Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

#### КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 550.834(265.53)

https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.4.320-327

# Палеоврезы и газовые зоны плиоцен-четвертичных отложений на площадке инженерно-геологических изысканий на шельфе острова Сахалин

© 2021 В. К. Лексин

ООО «PH-CaxaлинНИПИморнефть», Южно-Сахалинск, Россия E-mail: lex-vasya@mail.ru

**Резюме.** Перед постановкой буровой платформы и возведением инженерных сооружений в акваториях проводятся инженерно-геофизические исследования с целью выявления и картирования геологических опасностей, в том числе аномальных газовых зон, из которых при прохождении буровой колонны в верхней части геологического разреза возможен непроизвольный выброс углеводородов. В работе представлены результаты экспедиционных исследований, выполненных на площадке инженерно-геологических изысканий с использованием непрерывного сейсмоакустического профилирования. Площадка расположена в Охотском море на северо-восточном шельфе о. Сахалин и примыкает к Ногликскому району Сахалинской области. По данным непрерывного сейсмоакустических комплекса, которые отличаются друг от друга по характеру волновой картины. Обнаружены газовые зоны и палеоврезы в придонной части разреза. Выявленные геологические опасности вынесены на карту и должны быть учтены при дальнейшем бурении скважин и строительстве инженерных сооружений.

**Ключевые слова**: временной разрез, геологические опасности, газовые зоны, непрерывное сейсмоакустическое профилирование, палеоврез

# Paleo-incisions and gas zones of Pliocene-Quaternary sediments at the site of engineering and geological surveys on the shelf of Sakhalin Island

Vasiliy K. Leksin

RN-SakhalinNIPImorneft Limited Liability Company, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia E-mail: lex-vasya@mail.ru

Abstract. The engineering and geophysical studies are carried out before installation of a drilling platform and construction of engineering structures in the water areas in order to identify and map geological hazards, including the anomalous gas zones, from which involuntary release of hydrocarbons is possible, when the drill string passes through in the upper part of the geological section. The paper presents the results of expeditionary studies carried out at the site of engineering and geological surveys using continuous seismoacoustic profiling. The site is in the Sea of Okhotsk at the northeastern shelf of Sakhalin Island and adjoins Nogliksky district of the Sakhalin Region. Two seismoacoustic complexes were identified according to the data of continuous seismoacoustic profiling in the section of the study area, which differ from each other in the nature of the wave pattern. Gas zones and paleo-incisions were found in the bottom part of the section. The identified geological hazards are mapped and must be taken into account during further drilling of wells and construction of engineering structures.

Keywords: time section, geological hazards, gas zones, continuous seismoacoustic profiling, paleo-incision

Для цитирования: Лексин В.К. Палеоврезы и газовые зоны плиоцен-четвертичных отложений на площадке инженерно-геологических изысканий на шельфе острова Сахалин. *Геосистемы переходных зон*, 2021, т. 5, № 4, с. 320–327.

https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.4.320-327

*For citation:* Leksin V.K. Paleo-incisions and gas zones of Pliocene-Quaternary sediments at the site of engineering and geological surveys on the shelf of Sakhalin Island. *Geosistemy perehodnykh zon* = *Geosystems of Transition Zones*, 2021, vol. 5, no. 4, pp. 320–327. (In Russ., abstr. in Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.4.320-327

## Введение

Перед проведением глубоководного бурения для обеспечения его безопасности необходимо исследовать инженерно-геологические условия территории для выявления таких компонентов геологической среды, которые могут неблагоприятно воздействовать на экосистемы и инженерные сооружения или вызвать их разрушение [Миронюк и др., 2013].

Основываясь на многих публикациях [Веселов и др., 2006; Гаврилов, 2009; Акуличев и др., 2014; Керимов и др., 2015; Богоявленский и др., 2016; Петренко и др., 2017; Рыбальченко и др., 2017; Лексин и др., 2018; Новиков, 2018; Голубин и др., 2019; Дзюбло и др., 2019], можно отметить, что на шельфе о. Сахалин возможны такие типы геологических опасностей, как разрывные нарушения, палеоврезы, турбидитовый поток, зоны распространения газовых карманов, газогидраты, покмарки, оползневые отложения.

При проходке буровой колонны наиболее опасной с точки зрения выброса газа является верхняя часть разреза. Для поиска геологических опасностей в верхней части разреза применяются сейсмоакустические исследования методом отраженных волн (МОВ), которые могут проводиться в одноканальном и многоканальном вариантах. Большой вклад в развитие сейсмоакустических исследований в акваториях

Пильтун О-В Сахалин Погиби Дати Дати Дати Дач Км



**Fig. 1.** Overview sketch map of the area of engineering and geological surveys. Network of SBP profiles at the survey site  $100 \times 200$  m. (red frame).

внесли российские ученые, например [Калинин, 1965; Калинин и др., 1983; Пивоваров, 1970].

При проведении морских инженерных изысканий для изучения придонных отложений одноканальные исследования освещают геологический разрез от первых до нескольких десятков метров в зависимости от района проведения работ. Многоканальные исследования позволяют изучить геологический разрез на глубину до нескольких сотен метров [Иванов и др., 2016; Казанин и др., 2016; Миронюк и др., 2017; Лексин, 2020].

В оценке степени опасностей, связанных с проявлениями газа в изучаемой части разреза, принято исходить из следующих положений: газ проникает в вышележащие породы по нарушениям или ослабленным зонам, и на сейсмических разрезах эти участки проявляются либо аномалиями высоких амплитуд, либо резким ослаблением сигнала. Резкое затухание сейсмической записи чаще всего происходит при заполнении газом значительной по мощности части разреза. В этом случае на сейсмических разрезах наблюдается понижение скоростей продольных волн (прогибание отражающих границ под такой зоной).

Выявленные геологические опасности обычно выносятся на карту и учитываются при дальнейшем бурении скважин и строительстве инженерных сооружений для исключения все-

возможных аварий и экологических катастроф.

В нашей работе основой для выявления и оценки геологических опасностей в четвертичных и нижнеплиоценовых отложениях послужили данные непрерывного сейсмоакустического профилирования на площадке инженерно-геологических изысканий. Задачей работы является представление результатов интерпретации сейсмоакустических данных на карте геологических опасностей. Район работ расположен в Охотском море на северо-восточном шельфе о. Сахалин и примыкает к Ногликскому району Сахалинской области (рис. 1).

#### Геологическое строение района работ

Согласно региональной стратиграфической схеме, в пределах площадки инженерно-геологических изысканий выделены следующие стратиграфические подразделения: мачигарская свита (поздний эоцен), даехуриинская (олигоцен), уйнинская (ранний миоцен), дагинская (ранний-средний миоцен), окобыкайская (средний миоцен), нутовская (поздний миоцен – ранний плиоцен) и помырский горизонт (поздний плиоцен – плейстоцен). Из указанных свит дагинская подразделяется на 3 подсвиты, а нутовская на нижнюю и верхнюю. Опорные разрезы свит изучены в основном по результатам геологического картирования и глубокого поискового бурения на сухопутной части о. Сахалин.

Современные отложения площадки инженерно-геологических изысканий представлены песками, глинами, супесями, торфами с мощностью в несколько десятков метров и распространены повсеместно, слагая морское дно, пляжи, береговые террасы, речные долины.

Площадка изысканий расположена в пределах восточной части Северо-Сахалинского кайнозойского прогиба, образовавшегося в раннем олигоцене (мачигарская свита). В позднем олигоцене, а также в начале и середине миоцена (уйнинско-дагинско-раннеокобыкайский комплекс) на фоне повышения уровня моря интенсивно формировался конседиментационный грабен. Последующее поднятие территории обусловило появление складчатых деформаций, которые наибольшей интенсивности достигли в период от позднего миоцена до позднего плиоцена (нутовская, помырская и дерюгинская свиты). Некоторые следы конседиментационных деформаций обнаруживаются в зонах разломов в конце олигоцена и в среднем миоцене.

## Методика исследований

На площадке инженерно-геологических изысканий для детального изучения строения придонных отложений использовали высокочастотное непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП) с электродинамическим источником «Воотег» возбуждения упругих волн с частотой излучения 300 Гц и выходной мощностью источника 200 Дж/выстрел и одноканальной сейсмической косой, состоящей из 8 гидрофонов. «Воотег», закрепленный на катамаране, буксировали на расстоянии 25–30 м от кормы борта судна и на глубине (ниже уровня моря) около 20–30 см. Сейсмическую косу буксировали на глубине 10–20 см. Расстояние между основными профилями на площадке инженерно-геологических изысканий составляло 100 м, между секущими (перпендикулярны береговой линии) – 200 м.

В сущности, метод НСП – модификация сейсмических наблюдений МОВ, называемая методом вертикального времени, методом  $t_0$ или методом центрального луча. Возбуждение и регистрация упругих колебаний производятся через такие интервалы времени, чтобы получать практически непрерывную запись.

Навигационно-геодезическая поддержка НСП обеспечивалась с использованием системы позиционирования, сбора и распределения данных, построенной на базе спутникового навигационного комплекса. Для передачи координат и оперативных отметок на геофизическое оборудование, приема данных эхолота и подачи запускающего импульса на контроллер сейсмоисточника применяли компьютер распределения данных, объединенный в локальную сеть с навигационным компьютером.

Обработку данных НСП выполняли в программном пакете Landmark ProMAX, интерпретацию временных сейсмоакустических разрезов – LMKR GeoGraphix. Автор принимал участие в обработке и интерпретации сейсмических данных.

## Результаты и обсуждение

По данным непрерывного сейсмоакустического профилирования в разрезе изучаемой площадки 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 (рис. 2). Ниже по разрезу, с угловым несогласием по отношению к вышележащим отложениям, картируется второй сейсмоакустический комплекс (САК 2).

В стратиграфическом отношении САК 1 отнесен к морским четвертичным осадкам (mQ), САК 2 – к отложениям верхненутовской подсвиты (N2nt2) раннеплиоценового возраста. На всех временных сейсмоакустических разрезах прослеживаются зоны газопроявлений, приуроченных к плиоцен-четвертичным отложениям.

По мощности отложений первого сейсмоакустического комплекса площадка делится на две зоны: северо-западную, где мощность САК 1 варьирует от 18 до 23 м, и юго-восточную, где она существенно меньше – от 3 до 8 м. Зоны разделяются палеоуступом высотой около 10 м (рис. 3). По характеру и очертаниям он, вероятно, представляет собой погребенный абразионный берег палеозалива. В литологическом отношении комплекс представлен в основном песчано-супесчаными отложениями с прослоями суглинков, галечного и гравийного материала. Мощность его по данным непрерывного сейсмоакустического профилирования не установлена. Во вскрытой скважиной части разреза он представлен слабо литифицированными суглинками и песчано-супесчаными отложениями.

На временном сейсмоакустическом разрезе обнаруженные палеоврезы выражаются в форме внедренной в нижележащий комплекс линзы с плоской субгоризонтальной кровлей (рис. 4). Прослеживаются палеоврезы на двух отработанных профилях, расположенных в юго-западной части площадки инженерногеологических изысканий. Расстояние между этими профилями при проведении НСП составляло 200 м.

Обнаруженные палеоврезы могут оказать негативное влияние на строительство инженерных сооружений и постановку буровой платформы по двум причинам: во-первых, они заполнены неконсолидированными грунтами с ослабленными несущими характеристиками, а во-вторых, внутренняя структура палеоврезов по характеру сейсмической записи свидетельствует о наличии газа в грунтах. Признаки газовых аномалий, проявляющиеся на сейсмических разрезах, рассмотрены в работах [Гайнанов, 2008; Хилтерман, 2010; Games, 2012; Games, Self, 2017; Сох et al., 2021]. К таким признакам относится «яркое



Рис. 2. Пример интерпретации сейсмоакустического разреза, показывающий сейсмоакустические комплексы и зоны газопроявлений в верхней части разреза.

**Fig. 2.** Example of interpretation of a seismoacoustic section, which shows the seismoacoustic complexes (CAK 1, CAK 2), reflective boundaries (light green) and the zones of gas manifestations (purple) in the upper part of the section. CB – north east, IO3 – south west.



**Рис. 3.** Пример интерпретации сейсмоакустического разреза, показывающий зоны газопроявлений и палеоуступ дочетвертичных отложений в верхней части разреза.

**Fig. 3.** Example of interpretation of a seismoacoustic section, which shows the zones of gas manifestations and palaeostep (subvertical blue line) of pre-Quaternary deposits in the upper part of the section. Other notationa see in Fig. 2.



**Рис. 4.** Примеры интерпретации сейсмоакустических разрезов, показывающие палеоврезы. **Fig. 4.** Examples of interpretation of seismoacoustic sections showing paleo-incisions (arrow with «палеоврез»).

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.

Итогом работы является карта геологических опасностей в пределах площадки инженерно-геологических изысканий (рис. 5).



Рис. 5. Карта геологических опасностей площадки инженерно-геологических изысканий.

**Fig. 5.** Map of geological hazards of the site of engineering and geological surveys (highlighted: green-grey – gas zones, red – paleo-incisions).

#### Заключение

В пределах изученной площадки инженерно-геологических изысканий по результатам непрерывного сейсмоакустического профилирования были обнаружены зоны газопроявлений и палеоврезы. Более того, грунты палеоврезов обогащены, вероятно, газом.

Для поисков палеоврезов и придонных газовых зон в прибрежной части акватории оптимальным инженерно-геофизическим методом является непрерывное сейсмоакустическое профилирование, которое хорошо себя зарекомендовало на изучаемой площадке, что подтверждено фактическими материалами, приведенными в данной статье, а также полученными в морских экспедициях с участием автора на других прибрежных площадках Охотского моря. По итогам интерпретации сейсмоакустических разрезов составлена карта геологических опасностей изученной территории.

Выявленные геологические опасности – палеоврезы и газовые зоны – необходимо учитывать при дальнейшем бурении скважин и строительстве инженерных сооружений во избежание аварий и экологических катастроф.

#### Список литературы

1. Акуличев В.А., Обжиров А.И., Шакиров Р.Б., Мальцева Е.В., Гресов А.И., Телегин Ю.А. **2014.** Условия формирования газогидратов в Охотском море. *Доклады Академии наук*, 454(3): 340–342. http://doi.org/10.7868/S0869565214030165

2. Богоявленский В.И., Керимов В.Ю., Ольховская О.О., Мустаев Р.Н. **2016.** Повышение эффективности и безопасности поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа на акватории Охотского моря. *Территория Нефтегаз*, 10: 24–32.

3. Веселов О.В., Гордиенко В.В., Куделькин В.В. **2006.** Термобарические условия формирования газогидратов в Охотском море. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*, 4: 42–65.

4. Гаврилов А.А. **2009.** Роль разрывных нарушений в формировании береговых линий Охотского и Японского морей (ст. 1. Региональный аспект исследований). *Геоморфология*, 3: 38–49. https://doi.org/10.15356/0435-4281-2009-3-38-49

5. Гайнанов В.Г. **2008.** О природе ярких пятен на временных разрезах сейсмоакустического профилирования. *ГЕОразрез*, 2: 1–18.

6. Голубин С.И., Савельев К.Н., Новиков А.Н. **2019.** Оценка геологических опасностей при эксплуатационном мониторинге объектов морских месторождений шельфа острова Сахалин. *Газовая промышленность*, S1 (782): 30–35.

7. Дзюбло А.Д., Воронова В.В., Перекрестов В.Е. **2019.** Исследование приповерхностного газа шельфа о. Сахалин и минимизация рисков при строительстве морских скважин. *Вестник Ассоциации буровых подрядчиков*, 3: 20–25.

8. Иванов Г.И., Казанин А.Г., Саркисян М.В., Ланцев В.В., Некрылов Н.Т., Ионов В.Ю., Павлов С.П., Макаров Е.С. **2016.** Сейсмика высокого разрешения – новый шаг вперед при изучении опасных геологических процессов. *Нефть. Газ. Новации*, 1: 65–68.

9. Казанин А.Г., Казанин Г.С., Иванов Г.И., Саркисян М.В. **2016.** Инновационные технологии при выполнении инженерно-геологических работ на арктическом шельфе России. *Научный журнал Российского газового общества*, 4: 25–30.

10. Калинин А.В. **1965.** Аппаратура и методика сейсмоакустической разведки для инженерно-геологических изысканий на море: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова.

11. Калинин А.В., Калинин В.В., Пивоваров Б.Л. **1983.** Сейсмоакустические исследования на акваториях. М.: Недра, 204 с.

12. Керимов В.Ю., Сизиков Е.А., Синявская О.С., Макарова А.Ю. **2015.** Условия формирования и поиски залежей УВ в турбидитовых коллекторах Охотского моря. *Нефть, газ и бизнес*, 2: 32–37.

13. Лексин В.К. **2020.** Применение сейсморазведки высокого разрешения для поисков локальных газовых аномалий на Южно-Киринском месторождении. *Геосистемы переходных зон*, 4 (4): 384–392. https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.4.384-392

14. Лексин В.К., Самарин В.И., Лисковый П.Н. **2018.** Результаты интерпретации сейсмических разрезов при инженерных изысканиях в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения (шельф о. Сахалин). Инженерные изыскания, 9–10: 64–73.

15. Миронюк С.Г., Маркарьян В.В., Шельтинг С.К. **2013.** Опыт комплексной оценки и крупномасштабного инженерно-геологического районирования северо-восточного шельфа Черного моря по геологической опасности для строительства линейных объектов. *Инженерные изыскания*, 13: 48–59. 16. Миронюк С.Г., Росляков А.Г., Семенова А.А., Шарипов М.Ш. **2017.** Использование высокоразрешающей сейсморазведки для выявления геологических опасностей в различных геоморфологических зонах Черного моря. *Инженерные изыскания*, 1: 54–60.

17. Новиков А.А. **2018.** Специфика проведения комплексных морских инженерных изысканий и оценка опасностей геологических процессов под объекты подводного добычного комплекса шельфовых месторождений Киринского блока о. Сахалин. *Газовая промышленность*, 9: 42–48.

18. Петренко В.Е., Оганов Г.С., Свиридова Т.А. **2017.** Приповерхностный газ: риски и варианты технико-технологических решений при проектировании строительства скважин на морском шельфе. *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*, 2: 21–27.

19. Пивоваров Б.Л. **1970.** Исследование динамических и кинематических характеристик упругих волн в поглощающих средах применительно к задачам сейсмоакустики: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова.

20. Рыбальченко В.В., Гоговенков Г.Н., Слепченко В.С. **2017.** Вертикальная миграция газа и газогидраты на северо-восточном шельфе Сахалина. *Геология нефти и газа*, 2: 38–51.

21. Хилтерман Ф.Дж. **2010.** *Интерпретация амплитуд в сейсморазведке*. Тверь: Издательство ГЕРС, 256 с.

22. Cox D.R., Huuse M., Newton A.M.W., Sarkar A.D., Knutz P.C. **2021.** Shallow gas and gas hydrate occurrences on the northwest Greenland shelf margin. *Marine Geology*, 432(1): 106382. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106382

23. Games K.P. **2012**. Shallow gas detection. Why HRS, why 3D, why not HRS 3D? *First Break*, 30(10): 67–75.

24. Games K.P., Self E. **2017**. HRS 3D data – a fundamental change in site survey geohazard interpretation. *First Break*, 35(3): 39–48.

#### References

1. Akulichev V.A., Obzhirov A.I., Shakirov R.B., Maltseva E.V., Gresov A.I., Telegin Yu.A. **2014.** Conditions of gas hydrate formation in the Sea of Okhotsk. *Doklady Earth Sciences*, 454(1): 94–96. https://doi.org/10.1134/s1028334x14010164

2. Bogoyavlensky V.I., Kerimov V.Yu., Olkhovskaya O.O., Mustaev R.N. **2016.** Improving the efficiency and safety prospecting, exploration and development of oil and gas in the Sea of Okhotsk. *Territoriya Neftegaz* [*Oil and Gas Territory*], 10: 24–32. (In Russ.).

3. Veselov O.V., Gordienko V.V., Kudelkin V.V. **2006.** [Thermobaric conditions for the formation of gas hydrates in the Sea of Okhotsk]. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*, 4: 42–65. (In Russ.).

4. Gavrilov A.A. **2009.** The role of faults in the formation of the coastlines of the Okhotsk Sea and Sea of Japan (paper 1. Regional aspect of studies). *Geomorfologiya*, 3: 38–49. (In Russ.). https://doi.org/10.15356/0435-4281-2009-3-38-49

5. Gaynanov V.G. **2008.** On the nature of bright spots on time sections of seismoacoustic profiling. *GEOsection*, 2: 1–18. (In Russ.).

6. Golubin S.I., Saveliev K.N., Novikov A.N. **2019.** [Estimation of geological hazards in the operational monitoring of offshore fields of Sakhalin Island]. *Gazovaya promyshlennost' = Gas Industry Magazine*, S1(782): 30–35. (In Russ.).

7. Dzyublo A.D., Voronova V.V., Perekrestov V.E. **2019.** [Research shallow gas of Sakhalin shelf and minimize risks during offshore wells construction]. *Vestnik Assotsiatsii burovykh podryadchikov = Bull. of the Association of Drilling Contractors*, 3: 20–25. (In Russ.).

8. Ivanov G.I., Kazanin A.G., Sarkisyan M.V., Lantsev V.V., Nekrylov N.T., Ionov V.Yu., Pavlov S.P., Makarov E.S. **2016.** [High-resolution seismics – a new step forward in the study of geological hazards]. *Neft'*. *Gaz. Novatsii.* [*Oil. Gas. Innovations*], 1: 65–68. (In Russ.).

9. Kazanin A.G., Kazanin G.S., Ivanov G.I., Sarkisyan M.V. **2016.** Innovative technologies in performing engineering and geological works on the Arctic shelf of Russia. *Scientific J. of the Russian Gas Society*, 4: 25–30. (In Russ.).

10. Kalinin A.V. **1965.** [Equipment and methods of seismoacoustic exploration for engineering and geological offshore surveys]: [extended abstract of diss. ... cand. of Phys. and Math. sciences]. Moscow: Moscow State University. (In Russ.).

11. Kalinin A.V., Kalinin V.V., Pivovarov B.L. **1983.** [Seismoacoustic studies in water areas]. Moscow: Nedra, 204 p. (In Russ.).

12. Kerimov V.Y., Sizikov E.A., Sinyavskaya O.S., Makarova A.Y. **2015.** The conditions of the formation and the searching of hydrocarbon deposits in the turbidite reservoirs on the Okhotsk offshore. *Neft'*, *gaz i biznes* [*Oil, Gas and Business*], 2: 32–37. (In Russ.).

13. Leksin V.K. **2020.** Application of high resolution seismic to search for local gas anomalies in the South Kirinskoye oil and gas condensate field. *Geosistemy perehodnykh zon* = *Geosystems of Transition Zones*, 4(4): 384–392. https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.4.384-392

14. Leksin V.K., Samarin V.I., Liskovyi P.N. **2018.** Results of interpretation of seismic during engineering surveys within of the South-Kirinskoye oil and gas condensate field (shelf of Sakhalin Island). *Inzhenernye izyskaniya* = *Engineering Survey*, 12(9–10): 64–73. (In Russ.).

15. Mironyuk S.G., Markaryan V.V., Shelting S.K. **2013.** Experience of integrated assessment and large-scale engineering-geological zoning of the north-eastern shelf of the Black Sea on geohazards for construction of linear objects. *Inzhenernye izyskaniya = Engineering Survey*, 13: 48–59. (In Russ.).

16. Mironyuk S.G., Roslyakov A.G., Semenova A.A., Sharipov M.S. **2017.** Using high-resolution seismics for identification of geological hazards in various geomorphological zones of the Black Sea. *Inzhenernye izyskaniya* = *Engineering Survey*, 1: 54–60. (In Russ.).

17. Novikov A.A. **2018.** Specifics of the integrated offshore geotechnical investigations and estimation of geological hazards for objects of the subsea production system of the offshore fields of Kirinsky block of Sakhalin Island. *Gazovaya promyshlennost' = Gas Industry Magazine*, 9: 42–48. (In Russ.).

18. Petrenko V.E., Oganov G.S., Sviridova T.A. **2017.** Shallow gas: risks and variants of technical-technological solutions when projecting construction of offshore wells. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa = Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex*, 2: 21–27. (In Russ.).

19. Pivovarov B.L. **1970.** [Investigation of dynamic and kinematic characteristics of elastic waves in absorbing media in relation to the problems of seismic acoustics]: [extended abstract of diss. ... cand. of Geol. and Miner. sciences]. Moscow: Moscow State University. (In Russ.).

20. Rybalchenko V.V., Gogonenkov G.N., Slepchenko V.A. **2017.** Vertical gas migration and gas hydrates in the northeast shelf of Sakhalin. *Oil and Gas Geology*, 2: 38–51. (In Russ.).

21. Hilterman F.J. **2010.** *Interpretation of amplitudes in seismic exploration.* Tver: Publ. House of the GERS, 256 p. (In Russ.). (Transl. from: Hilterman F.J. **2001.** Seismic amplitude interpretation. Society of Exploration Geophysicists, 236 p.).

22. Cox D.R., Huuse M., Newton A.M.W., Sarkar A.D., Knutz P.C. **2021.** Shallow gas and gas hydrate occurrences on the northwest Greenland shelf margin. *Marine Geology*, 432(1): 106382. https://doi.org/10.1016/j. margeo.2020.106382

23. Games K.P. **2012.** Shallow gas detection. Why HRS, why 3D, why not HRS 3D? *First Break*, 30(10): 67–75.

24. Games K.P., Self E. **2017.** HRS 3D data – a fundamental change in site survey geohazard interpretation. *First Break*, 35(3): 39–48.

## Об авторе

ЛЕКСИН Василий Константинович (https://orcid. org/0000-0003-2635-9882), руководитель группы морских изысканий, ООО «РН-СахалинНИПИморнефть», Южно-Сахалинск, lex-vasya@mail.ru LEKSIN Vasilii K. (https://orcid.org/0000-0003-2635-9882), Marine Survey Team Leader, RN-SakhalinNIPImorneft Limited Liability Company, Yuzhno-Sakhalinsk, lex-vasya@mail.ru

About the Author