

В.К. ЛЕКСИН, В.А. РОМАНЮК

Исследование ледовой экзарации в прибрежной части шельфа Сахалина

Наличие ледяного покрова на шельфе Охотского моря способствует формированию опасных ледяных образований, что, в свою очередь, создает сложности при проектировании, строительстве и обслуживании морских нефтегазопромысловых сооружений. Изучение геологических опасностей в прибрежной части акватории северо-восточного шельфа о-ва Сахалин позволит минимизировать риски и разработать рекомендации по обеспечению безопасности при освоении нефтегазовых месторождений. В работе представлены результаты анализа данных экспедиционных исследований, выполненных в июле–сентябре 2019 г. с использованием метода эхолотирования на площадке северо-восточного шельфа о-ва Сахалин в районе газонефтяного месторождения Одопту-море. Полученные батиметрические данные позволили выявить неровности рельефа дна исследуемого участка, в том числе промоины в береговой зоне, образовавшиеся в результате размыва придонными течениями. Кроме того, выявлены зоны ледовой экзарации и определены максимальные глубины выпаживания стамухами морского дна.

Ключевые слова: батиметрическая съемка, геологические опасности, ледовая экзарация.

Study of ice gouging in the coastal part of the Sakhalin Island shelf. V.K. LEKSIN, V.A. ROMANYUK («RN-SakhalinNIPImorneft» Limited Liability Company, Yuzhno-Sakhalinsk).

The presence of ice cover on the shelf of the Sea of Okhotsk contributes to the formation of dangerous ice formations, which in turn creates difficulties in the design, construction and maintenance of the offshore oil and gas facilities. Study of geological hazards in the coastal area of the northeastern shelf of the Sakhalin Island will make it possible to minimize risks and develop recommendations for ensuring safety in the development of oil and gas fields. The paper presents the results of the analysis of data from expeditionary studies carried out in July–September 2019 using the echo sounding method on the site of the northeastern shelf of the Sakhalin Island in the vicinity of the Odoptu-Sea gas and oil field. The obtained bathymetric data made it possible to reveal irregularities in the bottom relief of the study area, including gullies in the coastal zone, formed as a result of erosion of the seabed surface by bottom currents. In addition, zones of ice gouging were identified and the maximum depths of gouging of the seabed by stamukhas were determined.

Key words: bathymetric survey, geological hazards, ice gouging.

Введение

В прибрежной части северо-восточного шельфа о-ва Сахалин ведется интенсивное освоение нефтегазовых месторождений. Транспортировка нефтяных углеводородов осуществляется при помощи системы подводных трубопроводов, а ледовые условия могут формировать здесь ледяные образования, которые негативно воздействуют на морское дно, поэтому проведение геодинамического мониторинга верхней части геологического разреза и исследования ледовых условий на акваториях имеют большую практическую ценность. Изучению ледовой экзарации на различных акваториях посвящены, например, работы [2, 4, 5, 7, 8, 10, 13–15]. Помимо распространения зон ледовой экзарации, на шельфе о-ва Сахалин присутствуют покмарки, палеоврезы и газовые аномалии [3, 6, 9].

*ЛЕКСИН Василий Константинович – руководитель группы морских изысканий, РОМАНЮК Валерий Анатольевич – кандидат географических наук, руководитель группы ледовых технологий (ООО «РН-СахалинНИПИморнефт»), Южно-Сахалинск. *E-mail: lex-vasya@mail.ru

Настоящая работа представляет результаты исследований ледовой экзарации по данным батиметрической съемки на площадке 1×14 км месторождения Одопту-море (рис. 1), выполненных в июле–сентябре 2019 г. Кроме того, проводилось измерение уровня моря гидрологическим комплексом, установленным на автономной буйковой станции, и отбирались пробы донных отложений для определения гранулометрического состава.



Условные обозначения:



Рис. 1. Обзорная карта-схема района исследований

Методика исследований

Батиметрическая съемка на площадке Одопту-море по изучению поверхности морского дна выполнялась методом эхолотирования по системе параллельных профилей, перпендикулярных берегу. Для обеспечения требуемой точности было проложено несколько контрольных профилей, расположенных перпендикулярно основным съемочным профилям.

Навигационно-геодезическая поддержка батиметрической съемки обеспечивалась с использованием системы позиционирования, сбора и распределения данных, построенной на базе спутникового навигационного комплекса, работающего в режиме Real Time Kinematic (RTK). Методика измерений заключалась в установке и запуске RTK станции на пункте с известными координатами, с которой в навигационную аппаратуру (подвижный приемник, установленный на борту мотолодки) одновременно с приемом спутникового сигнала поступали сигналы дифференциальных коррекций. В качестве ведомой точки на дисплей рулевого выводилась офсетная точка вибратора эхолота. На экране отражались как проектная сетка профилей, так и фактическое положение мотолодки с учетом офсетов

датчиков позиционирования и глубины. Такой подход позволяет рулевому с максимальной точностью проводить мотолодку по съёмочным профилям.

Основные ледовые фазы на акватории исследуемого участка определяли с использованием данных спутниковых микроволновых радиометров (Japan Meteorological Agency), архива ежедневных данных о площади льда мультиспектральной системы анализа спутниковых наблюдений MASIE (<http://nsidc.org/data/masie>), а также спутниковых (TERRA, AQUA, Suomi-NPP, Sentinel-2) снимков ледяного покрова в видимом диапазоне.

Результаты и обсуждение

В районе исследований зимой 2018/19 г. по характерному сочетанию ледовых условий на восточном Сахалине выделяются четыре фазы развития ледяного покрова:

фаза I – начало льдообразования от даты первого появления льда в прибрежной полосе до момента формирования полыньи (средние даты от 28 ноября до 30 декабря). Преобладающие формы – блинчатый лед толщиной 3–12 см;

фаза II – полынья, заполненная сплошными ниласовыми льдами толщиной 3–10 см (средние даты от 31 декабря до 4 марта);

фаза III – сплоченный и очень сплоченный однолетний лед (средние даты с 5 марта по 29 апреля). Преобладающие формы – большие поля, обломки, битые льды, толщина от 30 до 130 см;

фаза IV – разрушение ледяного покрова (средние даты с 30 апреля до 8 июня). Преобладающие формы – обломки ледяных полей, битые и тертые льды толщиной от 30 до 130 см.

На всех перечисленных фазах развития ледяного покрова возможно кратковременное (от десятков часов до нескольких суток) как полное очищение, так и полное закрытие исследуемой акватории.

Образование гряд торосов на восточном шельфе о-ва Сахалин происходит при сжатии ледяных полей однолетнего льда, дрейфующих из северо-западной части Охотского моря, между которыми находится молодой лед. В случае, когда пространство между ледяными полями заполнено молодыми льдами, создаются условия, при которых максимальная толщина ледяных образований может достигать 25–35 м [1, 11]. Во время прохождения циклонов под воздействием восточных ветров массив пояса тяжелого льда прижимает к берегу. При этом часть мощных ледяных образований садится на грунт, образуя стамухи, и при смене направления ветра не позволяет льду отойти от берега, выполняя роль опорных свай. Далее происходит смерзание массива, и он существует определенное время в виде припая, пока под воздействием нескольких одновременно действующих динамических факторов (как правило, сочетания сизигийных приливов, высоких скоростей вдольбереговых приливных течений, ветровых нагрузок и т.д.) не произойдет его разрушение [12].

Первое появление ледяного покрова на акватории исследуемого района было зафиксировано 2 декабря. Фаза начала льдообразования длилась около месяца – со 2 декабря по 1 января. Формирование прибрежной полыньи под воздействием устойчивых северо-западных ветров началось 2 января 2019 г. В результате движения через южную часть Охотского моря глубокого циклона полынья была частично закрыта с 16 по 22 января. На протяжении последующих 54 сут (с 22 января по 16 марта) имели место развитие полыньи и увеличение ее площади (рис. 2).

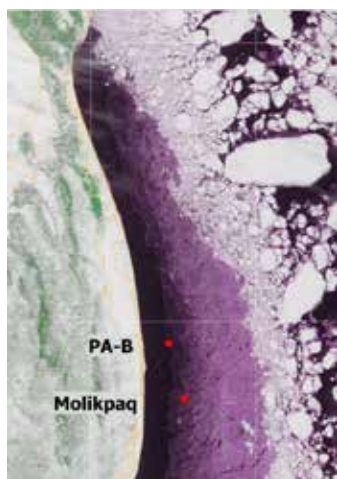


Рис. 2. Прибрежная полынья на северо-восточном шельфе о-ва Сахалин. Terra-MODIS, 11 марта 2019 г.

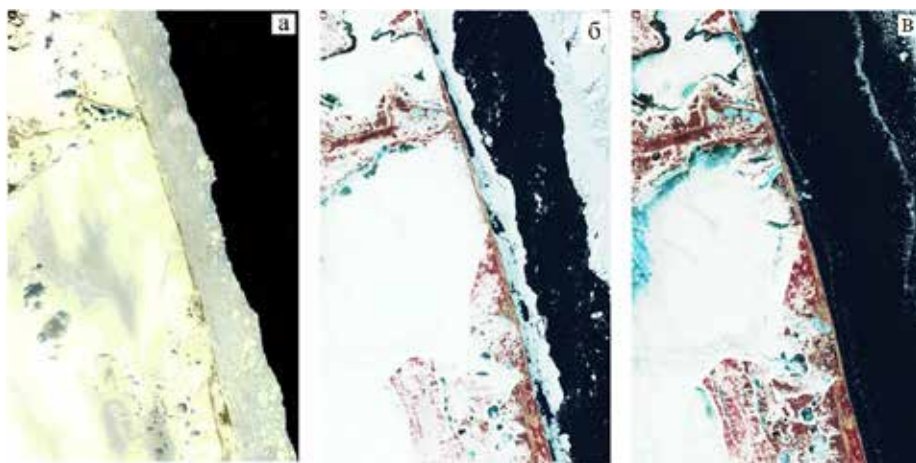


Рис. 3. Образование и разрушение припая на исследуемом участке: *а* – середина марта, *б* – 26 апреля, *в* – 29 апреля. Спутниковый снимок Sentinel-2

В середине марта, под воздействием ветров восточных румбов, пояс тяжелого льда был прижат к берегу, в результате чего образовалась полоса припая шириной до 2 км (рис. 3, *а*). Данные спутниковых наблюдений позволили определить, что разрушение припая началось 26 апреля (рис. 3, *б*), а к 29 апреля припай был полностью разрушен (рис. 3, *в*).

Анализ изображений со спутника Sentinel-2 (комбинация каналов 12-11-4, рис. 4) позволил идентифицировать на акватории исследуемого участка несколько ледяных образований, предположительно стамух. Размеры самого крупного из этих образований составляли $1,5 \times 1,1$ км, площадь $1,13$ км².

По результатам обработанных батиметрических данных с учетом приливно-отливных явлений установлено, что глубины площадки Одопту-море изменяются от нулевой отметки (береговая линия) до 9-метровой изобаты, углубляясь в сторону моря.

В мелководной прибрежной части площадки Одопту-море, до изобаты 7 м, наблюдается выпахивание морского дна стамухами на глубину до 4 м от его поверхности (рис. 5, 6).

Вдоль береговой линии на протяжении практически всего участка площадки простираются аккумулятивные валы и промоины, образующиеся в процессе намыва и размыва береговой зоны побережья (рис. 7, 8).

На основе анализа построенной батиметрической карты площадки Одопту-море выделены участки зон ледовой экзарации (рис. 9).

Приповерхностные донные отложения состоят главным образом из голоценовых песков с единичными включениями гравия, перекрывающих неогеновые отложения, представленные переслаивающимися слаболитифицированными грунтами (супесями и суглинками). Наибольшая мощность голоценовых отложений отмечается в местах развития песчаных валов и песчаных волн. На некоторых участках между песчаными валами

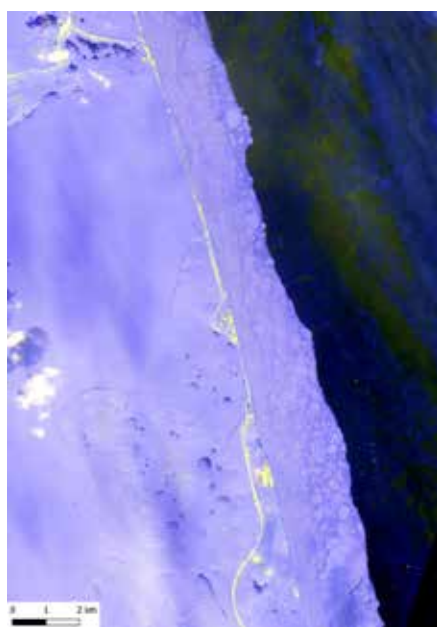


Рис. 4. Фрагмент изображения исследуемого участка со спутника Sentinel-2, 25 марта 2019 г.

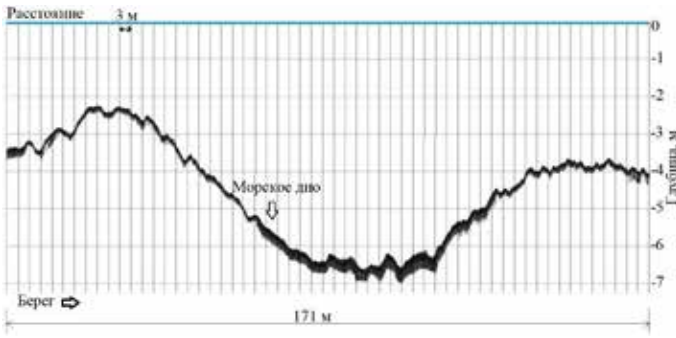


Рис. 5. Фрагмент записи батиметрической съемки в северной части площадки Одопту-море

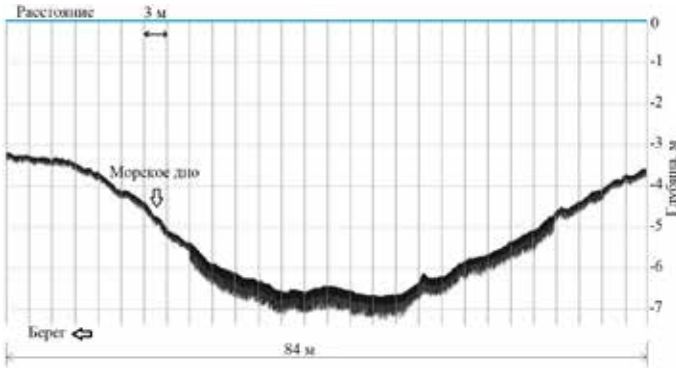


Рис. 6. Фрагмент записи батиметрической съемки в центральной части площадки Одопту-море

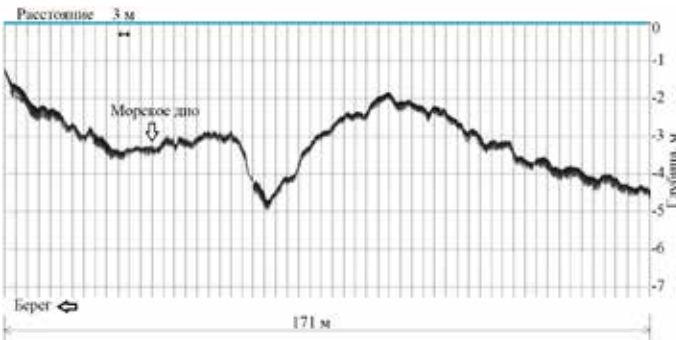


Рис. 7. Фрагмент записи батиметрической съемки, показывающий размытие в береговой зоне побережья

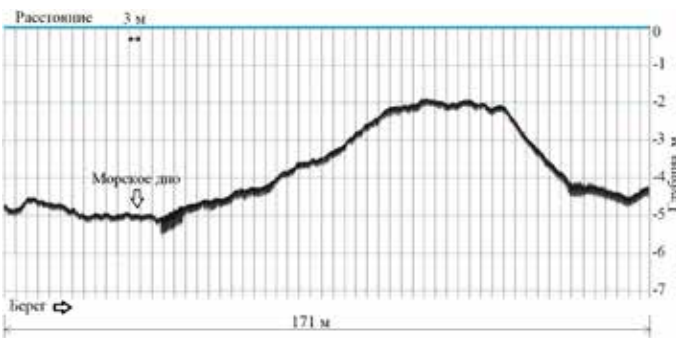


Рис. 8. Фрагмент записи батиметрической съемки, показывающий аккумулятивный вал в береговой зоне побережья



Рис. 9. Карта-схема зон ледовой экскарации площадки Одопту-море

голоценовые отложения представлены прерывающимися отложениями песка и остаточным гравийным материалом.

Заключение

Анализ батиметрических данных прибрежной площадки Одопту-море северо-восточного шельфа о-ва Сахалин позволил выявить зоны ледовой экскарации и определить максимальные глубины выпахивания стамухами морского дна. На основе батиметрических данных площадки Одопту-море были получены новые сведения о рельефе морского дна, выявлены зоны ледовой экскарации, определено, что глубина выпахивания стамухами достигает 4 м от поверхности морского дна.

Для изучения геологических опасностей и геодинамики верхней части геологического разреза на шельфе в местах расположения нефтепромысловых сооружений необходимо проводить ежегодные комплексные исследования, включающие в себя батиметрическую, гидролокационную и гидромагнитную съемки, непрерывное сейсмоакустическое профилирование и детальный анализ особенностей ледяного покрова на основе спутниковой съемки высокого разрешения, что и будет являться предметом наших дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астафьев В.Н., Сурков Г.А., Трусков П.А. Торосы и стамухи Охотского моря. СПб.: Прогресс-Погода, 1997. 197 с.
2. Вершинин С.А., Трусков П.А., Лиферов П.А. Воздействие ледовых образований на подводные объекты. М.: Рус. книга, 2007. 196 с.
3. Дзюбло А.Д., Воронова В.В., Перекрестов В.Е. Исследование приповерхностного газа шельфа о. Сахалин и минимизация рисков при строительстве морских скважин // Вестн. Ассоц. буровых подрядчиков. 2019. № 3. С. 20–25.

4. Либина Н.В., Никифоров С.Л. Экзарационные явления на восточном арктическом шельфе России // Вестн. МГТУ. 2018. Т. 21, № 1. С. 139–149.
5. Мазнев С.В., Огородов С.А. Воздействие ледяных образований на берега и дно мелководных морей и крупных озер умеренных и субарктических широт // Лед и снег. 2020. Т. 60, № 4. С. 578–591.
6. Миронюк С.Г. Геологические опасности осваиваемых месторождений восточного шельфа о. Сахалин: идентификация и принципы картографирования // Вести газовой науки. 2015. № 2 (22). С. 113–117.
7. Наумов М.А. Параметрический анализ воздействия ледовой экзарации на заглубленный трубопровод // Вести газовой науки. 2013. № 3 (14). С. 141–149.
8. Непоменко Л.Ф., Попова Н.В. Исследование экзарации морского дна торосистым льдом методами эхолотии и промеров со льда // Астрахан. вестн. экол. образования. 2018. № 4 (46). С. 35–49.
9. Новиков А.А. Специфика проведения комплексных морских инженерных изысканий и оценка опасностей геологических процессов под объекты подводного добычного комплекса шельфовых месторождений Киринского блока о. Сахалин // Газовая пром-сть. 2018. № 9 (774). С. 42–48.
10. Огородов С.А., Носков А.И., Белова Н.Г., Кокин О.В., Марченко А.В. Воздействие морских льдов на берега, дно и инженерные сооружения в прибрежно-шельфовой зоне российской Арктики // Естеств. и техн. науки. 2010. № 5 (48). С. 344–348.
11. Поломошнов А.М., Якунин Л.П. Формирование стамух в условиях северного Сахалина // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 39. С. 41–49.
12. Пищальник В.М., Покрашенко С.А., Леонов А.В., Гальцев А.А. Особенности развития ледяного покрова Охотского моря в 2001–2006 гг. // Экологические аспекты освоения нефтегазовых месторождений. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 185–197. (Сб. статей РЭА; № 1).
13. Gazis N., Kougioumtzoglou I.A., Patelli E. Ice gouge depth determination via an efficient stochastic dynamics technique // J. Offshore Mech. Arct. Eng. 2017. Vol. 139, N 1. 011501.
14. Liferov P., Shkhinek K.N., Vitali L., Serre N. Ice gouging study – Actions and action effects // POAC '07: Proc. 19th Intern. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), 2007. P. 774–786.
15. Palmer A., Niedoroda A.W. Ice Gouging and Pipelines: Unresolved Questions // POAC '05: Proc. 18th Intern. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), 2005. P. 11–21.