

УДК 550.83 (86)

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРХНЕЙ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ И РЕЛЬЕФА МОРСКОГО ДНА В МОРЯХ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ В 78-М РЕЙСЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА “АКАДЕМИК М.А. ЛАВРЕНТЬЕВ”

© 2018 г. Н. Н. Дмитриевский, Р. А. Ананьев, А. А. Мелузов, А. С. Ульяновцев

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

*e-mail: nnd2008@rambler.ru*

Поступила в редакцию 01.12.2016 г., после доработки 15.02.2017 г.

DOI: 10.7868/S0030157418010173

В 78-м рейсе НИС “Академик М.А. Лаврентьев” сотрудниками ИО РАН в рамках выполнения экспедиционных исследований был продолжен комплекс работ по использованию высоко разрешающей сейсмоакустической аппаратуры в целях комплексного изучения современных опасных геолого-геоморфологических процессов в морях Восточной Арктики Российской Федерации, в том числе: экзарационного воздействия на морское дно и газопроявлениях в водной и осадочной толще. Финансирование работ осуществлялось Российским научным фондом. В рейсе принимали участие сотрудники Тихоокеанского океанологического института РАН, Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Томского политехнического университета, Института физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН.

Рейс продолжительностью 46 суток проводился в сентябре – ноябре 2016 г. с началом в порту Тикси и окончанием в порту Владивосток. Исследования проводились в виде попутного промера и полигонных исследований в Восточно-Сибирском море и море Лаптевых. Общий план работ представлен на рис. 1, картоснова – ИВСАО [5]. Объем сейсмоакустических изысканий составил порядка 800 морских миль.

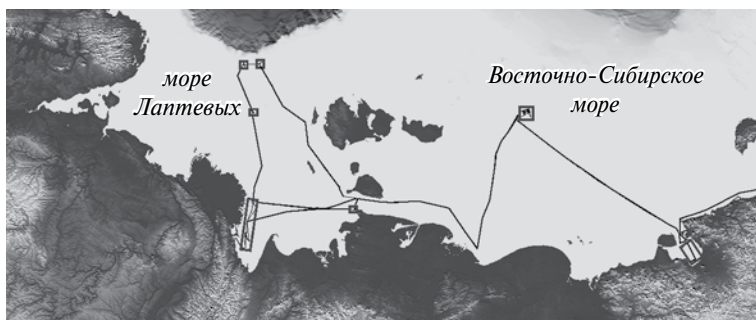
Сотрудниками Института океанологии были выполнены работы по непрерывному высокоразрешающему сейсмоакустическому профилированию с помощью эхолота–профилографа SES-2000 (производство фирмы INNOMAR, Германия) и батиметрической съемке многолучевым эхолотом WASSP WMB-3250 (производство WASSP Limited, Новая Зеландия). Сейсмоакустические, гидролокационные и батиметрические исследования на шельфах северных морей РФ, выполнявшиеся ранее сотрудниками ИО РАН, показали обширное распространение в данном регионе донных

газонасыщенных осадков, сопровождаемое высачиванием (сипингом) углеводородных газов (УВГ), проявляющимся в виде газовых “факелов” и пузырьковых струй в водной толще и покмарков в рельефе морского дна [1].

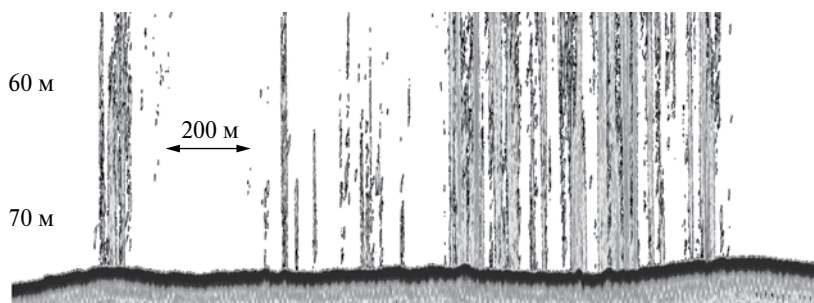
В настоящее время выделение большого количества УВГ из осадочных отложений считается одной из возможных причин климатических изменений, долговременных в масштабе истории человеческой цивилизации и быстрых в геологическом масштабе времени. Приблизительные оценки показывают, что разрушение и выброс в атмосферу менее 1% предполагаемых запасов метана из газогидратов приведет к многократному увеличению содержания метана в атмосфере и трудно предсказуемым климатическим последствиям. Соответственно, первоочередной задачей является выявление масштабов деградации подводной мерзлоты и газогидратов, а также временной мониторинг указанных процессов с использованием различных, в том числе и гидроакустических методов.

Для решения этих задач на борту судна НИС “Академик М.А. Лаврентьев” была опробована установка антенн эхолота-профилографа и многолучевого эхолота на одной крепежной штанге. Ранее [1] одновременная установка на одной штанге двух акустических приборов (эхолота-профилографа и гидролокатора бокового обзора) уже успешно использовалась на НИС “Академик М.А. Лаврентьев” и доказала свою высокую эффективность. Подобная схема расположения приборов позволила взаимно дополнить информативность каждого из используемых методов, а также расширить возможности интерпретации получаемых данных.

Использовавшийся гидроакустический комплекс позволял уверенно выявлять зоны повышенного газосодержания в верхней части осадочного разреза и фиксировать выходы газа в воду.



**Рис. 1.** Схема района работ. Маршрут следования НИС "Академик М. А. Лаврентьев" с попутным промером показан черной линией, участки проведения полигонных геофизических исследований показаны прямоугольниками. Картооснова – ИВСАО [5].



**Рис. 2.** Газовые выходы по данным высокочастотного канала эхолота-профилографа "SES-2000 standard".

Признаками аномального газонасыщения осадков на записях профилографа являлись: резкое возрастание амплитуды отражений; появление большого количества дифрагированных волн; экранирование нижележащих границ (зоны акустической тени); задержка времени регистрации отражений от нижележащих границ, вызывающая их ложное прогибание; куполообразные и конусообразные вертикально ориентированные области акустически прозрачной или хаотической записи, резко дискордантные отражения от субгоризонтальных геологических границ [2–4].

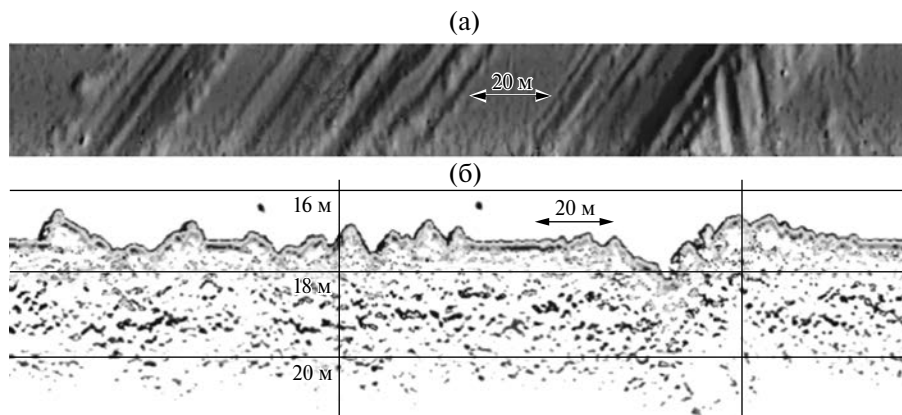
Для обнаружения повышенного содержания газа в осадочной толще использовались данные низкочастотного канала эхолота-профилографа SES, а высокочастотный канал обеспечивал выявление газовых факелов в водной толще (рис. 2). Параллельная регистрация данных обоих каналов и последующий совместный анализ изображений повышали достоверность получаемой информации.

В некоторых случаях участки распространения аномально газонасыщенных отложений, выявленные по записям профилографа, сопровождалась по данным многолучевого эхолота появлением на дне следов выхода газа, "покмарков" – микрократеров, образующихся при определенных условиях в местах выхода газа из донных осадков в воду.

Образование "покмарков" связывают с выбросом газа, главным образом метана, из осадков на поверхность морского дна. Предполагается, что накопление газа, поднимающегося к верхней части осадочного чехла, приводит к образованию в осадочном слое областей с аномальным поровым давлением. Взрывное выделение газа и выброс осадков в водную толщу образует на морском дне конусообразную депрессию – "покмарк". В 78-м рейсе НИС "Академик М. А. Лаврентьев" подобные структуры были обнаружены на исследовательских полигонах в северной части моря Лаптевых и в проливе Дмитрия Лаптева.

В качестве вполне ожидаемого результата в рельефе морского дна в исследованных районах было обнаружено большое количество борозд различной глубины и сопряженных с ними валов, формирующихся в результате ледовой экзарации морского дна [2–4]. На рис. 3 приведены фрагменты синхронных записей многолучевого эхолота и SES, иллюстрирующие указанные явления.

В связи с тем, что районы работ в настоящей экспедиции и в экспедициях 2011–2012 гг. практически совпадали, нами была поставлена задача мониторинга состояния борозд за период времени в 5 лет. Для этой цели судно совершило несколько региональных галсов на при-Ленском участке работ, полностью (в пределах точности навигации



**Рис. 3.** Фрагмент одновременной записи экзарационных борозд в море Лаптевых. (а) – По данным многолучевого эхолота, (б) – по данным сейсмоакустического профилографа.

и судовождения) совпадающих с галсами, выполненными в 2011–2012 гг. Подобного рода исследования экзарационных процессов в указанных районах ранее не проводились. На указанных галсах проводился сравнительный анализ наличия и состояния экзарационных борозд с целью оценки времени жизни “старых” борозд и интенсивности появления “новых”. Подробное изучение экзарационных борозд с их классификацией по глубинам, размерам и пространственной ориентации будет произведено в ходе дальнейшей обработки полученных материалов, при этом сопоставление направления борозд с характерными направлениями дрейфа льда рассматривается как одна из приоритетных задач для дальнейших исследований.

Помимо этого, в ходе 78-го рейса НИС “Академик М. А. Лаврентьев” на детальных полигонах и некоторых точках по маршруту судна был произведен отбор проб донных отложений с помощью коробчатого пробоотборника (“боксорера”). Проведенные анализы включали в себя определение в донных осадках содержания общего и органического углерода, а также концентрации биогенных элементов, оценку группового, молекулярного и изотопного состава органического вещества. Комплекс проведенных исследований позволит сравнить состав донных отложений в областях газопроявлений и уточнить природу газовых сипов на шельфе Восточно-Сибирского моря и моря Лаптевых.

Авторы благодарят руководство и команду судна “Академик М. А. Лаврентьев” за большую помощь в организации морских работ, а также руководителя настоящего проекта – члена-корреспондента РАН Лобковского Леопольда Исаевича (ИО РАН) и начальника экспедиции, члена-корреспондента РАН Семилетова Игоря Петровича (ТОИ ДВО РАН).

Экспедиционные работы сотрудников Института океанологии в рейсе проводились при финансовой поддержке РФ (грант № 14-50-00095). Обработка данных частично выполнена в рамках Государственного задания, тема № 0149-2014-0032.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Либина Н.В., Росляков А.Г.* Сейсмоакустические исследования верхней осадочной толщи и рельефа морского дна в морях Восточной Арктики в 57-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик М. А. Лаврентьев” // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 4. С. 617–620.
2. *Сергиенко В.И., Лобковский Л.И., Семилетов И.П. и др.* Деградация подводной мерзлоты и разрушение гидратов шельфа морей Восточной Арктики, как возможная причина “метановой катастрофы”: некоторые результаты комплексных исследований 2011 года. // *Докл. РАН*. 2012. Т. 446. № 13. С. 330–335.
3. *Ananyev R., Dmitrevskiy N., Jakobsson M. et al.* Sea-ice ploughmarks in the eastern Laptev Sea, East Siberian Arctic shelf. *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient* // *Geological Society Memoirs*. London, 2016. № 46. P. 301–302 / Eds. Dowdeswell J.A. et al. doi: 10.1144/M46.109.
4. *Hovland M., Judd A. G.* Seabed Pockmarks and Seepages. *Impact on Geology, Biology and the Marine Environment*. London: Graham & Trotman, 1988. 146 p.
5. *Jakobsson M., Mayer L., Coakley B. et al.* The international bathymetric chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0 // *Geophys. Res. Letters*. 2012. V. 39. № 12. P. 57–68. doi: 10.1029/2012GL052219.