

УДК 551.462+550.8.05(265.53)

ВЫЯВЛЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ШЕЛЬФА ОСТРОВА САХАЛИН

© 2022 г. В. К. Лексин*

ООО «РН-СахалинНИПИморнефть», г. Южно-Сахалинск, Россия

*e-mail: lex-vasya@mail.ru

Поступила в редакцию 31.07.2021 г.

После доработки 30.11.2021 г.

Принята к публикации 16.12.2021 г.

Наличие геологических опасностей на шельфе острова Сахалин создает сложности при проектировании, строительстве и обслуживании морских нефтегазопромысловых сооружений. Выявление и оценка геологических опасностей в прибрежной части акватории северо-восточного шельфа острова Сахалин позволит избежать экологических катастроф, минимизировать риски аварий и разработать рекомендации по обеспечению безопасности при обустройстве нефтегазовых месторождений. В работе представлены результаты анализа данных экспедиционных исследований, выполненных на двух площадках с использованием геофизических исследований и батиметрической съемки. Выделены зоны ледовой экзарации в прибрежной части площадки № 1, обусловленные выпахиванием стамухами морского дна. Обнаружены и вынесены на карту газовые зоны и палеоврезы в придонной части разреза на площадке № 2.

Ключевые слова: батиметрическая съемка, геологические опасности, ледовая экзарация, сейсмоакустика, северо-восточный шельф острова Сахалин

DOI: 10.31857/S0030157422060065

ВВЕДЕНИЕ

Геофизические исследования и батиметрическая съемка в акваториях проводятся при строительстве нефтегазопромысловых и гидротехнических сооружений, при обследовании трубопроводов и подводно-добычных комплексов, а также при проведении научных исследований по изучению газогидратов и палеоврезов. Наличие ледяного покрова на шельфе морей способствует формированию опасных ледяных образований, которые негативно воздействуют на инженерные сооружения на морском дне. Наличие придонных газовых аномалий и палеоврезов в геологическом разрезе представляет опасность при бурении скважин, строительстве подводно-добычного комплекса и прокладке трубопроводов [5].

Под геологическими опасностями стоит понимать компоненты геологической среды, которые могут неблагоприятно воздействовать на экосистемы и инженерные сооружения или вызвать их разрушение [12]. Изучению геологических опасностей, в том числе ледовой экзарации в различных акваториях посвящены, например, работы [3, 6, 10, 11, 13–15, 21].

Данная работа представляет результаты исследований ледовой экзарации по данным батиметрической съемки на площадке № 1, придонных

газовых зон и палеоврезов по данным непрерывного сейсмоакустического профилирования на площадке № 2 на северо-восточном шельфе о. Сахалин (рис. 1).

Образование гряд торосов на северо-восточном шельфе острова 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, 16].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Батиметрическая съемка на площадке № 1 по изучению ледовой экзарации выполнялась методом эхолотирования по системе параллельных профилей, расположенных перпендикулярно к берегу, через 100 м. Для обеспечения требуемой точности было проложено несколько контрольных профилей, расположенных перпендикулярно основным съемочным профилям. Батиметрическая съемка проводилась с помощью однолучевого эхолота South SDE-28S с частотой излучения 200 кГц.



Рис. 1. Обзорная карта-схема площадок исследований.

Основные ледовые фазы (совокупность закономерно повторяющихся процессов возникновения, развития и разрушения ледяных образований) в акватории площадки № 1 определялись 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.

Для детального изучения строения придонных отложений площадки № 2 использовалось непрерывное сейсмоакустическое профилирование с электродинамическим источником возбуждения упругих волн с частотой излучения 300 Гц и выходной мощностью источника 200 Дж/выстрел и одноканальной сейсмической косой. Сеть профилей 100 × 200 м, оборудование фирмы Applied Acoustics.

Навигационно-геодезическая поддержка морских исследований обеспечивалась с использованием системы позиционирования, сбора и распределения данных, построенной на базе спутникового навигационного комплекса, работающего в режиме Real Time Kinematic.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ изображений со спутника Sentinel-2 (комбинация каналов 12-11-4, рис. 2) позволил идентифицировать в акватории площадки № 1 несколько ледяных образований, предположительно стамух. Размеры самого крупного из этих образований составляли 1.5 × 1.1 км, площадь 1.13 км².

По результатам обработанных батиметрических данных с учетом приливо-отливных явлений установлено, что глубины площадки № 1 изменяются от нулевой отметки (береговая линия) до 9-метровой изобаты, углубляясь в сторону моря.

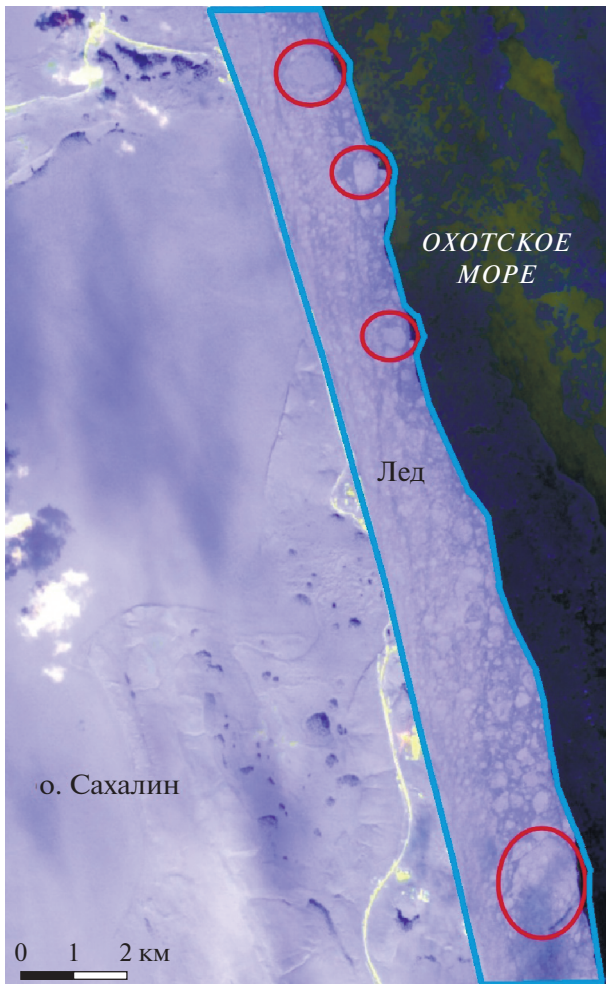


Рис. 2. Фрагмент изображения исследуемого участка со спутника Sentinel-2. Красными овалами выделены предполагаемые стамухи.

В мелководной части площадки № 1, до изобаты 7 м, практически на всех батиметрических профилях наблюдается резкое локальное углубление с последующим увеличением глубины моря (рис. 3, 4). В связи, с чем можно сделать вывод, что морское дно выпахивается стамухами, и максимальная глубина выпахивания достигает до 4 м ниже поверхности морского дна.

На основе анализа построенной батиметрической карты площадки № 1 выделены участки зон ледовой экзарации (рис. 5). Ввиду того, что батиметрическая съемка выполнялась с помощью однолучевого эхолота, данные на карте представлены в виде изобат и поэтому батиметрическую карту или ее фрагмент нецелесообразно отображать в работе. Выделение зон ледовой экзарации выполнялось визуально на батиметрической карте в местах, где замечено резкое локальное изменение глубин моря.

Кроме того, на площадке № 1 проводился отбор проб донных отложений, по результатам которого установлено, что приповерхностные донные отложения состоят, главным образом, из голоценовых песков с единичными включениями гравия, перекрывающих неогеновые отложения, представленные переслаивающимися слабо литифицированными грунтами (супесями и суглинками). Наибольшая мощность голоценовых отложений отмечается в местах развития песчаных валов и песчаных волн. На некоторых участках между песчаными валами голоценовые отложения представлены прерывающимися отложениями песка и остаточным гравийным материалом.

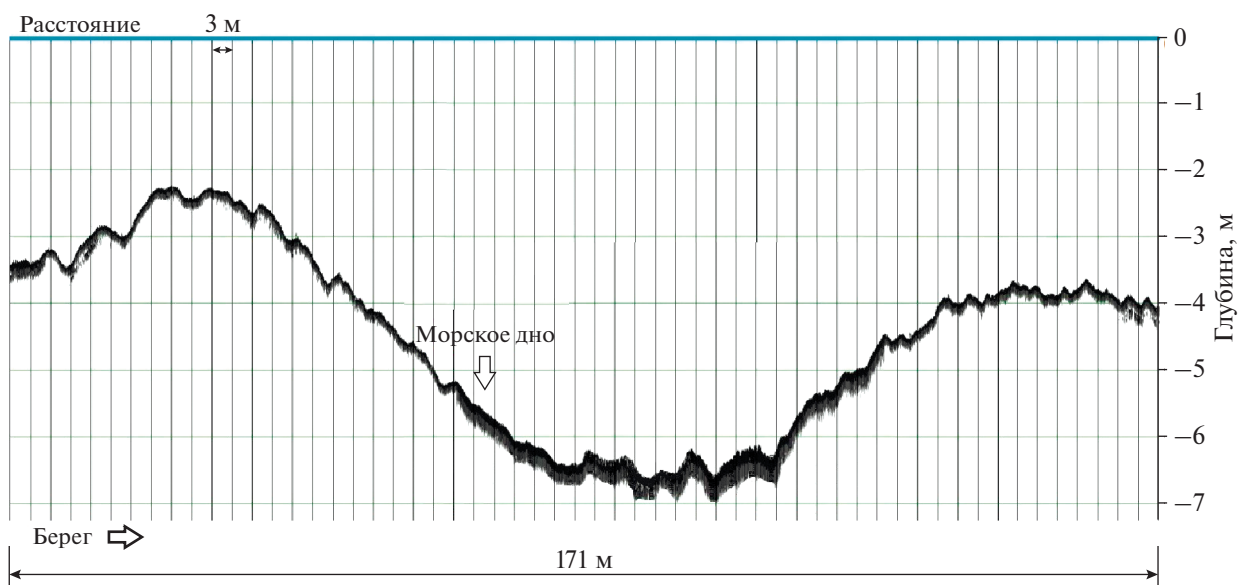


Рис. 3. Фрагмент батиметрического профиля в северной части площадки № 1.

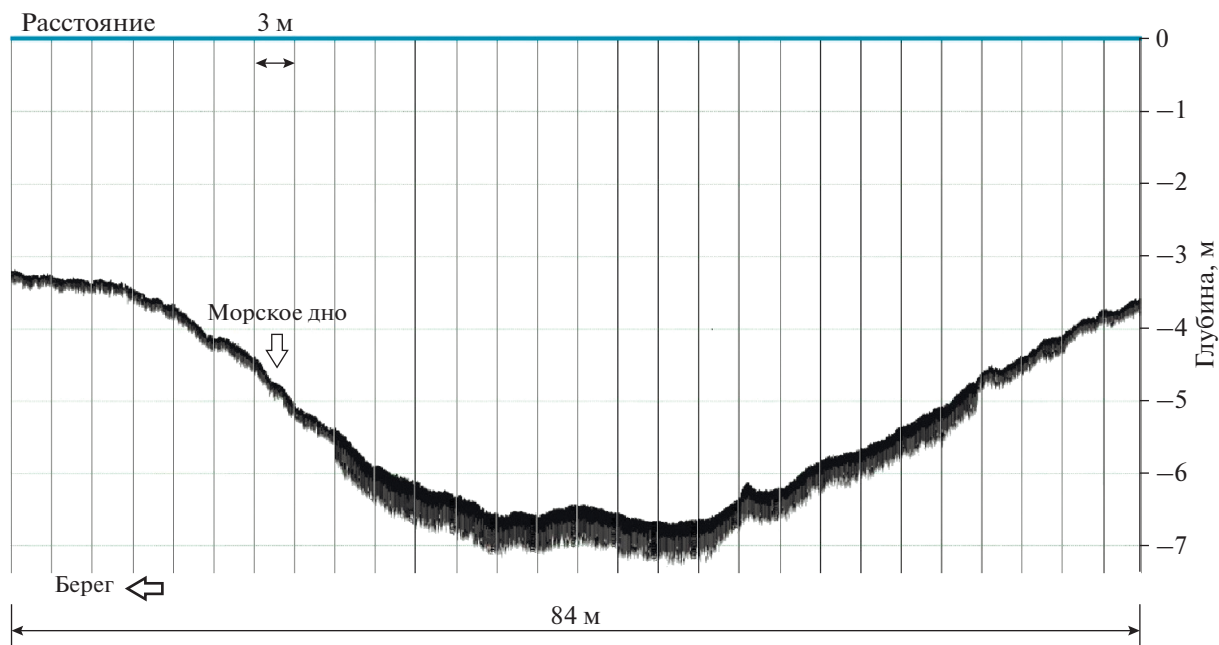


Рис. 4. Фрагмент батиметрического профиля в центральной части площадки № 1.



☪ Зона ледовой экзарации

Рис. 5. Карта-схема зон ледовой экзарации площадки № 1.

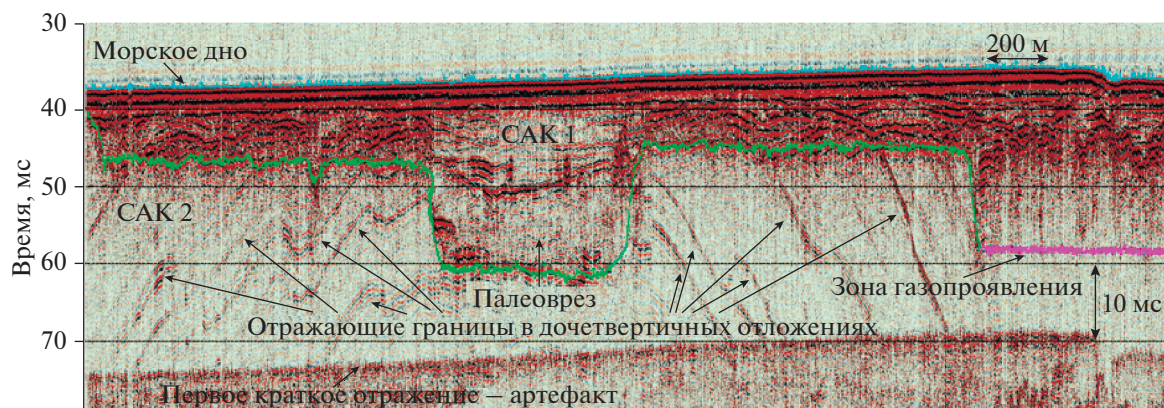


Рис. 6. Пример интерпретации сейсмоакустического разреза, показывающий зону газопроявления и палеоврез.

Выявленные зоны ледовой экзарации на площадке № 1 необходимо учитывать при проектировании нефтегазопроводов и применять дополнительные меры защиты во избежание повреждения нефтегазопроводов ледяными образованиями.

По данным непрерывного сейсмоакустического профилирования в разрезе изучаемой площадки № 2 (глубина моря от 24.5 до 27.0 м) было выделено два сейсмоакустических комплекса, которые отличаются друг от друга по характеру волновой картины. Первый сейсмоакустический комплекс (САК 1) залегает в верхней части разреза и своей верхней границей совпадает с дном моря. По значениям мощности отложений первого сейсмоакустического комплекса площадка делится на 2 зоны: северо-западную, где мощность САК 1 колеблется от 18 до 23 м, и юго-восточную, где она существенно меньше и колеблется от 3 до 8 м. Зоны разделяются палеоуступом высотой около 10 м. В литологическом отношении комплекс представлен, в основном, песчано-супесчаными отложениями с прослоями суглинков, галечного и гравийного материала. Ниже по разрезу, с угловым несогласием по отношению к вышележащим отложениям, нами закартирован второй сейсмоакустический комплекс (САК 2). Мощность его по данным непрерывного сейсмоакустического профилирования не установлена. Во вскрытой скважиной части разреза он представлен слабо литифицированными суглинками и песчано-супесчаными отложениями. В стратиграфическом отношении САК 1 отнесен к морским четвертичным осадкам (mQ), САК 2 отнесен к отложениям верхнепалеогеновой подсвиты (N_2nt_2) нижнеплиоценового возраста.

На 2 отработанных профилях непрерывного сейсмоакустического профилирования обнаружены палеоврезы, расположенные в юго-западной части площадки № 2. На временных сейсмоакустических разрезах обнаруженные палеоврезы

проявляются в форме выпуклой в сторону подошвы линзы с плоской субгоризонтальной кровлей (рис. 6). Кроме того, на всех временных сейсмоакустических разрезах прослеживаются зоны газопроявлений, приуроченных к плиоцен-четвертичным отложениям.

Обнаруженные палеоврезы могут оказать негативное влияние на строительство инженерных сооружений и постановку буровой платформы по двум причинам: во-первых, они заполнены неконсолированными грунтами с ослабленными несущими характеристиками, а во-вторых, внутренняя структура палеоврезов по характеру сейсмической записи свидетельствует о наличии газа в грунтах. Признаки, обусловленные газовыми аномалиями, проявляющиеся на сейсмических разрезах, рассмотрены в работах [4, 19, 22–25]. К таким признакам относятся “яркое пятно”, инвертирование отраженных сигналов, прогибание осей синфазности и “зона тени”. Обнаруженные придонные газовые зоны могут представлять опасность при проходке буровой колонны в верхней части геологического разреза ввиду возможного непроизвольного выброса углеводородов, что может причинить вред буровому оборудованию и водным биологическим ресурсам. Если даже не произошел взрывной выброс с непосредственной аварией буровой платформы, то постепенная утечка газа может привести к падению давления внутри пластов и, как следствие, к оседанию грунта. Если же здесь окажется одна из опор буровой платформы, то авария неизбежна.

Для поисков палеоврезов и придонных газовых аномалий в прибрежной части акватории оптимальным геофизическим методом является непрерывное сейсмоакустическое профилирование, которое хорошо себя зарекомендовало при исследованиях на площадке № 2. В работах [20, 26] содержатся обобщенные сведения о частотном диапазоне и разрешающей способности всех ви-

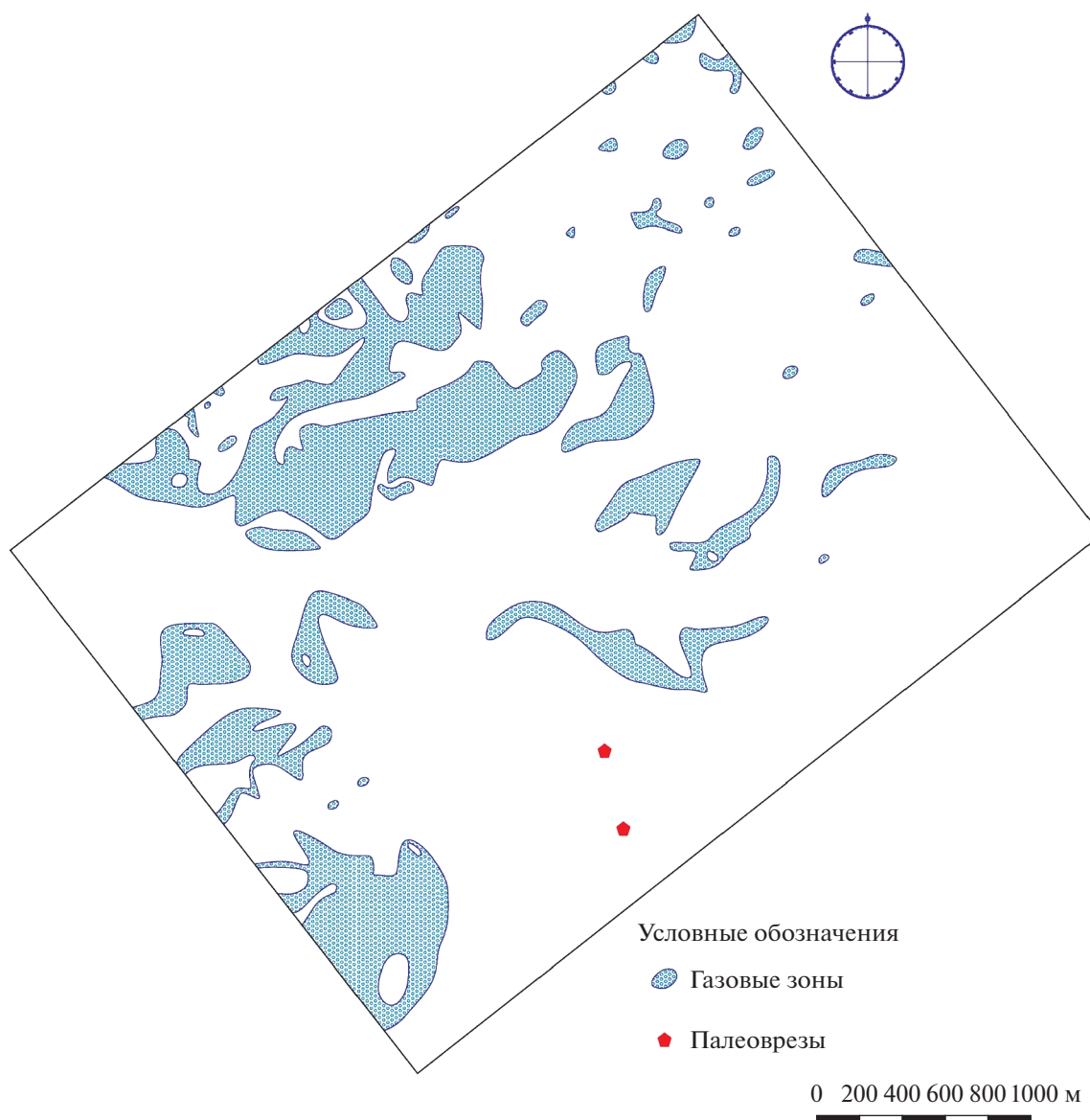


Рис. 7. Карта геологических опасностей площадки № 2.

дов сейсмических и сейсмоакустических съемок. Для поисков геологических опасностей нижеисследуемой части разреза по данным непрерывного сейсмоакустического профилирования необходимо проводить сейсморазведку высокого и/или сверхвысокого разрешения [2, 4, 7–9, 17, 18].

Для площадки № 2 была построена карта геологических опасностей, на которую вынесены обнаруженные газовые зоны и палеоврезы (рис. 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ батиметрических данных прибрежной площадки № 1 позволил выявить зоны ледовой экзарации и определить максимальные глубины

выпахивания стамухами морского дна. Определено, что глубина выпаживания стамухами достигает 4 м от поверхности морского дна. Детальные спутниковые изображения позволили подтвердить наличие стамух в районе проведения исследований. По результатам анализа батиметрических данных и космических снимков площадки № 1 можно предположить, что вся северо-восточная прибрежная часть острова Сахалин подвержена ледовой экзарации.

На площадке № 2 по результатам непрерывного сейсмоакустического профилирования обнаружены и вынесены на карту газовые зоны и палеоврезы в придонной части разреза.

Все выявленные геологические опасности необходимо учитывать при строительстве и будущей эксплуатации нефтегазопромысловых сооружений во избежание катастроф.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Астафьев В.Н., Сурков П.А., Трусков П.А.* Торосы и стамухи Охотского моря. СПб.: Прогресс-Погода, 1997. 197 с.
2. *Безродных Ю.П., Лисин В.П., Федоров В.И.* Геологические опасности дна Северного Каспия – методы их выявления и оценки при инженерно-геологических изысканиях // Инженерная геофизика 2011. М.: EAGE, 2011. С. 1–6.
3. *Вершинин С.А., Трусков П.А., Лиферов П.А.* Воздействие ледовых образований на подводные объекты. М.: Русская книга, 2007. 196 с.
4. *Гайнанов В.Г.* О природе ярких пятен на временных разрезах сейсмоакустического профилирования // ГЕОразрез. 2008. Вып. 2. С. 1–18.
5. *Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю., Старовойтов А.В., Шалаева Н.В.* Сейсмоакустические исследования при инженерных изысканиях на акваториях-методы и примеры // Деловой журнал Neftgaz.RU. 2021. № 2 (110). С. 22–33.
6. *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.
7. *Иванов Г.И., Казанин А.Г., Саркисян М.В.* Сейсмика высокого разрешения – новый шаг вперед при изучении опасных геологических процессов // Нефть. Газ. Новации. 2016. № 1. С. 65–68.
8. *Исмагилов Д.Ф., Козлов В.Н., Подшувейт В.Б. и др.* Опыт высокоразрешающей сейсморазведки (ВРС) на акваториях южных морей Российской Федерации // Нефть. Газ. Новации. 2016. № 1. С. 65–68.
9. *Лексин В.К.* Применение сейсморазведки высокого разрешения для поисков локальных газовых аномалий на Южно-Кирином месторождении // Гео-системы переходных зон. 2020. Т. 4. № 4. С. 384–392.
10. *Либина Н.В., Никифоров С.Л.* Экзарационные явления на восточном арктическом шельфе России // Вестник МГТУ. 2018. Т. 21. № 1. С. 139–149.
11. *Миронюк С.Г.* Геологические опасности осваиваемых месторождений восточного шельфа о. Сахалин: идентификация и принципы картографирования // Вести газовой науки. 2015. № 2 (22). С. 113–117.
12. *Миронюк С.Г., Маркарян В.В., Шельтинг С.К.* Опыт комплексной оценки и крупномасштабного инженерно-геологического районирования северо-восточного шельфа Черного моря по геологической опасности для строительства линейных объектов // Инженерные изыскания. 2013. № 13. С. 48–59.
13. *Непоменко Л.Ф., Попова Н.В.* Исследование экзарации морского дна торосистым льдом методами эхолокации и промеров со льда // Астраханский вестник экологического образования. 2018. № 4 (46). С. 35–49.
14. *Новиков А.А.* Специфика проведения комплексных морских инженерных изысканий и оценка опасностей геологических процессов под объекты подводного добычного комплекса шельфовых месторождений Кириного блока о. Сахалин // Газовая промышленность. 2018. № 9 (774). С. 42–48.
15. *Огородов С.А., Носков А.И., Белова Н.Г. и др.* Воздействие морских льдов на берега, дно и инженерные сооружения в прибрежно-шельфовой зоне российской Арктики // Естественные и технические науки. 2010. № 5 (48). С. 344–348.
16. *Поломошинов А.М., Якунин Л.П.* Формирование стамух в условиях шельфа северного Сахалина // Труды ДВНИГМИ. 1989. Вып. 39. С. 41–49.
17. *Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Терехина Я.Е. и др.* Контроль геологических опасностей при инженерно-геофизических изысканиях на акватории // Инженерная геофизика 2015. Геленджик: EAGE, 2015. С. 1–8.
18. *Самсонов Е.А., Самсонова Н.Б.* Сейсмоакустические методы при инженерных изысканиях под установку буровых и добывающих платформ на акваториях // Инженерная геофизика 2012. Геленджик: EAGE, 2012. С. 1–5.
19. *Хилтерман Ф.Дж.* Интерпретация амплитуд в сейсморазведке. Тверь: ГЕРС, 2010. 256 с.
20. *Шматков А.А., Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю.* Обзор технологий трехмерных сейсмоакустических наблюдений на акваториях // Технологии сейсморазведки. 2015. № 2. С. 86–97.
21. *Chiocci F.L., Cattaneo A., Urgeles R.* Seafloor mapping for geohazard assessment: state of the art // Marine Geophysical Research. 2011. V. 32. P. 1–11.
22. *Cox D.R., Huuse M., Newton A.M.W. et al.* Shallow gas and gas hydrate occurrences on the northwest Greenland shelf margin // Marine Geology. 2021. V. 432. P. 1–21.
23. *Dyer J.* Geohazard identification: the gap between the possible and reality in geophysical surveys for the engineering industry // Marine Geophysical Researches. 2011. V. 32. P. 37–47.
24. *Games K.P.* Shallow Gas Detection – why HRS, why 3D, why not HRS 3D? // First Break. 2012. V. 30 (10), P. 67–75.
25. *Games K.P., Self E.* HRS 3D data – a fundamental change in site survey geohazard interpretation // First Break/ 2017. V. 35. № 3. P. 39–48.
26. *Thomas Y., Marsset B., Westbrook G.K.* Contribution of high-resolution 3D seismic near-seafloor imaging to reservoir-scale studies: application to the active North Anatolian Fault, Sea of Marmara // Near Surface Geophysics. 2012. V. 10. P. 291–301.

Identification of Geological Hazards in the Coastal Part of the Northeastern Shelf of Sakhalin Island

V. K. Leksin[#]

LLC RN-SakhalinNIPImorneft, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

[#]e-mail: lex-vasya@mail.ru

The presence of geological hazards on the Sakhalin shelf creates difficulties in the design, construction and maintenance of offshore oil and gas facilities. Identification and assessment of geological hazards in the coastal area of the northeastern shelf of Sakhalin Island will allow avoiding environmental disasters, minimizing the risks of accidents and developing recommendations for ensuring safety in the development of oil and gas fields. The paper presents the results of the analysis of data from expeditionary surveys carried out at two sites using geophysical surveys and bathymetric surveys. The zones of ice gouging in the coastal part of site no. 1, caused by gouging of the seabed by stamukhas, have been identified. Gas zones and paleo-incisions were found and mapped in the bottom part of the section at site no. 2.

Keywords: bathymetric survey, geological hazards, ice gouging, seismic acoustics, northeastern shelf of Sakhalin Island