

УДК 551.465

## СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ НА ЛЕДОКОЛЕ “ОДЕН” В 2014 г.

© 2015 г. Л. И. Лобковский<sup>1</sup>, С. Л. Никифоров<sup>1</sup>, Р. А. Ананьев<sup>1</sup>, А. В. Хортов<sup>1</sup>,  
И. П. Семилетов<sup>2</sup>, М. Якобссон<sup>3</sup>, Н. Н. Дмитриевский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>3</sup>Департамент геологических наук, Университет Стокгольма, Швеция

e-mail: lobbkovsky@ocean.ru

Поступила в редакцию 17.06.2015 г.

В июле–октябре 2014 г. была проведена международная арктическая морская экспедиция SWERUS-C3. Проведенные исследования с использованием комплекса современного сейсмоакустического оборудования подтвердили широкое распространение потенциально опасных экзогенных геолого-геоморфологических природных процессов на восточно-арктическом шельфе России. Серьезную опасность в арктических морях представляет ледовая экзарация, ее воздействие на морское дно необходимо обязательно учитывать при освоении нефтегазовых месторождений шельфа. Большое количество обнаруженных участков распространения аномально газонасыщенных отложений и газовых выходов могут представлять глобальную опасность, дальнейшее увеличение эмиссии метана способно приобрести значение риска планетарного масштаба. Минимизация этих и других георисков при освоении шельфа должна являться одним из приоритетов развития Арктики.

DOI: 10.7868/S0030157415060106

### ВВЕДЕНИЕ

Восточно-Арктический шельф входит в число приоритетных регионов развития России [4]. В связи с этим, остро встает вопрос изучения геолого-геоморфологических процессов и возможных рисков для минимизации ущерба при разведке и эксплуатации нефтегазовых месторождений шельфа. Поэтому проведение комплексных геолого-геофизических изысканий в морях Арктики имеет особенно большое значение.

В июле–октябре 2014 г. была организована международная совместная шведско-российско-американская экспедиция SWERUS-C3 на ледоколе “Оден”. Исследования были направлены на изучение взаимодействия основных компонентов системы климат–криосфера–углерод в Арктике. Организаторы проекта – Стокгольмский Университет (Швеция), Университет Нью-Гэмпшира (США), Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН и Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Первый этап экспедиции проходил по маршруту Тромсе (Норвегия) – Барроу (США) и был, преимущественно, посвящен исследованиям на восточном шельфе российской Арктики. Вторая часть экспедиции по обратному маршруту была направлена, главным образом, на исследования глубоководных океанических участков дна, включая

хребты Ломоносова и Менделеева и разделяющие их впадины Восточно-Арктического региона (рис. 1).

Одной из основных целей экспедиции являлась качественная и количественная оценка эмиссии метана из донных отложений морей восточной части Арктики в водную толщу и атмосферу. Широкий и мелководный Восточно-Сибирский шельф характеризуется высокими эмиссионными потоками, выбросы метана в атмосферу здесь сопоставимы со средними оценками выбросов всего Мирового океана [7]. Об этом свидетельствуют многочисленные газовые “факелы”, обнаруженные в ходе ряда экспедиций в Восточную Арктику в последние годы [1, 2, 5], включая последнюю экспедицию на НИС “Оден”. Есть основания предполагать, что такие выбросы влияют на процессы, связанные с изменением климата Земли.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Во время экспедиционных исследований использовался комплекс современного сейсмоакустического оборудования, что позволило определить строение верхней осадочной толщи, особенности и тренды ее развития, а также зафиксировать особенности проявления современных геолого-геоморфологических процес-

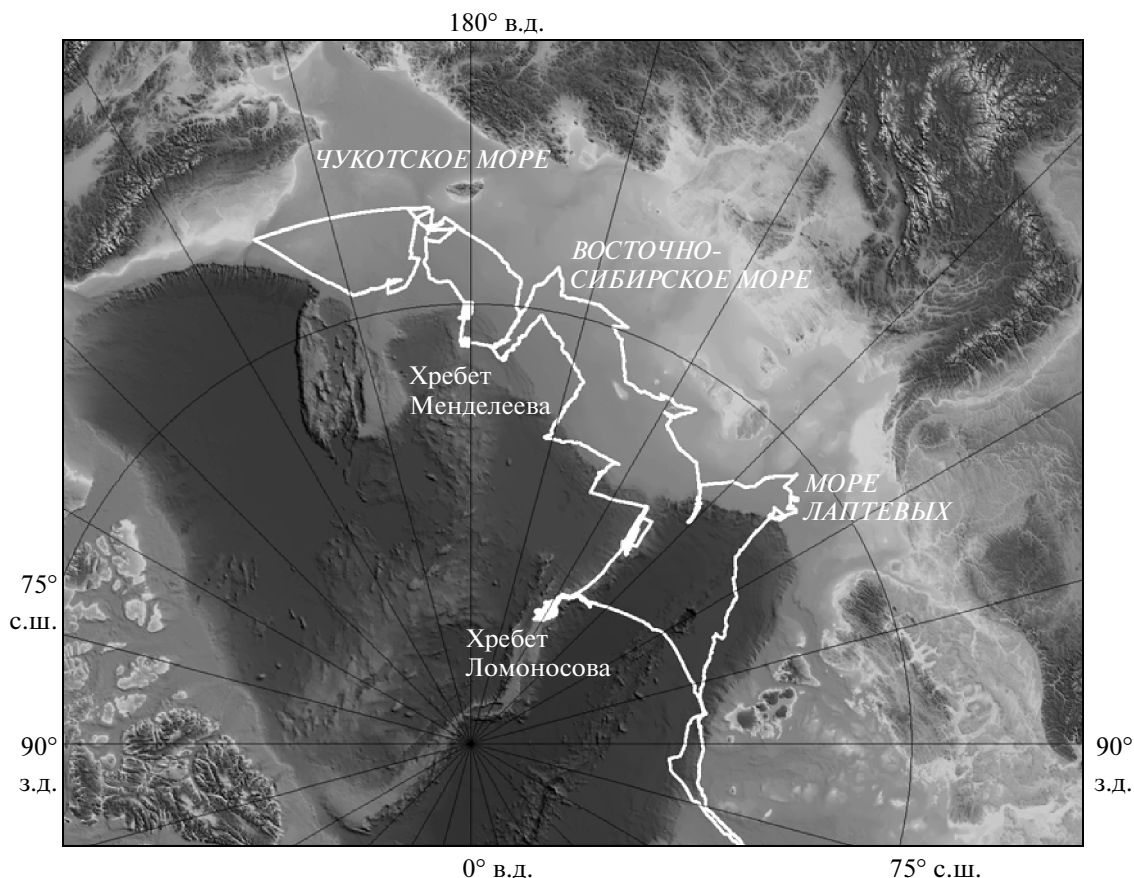


Рис. 1. Схема маршрута экспедиции на ледоколе “Оден” в 2014 г., картографическая основа – ИВСАО [6].

сов, включая области эмиссии метана. По пути следования ледокола “Оден” проводились непрерывная батиметрическая съемка морского дна и сейсмоакустическое профилирование верхней (приблизительно до 100 м) осадочной толщи с помощью штатного оборудования – многолучевого эхолота Kongsberg EM 122 с рабочей частотой 12 кГц и сейсмопрофилографа Kongsberg SBP 120 с частотой 3–7 кГц, вмонтированных в днище ледокола. Для регистрации “факелов” газа в водной толще использовались однолучевые эхолоты Simrad EK 60 (на первом этапе экспедиции) и Simrad EK 80 (на втором этапе). В случае хорошей погоды и благоприятных ледовых условий осуществлялся спуск на воду и проводились геофизические работы высокого разрешения с борта исследовательского судна Стокгольмского университета *Skidbladner*, оборудованного многолучевым эхолотом Kongsberg EM 2040 с частотой 200–400 кГц и акустическим профилографом Kongsberg EA 600 с частотой 15 кГц. Строение более глубоких осадочных комплексов дополнительно изучалось с помощью сейсморазведки методом отраженных волн и электроразведки.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных исследований на Восточно-Арктическом шельфе были обнаружены борозды (рис. 2) с широким диапазоном разброса как по глубине их распространения, так и по их фактическим размерам (ширина и глубина борозд, их форма, протяженность, направление). Характерный вид борозд (траншея с отвалами грунта в одну или обе стороны) не оставляет сомнений в механическом характере воздействия на дно; причиной воздействия, вероятнее всего, является взаимодействие движущегося льда с донной поверхностью.

Принято считать, что на шельфе морей российской Арктики наибольшая глубина моря, при которой возможно экзарационное воздействие на дно морского льда в современных природных условиях, не превышает 60 м [3]. Вследствие этого, обнаруженные более глубоководные борозды, скорее всего, являются реликтовыми, образовавшимися в эпохи глубоких регрессий в доголоценовое время. Подводная экзарация айсбергов, плавучих и припайных льдов представляет природные опасности и риски, что необходимо обязательно учитывать при освоении нефтегазовых

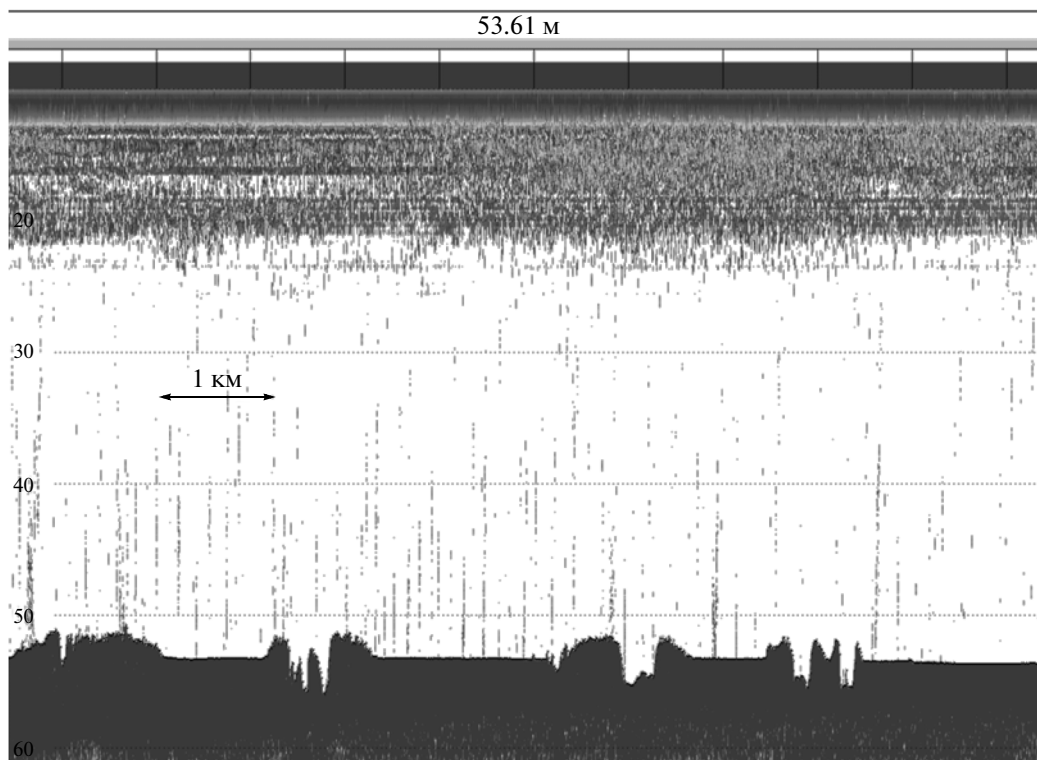


Рис. 2. Фрагмент записи эхолота Simrad EK60 с экзарационными бороздами в море Лаптевых.

месторождений шельфа. Данные процессы могут оказывать разрушительное влияние на подводные инженерные сооружения и, в первую очередь, на устойчивость подводных трубопроводов.

К потенциально опасным экзогенным геолого-геоморфологическим природным процессам на шельфе относятся не только ледовая экзарация, но и таяние многолетнемерзлых пород с возникновением газовых “пузырей” в приповерхностных слоях осадочной толщи и внезапными массивными выбросами газа в толщу воды и атмосферу. Палеогеографические особенности развития региона в четвертичное время привели к образованию подводных многолетнемерзлых пород (ПММП), которые способны сохранять свободный газ в осадках и стабилизировать газовые гидраты. Их деградация до недавнего времени была ограничена за счет доминирования отрицательных температур в придонном слое и низких потоков глубинной тепловой энергии. В настоящее время происходит прогрессивное уменьшение арктического ледового покрова, усиление прогрева и перемешивание водных масс, а также резкое увеличение придонных температур, особенно, на мелководных участках. Как следствие, происходит разрушение ПММП с дальнейшим газовыделением в водную толщу [2]. Дальнейшее развитие этого процесса способно вызвать как глобальные негативные климатические послед-

ствия, так и изменение физических свойств осадков с трудно предсказуемыми последствиями для инженерных работ и общей литодинамической обстановки.

Во время экспедиционных исследований на борту ледокола “Оден” на записях сейсмопрофилографа были неоднократно отмечены признаки аномального газонасыщения осадков, такие как: резкое возрастание амплитуды отражений, появление большого количества дифрагированных волн, экранирование нижележащих границ (зоны акустической тени), куполообразные и конусообразные вертикально ориентированные области акустически прозрачной или хаотической записи. Помимо этого, было обнаружено более двух сотен источников выхода газа с океанского дна. Большая часть обнаруженных газовыделений пришлась на шельфовую и склоновую часть моря Лаптевых (рис. 3). Значительное количество газовых сипов было найдено в Восточно-Сибирском море и несколько – на шельфе Чукотского моря. Были обнаружены одиночные и групповые “факелы”, а также, в нескольких местах, так называемые, зоны “ураганного” выхода метана, когда значительный участок морского дна полностью покрыт многочисленными газовыми выходами.

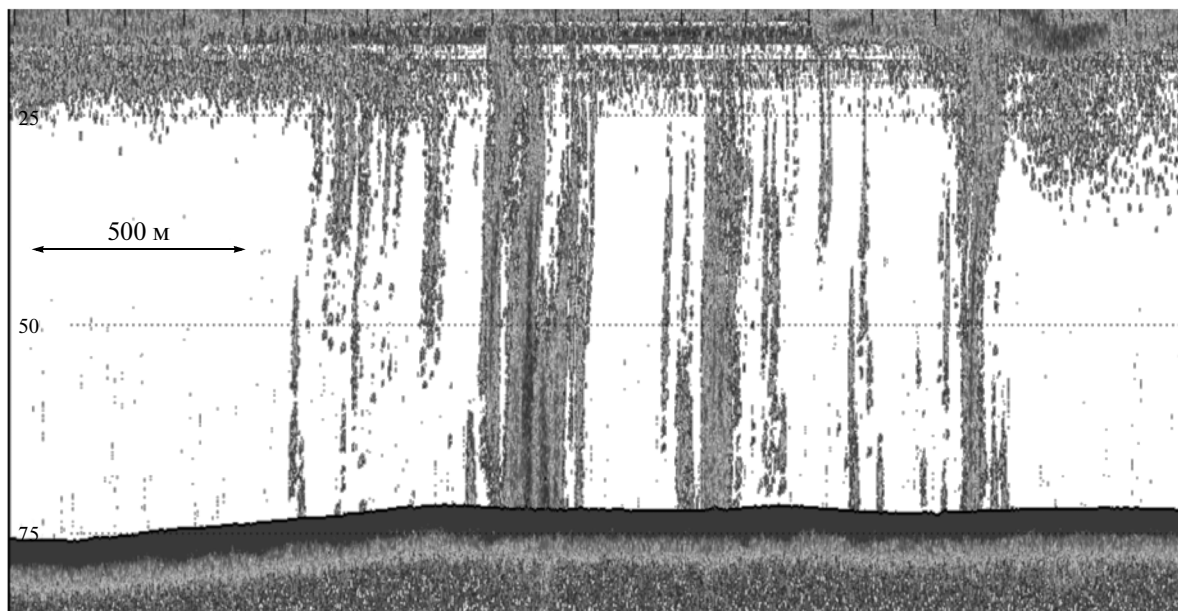


Рис. 3. Газовые “факелы” в море Лаптевых по данным эхолота Simrad EK60.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспедиционные исследования на ледоколе “Оден” в 2014 г. подтвердили широкое распространение потенциально опасных экзогенных геолого-геоморфологических природных процессов на восточно-арктическом шельфе России. Серьезную опасность в арктических морях представляет ледовая экзарация, необходимо обязательно учитывать интенсивность воздействия и глубину внедрения ледовых образований в донные осадки при проектировании подводных трубопроводов и кабелей связи. Большое количество обнаруженных участков распространения аномально газонасыщенных отложений и газовых выходов могут представлять глобальную опасность. При продолжающейся деградации ПММП эмиссия метана будет увеличиваться и принимать массивный характер, приобретая совместно с деградацией многолетнемерзлых пород на суше и усилением термоабразионных процессов на побережье значение риска планетарного масштаба. В результате таяния ПММП возможно также изменение физических и биогеохимических свойств верхней осадочной толщи, что, в свою очередь, может привести к непредсказуемым последствиям, особенно в областях техногенного освоения.

Указанные процессы представляют очевидную опасность практически для всех видов деятельности, включая безопасное освоение нефтегазовых месторождений шельфа. Игнорирование или недостаточная изученность подобных природных явлений приводят к катастрофам, сопровождае-

мым, как правило, большим эколого-экономическим ущербом, а подчас и человеческими жертвами, в связи с чем, минимизация рисков при освоении шельфа должна являться одним из приоритетов развития Арктики. Для подобного анализа большую роль должна выполнять разработка общей концепции формирования рельефа и осадочной толщи шельфа, где заложена информация о геологическом строении, истории развития и современных морфолитодинамических процессах.

Авторы выражают благодарность организатору и научному руководителю экспедиции на ледоколе “Оден” Орьену Густафссону (Стокгольмский университет) и всем участникам SWERUS-C3.

Экспедиция SWERUS-C3 финансировалась фондом Кнута и Элис Валленберг, Шведским секретариатом полярных исследований и Стокгольмским университетом. Обработка полученного материала проводилась при финансовой поддержке РФФ (проект № 14-50-00095).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобковский Л.И., Никифоров С.Л. Аномальная эмиссия метана на арктическом шельфе: проблемы потепления климата и безопасного освоения ресурсов в Арктике // Арктические ведомости. 2013. № 3(7). С. 94–97.
2. Лобковский Л.И., Никифоров С.Л., Дмитриевский Н.Н. и др. О процессах газовой выделении и деградации подводных многолетнемерзлых пород на шельфе моря Лаптевых // Океанология. 2015. Т. 55. № 2. С. 312–320.

3. *Огородов С.А.* Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: МГУ, 2011. 173 с.
4. Распоряжение Правительства РФ № 1039-р. Стратегическая цель и задачи развития геологической отрасли // Стратегия развития геологической отрасли до 2030 года, от 21 июня 2010 г.
5. *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. № 3. С. 330–335.
6. *Jakobsson M., Mayer L., Coakley B. et al.* The international bathymetric chart of the Arctic Ocean (IBCAO) version 3.0 // *Geoph. Res. Lett.* 2012. Т. 39. № 12. P. 57–68.
7. *Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A. et al.* Extensive methane venting to the atmosphere from the sediments of the East Siberian Arctic Shelf // *Science.* 2010. Т. 327. P. 1246–1250.

## Modern Geological and Geomorphological Processes on the East Arctic Shelf Based on Results from the Icebreaker Oden Expedition 2014

L. I. Lobkovsky, S. L. Nikiforov, R. A. Ananyev, A. V. Khortov, I. P. Semiletov,  
M. Jacobsson, N. N. Dmitrevskiy

From July 5 to October 4 2014, the international marine expedition “Swedish – Russian – US Arctic Ocean Investigation of Climate-Cryosphere-Carbon Interactions” (SWERUS-C3) was held. Mapping using modern seismic-acoustic equipment during the expedition revealed geological features on the Eastern Arctic continental shelf of Russia that in some respects are to be considered geohazards. Exerting a potential risk for sea-floor installations, deep drifting icebergs, inferred from ice scouring on the seabed, are among the identified geohazards. Ice scouring must thus be considered during any future development of oil and gas offshore fields in the section of the East Siberian Arctic Ocean where the SWERUS-C3 expedition mapped modern iceberg scours. Mapped areas during SWERUS-C3 include sites with gas-saturated sediments and gas flares. Ongoing studies of these gas-releasing sites aim to quantify and place the processes in a global perspective. Methane is a strong greenhouse gas with the potential of contribute to a warming climate should it reach the atmosphere in large quantities. Understanding, and when possible, minimizing these and other geohazards should be one of the priorities for a sustainable development of the Russian Arctic Ocean continental shelf.