

УДК 574.58, 551.46, 550.46

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ВЫХОДОВ И ХОЛОДНЫХ ВЫСАЧИВАНИЙ В БЕРИНГОВОМ МОРЕ (82-й РЕЙС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА «АКАДЕМИК М.А. ЛАВРЕНТЬЕВ»)

© 2019 г. С. В. Галкин^{1*}, В. В. Мордухович^{2, 5}, Е. М. Крылова¹, В. А. Денисов², А. Н. Малютин², П. Е. Михайлик⁴, Н. С. Полоник⁶, Н. П. Санамян⁷, В. А. Шилов², В. В. Ивин^{2, 3}, А. В. Адрианов²

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

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

³ Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

⁵ Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

⁶ Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

⁷ Камчатский филиал ФГБУН Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

*e-mail: galkin@ocean.ru

Поступила в редакцию 26.12.2018 г.

После доработки 26.12.2018 г.

Принята к публикации 05.02.2019 г.

В 82-м рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» проведены комплексные исследования экосистем, ассоциированных с гидротермальными выходами и холодными высачиваниями Берингова моря. Получены новые данные о составе и структуре донных сообществ вулкана Пийпа. На Корякском склоне Берингова моря открыт новый район холодных высачиваний. На сегодняшний день восстановительные сообщества Корякского склона являются наиболее северными сообществами такого рода из известных в Пацифике и самыми северными в мире, где встречены ныне живущие двустворчатые моллюски плиокардиины.

Ключевые слова: Берингово море, гидротермальные источники, холодные высачивания, донная фауна, Pliocardiinae

DOI: 10.31857/S0030-1574594687-690

Истощение ресурсов суши и прибрежных акваторий способствовали значительному увеличению интереса к морским ресурсам за пределами шельфа. Особый интерес с точки зрения природопользования представляют районы гидротермальных выходов и холодных высачиваний, где отмечены месторождения, в частности, углеводородов и различных металлов. В настоящее время наблюдается рост активности ресурсодобывающих компаний ведущих мировых держав в районах глубоководных месторождений. Вместе с тем накапливается все больше фактов, свидетельствующих о росте экологических рисков для сообществ гидротерм и высачиваний в связи с антропогенной деятельностью. В российских территориальных водах глубоководная гидротермальная активность обнаружена в Беринговом море [4]. Кроме того, здесь же ранее выявлены представители фауны холодных высачиваний [3, 5].

Комплексному исследованию этих экосистем был посвящен 82-й рейс НИС «Академик М. А. Лаврентьев», организованный Национальным научным центром морской биологии ДВО РАН им. А. В. Жирмунского. Экспедиция проходила со 2 июня по 16 июля 2018 г. и являлась продолжением работ, проведенных в ходе 75-го рейса в 2016 г. [1].

Исследования были направлены на решение следующих ключевых задач:

- локализация гидротермальных выходов и холодных высачиваний в Беринговом море, определение их типов и структурных планов, изучение геологических условий и геохимических процессов в районах гидротерм и сипов, анализ физико-химических параметров донных осадков, флюидов, водной толщи;
- определение состава, структуры и особенностей распределения макро- и мейобентоса

в районах исследования, картирование основных биогеоценотических комплексов, исследование разнообразия фито-, зоо- и бактериопланктона, изучение трофических связей и пищевых стратегий массовых видов гидробионтов, оценка вклада хемосинтеза и метанотрофии в общий баланс органического вещества с использованием биомаркерного анализа, отбор гидробионтов для скрининговых исследований биоактивных веществ на противоопухолевую активность;

- проведение радиохемозэкологического мониторинга вдоль пути следования судна.

Схемы маршрута судна, расположения полигонов и станций отбора проб представлены на рисунке.

Всего в ходе экспедиции на двух полигонах осуществлено 21 погружение телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) «Команч-18» на глубинах от 356 до 3931 м. Получено 4735 фотографий и более 32 часов видеозаписей глубоководных экосистем, подготовлено более 500 единиц хранения представителей макрофауны, приготовлены экстракты из 148 проб гидробионтов для скрининга специфической противоопухолевой активности, отобрано 118 проб мейобентоса.

В рамках программы по изучению планктонных сообществ северных окраинных морей России были взяты 12 проб зоопланктона, 21 проба фитопланктона и 28 проб микропланктона.

С целью изучения особенностей состава вод в районах разгрузки глубоководных гидротерм и холодных высачиваний взята 51 проба воды в различных горизонтах глубин. Отобраны 321 проба для установления содержания метана и 434 пробы на определение гидрогеохимических параметров морской воды.

Для радиохемозэкологического мониторинга дальневосточных морей РФ взяты 55 проб воды и 15 проб донных осадков на определение содержания изотопов $^{239,240}\text{Pu}$, ^{137}Cs , ^{90}Sr .

На Полигоне 1 (массив Вулканологов) изучены геологическая зональность и распределение донной фауны вдоль батиметрического градиента от 475 до 3931 м. Показано, что вертикальная зональность южного склона вулкана Пийпа в целом соответствует закономерностям, выявленным для его северного склона, детально изученного в 2016 г. Наиболее характерные черты вертикального распределения донной фауны заключались в наличии скопления бентопелагических Trachimedusae на глубинах около 2600 м, кишечнодышащих (Torquaratoridae) на глубинах

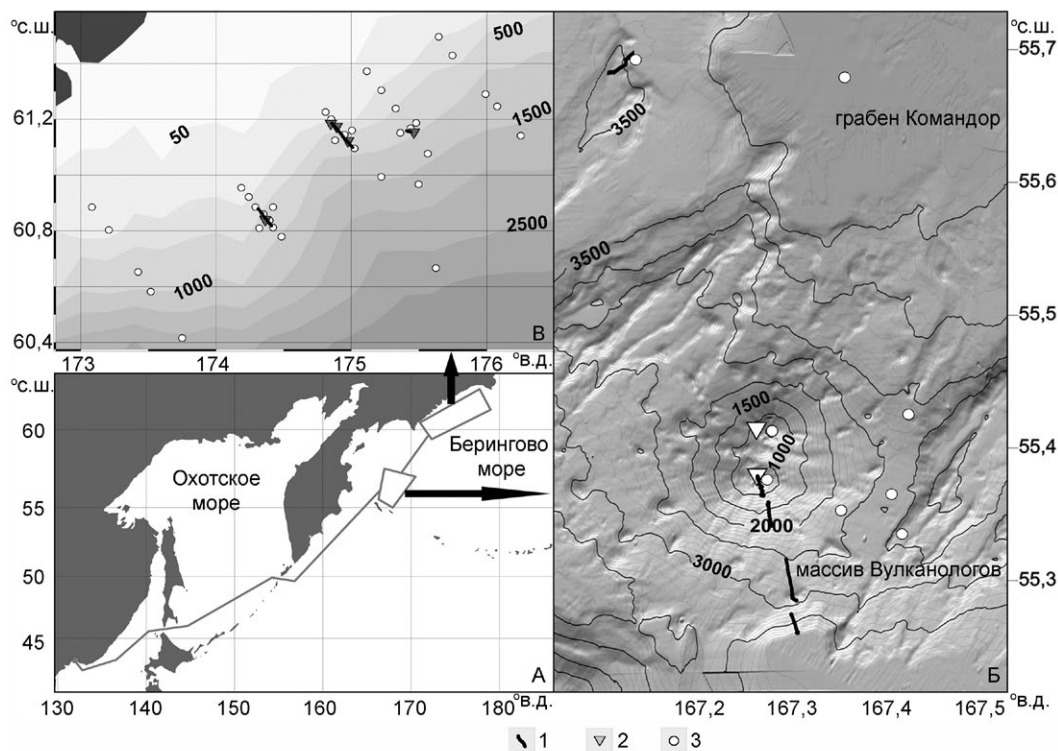


Рис. Карта маршрута экспедиции (А), погружений ТНПА «Команч» и станций отбора проб воды на полигоне 1 (Б) и на полигоне 2 (В); обозначения: 1 — треки погружений; 2 — станции отбора воды с помощью ТНПА; 3 — станции отбора воды с помощью комплекса батиметрической кассеты и STD-зонда.

около 1900 м и развитии богатой фауны губчатого рифа на глубинах 1010–760 м. В районах гидротермальных проявлений вулкана Пийпа впервые на обеих вершинах проведены измерения температуры флюидов в местах их выходов. На Северной вершине максимальная температура составила 132.79°C, что укладывается в интервал экспериментальных температур образования гидротермального ангидрита, слагающего гидротермальную постройку [4]. На Южной вершине, где развиты более низкотемпературные карбонатные постройки, максимальное значение составило 10.59°C. Фоновая температура морской воды на обеих вершинах варьировала от 3.54 до 3.71°C.

Наибольшие концентрации метана в воде (387–2364 нл/л) в районе массива Вулканологов зафиксированы на станциях, выполненных над вершинами вулкана, с максимальными значениями в придонном слое над Северной вершиной. На остальных станциях концентрации метана не превышали фоновых значений, характерных для этого района (43–118 нл/л).

Работы на Полигоне 2 выполнялись в пределах морской части Хатырского прогиба (от мыса Олюторский до мыса Наварин). По материалам сейсмических исследований, проведенных ОАО «Дальморнефтегеофизика» в 1988 и 2007 гг., на склоне Берингова моря в Хатырском осадочном бассейне на глубинах 300–900 м выявлены зоны, перспективные в отношении газогидратности [2]. Кроме того, на глубинах 360–475 м были обнаружены раковины хемосимбиотрофных двустворчатых моллюсков плиокардиин (*Vesicomidae*) и солемиид [3, 5]. Эти обстоятельства дали основания для предположения о наличии в пределах акватории Полигона 2 метановых высачиваний и характерных «сиповых» сообществ [5]. В ходе экспедиции были зафиксированы газовые метановые эманаии на обширной площади Полигона 2. На всех станциях, выполненных на глубинах от 126 до 1509 м, наблюдалось значительное превышение средних концентраций метана по сравнению с фоновыми величинами (46–113 нл/л). Максимальная обнаруженная концентрация метана на Полигоне 2 — 12473 нл/л. По нашим предварительным данным, основные места газовой разгрузки на изученной акватории Берингова моря располагаются на глубинах от 332 до 708 м.

Работа ТНПА на Полигоне 2 осуществлялась на участке длиной 68.5 километров на трех разрезах в диапазоне глубин от 906 до 356 м. Впервые обнаруженные и исследованные на Корякском склоне поля холодных высачиваний значительно

различаются по своим проявлениям. Эти высачивания расположены на разных глубинах, что, возможно, в определенной степени обуславливает их специфику. Всего было обследовано пять более или менее обособленных сиповых полей на глубинах от 693 м до 400 м. В целом, выявленные сообщества можно разделить на три типа.

1. Сообщества первого типа встречаются на глубинах 695–647 м в окружении фонового сообщества *Ophiuroidea* + *Macrura Natantia*. Характеризуются развитием многочисленных поселений симбиотрофных двустворок плиокардиин *Calyplogena pacifica*. Количество и разнообразие фауны в зонах таких высачиваний по сравнению с фоном резко увеличивается. Например, актинии рода *Tealidium* (*Actinostolidae*) в зонах высачиваний встречаются гораздо чаще, чем на фоне. Представители рода найдены впервые за последние 100 лет и впервые для Тихого океана. Обилие и разнообразие фауны, в частности, обусловлено присутствием значительного количества карбонатных образований и материала ледового разноса. Карбонатные образования имеют самую разнообразную форму — от трубок до корок с площадным покрытием до 100 метров. С увеличением высоты локальных поднятий рельефа дна наблюдается более интенсивное развитие карбонатной минерализации, вплоть до формирования карбонатных построек причудливой формы, достигающих 1 м в высоту, названных «карбонатными холмами».
2. Сообщества второго типа встречаются на глубинах 429–417 м в пределах фонового сообщества *Protoptilum/Asteronyx* + *Brisaster latifrons*. Из специализированных форм в небольшом количестве представлена *C. pacifica*. Численность и разнообразие фауны в районе высачиваний по сравнению с фоном несколько увеличивается: в частности, здесь отмечены виды актиний, не встреченные ранее. Плотность доминирующего вида — морских ежей *Brisaster latifrons* — на участках локальных сипов заметно выше по сравнению с фоном, в то время как морские перья явно избегают мест высачиваний.
3. Сообщества третьего типа отмечены на глубинах 400–402 м в пределах сообщества с доминированием актиний *Sagartiogeton cf. californicus* (*Sagartiidae*). Многочисленные и обширные высачивания, размерами часто более 1 м, маркируются развитыми бактериальными матами. Единичные калиптогены присутствуют на периферии сипов. Видимой реакции макрофауны на такие сипы не наблюдается.

Открытие донных сообществ, ассоциированных с углеводородными высачиваниями на Корякском склоне, является одним из важнейших результатов рейса. Обнаруженные и исследованные в рейсе места газовой разгрузки на горизонте глубин от 400 до 700 м представляют собой новый район восстановительных биотопов в масштабе Мирового океана. В бассейне Тихого океана это самые северные известные к настоящему времени сообщества, основанные на хемосинтезе, и самые северные современные восстановительные сообщества в мире, в которых встречены двустворчатые моллюски плиокардиины.

Благодарности. Авторы благодарят капитана В.Б. Птушкина и всю команду судна “Академик М.А. Лаврентьев”, а также пилотов и техников ТНПА «Команч» за высокопрофессиональную работу.

Источник финансирования. Экспедиционные исследования проведены при финансовой поддержке ФАНО (целевое финансирование на проведение морских экспедиционных исследований), отбор и первичная обработка биологических образцов выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-50-00034 (Направление 2), геологические работы выполнялись в рамках раздела 1.3 «Геодинамика формирования окраинных бассейнов Западной Пацифики, особенности седиментогенеза и вулканизма»

темы 1 НИР ДВГИ ДВО РАН, первичная таксономическая обработка проб донной фауны и анализ ландшафтов на основе видеозаписей выполнялись в рамках госзадания (тема № 0149-2019-0009), работа частично поддержана грантом РФФИ № 18-05-60228.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин С.В., Ивин В.В. Биологические исследования в Беринговом море с использованием телеуправляемого аппарата «Команч» // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 1.
2. Грецкая Е.В., Петровская Н.А. Нефтегазоносность Хатырского осадочного бассейна (Берингово море) // *Газовая промышленность*. 2010. Спец. вып. С. 38-44.
3. Данилин Д.Д. Двустворчатые моллюски как потенциальные индикаторы районов гидротермальной активности // *Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы»*. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 291-294.
4. Сагалевиц А.М., Торохов П.В., Галкин С.В., Москалев Л.И., Матвеевков В.В. Гидротермальные проявления подводного вулкана Пийпа (Берингово море) // *Изв. РАН. Сер. геол.* 1992. № 9. С. 104-114.
5. Krylova E. M., Kolpakov E. V., Sharina S. N. et al. Distribution patterns of chemosymbiotic bivalves of the subfamily Pliocardiinae (Bivalvia: Vesicomidae) from the North-West Pacific // 15-th International deep-sea biological Symposium, 9-14 September, 2018. Monterey, USA: Monterey Bay Aquarium Research Institute, 2018. P. 32-33.

STUDIES OF THE ECOSYSTEMS ASSOCIATED WITH HYDROTHERMAL VENTS AND COLD SEEPS IN THE BERING SEA (82nd CRUISE OF RV AKADEMIK M.A. LAVRENTYEV)

© 2019 S. V. Galkin^{1*}, V. V. Mordukhovich^{2, 5}, E. M. Krylova¹, V. A. Denisov², A. N. Malutin², P. E. Mikhailik⁴, N. S. Polonik⁶, N. P. Sanamyan⁷, V. A. Shilov², V. V. Ivin^{2, 3}, A. V. Adrianov²

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology of FEB RAS, Vladivostok, Russia

³ Berg Federal Scientific Research Institute of Lake and River Fisheries, St. Petersburg, Russia

⁴ Far Eastern Geological Institute of FEB RAS, Vladivostok, Russia

⁵ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

⁶ Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

⁷ Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

*e-mail: galkin@ocean.ru

Received December 26, 2018

Revised version received December 26, 2018

After revision February 05, 2019

During the 82nd cruise of RV *Akademik M. A. Lavrentyev* a multidisciplinary study of the ecosystems associated with hydrothermal vents and cold seeps in the Bering Sea was conducted. New data on the composition and structure of benthic communities of the Piip's Volcano are obtained. On the Koryak slope of the Bering Sea, a new cold seep region was discovered. Chemosynthesis-based communities on the Koryak slope are the northern-most of their kind in the Pacific, and the Koryak population of *Calyptogena* is the northern-most Recent population of pliocardiines in the World Ocean.

Keywords: Bering Sea, hydrothermal vents, cold seeps, benthic fauna, Pliocardiinae