1. Bian X.-Y., Mbadinga S.M., Liu Y.-F. et al. Insights into the anaerobic biodegradation pathway of n-alkanes in oil reservoirs by detection of signature metabolites // *Sci.Rep.* 2015. V. 5. P. 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep09801>
2. Kirkpatrick J.B., Walsh E.A., D'Hondt S. Microbial selection and survival in subseafloor sediment // *Frontiers In Microbiology.* 2019. V. 10. Iss. 10. P. 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00956>
3. Marmur J. A procedure for the isolation of deoxyribonucleic acid from microorganisms // *Journal of molecular biology.* -1961. -V. 3. -№. 2. -p.208-218.

ХРОМАТИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА

Т.В. Ефимова, Т.Я. Чурилова, Н.А. Моисеева, Е.Ю. Скороход
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, tatyana-iefimova@yandex.ru

Основными абиотическими факторами среды, влияющими на структурные и функциональные характеристики фитопланктона, являются освещенность, биогенная обеспеченность и температура воды [2]. При увеличении глубины обитания фитопланктона изменяются все основные

факторы среды, причём не только уровень облученности, но и ее спектральный состав: длинноволновая часть излучения поглощается водой, а коротковолновая – взвешенным и растворённым органическим веществом [7]. Это приводит к смещению спектрального состава света, проникающего в нижние горизонты эвфотической зоны, в сторону синего или сине-зелёного излучения [1].

Цель работы – исследовать зависимость особенностей пространственного распределения различных таксономических групп фитопланктона от спектральных световых условий в среде.

Полевые исследования выполнены в Чёрном море в рейсах НИС «Профессор Водяницкий» ПВ79 (сентябрь 2015 г.), ПВ85 (май 2016 г.), ПВ86 (июнь 2016 г.), и ПВ105 (ноябрь-декабрь 2018 г.), и на озере Байкал в рейсе НИС «Г. Титов» в сентябре 2019 г.

Пробы отбирали с нескольких горизонтов зоны фотосинтеза, исходя из вертикального изменения температуры и ослабления света с глубиной.

Оптические измерения проб проводили на спектрофотометре *Lambda 35 (PerkinElmer)* с интегрирующей сферой. Концентрацию хлорофилла *a* в сумме с феопигментами (ХЛ *a*) определяли спектрофотометрическим методом [3]. Поглощение света пигментами фитопланктона ($a_{ph}(\lambda)$) определяли в соответствии с протоколом NASA [6].

Численность, размер клеток и содержание ХЛ *a* и фикоэритрина (ФЭ) в относительных единицах в клетках пикопланктона из природных проб определяли с помощью проточного цитометра Cytomics™ FC 500 (Beckman Coulter, США), оборудованного 488 нм однофазным аргоновым лазером, и программного обеспечения СХР.

В Чёрном море в тёплый период года (с мая по сентябрь) концентрация ХЛ *a* в сумме с феопигментами (C_a) в слое под термоклином C_a была примерно на порядок выше, чем в поверхностном слое. В зимний период года (ноябрь-декабрь) значения C_a в пределах ВКС были примерно в 3 раза выше, чем в тёплый период года, а в слое под термоклином величина C_a была на порядок меньше, чем в ВКС.

В сентябре месяце в озере Байкал при наличии термоклина в пределах освещённого слоя наблюдался глубинный максимум ХЛ *a* в слое под термоклином, где значения C_a в 1,5–6 раз превышали значения C_a в поверхностном слое. На станциях с заглубленным до нижней границы эвфотического слоя термоклином, отмечено сравнительно однородное распределение C_a в пределах зоны фотосинтеза.

В период исследований слой существования фитопланктона был разделён термоклином на квазиизолированные верхний квазиоднородный слой (ВКС) и слой нижней части зоны фотосинтеза. Спектры $a_{ph}(\lambda)$ в ВКС имели

характерные максимумы в синем и красном диапазонах спектра на длинах волн ~ 438 нм и ~ 678 нм, соответственно (Рисунок 1).

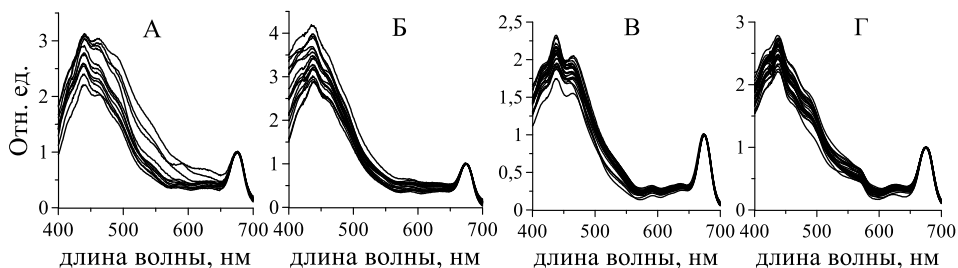


Рисунок 1. Спектры показателей поглощения света пигментами фитопланктона в поверхностном слое вод, нормированные на поглощение на длине волны ~ 678 нм ($a_{ph}(\lambda)/a_{ph}(678)$): А – в Чёрном море в сентябре 2015 г., Б – в Чёрном море в мае-июне 2016 г., В – в Чёрном море в ноябре-декабре 2018 г., Г – в озере Байкал в сентябре 2019 г.

На спектрах $a_{ph}(\lambda)$ под термоклином, и до глубин с уровнем облученности $\sim 1-0,1\%$ от фотосинтетически активной радиации (PAR) на поверхности моря, появились локальные максимумы на длинах волн ~ 490 нм и ~ 550 нм (Рисунок 2). Эти пики соответствуют полосам поглощения света фикобилинами, входящими в состав молекулы фикоэритрина, фикоуробилином и фикоэритробилином, соответственно.

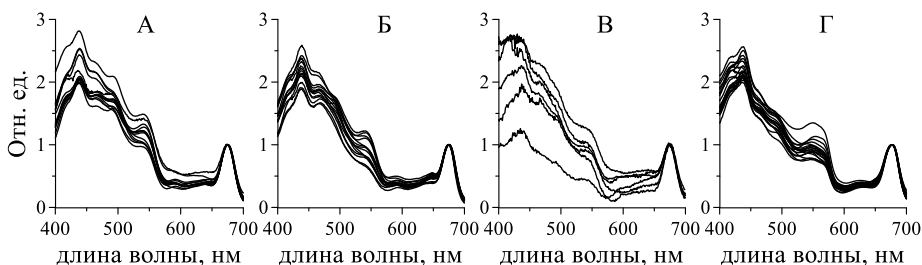


Рисунок 2. Спектры показателей поглощения света пигментами фитопланктона под термоклином, нормированные на поглощение на длине волны ~ 678 нм ($a_{ph}(\lambda)/a_{ph}(678)$): А – в Чёрном море в сентябре 2015 г., Б – в Чёрном море в мае-июне 2016 г., В – в Чёрном море в ноябре-декабре 2018 г., Г – на озере Байкал в сентябре 2019 г.

Появление на спектрах $a_{ph}(\lambda)$ пика на ~ 550 нм вызвано доминированием в сообществе под термоклином ФЭ-содержащего фитопланктона. В водах Чёрного моря фракция ФЭ-содержащих цианобактерий около нижней

границы зоны фотосинтеза, куда проникает $\sim 1-0,1\%$ PAR, составляла порядка 40-60% от общей биомассы фитопланктона [5]. Исследования на Байкале говорят о том, что виды эукариотических водорослей, содержащие в своём пигментном составе ФЭ, также могут присутствовать в большом количестве в сообществе фитопланктона под термоклином [4]. Необходимым условием для хроматической адаптации сообщества на глубине является стратификация вод, которая способствует «запиранию» фитопланктона в слое под термоклином. Совпадение полосы поглощения ФЭ, поглощающего в диапазоне длин волн 490-560 нм, со спектральными свойствами света, проникающего к нижней границе зоны фотосинтеза (сине-зелёный свет), определяет способность ФЭ-содержащих микроводорослей к более эффективному поглощению света на глубине. За счёт этого ФЭ-содержащие микроводоросли в условиях сине-зелёного света низкой интенсивности получают конкурентное преимущество в скорости фотосинтеза и роста перед таксономическими группами фитопланктона (Bacillariophyta, Prymnesinophyta), не содержащими ФЭ, что определяет увеличение их численности относительно других таксонов.

Таким образом, исследования показали, что в условиях плотностной стратификации вод в пределах освещенного слоя наблюдается хроматическая адаптация фитопланктонного сообщества к сине-зеленому свету, проникающему к нижней части эвфотической зоны Черного моря и озера Байкал.

Исследование выполнено по теме ГЗ №АААА-А19-119061190081-9 и при финансовой поддержке проекта РФФИ №18-45-920070.

Литература

1. Вазюля С. В., Шеберстов С. В. Вторичная обработка данных натуральных измерений спектральной подводной облученности в видимом диапазоне //Современные проблемы оптики естественных вод. – 2017. – С. 229-234.
2. Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР, 1960. 328 с.
3. ГОСТ 17.1.1.01-77 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения (с Изменениями N 1, 2). Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001.
4. Churilova T. Ya., Moiseeva N. A., Latushkin A. A., Suslin V. V., Usoltseva M. V., Zakharova Yu. R., Titova L. A., Gnatovsky R. Yu., Blinov V. V. Preliminary results of bio-optical investigations at Lake Baikal // Limnology and Freshwater Biology. – 2018. – Vol. 1. – P. 58-61.
5. Churilova T., Suslin V., Sosik H. M., Efimova T., Moiseeva N., Moncheva S., Mukhanov V., Rylkova O., Krivenko O. Phytoplankton light absorption in the deep

chlorophyll maximum layer of the Black Sea // European Journal of Remote Sensing. – 2019. – Vol. 52, suppl. 1. – P. 123-136.

6. IOCCG. Ocean Optics and Biogeochemistry Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation. Vol. 4.0. Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Best Practices for the Collection and Processing of Ship-based Underway Flow-through Optical Data / Eds: A. R. Neeley, A. Mannino. Dartmouth, NS, Canada: International Ocean-Colour Coordinating Group (IOCCG), 2019, 22 p. (IOCCG Protocol Series; vol. 4.0).

7. Werdell P. J., McKinna L. I. W., Boss E., Ackleson S. G., Craig S. E., Gregg W. W., Lee Z., Maritorena S., Roesler C. S., Rousseaux C. S., Stramski D., Sullivan J. M., Twardowski M. S., Tzortziou M., Zhang X. An overview of approaches and challenges for retrieving marine inherent optical properties from ocean color remote sensing // Prog. Oceanogr. 2018. Vol. 160. P. 186-212.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ Р. ОБЪЯСНЕНИЯ, ВПАДАЮЩЕЙ В Б. ЗОЛОТОЙ РОГ

А.С. Зубцова¹, Е.А. Вах^{1,2}, И.Л. Зубцова¹, И.А. Дмитриев¹

¹*ДВФУ, г. Владивосток, zubtcova.as@dyfu.ru, zubtsova.il@dyfu.ru, odin2000@mail.ru*

²*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, adasea@mail.ru*

Вопрос оценки экологического состояния б. Золотой Рог – самого загрязненного из морских водоемов РФ, по-прежнему актуален с научной и практической точек зрения. Река Объяснения, как приемник разных видов стоков, является одним из основных источников загрязнения б. Золотой Рог, негативное влияние которого подтверждается результатами исследований ряда авторов [1,3,6,7].

Непосредственно в реку поступают сточные воды восьми предприятий [3,7], наиболее крупными из которых являются ВТЭЦ-2, КГУП «Владивостокский водоканал», ООО «Мазда Солерс Мануфэкчуринг Рус». Перечень поступающих в реку загрязняющих веществ (ЗВ) включает: легко окисляемые органические вещества, взвешенные вещества, нефтепродукты, фосфаты, аммонийный азот, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества, железо, жиры [2]. Установлено, что р. Объяснения в бухту выносятся около четверти массы таких ЗВ, как взвешенные вещества, фосфаты, СПАВ, медь, цинк; около половины нефтепродуктов и более 90 % нитратов и железа [3].

При исследовании экологического состояния б. Золотой Рог в 2020 году нами начаты работы по определению влияния р. Объяснения. Для

отбора проб воды выбраны шесть точек: две в центральной части б. Золотой Рог и четыре равномерно от устья р. Объяснения до места сброса охлаждающих вод ТЭЦ-2.

Полученные результаты являются первыми в начатом круглогодичном мониторинговом исследовании степени загрязнения р. Объяснения, данные будут уточняться. Установлено среднее значение минерализации $\sum_n^{cp} = 22641,98$ мг/л, классифицирующее воды р. Объяснения как воды с повышенной соленостью.

Для вод р. Объяснения, впадающей в б. Золотой Рог, характерны значительно более высокие значения температуры. С места выпуска сточных вод ТЭЦ-2 (ст. 6) до устья (ст. 3) температура воды изменяется в диапазоне 9,6 – 11,3 градусов, составляя в устье 9,8 градусов. Такие высокие значения в зимний период могут быть вызваны только антропогенным влиянием.

На всем протяжении реки воды характеризуются как слабощелочные. Отмечена тенденция снижения этого показателя по направлению к устью. На станции №3, в устье реки, согласно значению рН воды классифицируются как нейтральные, что можно объяснить близостью станции отбора проб к месту выпуска сточных вод с территории Mazda Sollers Мануфакчуриг Рус.

Сравнение концентрации макрокомпонентов с ПДК химических веществ показало максимальные превышения для катионов Na и Mg. Наибольшие превышения по данным компонентам отмечаются в вершине р. Объяснения (ст. 6), наименьшие – в устье (ст.3).

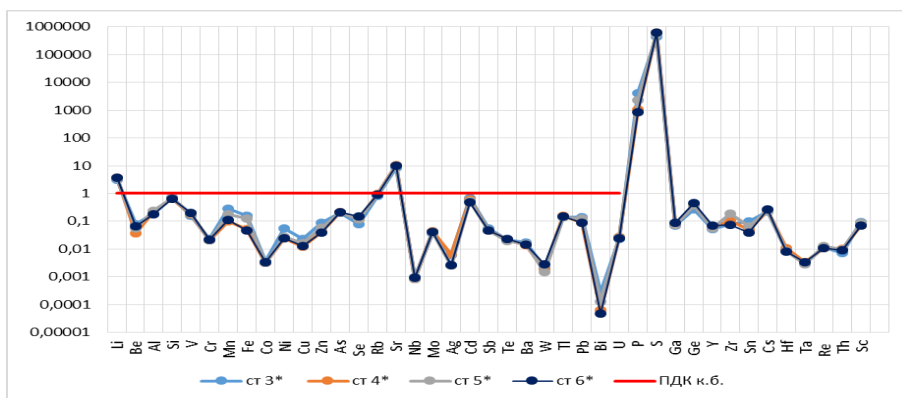


Рисунок 1. Распределение концентраций микроэлементов в сравнении с ПДК_{к.б.}

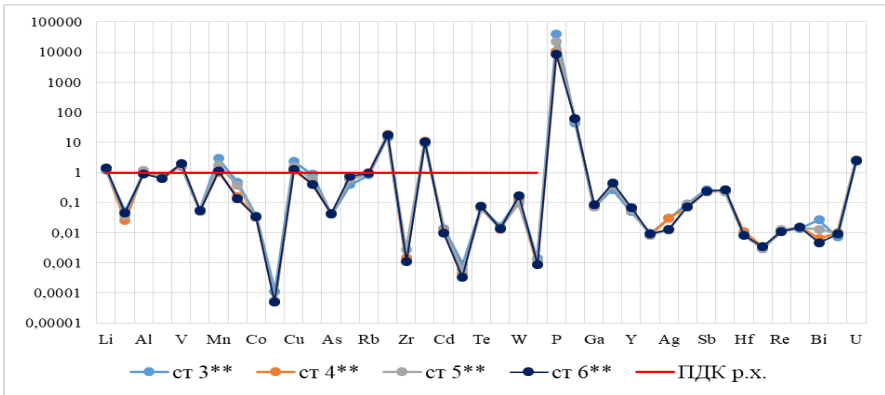


Рисунок 2. Концентрации микроэлементов в сравнении с ПДК_{р.х.}

Полученные данные содержания микроэлементов указывают на высокие концентрации некоторых значений. В сравнении с ПДК культурно - бытового водопользования (Рисунок 1) превышения установлены для лития (Li 3,1-3,7 ПДК) и стронция (Sr 8,6-10,3 ПДК). Превышения концентраций ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения отмечены для: лития, ванадия, марганца, меди, стронция, молибдена (Рисунок 2).

Для микроэлементов, у которых отсутствуют установленные ПДК, характерны следующие особенности распределения:

- тенденция снижения концентрации элемента от вершины к устью реки Объяснения прослеживается у Ga, Ge, Y, Cs;
- обратная тенденция увеличения концентрации элемента от вершины к устью отмечена только для Sc;
- стабильные показатели распределения по всем точкам отбора проб характерны для Ta и Re;
- максимальные концентрации (0,01 мкг/л) на ст. 4 отмечены для Hf и Th.

К настоящему времени все более актуальным становится изучение редкоземельных элементов (РЗЭ) в качестве индикаторов геоэкологического состояния природных систем и с точки зрения малоизученных химических загрязнителей окружающей среды, т.к. РЗЭ обладают токсичными свойствами и могут отрицательно влиять на здоровье человека [5,4]. Повышенные концентрации элементов могут говорить о загрязнении промышленными и хозяйственно-бытовыми сбросами, а также отражать вклад дренирующих пород [4].

Полученные нами результаты (таблица) являются первыми исследованиями в области распределения РЗЭ для р. Объяснения и б. Золотой Рог (ст.1, 2).

Распределение РЗЭ по группам проведено в соответствии с работами Вах Е.А. [4, 5]. Нормирование (La/Yb)/n к стандартному северо-американскому сланцу проводилось согласно Gromet L.P [4, 5].

Таблица. Содержание растворимых форм редкоземельных элементов (мкг/л) на станциях отбора проб в р. Объяснения и б. Золотой Рог (21.01.20 г.)

Элемент	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5	Ст. 6
La	0,009	0,006	0,036	0,043	0,052	0,055
Ce	0,007	0,008	0,038	0,044	0,041	0,048
Pr	0,002	0,002	0,007	0,006	0,007	0,007
Nd	0,012	0,011	0,031	0,038	0,031	0,039
Sm	0,011	0,012	0,014	0,013	0,014	0,018
Eu	0,005	0,004	0,004	0,005	0,004	0,005
Gd	0,013	0,011	0,028	0,013	0,014	0,018
Tb	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
Dy	0,010	0,009	0,010	0,012	0,011	0,013
Ho	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003
Er	0,006	0,008	0,010	0,007	0,007	0,010
Tm	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002
Yb	0,012	0,011	0,012	0,011	0,014	0,013
Lu	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Y	0,032	0,027	0,051	0,058	0,057	0,068
LREE	0,046	0,043	0,129	0,149	0,148	0,171
HREE	0,050	0,047	0,071	0,055	0,058	0,065
LREE%	47,552	47,641	64,710	73,168	71,893	72,336
HREE%	52,448	52,359	35,290	26,832	28,107	27,664
$\Sigma=L+H(REE)$	0,096	0,090	0,200	0,203	0,206	0,237
Y/Ho	12,224	11,398	17,816	21,823	17,599	20,688
(La/Yb)/SN	0,067	0,056	0,287	0,376	0,370	0,406
Eu/Eu*	1,834	1,394	0,798	1,717	1,266	1,255
Ce/Ce*	0,329	0,540	0,541	0,573	0,448	0,506

Средний диапазон суммарных концентраций растворенных форм РЗЭ в б. Золотой Рог 0,09 мкг/л. В отобранных пробах б. Золотой Рог концентрации тяжелых РЗЭ выше, чем легких и составляют 52 % от суммы

всех РЗЭ (табл.). Профили распределения РЗЭ в водах б. Золотой Рог, нормированные по отношению к северо-американскому сланцу [5], схожи и сопоставимы между собой по конфигурации. Показатель соотношений La/Yb_n (от 0,05 до 0,06) отражает небольшое обогащение вод тяжелыми РЗЭ. Все спектры имеют четко выраженную отрицательную цериевую аномалию ($Ce/Ce^* - 0,32-0,53$) и положительную европиевую аномалию ($Eu/Eu^* - 1,39-1,83$).

Содержание растворенных форм РЗЭ в р. Объяснения изменяется от 0,19 до 0,23 мкг/л (таблица). При этом наиболее высокие концентрации РЗЭ характерны для ст.б, а наиболее низкие – для ст.3. Доля легких РЗЭ в общем составе изменяется в широких пределах от 64 до 73%. Профили распределения РЗЭ в р. Объяснения по всем точкам отбора, нормированные по отношению к северо-американскому сланцу, однотипны по характеру фракционирования РЗЭ. Показатель соотношений La/Yb_n (от 0,28 до 0,41) отражает обогащение вод тяжелыми РЗЭ. Вода имеет ярко выраженную отрицательную цериевую аномалию ($Ce/Ce^* - 0,44-0,57$), что характерно для рек Приморского края и мира. Все спектры вод точек отбора, кроме ст.3 ($Eu/Eu^* - 0,79$), имеют четко выраженную положительную европиевую аномалию ($Eu/Eu^* - 1,39-1,83$).

Восстановить экологическое состояние б. Золотой Рог невозможно без решения проблемы очистки стоков и реабилитации экосистемы р. Объяснения, поставляющей основную массу загрязненных стоков в бухту, исследования будут продолжены.

Литература

1. Белан Т.А., Белан Л.С., Березов А.В. Условия существования и особенности распределения макрозообентоса морской акватории порта Владивосток (залив Петра Великого, Японское море). Сборник статей РЭА №1, 2009. С. 116-128.
2. Бортин Н.Н. Последствия антропогенного воздействия на бухту Золотой Рог и ее водосборную территорию. Электронный ресурс. XI Международный экологический форум «ПРИРОДА БЕЗ ГРАНИЦ», 30–31 октября 2017 г., Владивосток, остров Русский, ДВФУ. Режим доступа: <http://priroda.primorsky.ru/page/arhiv/>
3. Бортин Н.Н., Крапивенцев Н.В., Горчаков А.М., Белевцов А.А., Дьяченко К. Н. Река Объяснения как источник загрязнения бухты Золотой Рог. Электронный ресурс. Сеть водохозяйственных организаций стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии (СВО ВЕКЦА). С.205-211. Режим доступа: <http://www.eecca-water.net/file/cwr17/str193-355.pdf>
4. Вах Е.А., Вах А.С., Харитоновна Н.А. Содержание редкоземельных элементов в водах зоны гипергенеза сульфидных руд Березитового месторождения // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т.32. – №1. – С. 105-115.
5. Вах Е.А., Павлова Г.Ю., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю. Основной солевой состав и редкоземельные элементы как индикаторы экологического

состояния рек южного Приморья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 1. – С. 39–49.

6. Дулепов В.И., Кочеткова О.А. Эколого-гидрохимические исследования акваторий залива Петра Великого. Подводные исследования и робототехника, 2012. 2(14). С69-73.

7. Ермолицкая М.З., Кочеткова О.А. Гидрохимическое исследование бухты Золотой Рог за 2008-2009 гг. Вестник морского государственного университета, 2010. Вып. 41. С.17-21.

АРЕАЛ ЧЕРНОМОРСКО-АЗОВСКОЙ ПРОХОДНОЙ СЕЛЬДИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩИХСЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ В АЗОВСКОМ МОРЕ

И.Д. Козоброд

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону, kuznesovainna1811@yandex.ru

Аннотация: Черноморско-азовская проходная сельдь *Alosa immaculate* (Bennett, 1835) является одним из древних представителей ихтиофауны Азовского моря. Ареал сельди на протяжении всего времени исследований смещается под воздействием природных и антропогенных факторов. Наиболее ярко смещение мест обитания выражается после строительства Цимлянского водохранилища, в результате чего, произошло изменение гидрологических условий р. Дон, Таганрогского залива и Азовского моря.

Ключевые слова: черноморско-азовская проходная сельдь, среда обитания, плотность распределения, период миграции.

В прошлом веке Азовское море считалось самым продуктивным морем на планете, но в настоящее время оно теряет свои лидерские позиции. Причины снижения биопродуктивности моря неоднозначны и связаны с увеличением антропогенной нагрузки на водоем [1]. После строительства Цимлянского водохранилища был зарегулирован сток р. Дон, что привело к резкому снижению величины стока, увеличению солености и, следовательно, к сужению ареала сельди в Таганрогском заливе и Азовском море.

После создания на р. Дон в 1952 г. Цимлянского водохранилища условия для размножения и выживания молоди сельди значительно ухудшились: сезонное перераспределение стока, сокращение объема весенних паводков, снижение величины пресного стока, увеличение солености, понижение скорости течения в реке почти в 4 раза. В результате зарегулирование стока р. Дон повлекло за собой сокращение нерестового

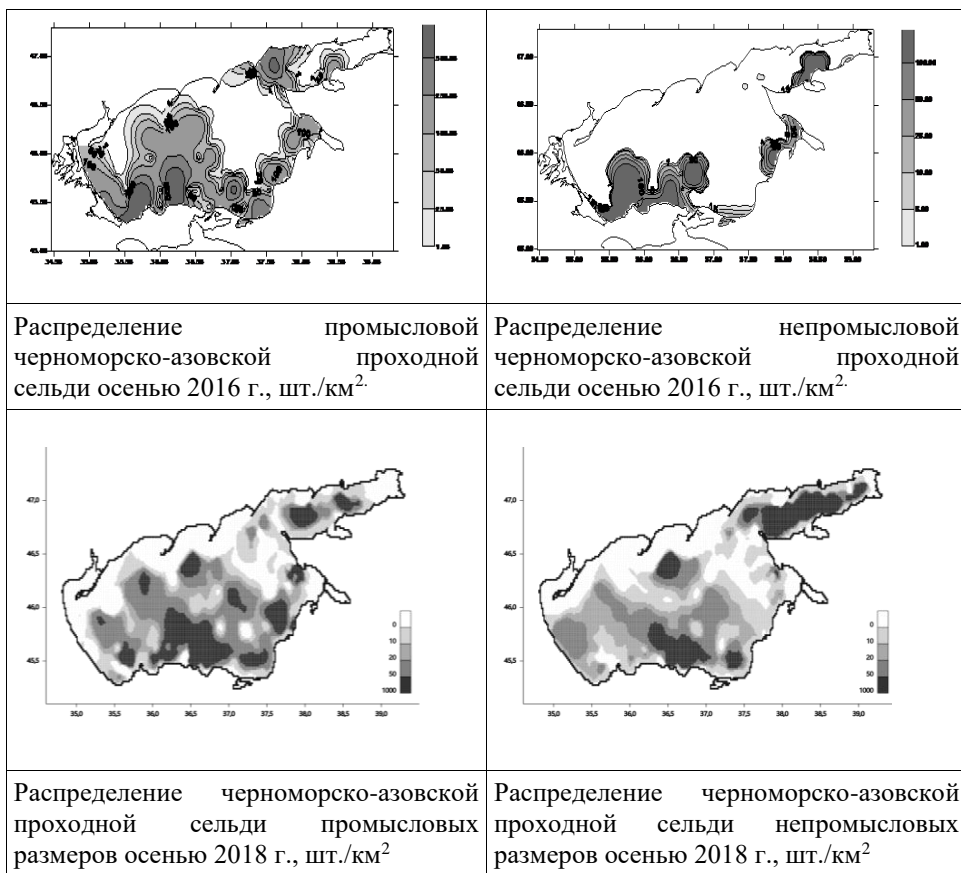
ареала сельди, низкую эффективность ее естественного воспроизводства и, как следствие, уменьшение величины запаса и уловов [2].

Анализ многолетних данных по динамике численности сельди, а также условий ее размножения позволил выявить зависимость между величиной урожайности сельди, водного стока и солености. Зарегулирование Дона повлекло за собой понижение уровня весеннего паводка в реке, обеспечившим уменьшение скорости течения и ухудшение условий выживания икры и личинок (икра и личинки при маленькой скорости потока опускаются в придонную часть реки, где условия для выживания и выклева икры резко понижаются). В результате сокращения паводка произошло осолонение Таганрогского залива и Азовского моря [3]. Это сократило нагульные площади для *молоди* сельди, адаптивные возможности которой ограничены изогалиной 3‰. В то же время осолонение вод Азовского моря не ведет к сокращению нагульного ареала *взрослых* особей данного вида (для производителей лимитирующей является соленость более 35‰, т.е. на уровне средних показателей вод Мирового океана). Это подтверждается результатами учетных траловых съемок, показывающих, что районом нагула *половозрелой* сельди является практически вся акватория Азовского моря и Таганрогского залива. Наиболее благоприятными для функционирования биоценозов Азовского моря являются периоды стабильного гидрологического режима. В этих условиях частично сохраняются опресненные зоны вдоль северо-западного и восточного побережья.

Для сравнения возьмем маловодный 2016 г. и многоводный 2018 г. На рисунках 1 и 3 видно, что особи промысловых размеров (промысловыми считаются особи, достигшие длины 15 см) встречаются практически на всей акватории водного бассейна (Украинское побережье Азовского моря не являлось объектом исследования, данные по этой территории в исследовании не представлены). Наибольшие скопления наблюдались в Арабатском и Казантипском заливах, а также в центральной части Таганрогского залива.

Распределение особей непромысловых размеров (особи меньше 15 см) показано на рисунках 2 и 4. В 2016 г. не было выявлено *молоди* сельди (молодь - особи до 10 см). Сельдь непромысловых размеров была представлена особями длиной 11-15 см. Данная ситуация сложилась из-за повышения солености Азовского моря и Таганрогского залива значительно, в результате чего сократился ареал распространения личинок сельди, ограниченный изогалиной 3‰, и сеголетков, обитающих в районах моря с соленостью, не превышающей 9-10‰. Поэтому, предположительно, *молодь*

черноморско-азовской сельди находилась в прибрежной части Таганрогского залива и устье р. Дон, которая в результате траловой съемки не была учтена.



В 2018 г. численность сеголеток черноморско-азовской проходной сельди по сравнению с предыдущими годами значительно возросла. Это объясняется повышенным уровнем весеннего паводка р. Дон, обеспечившим увеличение скорости течения и улучшение условий выживания икры и личинок (икра и личинки при большой скорости потока не опускаются в придонную часть, а находятся в середине русловой части реки, где условия для выживания и выклева икры более благоприятны). Благодаря значительному весеннему паводку произошло летнее распреснение Таганрогского залива. Это позволило увеличить нагульные площади для молоди сельди. Кроме того, качественные показатели сеголеток улучшились

по сравнению с предыдущими годами. Это отразилось на росте: длина тела молодой сельди в среднем увеличилась на 17%, масса на 21%, по сравнению с показателями прошлого года за аналогичный период.

На основании вышеизложенных фактов можно сделать следующие выводы:

1. Несмотря на эвригалинность взрослой сельди, изменение солёности оказывает существенное влияние на распределение *молоди* данного вида, обитающих в районах моря с солёностью, не превышающей 9-10 ‰. При увеличении солёности до 12 ‰ плотность распределения сеголетков сельди снижается в 7 раз, при солёности выше 12 ‰ они встречаются в уловах трала крайне редко.

2. В результате увеличения солёности на акватории Азовского моря, произошло смещение ареала молоди черноморско-азовской проходной сельди в более распресненные районы (северо-восток Азовского моря и Таганрогский залив).

3. Низкая весенняя водность р. Дон, неблагоприятно отражалась на условиях естественного размножения сельди, выживании ее икры и личинок, нагула молоди. Повышение весеннего паводка в 2018 г. поспособствовало увеличению численности сеголетков в 6 раз, по сравнению с прошлыми годами, что привело к расширению ареала в Таганрогском заливе и восточной части Азовского моря.

Литература

1. Кузнецова И.Д., Чепурная Т.А. Особенности изменения ареалов распространения проходных, полупроходных и морских видов рыб в Азовском море // Актуальные проблемы наук о Земле. Сборник трудов научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. – с. 210 – 212.
2. Кузнецова И.Д., Федоров Ю.А. Влияние солёности и водного стока на распространённость черноморско-азовской проходной сельди в Азовском море // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. №4. 2018. – ст. 33-38.
3. Куропаткин А.П., Жукова С.В., Шишкин В.М., Бурлачко Д.С., Карманов В.Г., Лутынская Л.А., Фоменко И.Ф., Подмарева Т.И. Изменение солёности Азовского моря // Вопросы рыболовства. Том 14 №4(56). 2013.с. 666-673.

ОЦЕНКА ВНУТРИВИДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОБИОНТОВ ИЗ АКВАТОРИЙ БУХТЫ ВИТЯЗЬ И ЗАЛИВА ВОСТОК (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДОВОЙ ДНК

М.А. Кольцова¹, С.В. Туранов^{2,3}, О.А. Рутенко^{1,2}

¹Дальневосточный федеральный университет, Владивосток,
satinneck@gmail.com

²ФГБУН «Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского» Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Владивосток, orutenko@gmail.com

³ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз», Владивосток, sturcoal@mail.ru

ДНК из водной среды всё чаще используется для оценки и мониторинга морских сообществ, так как по сравнению с традиционными методами исследования имеет ряд важных преимуществ: неинвазивный отбор проб, отбор проб там, где традиционные подходы непрактичны или неэффективны, а также необходимы снижение затрат и повышенная чувствительность обнаружения. Данный метод представляет собой перспективный инструмент в области популяционной генетики и филогеографии [3, 1]. В данном исследовании с целью оценки внутривидовой гаплотипической изменчивости массовых морских гидробионтов был поставлен эксперимент по оценке их индивидуальной изменчивости и проведено индивидуальное генотипирование с использованием участка митохондриального гена *COI*.

В качестве объектов для исследования выступили три вида гидробионтов, массовых для местных вод. Гидробионты были собраны из двух точек зал. Петра Великого Японского моря: зал. Восток (3 терпуга *Hexagrammos octogrammus*, 8 безногих опистоцентров *Pholidapus dybowskii*, 16 креветок *Pandalus latirostris*) и бух. Витязь МЭС «м. Шульца» (4 терпуга, 6 опистоцентров, 22 креветки). Кроме того, в местах поимки гидробионтов был произведён отбор воды для последующего анализа средовой ДНК. Воду в объёме 900 мл отбирали из танка с помощью шприца Жане. Весь объём воды пропускали через 1 шприцевую фильтрующую насадку диаметром 25 мм и размером пор 0,45 мкм (материал - PES). Далее ДНК на фильтре фиксировали, пропуская через шприцевую насадку 1 мл буфера лонгмайера, закрывали входное и выходное отверстия заглушками комби-стоппер. Фильтр хранили при 20°C ниже нуля.

Гидробионты были рассажены в соответствии с локальностью поимки в два отдельных аквариума объёмом 150 литров – «Восток» и «Витязь» – в аквариальной ННЦМБ ДВО РАН. Температура в течении всего эксперимента поддерживалась на уровне 15 °C.

Сбор средовой ДНК осуществлялся из обоих аквариумов, всего была произведена фильтрация около 900 мл воды из каждого. Кроме того, была произведена фильтрация воды из резервуара-накопителя в качестве контрольного образца. Процесс осуществлялся по описанной выше методике. Затем выполнен сбор средовой ДНК от гидробионтов индивидуально. Каждый гидробионт был посажен в отдельный аквариум объемом 1,2 литра. Перед подсаживанием особи аквариум очищали с помощью 10% раствора белизны. Затем промывали водой из резервуара-накопителя. После подсаживания гидробионта проводилось его промывание тремя объемами (~3,6 литра) воды с последующим наполнением аквариума той же водой. Спустя некоторое время (от 30 минут до 1 часа) проводили отбор и фильтрацию воды (по 900 мл), а животное помещали в контейнер с 10% раствором уретана для усыпления. Когда животное переставало подавать признаки жизни, его измеряли, взвешивали, а затем брали материал для генетического анализа (у рыб отрезали кусочек скелетной мышцы от задней части тела, у креветок глаз, рот и конечности, затем фиксировали ткань в 95% этаноле). Всего был отобран 31 образец ткани.

Выделение ДНК из зафиксированной ткани производилось с помощью набора “К-СОРБ-100” (Синтол, Москва). На основе выделенной ДНК выполняли амплификацию митохондриального фрагмента *COI* длиной 320 п.о. (Geller et al. 2013; Leray et al., 2013). Смесь для проведения ПЦР состояла из 5x Taq Red buffer (5 мкл), dNTPS (0,5 мкл, концентрация 10мМ), пары праймеров (по 0,12 мкл, концентрация 0,05 мМ каждый) и Taq полимеразы (0,25 мкл, 1,25 единиц на одну реакцию), 1 мкл раствора тотальной ДНК (20-100 нг/мкл), а также дистиллированной воды до конечного объема реакции 25 мкл.

Электрофорез всех ампликонов (31+1 отрицательный контроль) проводился в трис-ацетатном буфере на 1% агарозном геле. В ходе реакции успешно амплифицированы все образцы (выявлен специфичный фрагмент, мигрирующий на уровне ~350 п.о.). Отрицательный контроль не выявил какого-либо продукта реакции. В дальнейшем была выполнена спиртовая очистка образцов и проведена секвенальная реакция в прямом и обратном направлениях. Для реакции использованы праймеры, применявшиеся при амплификации фрагмента *COI*. Смесь состояла из 5x Sequencing buffer (2,15 мкл), набора терминаторов для секвенирования Bright Dye (0,5 мкл), праймера (0,2 мкл), а также дистиллированной воды до конечного объема реакции 12,1 мкл.

После была произведена спиртовая очистка продуктов секвенальной реакции. Капиллярный электрофорез фрагментов был выполнен на генетическом анализаторе 3500 Applied Biosystems. Сборку консенсусных

последовательностей, на основе полученных хроматограмм осуществляли в программе Geneious [4]. На их основе проводили поиск гомологичных последовательностей в NCBI через алгоритм BLAST [2]. Выравнивание совместно с референсными последовательностями, выбранными по результатам BLAST и поиск рамки считывания с помощью инструмента трансляции, проводили в программе Mega 7.0 [5]. После формировали матрицы последовательностей для каждого вида отдельно и проводили оценку гаплотипической изменчивости в программе Dna SP v.6 [6].

Результаты

1. Семь последовательностей вида *H. octogrammus* длиной 284 п.о. содержали 3 гаплотипа в трёх изменчивых сайтах. Один из гаплотипов присутствует у пяти рыб, собранных в б. Витязь. Два других обнаружены у рыб, собранных в б. Восток.

Матрица последовательностей вида *P. dybowskii* длиной 278 п.о. содержит один изменчивый сайт с двумя гаплотипами без чёткой привязки к двум локальностям.

У представителей вида *P. latirostris*, чьи последовательности были длиной 278 п.о., обнаружено два гаплотипа с одним изменчивым сайтом. Один из гаплотипов найден у одной креветки, пойманной в б. Витязь, второй является общим для семи креветок, собранных в б. Восток. Таким образом, географическая компонента в распределении гаплотипов по выборкам присутствует у двух из трёх исследованных видов.

2. На данном этапе исследования остаётся неясным, способен ли более короткий фрагмент *COI* длиной 320 п.о, применяемый в данной работе для определения гаплотипической изменчивости, выявить ту же картину, какую демонстрирует фрагмент длиной 650 п.о.

Полученные результаты внутривидового разнообразия гидробионтов из различных локаций зал. Петра Великого, в дальнейшем будут использованы для сравнительной оценки их гаплотипического разнообразия с использованием средовой ДНК.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-305.2019.4).

Литература

1. Andres, K.J., Sethi, S.A., Lodge, D.M. and Andrés, J. Nuclear eDNA estimates population allele frequencies and abundance in experimental mesocosms and field samples // *Mol Ecol*, 2021. Vol. 30, № 3. P. 685-697.

2. Boratyn, G. M., Schäffer, A. A., Agarwala, R., Altschul, S. F., Lipman, D. J., & Madden, T. L. Domain enhanced lookup time accelerated BLAST // *Biology direct*, 2012. Vol. 7, № 1. P. 1–12.
3. Elbrecht V., Vamos, E. E., Steinke, D., Leese F. Estimating intraspecific genetic diversity from community DNA metabarcoding data // *PeerJ*, 2018. Vol. 6. P. e4644.
4. Kearse, M., Moir, R., Wilson, A., Stones-Havas, S., Cheung, M., Sturrock, S., Buxton, S., Cooper, A., Markowitz, S., Duran, C., Thierer, T., Ashton, B., Meintjes, P., & Drummond, A. Geneious Basic: an integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence data // *Bioinformatics*, 2012. Vol. 28, №12. P. 1647–1649.
5. Kumar, S., Stecher, G., & Tamura, K. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets // *Molecular biology and evolution*, 2016. Vol. 33, №7. P. 1870–1874.
6. Rozas, Julio & Ferrer-Mata, Albert & Sánchez-DelBarrio, Juan & Guirao-Rico, Sara & Librado, Pablo & Ramos-Onsins, Sebastian & Sánchez-Gracia, Alejandro. DnaSP 6: DNA Sequence Polymorphism Analysis of Large Datasets // *Molecular biology and evolution*, 2017. Vol. 34, №12. P. 3299-3302.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ НА БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЯПОНСКОГО МОРЯ

С.П. Кукла

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

Наночастицами (НЧ) называют частицы обладающими линейными размерами менее 100 нм. Благодаря уникальным физико-химическим свойствам, начиная с конца 20 века их производство и производство продуктов, содержащих их, неуклонно растёт. НЧ применяются практически во всех областях человеческой деятельности [3]. При этом НЧ оксидов металлов являются одними из самых широко используемых НЧ в области производства продуктов общего пользования на сегодняшний день. НЧ таки оксидов, как CuO применяются в газовых датчиках, батареях, высокотемпературных сверхпроводниках, преобразователях солнечной энергии. А такие НЧ, как ZnO и TiO_2 , широко применяются в производстве ряда косметологических изделий, в особенности солнцезащитных кремов [2].

Надо отметить, что около половины продуктов, содержащих наноматериалы, представляют собой жидкие суспензии (крема, смазки, масла), либо же нанесены на поверхность твердых материалов (текстиль),

т.е. находятся в легкодоступной для окружающей среды форме [5]. По некоторым расчётам, в процессе производства от 0,1 до 2% НЧ попадает в окружающую среду, 20-80% процентов из которых попадают в воздух и сточные воды. В процессе использования косметологических средств около 75% первоначальных НЧ могут попадать в окружающую среду. Кроме того, в процессе использования НЧ содержащих красок и текстильной продукции в окружающую среду может попадать до 10% НЧ [3]. По прогнозам основанным на математических моделях поступление НЧ в окружающую среду, концентрации отдельных НЧ будут достигать нескольких десятком мкг/л для водной среды или даже мг/кг для донных отложений в ближайшем будущем [4]. Есть данные о вымывании НЧ из фасадных красок и попадание их в сточные и в морские воды [1]. Было зафиксировано попадание НЧ в водоёмы при их использовании в рекреационных целях, в связи с использованием отдыхающими солнцезащитных кремов [2].

Увеличение объемов производства НЧ содержащих товаров в конечном итоге приводит к их попаданию в окружающую среду, особенно в прибрежные и эстуарные районы, являющиеся конечной точкой многих загрязняющих веществ. В связи с этим особое опасение вызывает состояние бентосного сообщества в этих районах.

Лабораторией морской экотоксикологии было изучено влияние НЧ ZnO, CuO и TiO₂ на двух широко распространённых представителей бентосного сообщества залива Петра Великого: мидию Тихоокеанскую *Mytilus trossulus* и Фиолетового плоского морского ежа *Scaphechinus mirabilis*.

Было показано различие в уровнях аккумуляции металлов, после воздействия ионов металлов и НЧ оксидов этих металлов в одинаковых концентрациях. Для *M. trossulus* были показаны различия в аккумуляции НЧ между жабрами (Ж) и пищеварительной железой (ПЖ) моллюска. Степень накопления меди в ПЖ превышала этот показатель в Ж, при воздействии НЧ, в то время как при воздействии ионов меди эффект был противоположным.

По результатам кометного анализа, все исследуемые НЧ оказывали на экспериментальных животных выраженный генотоксический эффект. Сравнение генотоксического эффекта, индуцируемого НЧ, с воздействием ионов металлов показало, что он не имеет прямой зависимости от концентрации НЧ в среде или конкретном исследуемом органе. Таким образом показано, что токсический эффект, вызываемый НЧ, не основан только лишь на растворении НЧ в окружающей среде, или среде клетки, а имеет свои уникальные механизмы, являющиеся следствием их нано-размера.

Литература

1. Adeleye S.A., Oranu E.A., Tao M., Keller A. A. Release and detection of nanosized copper from a commercial antifouling paint // *Water Research*, Vol. 102. P. 374-382.
2. Gondikas A.P., Kammer F., Reed R. B., Wagner S., Ranville J. F., Hofmann T. Release of TiO₂ Nanoparticles from Sunscreens into Surface Waters: A One-Year Survey at the Old Danube Recreational Lake // *Environ. Sci. Technol.* 2014, Vol. 48, P 5415–5422
3. Keller A. A., McFerran S., Lazareva A., Suh S. Global life cycle releases of engineered nanomaterials // *J. Nanopart. Res.* 2013. Vol. 15. P. 1-17.
4. Sun T.Y., Bornho N.A. Hungerbuhler K., Nowack B. Dynamic Probabilistic Modeling of Environmental Emissions of Engineered Nanomaterials // *Environ. Sci. Technol.* 2016. Vol. 50. P. 4701–4711.
5. Vance M.E., Kuiken T., Vejerano E. P., McGinnis S. P., Hochella Jr M.F., Rejeski D. Hull M. S. Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory // *Beilstein J. Nanotechnol.* 2015, Vol. P. 1769–1780.

ОЦЕНКА ЗАПАСА ЧЁРНОГО ПАЛТУСА В ОХОТСКОМ МОРЕ С УЧЁТОМ ПРИДОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

В.В. Кулик¹, О.А. Мазникова²

¹*Тихоокеанский филиал «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток,
vladimir.kulik@tinro-center.ru*

²*Центральный аппарат «ВНИРО», г. Москва, maznikovao@vniro.ru*

Тихоокеанский чёрный палтус (*Reinhardtius hippoglossoides matsuurae*) является одним из приоритетных объектов отечественного рыболовства на Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне. Промысел палтуса осуществляется во всех рыбопромысловых подзонах Охотского моря, но распределение промысловых усилий остается неравномерным. В преднерестовый и нерестовый периоды большая часть флота дислоцируется в местах концентраций половозрелых особей – склонах впадины ТИНРО и желоба Лебеда, впадине Дерюгина, а в нагульный – на путях миграций к ним.

В Охотском море черный палтус занимает доминирующее положение в донных и придонных биотопах свала глубин в присахалинских водах, уступая только минтаю (*Theragra chalcogramma*) в остальных районах моря [5]. В среднем до 2010 г. биомасса палтуса оценивалась на уровне 324 тыс. т, при этом в северной части – 220,1 тыс. т, прикамчатских водах – 46,8 тыс. т в и 57,1 тыс. т в присахалинских водах [5]. Эти оценки получены перемножением средней плотности (кг/км²) на площадь страт (км²), допуская независимость наблюдений по месту в их пределах и времени, что

не было проверено. В 2010 и 2013 гг. при проведении специалистами «ТИНРО» учетных работ, которые охватывали свал глубин, биомасса палтуса оценивалась в 249,5 и 206,1 тыс. т, соответственно, в подзонах Северо-Охотоморская (ПСО), Западно-Камчатская (ПЗК) и Камчатско-Курильская (ПКК) [3]. В подзоне Восточно-Сахалинская (ПВС) учетная биомасса в 1997 г. и 2009 г. составили 18,5 тыс. т в 1997 г. и 6,1 тыс. т соответственно [2]. Таким образом, на протяжении более 10 лет состояние приоритетного объекта рыболовства оценивается ниже среднего с отрицательной тенденцией. Снижение биомассы относительно конца XX века прослеживалось и в моделях биологических процессов [2-4], рекомендованных «ВНИРО» для оценки запасов [1].

Весной 2018 г. в пределах промысловой зоны Охотское море была выполнена траловая съемка, ориентированная на учет глубоководных видов водных биологических ресурсов. Отличительной чертой от предыдущих работ стали сроки проведения. Работы выполнены донным тралом с вертикальным раскрытием от 3 до 6,7 м, а горизонтальное не измерялось, допуская его среднее значение около 16 м. Всего выполнено 171 траление от края шельфа до глубины 1 км. Предварительная оценка биомассы чёрного палтуса в 2018 г. по результатам выполненных работ не соответствовала прогнозным оценкам и находилась на минимальном уровне 117 тыс. т. в ПСО, ПЗК и ПКК. Для ПВС величина биомассы была рассчитана несколькими методами, полученные значения варьировали в пределах от 6 до 50 тыс. т. Таким образом, попытки экстраполяции биомассы черного палтуса методом площадей с целью экспертной оценки вероятных факторов, влияющих на распределение и оценки биомассы, оказались неприемлемыми.

В связи с этим, в данной работе биомасса чёрного палтуса оценена нетрадиционным для «ТИНРО» методом – в обобщённой аддитивной модели (GAM) [7] с учётом нелинейного влияния глубины и скорости траления, а также придонной температуры по формуле линейного предиктора (η) плотности (кг) в Твиди распределении математического ожидания с логарифмической функцией связи:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 \ln(S) + \beta_2 \ln(V) + \beta_3 \ln(H) + f_1(\ln(h)) + f_2(T) + f_3(E, N),$$

где β_0 – общее смещение, β_1 – коэффициент площади траления – S в км², β_2 – коэффициент скорости траления V в морских узлах, β_3 – коэффициент вертикального раскрытия трала – H в м, f_1 и f_2 – тонкоплёночные регрессионные сплайны (TPRS) по глубине – h в м и придонной температуре – T в °С, а f_3 – двумерный TPRS по км сетке в

восточном направлении (E) и в северном (N) в конформной конической проекции Ламберта с центральным меридианом в 150° в.д. и параллелью в 54° с.ш. и опорными широтами в 50° и 58° с.ш.

Число узлов сплайнов оптимизировано методом обобщённой кросс-валидации одновременно с остальными параметрами методом максимального правдоподобия в пакете *mgcv* (<https://cran.r-project.org/web/packages/mgcv/>) для языка программирования R (<https://cran.r-project.org/>). Настроенная GAM имела наименьшие информационные критерии среди альтернативных с меньшим числом членов или без TPRS. Всего GAM объяснила 78,4 % дисперсии. Степенной параметр Твиди распределения оказался таким (1,5), что составное распределение находится между распределением Пуассона и Гамма с логарифмической связью. Все сплайн члены имели высокую статистическую значимость ($p < 0,001$), а линейные нет. Число псевдоузлов в $f_1(\ln(h))$ и $f_2(T)$ оптимизировано около 1,9 и 1,8, соответственно (Рисунок 1), а в $f_3(E, N)$ около 8,9, что почти в 3 раза ниже стартовых значений.

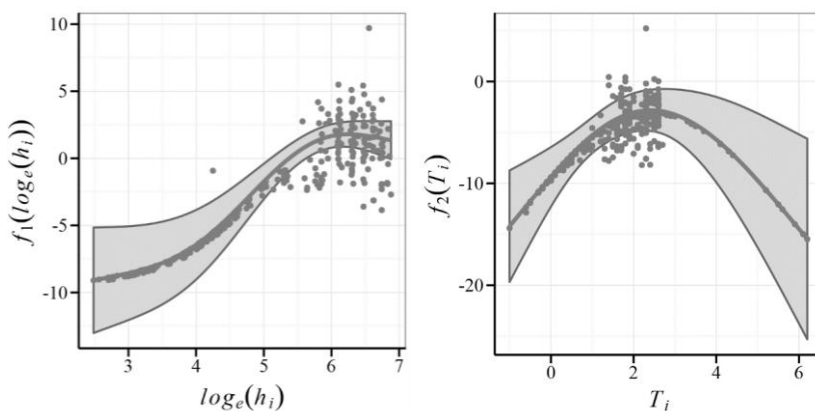


Рисунок 1. TPRS по глубине (h , м) и придонной температуре (T °C)

Максимальная ошибка найдена для общего смещения ($\beta_0 = -4,99 \pm 3,95$). Исключение остальных лог-линейных членов вело к увеличению информационных критериев и снижению доли описанной дисперсии. На ряду с ожидаемо положительным эффектом вертикального раскрытия трала ($\beta_3 = 0,736 \pm 0,636$), эффекты площади и скорости траления оказались отрицательны ($\beta_1 = -1,04 \pm 0,687$ и $\beta_2 = -3,94 \pm 2,31$, соответственно). Вероятно, более скоростные траления (которые и увеличивают площадь при равном времени) достаточно увеличивают шанс отрыва трала от грунта и ухода

рыбы под трал, а более высокое вертикальное раскрытие снижает вероятность ухода палтуса из устья трала. При интерполяции использованы медианы этих предикторов, нивелируя их роль до 0, исключая площадь траления. Вместо площади траления для прогнозирования распределения биомассы использована площадь каждого из 873299 гексагонов пространственной сетки, сгенерированной в идентичной $f_3(E,N)$ проекции, но площадь каждого гексагона определялась на сфероиде WGS84 от 0,862 до 0,870 км² (в среднем и по медиане 0,869 км²) в геоинформационной системе QGIS 3.10.1 (<https://qgis.org>). Каждый гексагон служил для агрегации средних глубин из наблюдений «ТИПРО» или GEBCO (<https://www.gebco.net/>) при их отсутствии по месту в «ТИПРО», а также интерполированной придонной температуры, измеренной инструментально в слое облова, алгоритмом DIVA [6] с параметрами $L = 0,5$ и $\varepsilon^2 = 2$.

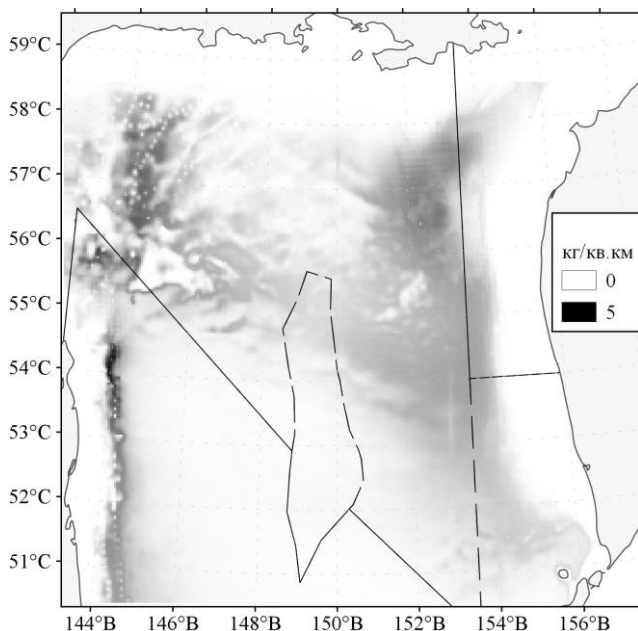


Рисунок 2. Математическое ожидание плотности чёрного палтуса в Охотском море в 2018 г.

Математическое ожидание плотности скоплений (кг/км²) чёрного палтуса показано на рисунке 2. Суммарно по всем гексагонам в рамках исследованного района в 2018 г. вычислено около 198,178 тыс. т черного палтуса, что почти вдвое выше изначальной оценки, но нижняя граница

доверительного интервала новой оценки находится ещё ниже – 89,890 тыс. т (Таблица).

Несмотря на маловероятные оценки биомассы по верхней границе доверительного интервала, который учитывает всю неопределённость по параметрам GAM, в среднем биомасса чёрного палтуса в Охотском море оценивается ниже таковой на рубеже XX и XXI веков и ниже, чем в конце первой декады XXI века, но уже не в 2 раза. Следует отметить, что здесь не учтена неопределённость по коэффициенту уловистости ($KU=0,4$), который задаётся априори известным со 100% точностью, как и по горизонтальному раскрытию трала, равному 16 м. Следовательно, найденная средняя биомасса чёрного палтуса в 198,178 тыс. т в 2018 г. может иметь ещё более широкие доверительные интервалы.

Таблица. Оценки биомассы в тыс. т чёрного палтуса по подзонам промысловой зоны Охотское море в 2018 г. по итогам GAM

Подзона	Нижняя граница доверительного интервала	Средняя	Верхняя граница доверительного интервала
ПКК	7,191	14,514	32,307
ПСО	63,464	130,794	289,410
ПЗК	6,036	12,483	93,688
ПВС	11,098	35,305	148,289
Центральная часть	2,100	5,082	13,459
Всего	89,890	198,178	577,153

Таким образом, оптимальная GAM по информационным критериям включает придонную температуру, значимость TPRS которой крайне высока ($p < 0,001$). Аналогичная модель, не включающая придонную температуру, описывает на 8,7% дисперсии меньше. Соответственно, при выполнении оценок биомассы и разработке прогноза общего допустимого улова черного палтуса промысловой зоны Охотское море предлагается использовать рассмотренную обобщённую аддитивную модель (GAM) как более точный метод, чем не использующие дополнительную информацию о придонной температуре и особенностях тралений.

Литература

1. Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Ильин О.И., Ковалев Ю.А., Михайлов А.И., Михеев А.А., Петухова Н.Г., Сафаралиев И.А., Четыркин А.А., Шереметьев А.Д. Методические рекомендации по оценке запасов

приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО, 2018. 312 с.

2. Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова гидробионтов по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2019 г. (краткая версия). Владивосток: ТИНРО, 2019. С. 113–114.

3. Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова гидробионтов по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2019 г. (краткая версия). Владивосток: ТИНРО, 2019. С. 110–112.

4. Кулик В.В., Пранц С.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю., Файман П.А., Глебов И.И., Глебова С.Ю., Новиков Р.Н. Связь запасов чёрного палтуса в промысловой зоне Охотское море с факторами внешней среды // Известия ТИНРО. 2020. Т. 200, вып. 1. С. 58–81.

5. Шунтов В.П., Темных О.С. Среднегодовалая биомасса и доминирующие виды рыб в донных и придонных биотопах Охотского моря. Сообщение 2. Состав и количественное соотношение видов на свале глубин в разных районах моря // Известия ТИНРО. 2018. Т. 193. С. 20 – 32.

6. Barth A., Beckers J.-M., Troupin C., Alvera-Azcárate A., Vandenbulcke L. DIVAnd-1.0: n-dimensional variational data analysis for ocean observations // Geosci. Model Dev. 2014. V. 7, Iss. 1. P. 225–241.

7. Wood S.N. Generalized Additive Models: An Introduction with R. N.Y.: Chapman and Hall/CRC, 2017. 2nd ed. — 476 p.

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ И ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ САЙКИ (*BOREOGADUS SAIDA*) В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ

О.А. Мазникова, П.О. Емелин, Е.В. Ведищева

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

Несмотря на то, что в последние годы интерес к Арктике из-за разведки и освоения новых нефтегазовых месторождений этого региона значительно возрос, отсутствие полноценных исследований биологического разнообразия и состояния запасов водных биоресурсов в арктических морях негативно влияет на разработку концепции их долгосрочного устойчивого использования и сохранения. В восточном секторе российской Арктики наименее изученным является Восточно-Сибирское море.

Сайка – ключевой компонент морской экосистемы Арктики. Благодаря относительно высокой численности она является надёжным индикатором изменений в экосистемах, а также занимает центральное место в трофической сети Северного Ледовитого океана [3,4 и др.]

В Восточно-Сибирском море сайка является наименее изученной по сравнению с другими арктическими морями. В настоящее время в литературе почти отсутствует информация о пространственном распределении и особенностях биологии вида, поэтому провести подробный анализ изменений ее биологических параметров за последние годы не представляется возможным.

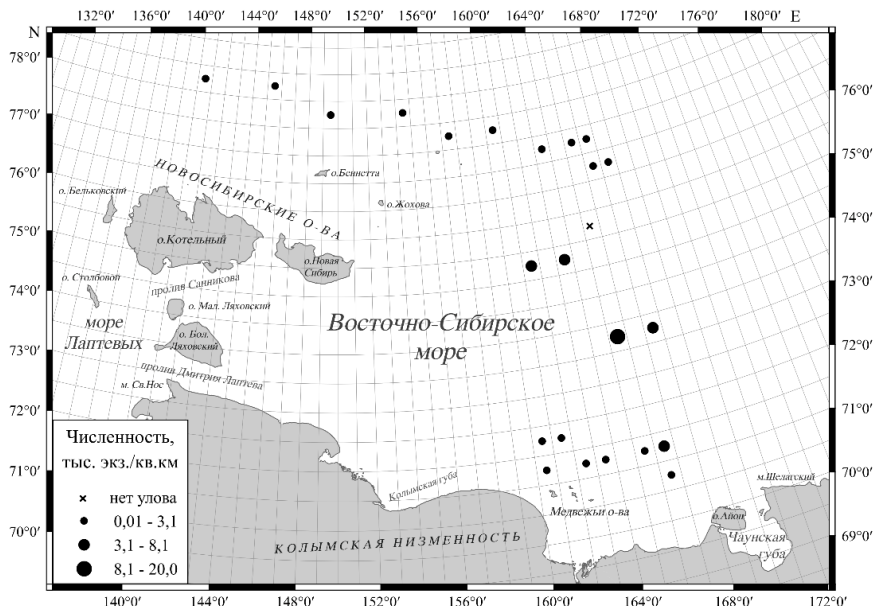
Целью настоящего исследования является оценка численности и биомассы сайки, а также описание особенностей ее биологии и пространственного распределения в Восточно-Сибирском море.

В основу работы положены материалы донных траловых съемок НИС «ТИНРО» и «Профессор Леванидов» в Восточно-Сибирском море в 2015 и 2019 гг. При проведении учетных работ был использован донный трал ДТ/ТВ 27,1/24,4 с горизонтальным раскрытием 16 м и вертикальным – 3-4 м. В качестве распорных средств использованы сферические доски площадью 4,3 м². Работа с данными проводилась в СУБД Microsoft Access 2016. Статистическая обработка выполнена в программе PAST v. 3.14 [5]. Геостатистическая обработка данных, в том числе расчет площадей полигонов, проводилась в ГИСе QGIS Desktop 2.18 (<https://qgis.org/ru/site/>) в системе координат WGS 84. Подробная методика оценки параметров обилия изложены в работах Волвенко [1,6].

Пространственное распределение. В августе 2015 г. был обследован локальный участок шельфа в южной части моря в диапазоне глубин 20-34 м при значениях придонных температур от -1,57 до 2,3°C, где сайка не образовывала плотных скоплений. Агрегации максимальной плотности находились в восточном секторе в зоне влияния более соленых водных масс океанического происхождения. Второе пятно со скоплениями локализовано на траверзе Медвежьих островов в пределах 20-метровой изобаты в вихре циклонической направленности (Рисунок). Какой-либо четкой закономерности в пространственном распределении сайки не выявлено. Сеголетки были немногочисленны и отмечались преимущественно в центральной части исследуемой акватории. С увеличением глубины и понижением придонной температуры с 2°C до -1,57°C происходило снижение средних показателей плотности скоплений.

В 2019 г. был обследован участок шельфа с диапазоном глубин от 33 до 221 м при значениях придонных температур от 0,2 до -1,7 °С. Как и в 2015 г., в 2019 г. на исследованной акватории Восточно-Сибирского моря распределение сайки было разреженным. При этом в южном секторе можно выделить несколько участков скоплений повышенной плотности: первый в пределах координат 73°25'с.ш., 165°5'-167°5'з.д. на глубине 33-34 м и температуре -1,58...-1,51 °С. Второй участок расположен в координатах

74°75'с.ш., 161°5'-163°5'з.д. (рисунок). Значения глубины и придонной температуры составили соответственно 43-47 м и -1,51...-1,06 °С. По мере увеличения глубины (53-221 м) и придонной температуры (-1,46-+0,2 °С) плотность скоплений сайки продолжала снижаться. В восточном секторе исследованной акватории плотность агрегаций была меньше, чем в западном.



Относительная численность сайки на исследованной акватории Восточно-Сибирского моря в 2015 и 2019 гг.

Размерно-возрастной состав. В 2015 и 2019 гг. размерно-возрастной состав скоплений сайки отличался незначительно; средняя длина особей составила соответственно $10,0 \pm 0,1$ см и $12,0 \pm 0,01$ см. При этом, основу уловов в 2015 г. формировали рыбы длиной 8-11 см (78 %), в 2019 – 12-14 см (62,6 %). Различий в средних размерах самок и самцов не отмечено. Зависимость длина-масса хорошо описывается степенной функцией $W = 0,000005x FL^{3,067}$ ($R^2 = 0,9314$).

Обловленные скопления в 2015 и 2019 гг. состояли из рыб в возрасте 0 + -6+ лет. Не смотря на то, что и в 2015 и в 2019 гг. основу численности формировали особи идентичных возрастных групп, соотношение их было

разным: в первом случае основу скоплений формировали особи в возрасте 1+(77 %) и 2+ (13 %), во втором – 39 % и 54 % соответственно.

Интересно, что по результатам проведенных исследований какой-либо связи между изменениями размерных характеристик и глубины выявить не удалось. Это вполне укладывается в представление об отсутствии батиметрической специализации у большинства видов морской ихтиофауны Восточно-Сибирского моря, обитающих в широком диапазоне глубин [2]. Это позволяет избегать жестких фоновых условий зимнего периода на шельфе, а в летний сезон максимально использовать трофические ресурсы мелководных акваторий.

Соотношение полов. В 2015 г. на исследованной акватории соотношение полов было близко 1:1 (42 % самок и 45,5 % самцов), на долю ювенильных особей пришлось 12,5%. Подавляющее количество рыб были неполовозрелыми (85 % самцов и 92 % самок). В 2019 г. соотношение полов отличалось незначительно (37,2 % самок, 47,8 % самцов и 15 % ювенильных особей). Переход рыб на III стадию отмечен при достижении длины 11 см (самцы) и 12 см (самки).

Численность и биомасса. Учетные численность и биомасса сайки шельфе Восточно-Сибирского моря в 2015 г. составили 0,154 тыс. тонн и 19,9 млн. экз., в 2019 – 0,780 тыс. тонн и 62,3 млн. экз. Такая разница в оценках может быть вызвана качественным составом уловов и площадью исследованной акватории.

Таким образом, не смотря на фрагментарность полученных данных, они существенно дополняют уже имеющиеся представления о биологии сайки не только Восточно-Сибирского моря, но и восточного сектора Арктики в целом.

Авторы выражают благодарность научным группам и экипажам НИС «ТИНРО» и «Профессор Леванидов».

Литература

1. Волвенко И.В. Информационное обеспечение комплексных исследований водных биоресурсов Северо- Западной Пацифики. Часть 3: ГИС, атласы, справочники, новые перспективы //Труды ВНИРО. 2015.Т.157.С.100-126
2. Черешнев И. А., Кириллов А. Ф. Рыбообразные и рыбы морских и пресных вод бассейнов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского //Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2007. №. 2. С. 95-106.
3. Bouchard C., Fortier L. Circum-arctic comparison of the hatching season of polar cod *Boreogadus saida*: a test of the freshwater winter refuge hypothesis// Progress in Oceanography. 2011. Vol. 90. №. 1-4. P. 105-116.

4. Christiansen JS, Hop H, Nilssen EM, Joensen J. Trophic ecology of sympatric Arctic gadoids, *Arctogadus glacialis* (Peters, 1872) and *Boreogadus saida* (Lepechin, 1774), in NE Greenland. //Polar biology. 2012. Vol. 35. Iss. 8.P. 1247-1257.
5. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis//Palaeontologia electronica. 2001. Vol. 4. Iss.1. pp. 9.
6. Volvenko I. V. GIS and Atlas of Salmons spatial-temporal distribution in the Okhotsk Sea //NPAFC Doc. 2003. Vol. 729. p. 1-32.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ САЙКИ (*BOREOGADUS SAIDA*) МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

О.А. Мазникова, П.О. Емелин

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

В структуре и функционировании морской экосистемы моря Лаптевых сайка играет значительную роль. Впервые ее нахождения здесь отмечено в Анабарском заливе в 1947 г. [2]. Далее исследования биологии сайки носили эпизодический характер и вплоть до 2015 г. оценки численности и биомассы данного вида водных биологических ресурсов не осуществлялись.

Целью настоящего исследования является оценка параметров обилия, а также описание биологии и пространственного распределения сайки в море Лаптевых.

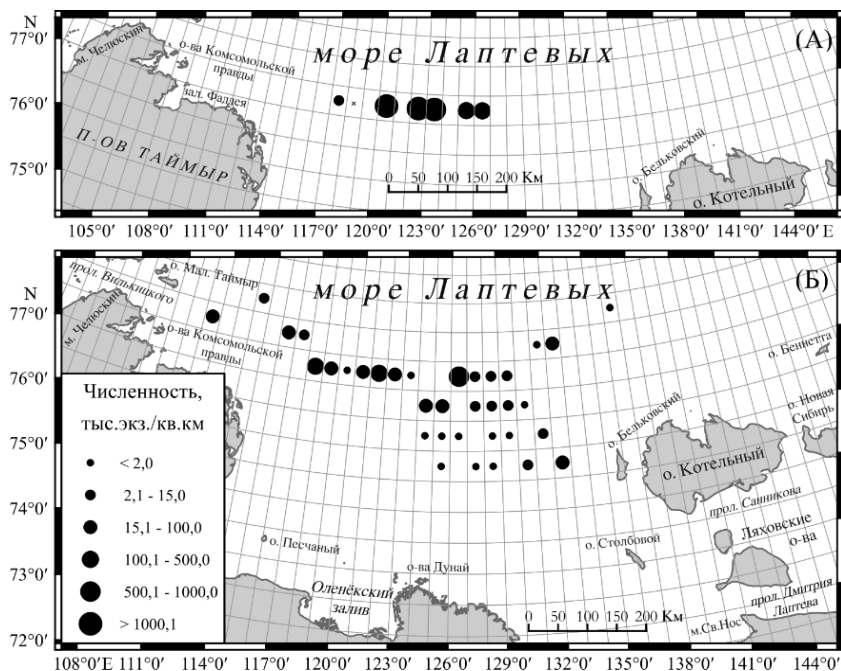
В основу работы положены материалы траловых съемок НИС «ТИНРО» и «Профессор Леванидов» в 2015 и 2019 гг. При проведении учетных работ были использованы донный ДТ/ТВ 27,1/24,4 и разноглубинный РТ/ТМ 80/396 тралы. Работа с данными проводилась в СУБД Microsoft Access 2016. Статистическая обработка выполнена в программе PAST v. 3.14 [5]. Геостатистическая обработка данных, в том числе расчет площадей полигонов, выполнена в ГИСе QGIS Desktop 2.18 (<https://qgis.org/ru/site/>) в системе координат WGS 84. Подробная методика оценки параметров обилия изложены в работах Волвенко [1,6].

Пространственное и вертикальное распределение. В сентябре 2015 г. над внешним краем шельфа и верхним отделом склона в пределах координат 77° с.ш и 117-127° в.д. были обследованы пелагические скопления сайки. В центральной части отмечено пятно повышенной концентрации в координатах 77°с.ш и 120-121°в.д. с последующим его смещением в восточном направлении и постепенным разреживанием. Западнее 120° в.д. в смешанном скоплении отмечены сеголетки. Основные

скопления в придонном слое были приурочены к внешнему краю шельфа (Рисунок).

В вертикальном распределении сайки какой-либо закономерности в зависимости от глубины не выявлено. Устойчивые скопления в пелагиали были приурочены к изобатам 30-40, 80-90 и 170-180 м. По данным донных тралений, максимальные концентрации отмечены на внешнем крае шельфа на глубинах 100-110 м при температуре $-1,25^{\circ}\text{C}$, а также в горизонтах 220-230 и 340-350 м.

В сентябре 2019 г. в центральной части моря Лаптевых сайка отмечалась в пре на глубинах от 110 до 752 м. Основные скопления были приурочены к юго-западной части исследуемой акватории (355 м), минимальные – к северо-восточной части (475 м) (рисунок). Во время проведения исследований температура в придонном слое варьировала от $-1,26$ до $1,38^{\circ}\text{C}$.



Относительная численность сайки моря Лаптевых по данным пелагических (вверху) в 2015 г. и донных (внизу) тралений в 2015 и 2019 гг.

Размерно-возрастной состав. В 2015 г. размерно-весовые показатели

сайки в пелагиали незначительно отличались от таковых в придонных горизонтах. Здесь длина особей варьировала от 7 до 24 см (ср. $12,8 \pm 0,3$ см), основу учтенной численности формировали рыбы длиной 11-13 см. Длина сеголетков изменялась от 7 до 9 см; средняя длина самцов составила $13,1 \pm 0,3$ см, самок – $12,7 \pm 0,3$ см. В придонном слое размерные показатели рыб изменялись от 4 до 29 см (ср. $19,4 \pm 0,2$ см). Здесь преобладали особи длиной 20-21 см. Самки были крупнее самцов; их средняя длина составила $19,9 \pm 0,2$ см и $18,7 \pm 0,3$ см соответственно. Западнее $127^{\circ}0'$ в.д. скопления формировали особи со средней длиной от 14,6 до 20,6 см, восточнее – от 9,6 до 15,1 см. В 2019 г. придонные скопления формировались особями с длиной тела от 6 до 25 см (ср. $13,6 \pm 0,03$ см). Основу численности формировали особи длиной 13-15 см.

Связь между длиной и массой тела особей хорошо описывается формулой $W=6,1878 \times FL^{0,3074}$ ($R^2 = 0,9637$).

Возрастной состав пелагических и придонных скоплений в 2015 г. был схожим, но с различным соотношением возрастных когорт. В пелагиали преобладали рыбы в возрасте 1+ (62,2%) и 2+ (32,3%). Придонные скопления формировали преимущественно крупные особи в возрасте трёх (23,1%) и четырёх (49,3%) лет. Доля сеголетков как в пелагиали, так и в придонных скоплениях не превышала 1%. В 2019 г. придонные скопления были сформированы рыбами в возрасте 1+(22,1 %)-2+(61,7 %).

Соотношение полов. В пелагиали в обливаемых скоплениях в 2015 г. численно преобладали самки (58,0 %). В отличие от придонных горизонтов, самцы и самки преимущественно были неполовозрелыми (56,2 и 82,4% соответственно). В придонных скоплениях соотношение полов составило ♀♂ 57,5:42,5 %. Превалирующее количество самцов имели III стадию зрелости гонад (79,9 %), доля неполовозрелых особей составила – 20,1 %. В 2019 г. на долю самцов пришлось 44,5 %, на самок соответственно 55,5 %. Подавляющее количество самок были неполовозрелыми (92,4 %). У самцов соотношение по стадиям зрелости отличалось. На долю особей на II и III стадиях зрелости было отмечено соответственно 47,8 и 47,2 % особей.

Численность и биомасса. Численность и биомасса сайки на внешнем шельфе и верхней части материкового склона моря Лаптевых в 2015 г. составили 233,3 тыс. тонн и 12753,2 млн. экз. В 2019 году в придонных скоплениях параметры обилия составили – 702,2 млн. экз. и 10,4 тыс. т.

Таким образом, море Лаптевых является малопродуктивным районом с относительно плотными скоплениями сайки. При этом, не смотря на высокую численность, она вряд ли здесь будет являться объектом специализированного лова, что обусловлено рядом причин. Во-первых,

скопления сайки не стабильны, во-вторых, это тяжелые ледовые условия и низкая стоимость продукции, что делает такую добычу нерентабельной.

Авторы выражают благодарность научным группам и экипажам НИС «ТИНРО» и «Профессор Леванидов».

Литература

1. Волвенко И.В. Информационное обеспечение комплексных исследований водных биоресурсов Северо-Западной Пацифики. Часть 3: ГИС, атласы, справочники, новые перспективы //Труды ВНИРО. 2015.Т.157.С.100-126
2. Москаленко Б.К. О биологии полярной трески (сайки) *Boreogadus saida* (Lepechin) //Вопр. ихтиол. 1964. Т. 4. №. 3. С. 32.
3. Bouchard C., Fortier L. Circum-arctic comparison of the hatching season of polar cod *Boreogadus saida*: a test of the freshwater winter refuge hypothesis// Progress in Oceanography. 2011. Vol. 90. №. 1-4. P. 105-116.
4. Christiansen JS, Hop H, Nilssen EM, Joensen J. Trophic ecology of sympatric Arctic gadoids, *Arctogadus glacialis* (Peters, 1872) and *Boreogadus saida* (Lepechin, 1774), in NE Greenland. //Polar biology. 2012. Vol. 35. Iss. 8.P. 1247-1257.
5. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis//Palaeontologia electronica. 2001. Vol. 4. Iss.1. pp. 9.
6. Volvenko I. V. GIS and Atlas of Salmon's spatial-temporal distribution in the Okhotsk Sea //NPAFC Doc. 2003. Vol. 729. p. 1-32.

ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРОСФЕР ПОЛИСТИРОЛА И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ НА МИДИЮ ТИХООКЕАНСКУЮ *MYTILUS TROSSULUS* (GOULD, 1850)

А.А. Мазур¹, Н.В. Довженко¹, С.П. Кукла¹, М.А. Мазур²

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

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

Загрязнение прибрежно-морской зоны пластиком является глобальной экологической проблемой. По данным исследователей, в 2010 г. в Мировом океане находилось около 8 млн тонн пластика. В настоящее время мелкие частицы пластика получили обобщающее название – микропластик. С 2004 г. микропластик признан загрязнителем окружающей среды. Обнаруженный впервые в 1970-х годах на поверхности океана, он в настоящее время найден практически везде: в воздухе, в воде внутренних водоемов и Мирового океана, на пляжах, а также в донных отложениях глубоководных частей морей. Особую озабоченность вызывает обнаружение частиц микропластика в большинстве морских живых организмов.

Микропластик и нанопластик могут оказывать совсем другое воздействие на живые организмы, чем более крупные полимерные частицы, поскольку имеют большую удельную площадь поверхности, а также высокую поверхностную реакционную способность, что делает их весьма динамичными в окружающей среде. Такие частицы легко проникают внутрь морских организмов, что приводит не только к механическому повреждению слизистых тканей и засорению желудочно-кишечного тракта, но и к серьезным нарушениям физиологических процессов. Однако механизмы токсичности микро- и нанопластика до сих пор остаются невыясненными [6].

Планктонные и бентосные морские организмы наиболее подвержены негативному воздействию от микропластиковых частиц, так как наибольшее количество полимерных частиц, попавших в воды Мирового океана, находятся либо в толще воды, либо в придонном слое [2]. При этом, работы, посвященные исследованию накопления микропластика морскими организмами и воздействия полимерных микрочастиц на их состояние, начали появляться в последние несколько лет. Цель работы заключалась в изучении токсического воздействия микросфер полистирола и наночастиц оксида меди на мидию тихоокеанскую *Mytilus trossulus*.

В качестве объектов исследований были использованы взрослые особи (5-7 см) мидии тихоокеанской *M. trossulus*, собранные в октябре в б. Воевода.

Эксперименты с моллюсками проводились в аквариумах с объемом воды 50 л при постоянной температуре (18-19 °С) с интенсивным воздухоподдувом. Двустворчатые моллюски подвергались воздействию микросфер полистирола в концентрации 10^5 шт/л диаметром 0.9 мкм и 20 мкг/л раствора наноформы оксида меди в течение 5 дней. После чего в клетках жабр и пищеварительной железы мидий определяли следующие показатели: стабильность мембран лизосом (СМЛ), интегральную антиоксидантную активность (ИАА) и повреждение ДНК.

Для оценки стабильности мембран лизосом (СМЛ) применяли цитохимический метод [3]. Метод основан на захвате лизосомами красителя нейтрального красного, время удерживания которого отражает степень повреждения мембран. Интегральную антиоксидантную активность (ИАА) антиоксидантов определяли по их способности подавлять реакцию окисления АВТС пероксильными и алкоксильными радикалами, образующимися при термическом разложении АВАР (2, 2'-азобис (2-аминопропан) гидрохлорид) [1]. Количество поврежденной ДНК оценивали в жабрах и пищеварительной железе мидий, используя щелочной вариант кометного анализа [4] адаптированного для морских организмов [5].

Результаты всех экспериментов обрабатывали с помощью пакетов программ Excel и Statistica: определяли среднее арифметическое и стандартное отклонение. Достоверность различий оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа по критерию Дуннетта (Dunnett).

В ходе проведенного анализа были получены данные о влиянии исследуемых частиц на стабильность мембран лизосом (Рисунок 1). Достоверные отличия от контрольных значений наблюдались в экспериментальных группах, подвергшихся воздействию наночастиц оксида меди и при сочетанном воздействии исследуемых токсикантов. При этом, у мидий, экспонирующихся при внесении в воду и наночастиц и микропластика значение СМЛ составило $42 \pm 4,26$ минуты, что указывает на патологическое состояние особей.

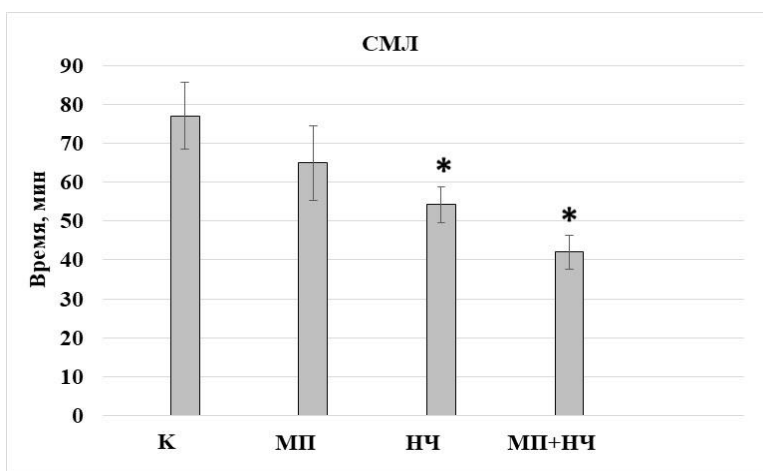


Рисунок 1. Изменение стабильности мембран лизосом *M. trossulus* при воздействии микропластика (МП) и наночастиц (НЧ) (среднее \pm стандартное отклонение, $n=20$) * - отличие от контроля достоверно ($p < 0,05$)

Кроме того, в результате эксперимента было установлено, что у всех исследованных моллюсков уровень ИАА в клетках пищеварительной железы был выше, чем в жабрах (Рисунок 2). Отмечено, в клетках пищеварительной железы, особей, подвергшихся воздействию микросферами полистирола показатель ИАА достоверно снизился. При воздействии наночастиц оксида меди интегральная антирадикальная активность снизилась в 2,2 раза, такое изменение данного биомаркера свидетельствует о снижении активности низкомолекулярного звена антиоксидантной системы и выраженном токсическом воздействии с

развитием окислительного стресса в организме. При сочетанном воздействии исследуемых частиц уровень ИАА также существенно снизился.

Данные о генотоксичности микросфер полистирола и наноразмерных частиц оксида цинка указаны в таблице. Анализ целостности ДНК при воздействии на *M. trossulus* показал, что в клетках жабр экспериментальной группы моллюсков, содержащихся в воде с добавлением микропластика, происходило достоверное увеличение доли ДНК, мигрирующей из ядра кометы. В клетках жабр количество ДНК в хвосте кометы увеличилось в 2,5 раза относительно контрольных значений. В клетках пищеварительной железы также произошло увеличение повреждения ДНК, однако относительно контроля количество ДНК в хвосте кометы достоверно не изменилось. Отсутствие достоверных отличий связано с высокой вариабельностью значений, что в свою очередь объясняется гетерогенностью всех выборок комет.

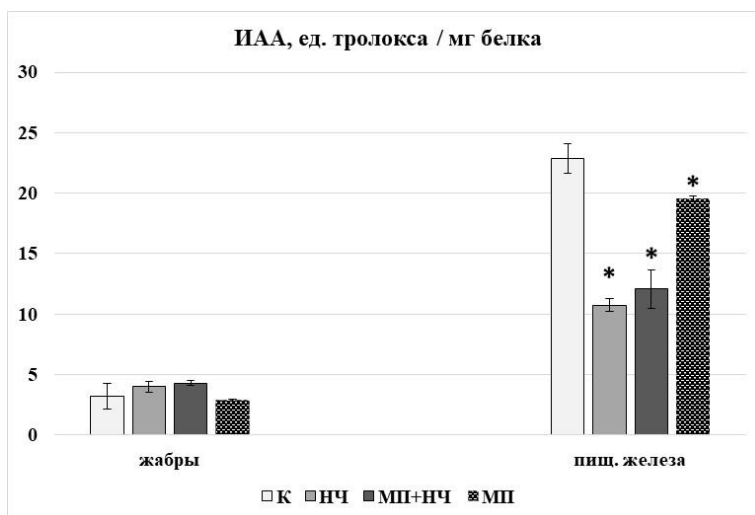


Рисунок 2. Уровни интегральной антирадикальной активности в тканях *M. trossulus* при воздействии микропластика (МП) и наночастиц (НЧ) (среднее \pm стандартное отклонение, $n=20$) * - отличие от контроля достоверно ($p<0,05$)

Повреждения структуры ДНК клеток из тканей моллюсков, подвергшихся воздействию наночастиц оксидов меди, значительно увеличились, а доля ДНК, мигрирующей из ядра кометы достигла $12,67^* \pm 3,52$ в клетках жабр и $16,24^* \pm 2,14$ в клетках пищеварительной железы.

Стоит отметить, что в клетках особей, подвергшихся воздействию и частицами микропластика и наночастицами, произошло значительное уменьшение повреждения структуры молекул ДНК относительно значений, полученных при воздействии только наночастиц.

Таблица. Оценка повреждения ДНК в эксперименте с *M. trossulus* (среднее \pm стандартное отклонение, n=200) * - отличие от контроля достоверно ($p < 0,05$)

Токсикант	% ДНК в хвосте	
	жабры	пищеварительная железа
Контроль	2,17 \pm 0,39	1,43 \pm 0,52
Микропластик	5,60* \pm 0,85	3,29 \pm 0,37
Наночастицы	12,67* \pm 3,52	16,24* \pm 2,14
Микропластик + наночастицы	8,44* \pm 2,67	10,83* \pm 2,53

Таким образом, установлено, что частицы микропластика снижают стабильность мембран лизосом *M. trossulus* и достоверно уменьшают интегральную антирадикальную активность в пищеварительной железе мидии. Кроме того, микросферы полистирола обладают генотоксическим эффектом, инициируя деструкцию молекул ДНК в клетках жабр и пищеварительной железы. Однако наночастицы оксида меди оказывают более выраженное токсическое воздействие на исследуемых морских беспозвоночных чем частицы микропластика.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант №19-35-90015).

Литература

1. Bartosz G., Janaszewska A., Ertel D., Bartosz M. Simple determination of peroxy radical-trapping capacity // Biochem. Mol. Biol. Int. 1998. Vol. 46. P. 519-528.
2. Fahrenfeld N. L., Arbuckle-Keil G., Beni N. N., Bartelt-Hunt S. L. Source tracking microplastics in the freshwater environment // Trends Anal. Chem. 2019. Vol. 112. P. 248-254.
3. Martinez-Gomez C., Bignell J., Lowe D. Lysosomal membrane stability in mussels. ICES Tech. Mar. Environ. Sci. 2015. № 56, 41 pp.
4. Mitchelmore C.L., Birmelin C., Livingstone D.R., Chipman J.K. Detection of DNA strand breaks in isolated mussels (*Mytilus edulis*) digestive gland cells using the “Comet” assay // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 1998. – Vol. 41. – P. 51–58.

5. Singh N.P., McCoy M.T., Tice R.R., Schneider E.L. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells // Exp. Cell Res. – 1988. – Vol. 175. – P. 184–191.
6. Wright S. L., Thompson R. C., Galloway T.S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review // Environ. Pollut. 2013. Vol. 178. P. 483-492.

ТРОФИЧЕСКИЕ ОТНОШЕНИЯ ОПИСТОЦЕНТРОВЫХ РЫБ (PERCIFORMES, OPISTHOCENTRIDAE) БУХТЫ ВИТЯЗЬ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ

Н.Д.А. Некрасова, О.А. Рутенко

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток ninel-zuryanka@mail.ru, orutenko@gmail.com

Виды родов *Opisthocentrus* и *Pholidapus* - обычные представители донных прибрежных ихтиоценов дальневосточных морей [1]. В первый год жизни они держатся в прибрежных зарослях макрофитов и морских трав, составляют значительную часть ихтиоценоза [2], являются важным звеном в пищевых цепях и играют значимую роль в качестве источника пищи для промысловых видов рыб, нагуливающих в прибрежных водах. Их ареалы, биология и экология во многом схожи, что делает данные таксоны хорошими модельными объектами для понимания механизмов разделения трофических ниш синтопных видов рыб.

Для оценки трофических отношений все чаще используется анализ природных соотношений стабильных изотопов (SIA) углерода ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) и азота ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) в тканях гидробионтов, определяемых как величины $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ соответственно [3]. Данный метод предоставляет интегрированные данные о первичных источниках углерода и трофическом положении объекта в пищевой цепи в более длительных временных масштабах, чем анализ содержимого желудка [4].

В данной работе, на примере опистоцентровых рыб, изучено разделение трофических ниш с помощью анализа соотношений стабильных изотопов. В основу работы положен материал, собранный на МЭС «м. Шульца» (зал. Петра Великого, Японское море) в летне-осенний период 2018 г. Была взята навеска мышечной ткани от 17 экз. глазчатого опистоцентра *Opisthocentrus ocellatus* (Tilesius, 1811), 17 экз. тонкого *Opisthocentrus tenuis* Bean et Bean, 6 экз. опоясанного *Opisthocentrus zonope*

Jordan et Snyder и 5 экз. безногого *Ph. dybowskii* (Steindachner, 1880) опистоцентров.

Изотопный анализ проведён в лаборатории стабильных изотопов Дальневосточного геологического института ДВО РАН. Относительное содержание тяжелых изотопов ^{13}C , ^{15}N в образцах определяли в общепринятой форме, как величины отклонений $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ в промилле от соответствующего стандарта изотопного состава. Для визуализации трофических взаимоотношений с помощью пакета SIBER [5] были построены стандартные эллипсы эллипсы с поправкой на малый объем выборки (SEAc). Перекрытие изотопных ниш рассчитывали вероятностным методом (байесовский анализ) с использованием пакета nicheROVER[6]. Процент перекрытия оценивался как апостериорная вероятность ($\alpha = 95\%$) обнаружения индивидуума вида А в трофической нише вида Б. Расчёты и визуализация данных произведены с в программной среде R [7].

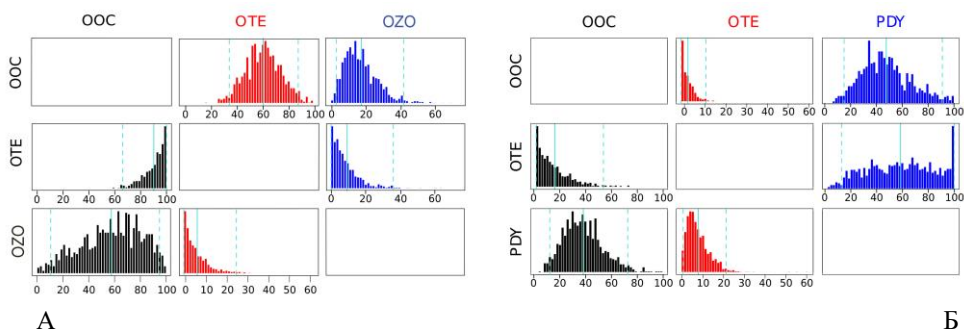
Исследованные виды рыб имели сходный изотопный состав азота ($\delta^{15}\text{N}$) (табл.). В летний период диапазон межвидовых вариаций азота составил 0.43%. Диапазон вариаций средних значений $\delta^{13}\text{C}$ в летний период составил 2.64%. Опоясанный опистоцентр оказывается менее обогащен тяжелым углеродом (-20.04 ± 0.95) и значимо отличается ($H=19.66290$, $p=0.0014$) от остальных видов по обоим показателям. В осенний период показатели стабильных изотопов значимо отличаются от летних. Верхний показатель значений $\delta^{15}\text{N}$ занимает безногий опистоцентр (10.71 ± 0.55), а минимальным характеризуется тонкий опистоцентр (9.74 ± 0.54). По соотношению значений азота осенние выборки характеризуются большей гетерогенностью по сравнению с летними, диапазон вариаций – 0.97%. Самые низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ имел тонкий опистоцентр (-18.08 ± 0.98).

Таблица. Соотношения стабильных изотопов азота $\delta^{15}\text{N}$ и углерода $\delta^{13}\text{C}$ в мягких тканях опистоцентровых рыб

вид	$\delta^{15}\text{N}$ m±SD	$\delta^{13}\text{C}$ m±SD	C/N m±SD
<i>O. zonope</i>	8.29±0.16 / 10.34	-20.04±0.95 / -16.66	3.42±0.09 / 3.24
<i>O. ocellatus</i>	8.72±0.27 / 9.99 ±0.78	-18.85±0.93 / - 15.44±0.98	3.33±0.05 / 3.25±0.03
<i>O. tenuis</i>	8.62±0.21 / 9.74± 0.54	-18.52±0.56 / - 16.14±2.11	3.33±0.05 / 3.27±0.39
<i>Ph. dybowskii</i>	10.71±0.55	-16.14±2.11	3.26 ±0.03

Площадь изотопной ниши глазчатого опистоцентра в летний период составила 0.8126, что в два с лишним раза больше этого показателя для тонкого (SEAc = 0.3960) и опоясанного опистоцентров (SEAc = 0.407). В осенний период самую широкую нишу занимает безногий опистоцентр (SEAc = 0.39017), а площадь изотопной ниши тонкого опистоцентра даже меньше, чем в летний период (SEAc = 0.3648), в то время как глазчатый опистоцентр занимает большее нишевое пространство по сравнению с летним периодом.

Результаты байесовского вычисления вероятности ($\alpha = 95\%$) нахождения одного вида в изотопной нише другого показали, что в летний период в среднем 60% изотопной ниши глазчатого опистоцентра пересекается с нишей опоясанного и 90% тонкого опистоцентров. Наименьшее пресечение (20%) отмечено для опоясанного и тонкого опистоцентров (рис.). В осенний период изотопные ниши глазчатого и тонкого опистоцентров расходятся по соотношениям углерода и их пресечение снижается в среднем до 10%. Безногий опистоцентр имеет самую широкую нишу и вероятность обнаружить его в изотопной нише глазчатого или тонкого опистоцентров составляет 47% и 57% соответственно (Рисунок).



А

Б

Распределение апостериорных вероятностей перекрытия изотопных ниш между видами. Вероятность нахождения в нише другого вида отображена в направлении строка-столбец; апостериорное среднее и доверительный интервал, равный 95% показаны прерывистой и сплошной линиями соответственно. А – летний период, Б – осенний период. Обозначения: OZO – *O. zonope*, OOC – *O. ocellatus*, OTE – *O. tenuis*, PHD – *Ph. dybowskii*

По результатам проведенного анализа соотношений стабильных изотопов, в мягких тканях близкородственных синтопных опистоцентровых рыб показано, что глазчатый и тонкий опистоцентр имеет значительно

перекрывающиеся пищевые ниши, которые расходятся по мере роста рыб. Опясаный опистоцентр характеризуется наиболее обособленным расположением в трофической сети, а безногий опистоцентр имеет самый широкий спектр питания, что ослабляет конкурентные отношения.

Полученные результаты будут хорошим базисом для дальнейших исследований трофических цепей и закономерностей трансформации энергии в бух. Витязь, что может служить основой для организации мониторинговых наблюдений и разработки конкретных мероприятий с целью сохранения биоразнообразия и биоресурсов дальневосточных морей.

Литература

1. Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Яковлев Ю.М. Рыбы залива Петра Великого. Дальнаука, 2009. 375 с.
2. Маркевич А.И. Характеристика сообщества рыб небольшой бухты острова Большой Пелис (Дальневосточный морской биосферный заповедник) // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. 2014. № 2. С. 144–166.
3. Кияшко С.И., Веливецкая Т.А., Игнатьев А.В. Состав стабильных изотопов серы, углерода и азота в мягких тканях и пищевые отношения рыб из прибрежных вод залива Петра Великого // Биология моря. 2011. Т.37, № 4. С. 286-291.
4. Peterson B.J., Fry B. Stable isotopes in ecosystem studies // Annu. Rev. Ecol. Syst. Annual Reviews, 1987. Vol. 18, № 1. P. 293–320.
5. Jackson A.L. и др. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER–Stable Isotope Bayesian Ellipses in R // J. Anim. Ecol. Wiley Online Library, 2011. Vol. 80, № 3. P. 595–602.
6. Swanson H.K. и др. A new probabilistic method for quantifying n-dimensional ecological niches and niche overlap // Ecology. Wiley Online Library, 2015. Т. 96, № 2. С. 318–324.
7. R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (URL <https://www.Rproject.org/>).

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Н.А. Орехова, С.К. Коновалов

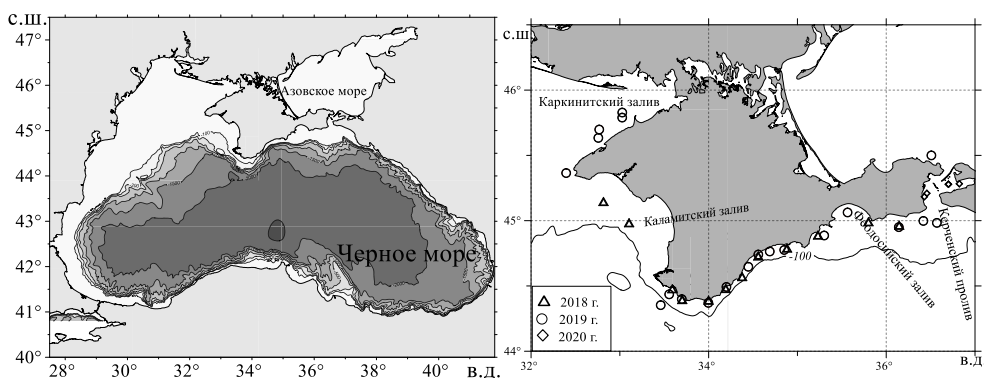
*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь,
natalia.orekhova@mhi-ras.ru*

Прибрежные экосистемы являются одним из важных компонентов социально-экономической сферы. В 50-километровой зоне морских прибрежных экосистем сосредоточено до 30 % населения планеты, а в 100-километровой прибрежной полосе – более 50%. Это обусловлено тем, здесь

формируется более 30 % биологической продукции океана; на долю прибрежных экосистем приходится около 90 % мировой добычи морепродуктов и 100 % производства марикультуры. Кроме того, морские прибрежные экосистемы активно эксплуатируются в качестве рекреационных зон. При этом любое внешнее воздействие, прежде всего антропогенное, на эти экосистемы достаточно быстро отражается на их характеристиках. Антропогенная нагрузка способствует увеличению поступления органического вещества и биогенных элементов. Оседая на дне, органическое вещество приводит к потреблению кислорода на его окисление и развитию анаэробных условий в толще отложений и в придонном слое вод.

В работе рассмотрены основные биогеохимические процессы, определяющие характеристики донных отложений прибрежных районов Крымского побережья (Черное море) с различным уровнем антропогенной нагрузки и условиями формирования донных отложений по данным, полученным в летний период 2018 – 2020 гг.

На рисунке показаны район исследований и станции отбора проб колонок донных отложений. Глубина отбора проб ограничивалась 100-м изобатой.



Район исследований и схема станций отбора проб

Выполнялся анализ основных гидрохимических параметров придонного слоя вод, химических характеристик поровых вод и донных отложений.

По пространственному расположению точек отбора проб исследуемый регион можно разделить на западный район (Каркинитский и Каламитский заливы); Севастопольский регион; район Южного берега

Крыма; Феодосийский залив; прикерченский район; район Керченского пролива; прибрежный район Азовского моря.

В западном районе исследований выделяется Каркинитский залив, как район, находящийся в условиях значительного антропогенного воздействия. В его акваторию поступают сточные воды промышленных и сельскохозяйственных предприятий, расположенных на берегах залива [1]. В придонном слое вод этого района отмечен дефицит кислорода (62–85 % нас.). Кроме того, высокое содержание органического углерода (около 4 % [1]) в верхнем слое донных отложений способствует активному потреблению кислорода и развитию анаэробных условий. Характеристики донных отложений (химический состав поровых вод) определяются процессами с участием железа в слое 0–20 мм, ниже – сульфатредукцией и процессами, сопровождающимися образованием моносulfида железа. Усилению дефицита кислорода и развитию анаэробных условий способствуют ограниченная динамика вод в заливе и особенность гидрологической структуры. В районе Каламитского залива, несмотря на хорошую вентиляцию вод, основные процессы в донных отложениях контролируются процессами с участием железа и марганца, их концентрация в поровых водах достигает 1600 и 1200 мкМ соответственно. Отсутствие кислорода на поверхности донных отложений указывает на преобладание анаэробных условий.

Таким образом, в западной части Крымского побережья основные биогеохимические процессы в донных отложениях определяются реакциями с участием железа и марганца, а на поверхности донных отложений преобладают анаэробные условия.

В Севастопольском регионе содержание кислорода в придонном слое вод достигает 60–90 % нас. Однако на поверхности отложений кислород отсутствует, основным компонентом поровых вод является окисленное железо. В толще отложений преобладают субкислородные условия.

В южной части Крымского полуострова интенсивная динамика вод способствует насыщению придонного слоя вод кислородом (около 100 % нас.). Кислород проникает в толщу донных отложений до 20 мм, - основные процессы окисления органического вещества протекают с участием кислорода. В нижних слоях основные биогеохимические процессы протекают с участием железа, сероводорода и продуктов их взаимодействия. При этом в донных отложениях отмечено наличие промежуточного слоя, в котором основные биогеохимические процессы протекают, вероятнее всего, с участием окисленных форм азота. В целом, в донных отложениях района Южного берега Крыма наблюдается «классическая» последовательность биогеохимических процессов [2, 3] (за исключением отсутствия процессов с

участием марганца, что характерно для этих глубин черноморского региона).

В районе открытой части Феодосийского залива, несмотря на насыщение придонного слоя вод кислородом, в донных отложениях уже на поверхности осадка наблюдается дефицит кислорода, а основными компонентами поровых вод являются восстановленные формы железа и серы. Основные характеристики поровых вод формируются в результате протекания процессов с участием железа в верхнем слое (до 10–15 мм) и восстановленных форм железа, серы и продуктов их взаимодействия в нижних слоях. Здесь на формирование характеристик донных отложений и развитие окислительно-восстановительных условий в них значительный вклад оказывает антропогенное воздействие.

В прикерченском районе интенсивная динамика вод и отсутствие значимых источников органического вещества способствуют тому, что кислород проникает в толщу отложений до 15–20 мм, и основные процессы контролируются реакциями с участием кислорода.

Система течений и интенсивное судоходство (вероятно, углубление канала для прохода судов) привели к тому, что в районе Керченского пролива осадочные отложения отсутствуют, либо они характеризуются рыхлой структурой. В отобранных пробах донных отложений Керченского пролива со стороны Черного моря отмечено отсутствие кислорода в верхнем слое. Основными компонентами донных отложений в этом районе являются восстановленные формы железа.

В придонном слое вод центральной части Таманского залива наблюдается дефицит кислорода. Интенсивное накопление органического вещества в толще донных отложений привело к активному расходованию кислорода и, как следствие, появлению восстановленных форм серы уже в верхнем слое отложений. Основным процессом здесь является сульфатредукция.

В придонном слое вод прибрежной части Азовского моря насыщение кислородом изменялось в пределах 90–100 % нас. Однако мелкодисперсный характер осадков ограничивал поток кислорода в них, а высокое содержание органического вещества способствовало его исчерпанию. Основные процессы (в слое 0–100 мм) протекают с участием восстановленных форм железа и марганца.

Таким образом, установлено, что поверхности донных отложений западной части Крымского побережья, Феодосийского залива, Керченского пролива и прибрежной части Крыма в Азовском море кислород не является основным окислителем органического вещества. При этом отмечено, что в районах с дефицитом кислорода преобладающим фактором,

обуславливающим формирование характеристик донных отложений и условий существований бентосных организмов, является антропогенный фактор, характеризующийся избыточным поступлением органического вещества в прибрежные воды и донные отложения. Активная эксплуатация этих прибрежных районов привела к тому, что в толще их отложений основные процессы определяются реакциями с участием восстановленных соединений, преимущественно железа и серы.

В районах, в которых в поверхностном слое донных отложений наблюдаются аэробные условия, преобладающими факторами являются динамика вод и гранулометрический состав отложений (преобладание песчаной фракции [2]), способствующие насыщению кислородом придонного слоя вод. Однако при ограничении водообмена или увеличении поступления органического вещества здесь также могут появиться зоны дефицита кислорода.

Работа выполнена в рамках гос. задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0005 и проекта РФФИ № 18-05-80028 «Исследование и оценка роли гидрофизических и биогеохимических процессов в формировании зон дефицита кислорода и сероводородного заражения прибрежных районов Крымского полуострова и Керченского пролива».

Литература

1. Иванов В.А., Совга Е.Е., Хмара Т.В., Зима В.В. Термохалинный режим акватории Каркинитского залива и экологические последствия природопользования // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 3. С. 22–33.
2. Овсяный Е.И., Гуров К.И. Исследование органического углерода и карбонатности в донных осадках шельфа южного побережья Крыма // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 1. С. 62–72.
3. Orekhova N.A., Kononov S.K. Oxygen and Sulfides in Bottom Sediments of the Coastal Sevastopol Region of Crimea // Journal Oceanology. 2018. 58(5). P. 679–688. DOI 10.1134/S0001437018050107.

РАЗГРУЗКА ГРУНТОВЫХ ВОД В ЭСТУАРИИ Р. РАЗДОЛЬНОЙ (АМУРСКИЙ ЗАЛИВ) В ФЕВРАЛЕ 2020 г.

П.Ю. Семкин

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, pahno@list.ru

Разгрузка субмаринных грунтовых вод (СГВ) в прибрежных акваториях – это сброс пресных вод суши и сброс рециркулируемой морской воды [2], существующей в виде клина соленых вод повсеместно в прибрежных водоносных горизонтах [7]. Поэтому, наряду с эстуариями в их классическом понимании обсуждаются также и подземные эстуарии [5], в которых морские и пресные грунтовые воды взаимодействуют между собой. Актуальность исследований разгрузки СГВ связана в основном с возникновением специфических экологических ситуаций, таких как температурные аномалии, потоки биогенных, органических и загрязняющих веществ [6], гипоксия придонных вод [3] и красные приливы [4]. Цель данной работы – представить характеристику влияния разгрузки СГВ на комплекс гидролого-гидрохимических параметров в эстуарии реки Раздольной в период зимней межени и покрытия льдом.

Трансграничная река Раздольная (Китай – Приморский край РФ) впадает в северную часть Амурского залива, который является заливом второго порядка залива Петра Великого, расположенного в северо-западной части Японского моря (Рисунок). Средний расход реки за многолетний период – $70.6 \text{ м}^3/\text{с}^*$. В водном режиме р. Раздольной выделяется устойчивая зимняя межень со среднемесячным расходом реки в январе и феврале – $2\text{--}3 \text{ м}^3/\text{с}$, и абсолютным наименьшим расходом в феврале – $0.3 \text{ м}^3/\text{с}$. Весеннее половодье наблюдается в мае. Абсолютные максимумы расхода в период паводков летом и осенью в отдельные годы превышают $2000 \text{ м}^3/\text{с}$. В период ледостава с конца ноября по начало апреля в эстуарии р. Раздольной устанавливается режим проникновения клина осолоненных вод на расстояние до 28 км от устьевого бара [1]. При этом соленость воды в Амурском заливе составляет около 34‰, а выше мелководного лимана – не более 26‰ [1].

С 10 по 13 февраля 2020 были отобраны пробы воды на 17 станциях на протяжении эстуария р. Раздольной (Рисунок). С использованием системы задержанных совпадений (RaDeCC) проведены измерения растворенных изотопов радия ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{228}Ra . Активность изотопов ^{226}Ra измеряли на гамма-спектрометре с детектором из сверхчистого германия

*Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеоздат, 1986. Т. 1. Вып. 21. 387 с.

GEM150 и многоканальным анализатором DSPEC jr 2.0 (ORTEC, USA). Стабильные изотопы воды $\delta^{18}\text{O}$ и δD анализировали на лазерном анализаторе Picarro L2130-i (Picarro Inc., USA) с использованием стандарта VSMOW-2. Биогенные вещества в неорганической форме определяли спектрофотометрическим методом. Соленость измеряли на солемере Guildline Autosal 8400B (Guildline Instruments, USA). Концентрации макрокомпонентов определяли на хроматографе LC-20A (Shimadzu, Japan). Для получения профилей температуры, солености, мутности, освещенности и кислорода на каждой станции использовали профилограф SBE 19 plus (Sea-bird Electronics, USA) и оптический датчик кислорода ARO2-Infinity (JFE Advantech Co., Ltd., Japan). В районе разгрузки СГВ измеряли течение с использованием электромагнитных измерителей (INFINITY JFE Advantech Co., Ltd., Japan) в составе заякоренной автономной станции. Внутрисезонная изменчивость температуры придонного слоя воды в районе разгрузки СГВ олучена с помощью автономной донной станции Water Quality Monitor (WQM) (Wet-Labs, USA).

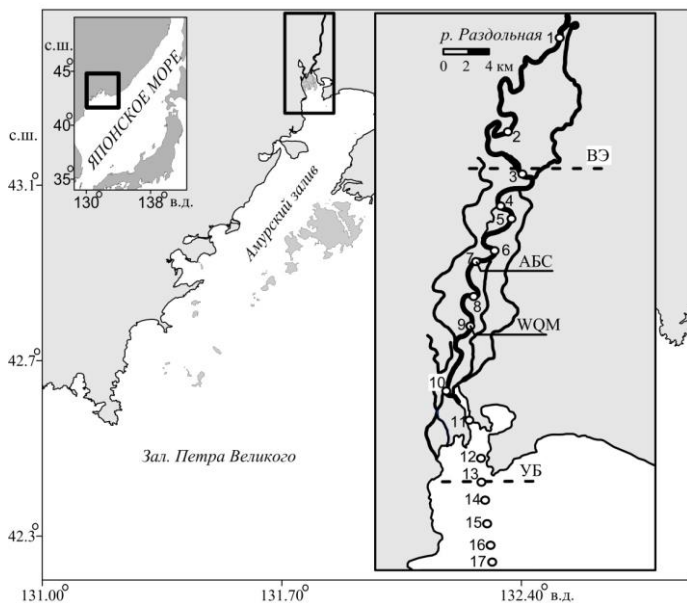


Схема расположения станций отбора проб 10.02.2020 – 13.02.2020. ВЭ – вершина эстуария, УБ – устьевой бар, АБС – автономная буйковая станция с измерителями течений в феврале 2020 г., WQM (Water Quality Monitor) – донная автономная станция, установленная с декабря 2013 по март 2014 гг.

Разгрузка СГВ обнаружена на основании “квартета радия” и положительной температурной аномалии в вершине эстуария на ст. 6 (Рис.) в период зимней межени и покрытия льдом в феврале 2020 г. Активность радионуклидов в зоне СГВ составляет: $^{224}\text{Ra} - 66.32 \pm 0.60 \text{ dpm } 100\text{L}^{-1}$, $^{223}\text{Ra} - 2.85 \pm 0.17 \text{ dpm } 100\text{L}^{-1}$, $^{226}\text{Ra} - 61.12 \pm 2.69 \text{ dpm } 100\text{L}^{-1}$, $^{228}\text{Ra} - 159.15 \pm 0.13 \text{ dpm } 100\text{L}^{-1}$. Согласно модельному расчету “возраста” радия на основании соотношения $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$, трансформированные грунтовые воды с соленостью 25‰ распространяются в направлении приемного бассейна и преодолевают расстояние 15 км по руслу эстуария до ст. 11 (Рисунок) за период менее 8 суток. Измеренные течения в районе влияния СГВ на ст. 7 (Рисунок) подтверждают существование избыточного потока осолоненных вод в приемный бассейн со средней скоростью за сутки 2.3 см/с. Температура грунтовых и речных вод была соответственно +4.3 и +0.09°C, морских вод минус 1.2°C, при этом температура в придонном слое вод в районе СГВ повышалась до +1.2°C. По данным заякоренной автономной станции WQM, установленной в районе влияния СГВ (Рисунок), температура клина осолоненных вод в период ледостава достигает 2.5°C. Состав стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$ и δD и макрокомпонентов в зоне разгрузки определяется соотношением доли морских и речных вод. При этом влияние глубинных грунтовых вод, имеющих облегченный изотопный состав, не прослеживается. Поэтому, в качестве основной причины разгрузки СГВ рассматривается проникновение морской рециркулируемой воды в верхний водоносный горизонт в период зимней межени и последующая разгрузка этих вод в наиболее глубоком плёсе эстуария. Согласно гидрогеологическому районированию*, проникновение морских вод в верхний водоносный горизонт в пределах эстуария реки Раздольной (песчано-галечные отложения поймы) сопровождается повышением минерализации грунтовых вод до 27 г/л. Соответственно разгрузка осолоненных грунтовых вод приводит к росту солености в верхней части эстуария.

Установлено, что насыщение вод кислородом имеет отрицательную корреляцию с короткоживущим радионуклидом ^{224}Ra – это указывает на участие потока СГВ в формировании кислородного режима вод в эстуарии реки Раздольной в период ледостава. В районе разгрузки СГВ отмечено повышение соотношения DIN/DIP и понижение соотношения DISi/DIN.

* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Объяснительная записка. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2011. 684 + 8 вкл. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУП «Приморская ПСЭ»).

Автор выражает благодарность своему наставнику зав. лаб., д.х.н. П.Я. Тищенко, признателен за ценные консультации зав. лаб., к.г.-м.н. А.Н. Чаркину, в.н.с., к.х.н. Г.Ю. Павловой, а также сотрудникам лабораторий гидрохимии, ядерной океанологии и лаборатории перспективных методов морских исследований ТОИ ДВО РАН, участвовавшим в полевых и лабораторных работах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (проект МК-153.2020.5).

Литература

1. Звалинский В.И., Марьяш А.А., Тищенко П.Я и др. Продукционные характеристики эстуария реки Раздольной в период ледостава // Изв. ТИНРО. 2016. Т. 185. С.155-174.
2. Burnett W.C., Aggarwal P.K., Aureli A. et al. Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods // Science of The Total Environment. 2006. V. 367(2–3). P. 498-543.
3. Guo X., Xu B., Burnett W.C. et al. Does submarine groundwater discharge contribute to summer hypoxia in the Changjiang (Yangtze) River Estuary? // Science of The Total Environment. 2020. V. 719.
4. Luo X., Jiao J.J. Submarine groundwater discharge and nutrient loadings in Tolo Harbor, Hong Kong using multiple geotracer-based models, and their implications of red tide outbreaks // Water Research. 2016. V. 102. P. 11-31.
5. Moore W.S. The subterranean estuary: a reaction zone of ground water and sea water // Marine Chemistry. 1999. V. 65(1–2). P. 111-125.
6. Wang X., Baskaran M., Su K., Du J. The important role of submarine groundwater discharge (SGD) to derive nutrient fluxes into River dominated Ocean Margins – The East China Sea // Marine Chemistry. 2018. V. 204. P. 121-132.
7. Werner A.D., Bakker M., Post V. et al. Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges // Advances in Water Resources. 2013. V. 51. P. 3-26.

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА МАКРОЗООБЕНТОС НЕКОТОРЫХ БУХТ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Н.А. Орехова¹, Е.А. Тихонова², Т.В. Витер²

¹ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь,
natalia.orekhova@mhi-ras.ru

²ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
г. Севастополь, *tihonoval@mail.ru*

Данные геохимического анализа дают основу для понимания протекающих биогеохимических процессов. Неотъемлемой частью донных отложений являются поровые воды [1]. Изучение их характеристик позволяет оценить окислительно-восстановительные и кислотно-основные свойства донных отложений, содержание подвижных форм металлов, возможность их связывания и перехода в твердую форму отложений, либо в водную толщу [1,7].

Для изучения экологического состояния прибрежных акваторий г. Севастополя были выбраны бухты Казачья и Круглая, имеющие высокую социально-рекреационную значимость для региона.

Среднее содержание органического углерода в донных отложениях бухты Круглая составляет 1,67 – 1,97 %, что более чем в 2 раза превышает среднее содержание органического углерода в новочерноморских отложениях (0,71 %) и донных осадках черноморского шельфа [1, 3]. Такое содержание органического углерода в донных отложениях способствует активному потреблению кислорода и развитию его дефицита.

Существенное увеличение антропогенной нагрузки на акваторию Казачьей бухты и обрамляющие бухту береговые территории привело к увеличению содержания органического углерода [3, 5]. Содержание $C_{\text{орг}}$ в 2015 г. составляло в среднем 2,74 %, что на 35 % выше по сравнению с 2002 г. К настоящему времени содержание $C_{\text{орг}}$ около 5,8 % (диапазон изменения концентрации 4,32–7,86 %), что сопоставимо с содержанием органического углерода в донных отложениях Севастопольской бухты (район Инкермана, бухта Южная), которая является наиболее антропогенно нагруженной акваторией Севастопольского региона [3, 7].

По полученным данным установлено, что в донных отложениях бухты Круглая основные процессы минерализации органического вещества, последовательность которых обусловлена термодинамическими характеристиками системы, протекали с участием окисленных форм азота в верхнем 7-мм слое и сульфатов – в слое 8–200 мм в кутовой ее части. Этому способствовали наличие постоянного источника органического вещества,

незначительная глубина, высокая температура придонного слоя вод (24 °С) и затрудненный водообмен.

Полученное распределение сероводорода может свидетельствовать о неоднородном накоплении органического вещества вследствие изменения уровня нагрузки в различные периоды, переотложения в результате взмучивания и пр.

В районе выхода из бухты отсутствие постоянного источника органического вещества и динамика вод способствовали тому, что в исследуемый период кислорода было достаточно для окисления всего органического вещества. В верхнем слое донных отложений (0–20 мм) наблюдались аэробные условия, а основными процессы окисления органического вещества протекали с участием кислорода.

Химический состав поровых вод и геохимические характеристики донных отложений, в т.ч. накопление органического углерода, и циркуляция вод отражаются на характеристиках бентосных сообществ. Известно, что бентосное разнообразие в значительной степени зависит от окислительно-восстановительных условий среды, наличия кислорода/сероводорода и содержания органического вещества.

Несмотря на состояние, соответствующее гипоксии в придонном слое вод и незначительное содержание кислорода (<20 мкМ) на поверхности донных отложений, кутовая часть бухты Круглой отличалась наибольшим видовым разнообразием макрозообентоса. При этом помимо двустворчатых моллюсков отмечено наличие полихет и асцидий. Вместе с тем два из пяти зафиксированных видов моллюсков в б. Круглой – *Abra segmentum* (Récluz, 1843) и *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789) – являются устойчивыми к органическому загрязнению [2]. Данный факт также указывает на достаточно высокий уровень органического загрязнения [4]. Снижение количества макрозообентоса на выходе из бухты обусловлено геолого-геоморфологическим строением подводного рельефа, представляющего собой подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями с выходами коренных пород, и достаточно интенсивной циркуляцией вод в этом районе. Однако здесь также встречаются полихеты, при этом отмечено снижение количества и биомассы (почти на порядок) двустворчатых моллюсков, отсутствие брюхоногих моллюсков, установлено присутствие ракообразных. Зафиксированная на выходе из бухты полихета *Cirriformia tentaculata* (Montagu, 1808) менее устойчива к органическому загрязнению, чем ранее отмеченные на других участках бухты. Их обнаруживают в зонах, которые находятся на некотором удалении от источника поступления органических веществ, в т.н. «смешанных зонах»

[6]. Отсутствие асцидий в б. Круглой является характерным для данной акватории – в период с 2000 по 2009 гг. они также не были обнаружены [2].

Таким образом, наибольшее разнообразие макрозообентоса в б. Круглой приурочено к вершинной станции с илисто-песчаным донным осадком. По его составу этот район всегда существенно отличался от других участков побережья. Разнообразие и количественные показатели макробентоса на песчано-галечных грунтах, ниже, чем в её устьевой части, что также соответствует более ранним исследованиям. Видовой состав на станциях соответствует таковому в более ранние периоды.

В бухте Казачья, несмотря на лучший водообмен, по сравнению с бухтой Круглая, наличие постоянно действующих источников органического вещества привело к значительному его накоплению. Высокие концентрации органического углерода (4,32–7,86 %) способствовали тому, что кислород не является основным компонентом при его окислении, а в донных отложениях преобладают анаэробные условия. Концентрация сероводорода в донных отложениях значительно выше, чем других бухтах Севастопольского региона. Однако различные условия осадконакопления и источники органического углерода определяют то, что в кутовой части в верхнем слое отложений наблюдаются субкислородные условия, а основные биогеохимические процессы протекают с участием нитратов/нитритов в 20-мм слое отложений, ниже – протекает сульфатредукция, одним из продуктов которой является сероводород. В поровых водах донных отложений мористой части бухты отмечены максимальные концентрации сероводорода (около 900 мкМ), однако в верхнем 4-мм слое наблюдались аэробные условия, что вероятно обусловлено поступлением «свежих» вод, обогащенных кислородом, за счет вентиляции, ниже – преобладают анаэробные условия, которые развились в результате протекания сульфатредукции. Также для района бухты Казачьей было отмечено присутствие восстановленных форм железа и марганца в верхнем слое (0–20 мм), что может быть связано с локальным их поступлением, предшествующим отбору проб.

В донных отложениях бухты Казачья дефицит кислорода в верхнем слое отложений и высокие концентрации сероводорода в толще донных отложений привели к тому, что бентосное сообщество не отличалось высокой численностью и разнообразием, а преобладающим классом являлись полихеты. Известно, что *Capitella capitata* (Fabricius, 1780) считается признанным позитивным индикатором органического загрязнения, устойчивым к дефициту кислорода и достигающим максимального обилия при сильном загрязнении среды, а *Heteromastus filiformis* (Claparède, 1864) является индикатором эвтрофных вод [2,6].

Можно предположить, что происходящие в сообществе макрозообентоса б. Казачьей изменения обусловлены не только антропогенным фактором (развитием гипоксических условий за счет увеличения в последние годы антропогенной нагрузки на акваторию вследствие массовой застройки побережья бухты), но и с характерными для данного района многолетними флуктуациями численности самих видов, активной динамикой вод в зимний период [2,5].

Рассчитанные индексы Шеннона по численности в б. Круглой составили 1,93 и 1,75. Тогда как в б. Казачьей данный показатель был гораздо ниже – 0 и 1,0. Если сравнивать, полученные значения индексов с прошлыми годами, то в б. Круглой они соизмеримы (ранее варьировал от 1,14 до 2,14. В б. Казачьей индекс в настоящее время значительно ниже. Ранее он составлял в среднем 2,04 – 2,41, достигая на отдельных станциях 3,47. Полученные результаты могут быть связаны с мозаичностью распределения сообщества макрозообентоса по акватории бухты (в вершинной части показатели индекса ниже), с малым количеством проанализированных проб, а также с изменением условий обитания. Индексы Шеннона по биомассе в исследуемых бухтах низкие, не превышали 1,56, а на некоторых станциях близки к 0.

Анализ видового разнообразия в исследуемых акваториях указывает, что на формирование бентосного сообщества наряду с концентрацией кислорода, сероводорода и органического вещества в донных отложениях бухты влияют также условия обитания гидробионтов: наличие кормовой базы, скорость течений, интенсивность поступления органических веществ, гранулометрический состав донных осадков, волновые процессы.

Рассчитанные величины потока кислорода ($0,73 \text{ М} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) на границе вода – донные отложения и время развития гипоксии в придонном слое вод в б. Казачья, указывают на то, что при сохранении наблюдаемого уровня антропогенной нагрузки в отсутствии динамики вод в этом районе условия аноксии в придонном слое вод развиваются за 5 месяцев. Это, несомненно, приведет к появлению восстановленных форм компонентов (металлов, биогенных элементов и серы) в поверхностном слое донных отложений и может в дальнейшем ухудшить условия обитания бентосных сообществ.

Работа выполнена в рамках гос. задания ФИЦ ИнБЮМ, тема «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2) и гос. задания ФИЦ МГИ, тема «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию

экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (№ гос. регистрации АААА-А18-118012690345-0) (химический анализ донных отложений, проекта РФФИ 18-45-920008 «Оценка влияния накопления органического вещества в донных отложениях на изменение окислительно-восстановительных условий бухт Севастопольского региона» (отбор проб и анализ данных).

Литература

1. Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И. Геохимия Черного моря. Киев: Наук. думка, 1982. 144 с.
2. Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алёмов С.В. Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке. Севастополь, 2003. 185 с.
3. Овсяный Е.И., Орехова Н.А. Накопление органического вещества в донных отложениях бухты Казачья (Черное море) как следствие антропогенной нагрузки // Метеорология и гидрология. 2019. №5. С. 85–93.
4. Орехова Н.А., Овсяный Е.И., Тихонова Е.А. Органическое вещество и окислительно-восстановительные условия в донных отложениях Балаклавской бухты // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. 2019. Т. 5 (71). № 3. С. 49–64.
5. Соловьёва О.В., Тихонова Е.А., Клименко Т.Л., Скрышник Г.В., Вотина Т.В. Органические вещества донных отложений в условиях урбанизации побережья // Океанология. 2019. Т. 59, № 2. С. 234 – 242.
6. Harlan Dean K. The use of polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution: a review // Rev. Biol. Trop. 2008. Vol. 56. (Suppl. 4). P. 11–38.
7. Orekhova N.A., Konovalov S.K. Oxygen and sulfides in bottom sediments of the coastal Sevastopol Region of Crimea // Journal Oceanology. 2018. Vol. 58, no 5. P. 679–688.

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

**НОВЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ШУМОВ ФОРСИРОВАННОГО
ВЫДОХА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВОДОЛАЗОВ ПОСЛЕ ПОГРУЖЕНИЯ**

О.И. Кабанцова, В.В. Малаева, М.А. Сафронова, А.Е. Костив, С.М.

Шин, В.И. Коренбаум

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, kabantsova.oi@poi.dvo.ru

Объективные методы исследования дыхательной функции актуальны не только для диагностики респираторных заболеваний, но и в задачах специальной физиологии/медицины, где интерес представляет изучение влияния воздействия экстремальных факторов на дыхательную систему человека [4,6]. К таковым относятся, в частности, микрогравитация, подводные водолазные погружения и др. воздействия, вызывающие изменения вентиляционной функции легких.

Перспективными для оценки легочной функции являются и шумы форсированного выдоха (ФВ) [5]. По сравнению с шумами спокойного дыхания шумы ФВ характеризуются увеличением интенсивности широкополосной составляющей и появлением узкополосных компонент – свистов форсированного выдоха

Авторами в предыдущих исследованиях была доказана возможность использования продолжительности трахеальных шумов ФВ в полосе частот 200-2000 Гц для оценки влияния экстремальных факторов на дыхательную систему человека [2]. Также была разработана система потенциально перспективных акустических параметров ФВ, представляющих собой удельные 200-Гц полосовые энергии шумов ФВ, нормированные на суммарную энергию шумов в полосе 200-2000 Гц [3].

Целью данной работы является исследование возможностей использования удельных полосовых энергий и продолжительностей трахеальных шумов ФВ как акустических параметров для контроля вентиляционной функции водолазов после погружения.

В исследовании задействована выборка из 25 добровольцев мужского пола в возрасте (Me; UQ; LQ) 27; 25, 31 лет, совершавших однократные погружения под воду (глубина 7-8 м, продолжительность 20-45 мин) в кислородном снаряжении замкнутого цикла типа FROGS (AquaLung).

Запись трахеальных шумов форсированного выдоха, выполнялась с помощью специального аппаратно-программного комплекса, состоящего из акустического датчика, выносной звуковой карты, портативного ПК и специализированного ПО [1]. Акустический датчик, в свою очередь, выполнен на базе электретного микрофона (W62A, Panasonic) со стетоскопической насадкой.

При выполнении дыхательных маневров акустический датчик располагался в ларинготрахеальной области справа от трахеи, на нос накладывался зажим. Каждый испытуемый выполнял маневр ФВ из положения максимального вдоха. Правильность выполнения маневра ФВ и его показатели контролировались оператором. Несколько хорошо выполненных попыток (3-5 попыток) сохранялись. Далее для анализа у каждого испытуемого была выбрана наилучшая попытка с максимальной продолжительностью ФВ.

Для каждой записи маневра ФВ были определены полосовые энергии в полосе частот 200-2000 Гц ($A_{200-400}$, $A_{400-600}$, $A_{600-800}$, $A_{800-1000}$, $A_{1000-1200}$, $A_{1200-1400}$, $A_{1400-1600}$, $A_{1600-1800}$, $A_{1800-2000}$) и продолжительности ($t_{200-400}$, $t_{400-600}$, $t_{600-800}$, $t_{800-1000}$, $t_{1000-1200}$, $t_{1200-1400}$, $t_{1400-1600}$, $t_{1600-1800}$, $t_{1800-2000}$).

Полученные записи трахеальных шумов ФВ сохраняются в формате *.wav и далее проходят обработку с помощью программы, написанной в среде Matlab. Временные характеристики измеряются по огибающей записанного сигнала, взятой в 200-герцовой полосе частот, построенной методом скользящего среднего путем суммирования числа всех временных отсчетов сигнала, амплитуда которых превышает порог S (рис.1, $t_{1400-1600}$), умноженного период времени каждого отсчета огибающей (0,01 с). Полосовые 200-герцовые энергии вычисляются по той же огибающей и представляют собой сумму амплитуд временных отсчетов сигнала, величина которых превышает порог S (рис.1, $A_{1400-1600}$). Участки огибающей сигналы, лежащие ниже порога S , в расчет не принимаются. Уровень порога S принят как 0,5% от максимального значения амплитуды огибающей, взятой в общей полосе частот сигнала 200-2000 Гц.

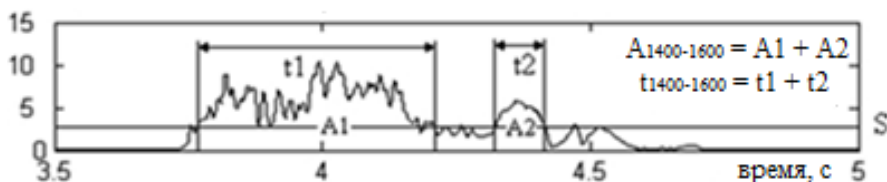
Для перехода от абсолютных к относительным величинам на основе полученных 200-герцовых энергий и продолжительностей была разработана система акустических параметров [3].

Удельные полосовые энергии ($AR_{200-400}$, $AR_{400-600}$, $AR_{600-800}$, $AR_{800-1000}$, $AR_{1000-1200}$, $AR_{1200-1400}$, $AR_{1400-1600}$, $AR_{1600-1800}$, $AR_{1800-2000}$) представляют собой

энергию в 200-Гц полосе частот, нормированную на полную энергию в полной полосе частот 200-2000 Гц ирассчитываются по формуле:

$$AR_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^9 A_i}, \quad (4.1)$$

где A_i – энергия в 200-герцовой полосе частот в рабочем диапазоне от 200 до 2000 Гц.



Оценка полосовых 200-герцовых продолжительностей и энергий шумов ФВ

По аналогии с удельными полосовыми энергиями введены также удельные полосовые продолжительности, представляющие собой относительную долю продолжительности сигнала в каждой из 200-герцовых полос. Удельные полосовые продолжительности ($tr_{200-400}$, $tr_{400-600}$, $tr_{600-800}$, $tr_{800-1000}$, $tr_{1000-1200}$, $tr_{1200-1400}$, $tr_{1400-1600}$, $tr_{1600-1800}$, $tr_{1800-2000}$) рассчитываются по формуле:

$$tr_i = \frac{t_i}{T}, \quad (4.2)$$

где t_i – продолжительность шумов в 200-герцовой полосе частот в рабочем диапазоне от 200 до 2000 Гц, T – общая продолжительность шумов ФВ в полосе частот 200-2000 Гц.

Спирометрия проводилась с использованием портативного компьютерного спирографа MicroLoop («MicroMedical Ltd.», UK) по стандартной методике. Были измерены базовые спирометрические показатели: объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ1), жизненная емкость легких (ЖЕЛ), форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ), и было определено отношение ОФВ1/ФЖЕЛ (индекс Генслера).

Статистический анализ полученных результатов выполнялся в программе Statistica (StatSoftInc). Для оценки значимости различий в выборках до и после проведенных проб был применен непараметрический Т-критерий Вилкоксона для связанных выборок. За значимое различие принята величина $p < 0,05$. Направление приращений определялось при помощи диаграмм размаха (Box-plot) путем оценки изменения медианы рассматриваемых параметров.

Результаты применения теста Вилкоксона для удельных полосовых энергий и продолжительностей представлены в таблице. В таблице указаны параметры, по которым обнаружены значимые различия и показатели спирометрии.

Таблица. Статистические значимые акустические параметры в выборке и показатели вентиляционной функции легких водолазов до и после погружения

	до погружения (Me; UQ; LQ)	после погружения (Me; UQ; LQ)	Тест Вилкоксона p-level
AR ₁₄₀₀₋₁₆₀₀	0,054; 0,036; 0,089	0,053; 0,044; 0,059	0,0303
ОФВ1	4,83; 4,32; 5,12	4,83; 4,29; 5,13	0.6787
ЖЕЛ	5,95; 5,2; 6,42	5,93; 5,24; 6,58	0.2840
ФЖЕЛ	5,97; 5,18; 6,33	5,88; 5,15; 6,39	0.1037
ОФВ1/ФЖЕЛ	0,84; 0,77; 0,86	0,81; 0,77; 0,85	0.5383

Таким образом, при однократном погружении отмечается значимое снижение только одного полосового параметра AR₁₄₀₀₋₁₆₀₀. В то же время параметры спирометрии при данном типе нагрузки оказываются нечувствительными к воздействию. При оценке влияния однократного водолазного погружения спирометрия оказалась неэффективна. Правда, недостаточную чувствительность спирометрических показателей при подобных нагрузках наблюдали и ранее [7]. С точки зрения акустико-биомеханической интерпретации, снижение величины параметра AR₁₄₀₀₋₁₆₀₀ может являться следствием сужения мелких дыхательных путей. Одной из вероятных причин снижения просвета мелких ДП при данном воздействии может быть токсическое влияние кислорода в дыхательной смеси,

вызывающее воспаление в области мелких дыхательных путей, что косвенно подтверждают исследования [7].

В заключении можно отметить, что обнаруженная групповая реакция удельных полосовых энергий трахеальных шумов ФВ делает перспективным использование этих параметров для оценки индивидуальной реакции дыхательной системы человека при многократных водолазных погружениях.

Литература

1. Korenbaum, V.I., Pochekutova I.A., Kostiv A.E. Technology of Human Pulmonary Function Testing by Means of Tracheal Forced Expiratory Noises Analysis// IFMBE Proceedings, vol. 39, 2013. P. 2192.
2. Malaeva, V. V., Korenbaum, V. I., Pochekutova, I. A., Kostiv, A. E., Shin, S. N., Katutsev, V. P., & Baranov, V. M. A Technique of Forced Expiratory Noise Time Evaluation Provides Distinguishing Human Pulmonary Ventilation Dynamics During Long-Term Head-Down and Head-Up Tilt Bed Rest Tests Simulating Micro and Lunar Gravity// *Frontiers in physiology*, vol. 9, 2018. P. 1255
3. Pochekutova I.A., Korenbaum V.I., Malaeva V.V., Kostiv A.E. and Kudryavtseva V.A. Bronchial obstruction patients clusterization by means of two-dimensional analysis of Forced Expiratory tracheal noise time and band pass energy// St. Petersburg Electrotechnical University “LETI” St. Petersburg, Russia 24th–25th September 2015. P. 54.
4. Pougnet R., Pougnet L., Henckes A., Lucas D., Dewitte J.-D., Mialon P., Lodde B. Evolution of the respiratory function of professional divers over 15 years// *International Maritime Health*, vol. 70(2), 2019. P.119-124
5. Reyes B.A., Reljin N., Chon K.H. Tracheal Sounds Acquisition using Smartphones// *Sensors*, vol. 14, 2014. P.13830.
6. Shopov N.G. Study of the changes in respiratory function in self-contained underwater breathing apparatus divers// *International Maritime Health.*, vol. 70(1), 2019. P.61-64.
7. Wingelaar TT, van Ooij P-JAM, Brinkman P and van Hulst RA. Pulmonary Oxygen Toxicity in Navy Divers: A Crossover Study Using Exhaled Breath Analysis After a One-Hour Air or Oxygen Dive at Nine Meters of Sea Water// *Front. Physiol*, 10:10, 2019.

БИООПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ: ВКЛАД ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ОБЩЕЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА В ПЕРИОД НАИБОЛЬШЕГО СОКРАЩЕНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА

Е.Ю. Скороход, Т.Я. Чурилова, А.С. Бучельников, Н.А. Моисеева, Т.В. Ефимова, Е.А. Землянская

Федеральный исследовательский центр "Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН", г. Севастополь, elenaskorokhod@ibss-ras.ru

В условиях изменяющегося климата важно в краткие сроки оценивать состояние экосистем, особенно в Арктическом регионе, в котором эти изменения происходят особенно быстро, в том числе из-за уменьшения эффекта Альбедо [1]. Проводить оперативную оценку состояния экосистемы можно используя дистанционные методы мониторинга, в том числе дистанционное зондирование Земли из космоса.

На формирование восходящего из водной толщи излучения, регистрируемого спутниковым инструментом, оказывают воздействие оптически активные компоненты среды: растворенное окрашенное органическое вещество, пигменты фитопланктона, неживое взвешенное вещество и чистая вода. Спутниковые продукты, доступные для оценки состояния экосистем, восстанавливаются при помощи стандартных алгоритмов, основанных на оптических характеристиках вод. Однако, вклад в поглощение света оптически активными компонентами не является постоянным: он меняется во времени, пространстве и зависит от длины волны в пределах видимого диапазона (от 400 до 700 нм).

Биооптические исследования проводились в рейсе №80 на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (28 июля – 23 августа 2020 г.) в европейском секторе Арктики. В это же время по данным спутниковых наблюдений зарегистрировано второе рекордное (после 2012 г.) сокращение ледовых покровов. Сокращение ледовых покровов было наиболее выражено со стороны Евразии.

Получены новые данные о пространственной изменчивости концентрации хлорофилла *a* (индикатора биомассы фитопланктона и продуктивности вод) и спектральных показателей поглощения света всеми оптически активными компонентами среды в европейском секторе Арктики в летний период. Для всего освещенного слоя выявлена связь между спектральными показателями поглощения света пигментами фитопланктона

и концентрацией хлорофилла *a* на разных длинах волн, которая описана степенной зависимостью с высокой корреляцией (коэффициент детерминации > 90%).

Выполнена параметризация поглощения света неживым взвешенным веществом и окрашенным растворенным органическим веществом. Установлена зависимость коэффициента наклона спектра ($S_{\text{CDOM}} [\text{nm}^{-1}]$) от величины показателя поглощения на длине волны 438 нм ($a_{\text{CDOM}}(438) [\text{m}^{-1}]$). Сделана оценка вклада оптически активных компонентов в общее поглощение света на отдельных длинах волн. Показано значительное изменение в пространстве соотношения в поглощении фитопланктона и неживой компоненты.

Полученные результаты параметризации поглощения света оптическими компонентами среды позволят создать региональные спектральные модели для оценки показателей качества и продуктивности вод с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант №18-45-920070) и в рамках темы гос. задания №АААА А19 119061190081 9.

Литература

1. Алексеев Г. В. (2014) Арктическое измерение глобального потепления // Лед и Снег. №2 (126). С. 43-68.

СРАВНЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ В ЯПОНСКОМ И ОХОТСКОМ МОРЯХ

А.В. Буренин, Е.В. Смоленский

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, eguar25@gmail.com

В работе представлены результаты численного моделирования, направленных на сопоставление данных, полученных в экспериментах в Японском и Охотском морях. Цель данного численного анализа заключалась в определении влияния:

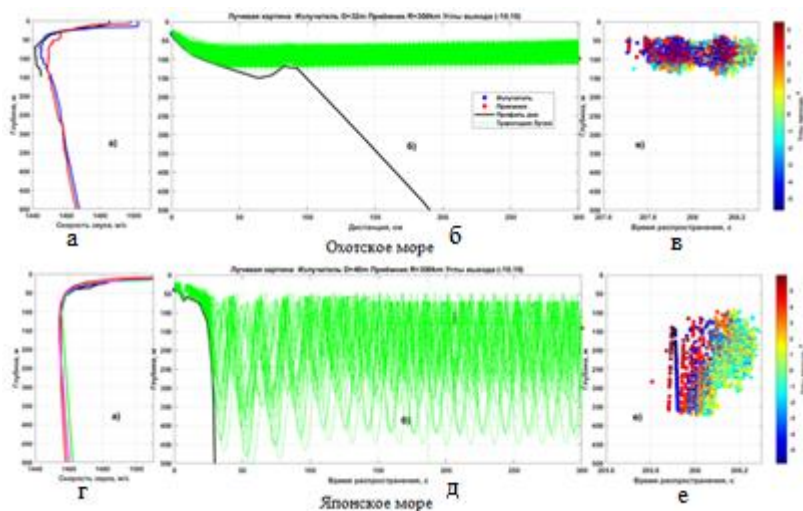
1) протяженности шельфовой части;

2) вертикального распределения скорости звука на длительность (время затягивания) импульсной характеристики, зарегистрированной в глубоководной части волновода.

Натурные исследования проводились по ранее разработанной методике с использованием технических средств [1-3].

Экспериментальные исследования показали, что время затягивания импульсные характеристики (ИХ), полученные в Охотском море, отличаются от времени затягивания Японского моря. А именно, в Японском море, ($\Delta t \sim 0.5\text{с}$), а в Охотском море до $\Delta t \sim 1.5\text{с}$ на одинаковой дистанции 300 км.

Численное моделирование выполняется в лучевом приближении с помощью программы RAY[4]. В качестве граничных параметров



Результаты численного моделирования для условий Охотского и Японского моря

Стоит отметить, что основными отличиями гидроакустических волноводов Охотского моря от Японского моря являются батиметрические и гидрологические условия приведены на рисунке. Шельфовый участок акустической трассы Охотского моря приблизительно в 3 раза длиннее, чем Японского моря, а углы наклона трасс практически одинаковы (панели б и д). Горизонт оси ПЗК в Охотском море расположен на ~ 100 метров ближе к

поверхности моря, чем Японском море, и скорость звука на оси на $\sim 11-12$ м/с в Охотском море меньше, чем Японском море (панели а и г).

Моделирование показало: во-первых, сходными чертами обоих волноводов является фокусировка лучей. Диапазон углов выхода лучей изменяется от ± 10 градусов до ± 5 . Поздние приходы энергии сигнала соответствуют лучам с углами скольжения близкими к нулевым (панели в и е). Во-вторых, для Японского моря зона «освещенности» в три раза шире, чем в Охотском море. Для каждого моря в точке приема мы наблюдаем лучи, локализованные в диапазоне глубин зоны «освещенности». В-третьих, время затягивание сигнала Δt для условий Охотского моря составляет 0.65 с, а в Японском море 0.4 с, т.е в 1.65 раз меньше.

Численное моделирование позволило выявить зависимости длительности импульсной характеристики, «ширины» ПЗК от гидрологических условий. Батиметрические и гидрологические условия Охотского и Японского морей способствуют проявлению эффект акустического «оползня» [2].

Литература

1. Безответных В.В., Буренин А.В., Моргунов Ю.Н., Половинка Ю.А. Экспериментальные исследования особенностей распространения импульсных сигналов из шельфа в глубокое море // Акуст. журн. 2009. Т. 55, № 3, С. 374–380.
2. Моргунов Ю.Н., Буренин А.В., Безответных В.В., Голов А.А. Распространение импульсных псевдо-случайных сигналов из шельфа в глубокое море в зимних гидрологических условиях японского моря // Акуст. журн. 2017. Т. 63. № 6. С. 646–650.
3. Патент РФ 2469346. Способ позиционирования подводных объектов / Моргунов Ю. Н., Тагильцев А.А., Безответных В.В., Буренин А.В., Голов А.А. Заявл. 11.07.2011. Опубл. 10.12.2012. Бюл. №34.
3. Bowlin J.B., Spiesberger J.L., Duda T.F., Freitag L.E. Ocean acoustical ray-tracing software RAY, Woods Hole Oceanographic Technical Report, WHOI-93-10, 1993.

АВТОНОМНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ РЕГИСТРАТОРЫ

С.С. Шкрамада, М.Ю. Черанев

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, shkramada.ss@poi.dvo.ru

Автономные цифровые гидроакустические регистраторы представляют собой устройства, предназначенные для длительной непрерывной регистрации звуковых колебаний на глубинах, определяемых механической прочностью конструкции и датчиков. В последнее десятилетие, ввиду развития энергоэкономичной радиоэлементной базы, технологии записи информации на твердотельные носители, и достижений в области создания малогабаритных аккумуляторов высокой емкости, они стали достаточно распространенным средством долговременного наблюдения акустических явлений под водой.

Ведущими производителями гидроакустического оборудования на рынке представлен достаточно большой выбор этих устройств, определяемый характером и особенностями решаемой исследовательской задачи. В таблице 1 приведены характеристики некоторых образцов регистраторов от известных производителей.

В отделе технических средств освоения океана ТОИ ДВО РАН были разработаны и в течение 5 лет эксплуатируются при выполнении экспериментальных исследований подобные гидроакустические регистраторы. Не заменяя традиционно используемые в исследованиях, но дорогостоящие и сложные в эксплуатации многоканальные вертикальные гирлянды гидрофонов, регистраторы обладают преимуществами при адаптации к задачам эксперимента. Они могут быть оперативно развернуты в составе вертикальных гирлянд [1], поставлены на грунт, или закреплены на контролируемых, в том числе движущихся, объектах. Практика показала, что использование регистраторов, в том числе в виде гирлянд, позволяет существенно упростить процедуру постановки и выборки устройства, а также выполнять работы с борта маломерных плавсредств. При обеспечении синхронной регистрации сигналов заглубленными на различных горизонтах регистраторами, имеется возможность верификации разрабатываемых расчетных моделей распространения сигналов и физического моделирования приема навигационной и связной информации подводными аппаратами в заданном диапазоне глубин.

Таблица 1. Характеристики регистраторов

<i>Название, производитель</i>	<i>DR-MS «Белуха», НПП АКМА [2]</i>	<i>EA-SDA1000, RTsys [3]</i>	<i>EA-SDA14, RTsys [4]</i>	<i>icListen HF Smart Hydrophone, Ocean Sonics [5]</i>
<i>Параметр</i>				
Динамический диапазон	84дБ	100дБ	100дБ	80 – 90дБ
Полоса пропускания	10 Гц - 20 кГц	3Гц – 500кГц	3Гц – 500кГц	10Гц – 200кГц
Максимальная глубина постановки	50 м	700 м	700 м	3500 м
Время записи	10 ч	850ч	300ч	8 ч
Габариты	-	1210мм х Ø120мм	320мм х Ø120мм	230мм х Ø45мм

В состав разработанных регистраторов входят: гидрофон, прецизионный аудио усилитель в связке с быстродействующим (до 500 kSPS) 16-разрядным АЦП, датчик глубины с 16-разрядным АЦП, микроконтроллерный модуль, модуль памяти, источник питания. Прочность гермокорпуса регистратора, выполненного из нержавеющей стали, обеспечивает его погружение на глубины до 1 км. Характеристики разработанных регистраторов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные технические характеристики разработанных регистраторов:

<i>Аудио канал</i>	
Чувствительность гидрофона	160 мкВ/Па
Динамический диапазон, при THD < 10%	70 – 85дБ

Коэффициент усиления на частоте 400 Гц	4400 – 4600
Полоса пропускания (-3дБ)	200 – 650Гц
Шум, приведенный к входу, на $f_0 = 400$ Гц	1.8 – 2.7 мкВ
Частота дискретизации АЦП	24 kSPS
<i>Канал давления</i>	
Максимальная регистрируемая глубина	1000 м
Разрешение по глубине	0.1 м
<i>Время функционирования</i>	
Время непрерывной работы до допустимого разряда аккумуляторов	36 ч
Время полного заполнения карты памяти	108 ч

После подъема регистраторов на борт записанная в модуль памяти на SD-карту акустическая информация распаковывается, принятые и записанные регистраторами сигналы подвергаются спектральной и корреляционной обработке для получения импульсной характеристики соответствующих волноводов. Тестирование автономной приемной системы показало, что регистраторы сигналов и система в целом оказались работоспособны, позволив в условиях достаточно сложных условий натуральных гидроакустических экспериментов получить новые и достоверные результаты.

По результатам эксплуатации разработан ряд предложений по модернизации автономных акустических регистраторов, к которым относятся:

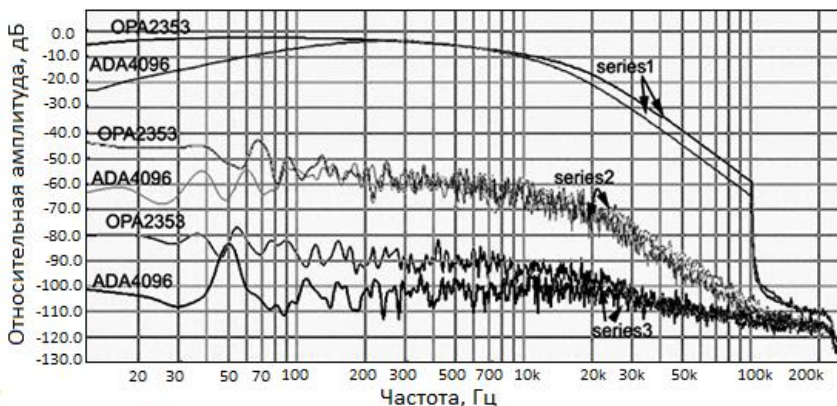
- снижение электрического шума в аудиоканале за счет изменения элементного состава, схемных решений с корректной развязкой цифровых и аналоговых линий, стабилизации опорных напряжений, экранирования узлов и модулей, чувствительных к внешним электрическим наводкам;
- снижение энергопотребления регистратора и увеличения времени его автономной работы посредством оптимизации соединений в аккумуляторной секции и приведения аккумуляторной секции к виду, допускающему подключение типового балансного зарядного устройства;
- улучшение эксплуатационных характеристик посредством обеспечения управлением регистратора и замены карты памяти без извлечения шасси из гермокорпуса.

Реализация предлагаемых технических решений позволит:

- уменьшить собственный шум аудио усилителей до 0.5 мкВ;

- увеличить динамический диапазон на 10 – 15 дБ;
- увеличить коэффициент усиления в аудио канале до 10000;
- увеличить время непрерывной работы регистратора до 72 часов;
- создать более удобные условия работы оператора.

На рисунке, как промежуточные результаты по снижению уровня собственных шумов регистратора, представлены амплитудно-частотные характеристики в аудио канале на различной радиоэлементной базе.



АЧХ (series1) аудио канала на различной элементной базе. Series3 – собственные шумы

Литература

1. Тагильцев А.А., Безответных В.В., Моргунов Ю.Н., Стробькин Д.С. Экспериментальное тестирование распределенной вертикальной автономной приемной системы // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 47-53. DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.006
2. <http://www.npo-akma.ru/drms.shtml>
3. <https://www.oceanologyinternational.com/en/Exhibitors/2371638/RTSYS/Products/1080980/EA-SDA1000-Broadband-long-term-autonomous-hydrophone>
4. <https://www.oceanologyinternational.com/en/Exhibitors/4676349/RTSYS/Products/1374099/EA-SDA14-Embedded-multi-hydrophone-recorder>
5. <https://www.oceanologyinternationalamericas.com/en/Exhibitors/5578766/OceanSonics/Products/1502026/icListen-HF-Smart-Hydrophone>.

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы IX конференции молодых ученых

Владивосток, 29 – 30 апреля 2021 г.

Ответственный за выпуск *И.А. Прушковская*

Издательское оформление
ИП Миромановой И.В.
2021 г.

the 1990s, the number of people in the UK who are aged 65 and over has increased from 10.5 million to 13.5 million, and the number of people aged 75 and over has increased from 4.5 million to 6.5 million (Office for National Statistics 2000).

There is a growing awareness of the need to address the needs of older people, and the need to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people. The Department of Health (2000) has published a strategy for older people, which sets out the government's commitment to older people and the need to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) older people should be able to live independently in their own homes; (2) older people should be able to participate in the community; (3) older people should be able to access the services they need; (4) older people should be able to live in a safe and secure environment; (5) older people should be able to access the services they need; (6) older people should be able to live in a safe and secure environment.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) older people should be able to live independently in their own homes; (2) older people should be able to participate in the community; (3) older people should be able to access the services they need; (4) older people should be able to live in a safe and secure environment; (5) older people should be able to access the services they need; (6) older people should be able to live in a safe and secure environment.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) older people should be able to live independently in their own homes; (2) older people should be able to participate in the community; (3) older people should be able to access the services they need; (4) older people should be able to live in a safe and secure environment; (5) older people should be able to access the services they need; (6) older people should be able to live in a safe and secure environment.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) older people should be able to live independently in their own homes; (2) older people should be able to participate in the community; (3) older people should be able to access the services they need; (4) older people should be able to live in a safe and secure environment; (5) older people should be able to access the services they need; (6) older people should be able to live in a safe and secure environment.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) older people should be able to live independently in their own homes; (2) older people should be able to participate in the community; (3) older people should be able to access the services they need; (4) older people should be able to live in a safe and secure environment; (5) older people should be able to access the services they need; (6) older people should be able to live in a safe and secure environment.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) older people should be able to live independently in their own homes; (2) older people should be able to participate in the community; (3) older people should be able to access the services they need; (4) older people should be able to live in a safe and secure environment; (5) older people should be able to access the services they need; (6) older people should be able to live in a safe and secure environment.