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)

УДК 550.84

https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.3.229-239

# Особенности аномальных газогеохимических полей в Восточно-Дерюгинском грабене Охотского моря

© 2021 Р. Б. Шакиров<sup>\*1</sup>, А. Л. Веникова<sup>\*1</sup>, Н. Л. Соколова<sup>1</sup>, А. И. Обжиров<sup>1</sup>, О. В. Веселов<sup>2</sup>, Е. В. Мальцева<sup>1</sup>, Ф. В. Кузив<sup>3</sup>, В. К. Лексин<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup> Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

<sup>3</sup> ООО «Первая Геотехническая компания», Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> ООО «РН-СахалинНИПИморнефть», Южно-Сахалинск

\*E-mail: ren@poi.dvo.ru; anett29@mail.ru

**Резюме.** Представлены данные по изучению распределения метана в районе наиболее активных газовых выходов, связанных с газогидратами во впадине Дерюгина Охотского моря. В Восточно-Дерюгинском грабене известен уникальный выход метана, пространственно совпадающий с участком уникальной аутигенной барит-карбонатной минерализации. Рассмотрен вопрос о природе источника, с которым связана эмиссия метана в районе исследования.

**Ключевые слова:** метан, газовые гидраты, аутигенная баритовая минерализация, аномальные поля метана, впадина Дерюгина, Охотское море

### Peculiarities of anomalous gas-geochemical fields in the East Deryugin graben of the Sea of Okhotsk

*Renat B. Shakirov*<sup>\*1</sup>, *Anna L. Venikova*<sup>\*1</sup>, *Natalia L. Sokolova*<sup>1</sup>, *Anatolii I. Obzhirov*<sup>1</sup>, *Oleg V. Veselov*<sup>2</sup>, *Elena V. Maltceva*<sup>1</sup>, *Fedor V. Kuziv*<sup>3</sup>, *Vasilii K. Leksin*<sup>4</sup>

<sup>1</sup>V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia <sup>2</sup>Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia <sup>3</sup>LLC FGTC, Saint-Petersburg, Russia <sup>4</sup>«RN-SakhalinNIPImorneft» LLC, Yuzhno-Sakhalinsk

\*E-mail: ren@poi.dvo.ru; anett29@ mail.ru

**Abstract.** This paper presents the research data on methane distribution in the area of the most noticeable gas discharges in the Deryugin Basin of the Sea of Okhotsk. In the East Deryugin graben, a unique methane seep is known, which spatially coincides with the local authigenic barite-carbonate mineralization. The question of the source nature, which is associated with the methane emission in the studied area, is considered.

**Keywords:** methane, gas hydrates, authigenic barite mineralization, anomalous methane fields, Deryugin basin, the Sea of Okhotsk

Для цитирования: Шакиров Р.Б., Веникова А.Л., Соколова Н.Л., Обжиров А.И., Веселов О.В., Мальцева Е.В., Кузив Ф.В., Лексин В.К. Особенности аномальных газогеохимических полей в Восточно-Дерюгинском грабене Охотского моря. *Геосистемы переходных зон*, 2021, т. 5, № 3, с. 229–239.

https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.3. 229-239

### Благодарности и финансирование

Исследования выполнены в рамках госзаданий Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (рег. № 121021500055-0 и № АААА-А19-119122090009-2) при частичной поддержке РФФИ (гранты № 20-55-50005 и № 20-55-12010). *For citation:* Shakirov R.B., Venikova A.L., Sokolova N.L., Obzhirov A.I., Veselov O.V., Maltceva E.V., Kuziv F.V., Leksin V.K. Peculiarities of anomalous gas-geochemical fields in the East Deryugin graben of the Sea of Okhotsk. *Geosistemy perehodnykh zon* = *Geosystems of Transition Zones*, 2021, vol. 5, no. 3, pp. 229–239. (In Russ., abstr. in Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.3. 229-239

### Acknowledgements and Funding

This work was carried out within the state assignments of the V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS (state registration no. 121021500055-0 and no. AAAA-A19-119122090009-2), and was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 20-55-50005 and no. 20-55-12010).

### Введение

Активные выходы метана, связанные в том числе с областями скоплений газовых гидратов, сосредоточены в основном в зонах, подверженных процессам активного тектогенеза. Подводная газовая разгрузка встречается обычно в областях глубокого прогибания, в окраинных бассейнах и перед дугами в зонах субдукции [Nelson et al., 1979; Suess, 2018]. Необходимым условием для углеводородной дегазации таких участков, как правило, являются разрывные нарушения, дополнительными составляющими процесса служат складчатые дислокации, геодинамическая активность, а также повышенная сейсмичность некоторых районов активных континентальных окраин [Шакиров, 2003; Пестрикова, 2008]. При этом наиболее благоприятными путями для вертикальных перетоков углеводородов рассматриваются узлы пересечения разнонаправленных напряжений, кольцевые структуры и диапиры [Мясникова, Шпильман, 2003]. В этом плане Охотское море сочетает в себе весь набор факторов и условий для существования газогидратов и подводной газовой разгрузки [Обжиров и др., 2021].

Большинство выявленных участков северо-западного и центрального сектора Охотского моря расположены в пределах впадины Дерюгина. Считается, что впадина Дерюгина сформировалась в результате рифтогенной деструкции и находится в настоящее время под влиянием современной сейсмической активности [Харахинов, 1998]. Впадина Дерюгина - одно из самых заметных в геологическом отношении образований Охотского моря. Ее отличают своеобразные геолого-геофизические характеристики: пониженная мощность земной коры, высокая дифференцированность гравимагнитных полей и теплового потока, внутрикоровые внедрения диапиров, интенсивная карбонатно-баритовая минерализация, железомарганцевые образования, широкое распространение газогидратов и существенные выделения газа со дна [Веселов и др., 2018].

Цель данной работы заключается в обсуждении природы источников метановых выходов в районе Восточно-Дерюгинского грабена Охотского моря, особенно на участке проявления уникальной баритовой минерализации. Проведен комплексный анализ газогеохимических, геофизических, гидроакустических данных, полученных во время экспедиционных исследований и в процессе последующей обработки результатов и сопоставления их с литературными источниками.

Для изучения аномальных и фоновых полей метана в водной толще и донных осадках Охотского моря был применен газогеохимический метод [Обжиров, 1993; Обжиров и др., 1999].

### Результаты исследования

### Особенности распределения углеводородных газогеохимических полей в районе исследования

В целях общего представления особенностей распределения метана в районе исследований удобно использовать результаты региональных газогеохимических исследований, выполненных в рамках совместных работ Севморгео – ТОИ ДВО РАН на региональных профилях (рис 1.). Работы были проведены в рамках программы изучения глубинного строения Охотского моря (2006–2009 гг.) для установления юрисдикции Российской Федерации в его центральной части.

В целом для района исследований отмечается общая закономерность возрастания концентраций метана вниз по разрезу с различным градиентом (рис. 2 б), отражающим газонасыщенность осадков и углеводородный потенциал осадочных бассейнов. Наибольший градиент обнаруживается в зонах разломов (рисунки 2 а, 3). Выделяется не менее 7 зон проявления аномальных полей метана в осадке по профилю 1-ОМ (рис. 2 а). В отдельные аномальные зоны можно выделить участок в северо-восточной части впадины Дерюгина, Кашеваровский прогиб, желоб Макарова и участок на склоне Курильской котловины протяженностью около 30 км. В центральной области Охотского моря в маломощных осадках формируются главным образом фоновые газогеохимические поля.

Полученные материалы позволяют наблюдать основные особенности газовой углеводородной изменчивости по латерали и вертикали в Охотском море в соответствии с его геологическим строением (рисунки 2 б, 3). Метан установлен во всех газовых пробах, отобранных из донных отложений в концентрациях от 0.02 до 87.7 мкл/дм<sup>3</sup> (рис. 4). Наиболее сильные аномалии метана проявлены в пределах Хоккайдо-Сахалинской складчатой системы (ХССС) и Курило-Камчатской системы.

Выделяются локальные аномальные поля метана, углеводородных и других газов, а также ртути в Восточно-Дерюгинском грабене, Кашеваровском прогибе, Макаровском желобе



Рис. 1. Распределение СН<sub>4</sub> в донных отложениях на региональных профилях 2-ДВ-М (побережье Магаданской области – о. Уруп) и 1-ОМ (Шантарские о-ва – о. Парамушир) (Севморгео – ТОИ ДВО РАН, 2009 г.) и газопроявления в Охотоморском нефтегазоносном регионе, на основе авторских материалов и тектонической карты В.В. Харахинова [1998]. 1 – Центрально-Охотский массив, 2 – Тинровская деструкционная система, 3 – Восточно-Дерюгинский грабен, 4 – грабен Макарова, 5 – поднятие Академии Наук, 6 – Западно-Камчатский прогиб, 7 – Кухтуйский прогиб, 8 – котловина ТИНРО, 9 – Южно-Татарский грабен, 10 – Шмидтовская складчато-сдвиговая зона, 11 – Дерюгинский прогиб, 12 – поднятия, 13 – Пограничный прогиб, 14 – Анивский прогиб, 15 – Центрально-Татарский прогиб, 16 – Магаданский прогиб, 17 – Гижигинская впадина, 18 – Кони-Тайгоносский террейн, 19 – Южно-Охотская котловина, 20 – Центрально-Камчатский вулканогенный пояс, 21 – Ирунейский позднемеловой террейн, 22 – Ганальский метаморфический террейн, 23 – континентальный склон, 24 – прогиб Исикари, 25 – Северо-Татарский прогиб, 26 – Северо-Сахалинский прогиб, 27 – вулканическая дуга, 28 – аккреционный склон, 29 – зоны проявления аномальных газогеохимических полей высокой интенсивности (а) и аномальных полей преимущественно метаморфогенных газов с проявлениями геотермального флюида (б), 30 – локальные возможно нефтегазоносные структуры, 31 – разломы, 32 – термальные углеводородные проявления, 33 - поверхностные газопроявления, 34 - термальные источники, 35 - станции отбора придонной воды, 36 – палеовулканы, 37 – пикеты отбора осадков, 38 – грязевые вулканы, 39 – газогидраты установленные, 40 - газогидротермы, 41 - гигантский газовый факел, 42 - постаккреционная система, 43 - поднятие Полевого, 44 – деструкционная система.

**Fig. 1.** Distribution of  $CH_4$  in the Sea of Okhotsk along the 2-AB-M profile (coast of the Magadan Region – Urup Island) and 1-OM profile (Shantar Islands – Paramushir Island) (Sevmorgeo – POI FEB RAS, 2009 r.), and gas flows in the Okhotsk oil and gas region, based on the tectonic map of V.V. Kharakhinov [1998].

1 – Čentral Okhotsk massif, 2 – Tinrovskaya destruction system, 3 – East Deryugin graben, 4 – Makarov graben, 5 – The Akademii Nauk elevation, 6 – West Kamchatka depression, 7 – Kukhtui depression, 8 – TINRO basin, 9 – South Tatar graben, 10 – Schmidtovskaya fold-strike-slip zone, 11 – Deryugin depression, 12 – elevations, 13 – Pogranichny depression, 14 – Aniva depression, 15 – Central Tatar depression, 16 – Magadan depression, 17 – Gizhiginskaya depression, 18 – Koni-Taigonos Terrane, 19 – South Okhotsk basin, 20 – Central Kamchatka volcanic belt, 21 – Iruneian Late Cretaceous terrane, 22 – Ganal metamorphic terrane, 23 – continental slope, 24 – Ishikari depression, 25 – North Tatar depression, 26 – North Sakhalin depression, 27 – volcanic arc, 28 – accretion slope, 29 – zones of manifestation of anomalous gas-geochemical fields of high intensity (a) and anomalous fields of predominantly metamorphogenic gases with manifestations, 33 – surface gas flows, 34 – thermal springs, 35 – stations for sampling bottom water, 36 – paleovolcanoes, 37 – pickets of precipitation selection, 38 – mud volcanoes, 39 – ascertained gas hydrates, 40 – gas hydrotherms, 41 – giant gas flare, 42 – post-accretionary system, 43 – Polevoy elevation, 44 – destruction system.



**Рис. 2.** Распределение метана (мкл/дм<sup>3</sup>) в осадках Охотского моря по профилю 1-ОМ (участок впадина Дерюгина – Голыгинский прогиб), 2009 г. (а) Градациями желтого и красного показаны «слепые» аномальные геохимические поля метана. (б) Диаграммы содержания метана в осадках построены по логарифмической шкале. Красный полигон – залежь газогидратов; розовые и синие точки – газовые «факелы»; розовые овалы – локальные структуры; желтые – нефтегазовые месторождения; красные линии – разломные зоны. (Фрагмент тектонической карты районирования Охотоморской нефтегазоносной провинции В.В. Харахинова [1998].)

**Fig. 2**. Distribution of methane (mcl/dm<sup>3</sup>) in the sediments along the 1-OM profile (the Deryugin basin – the Golygin depression part), 2009. (a) "Blind" anomalous geochemical fields of methane are highlighted in gradations of yellow and red; (6) Bar graphs of methane content (mcl/dm<sup>3</sup>) in precipitation are plotted on a logarithmic scale; red polygon – gas hydrate deposit; pink and blue dots – gas "torches"; pink ovals – local structures; yellow ovals – oil and gas fields; red lines – fault zones. (The tectonic map of zoning of the Okhotsk oil and gas province V.V. Kharakhinov [1998].)



**Рис. 3.** Сводная диаграмма вертикального распределения метана в кернах осадка в Охотском море по профилю 1-OM, 2009 г.

**Fig. 3.** Summary diagram of the vertical distribution of methane in sediment cores in the Sea of Okhotsk along the 1-OM profile, 2009.

и в зонах структурных выступов, где могут, в том числе за счет оползневых явлений, формироваться относительно мощные линзы осадочного материала. На этих участках с увеличенным градиентом концентраций метана отмечаются потоки миграционных газов.

В этих осадочных телах, по аналогии с другими газоносными участками Охотского моря, идут процессы генерации газообразных углеводородов. Наличие признаков постмагматических процессов в Кашеваровской рифтогенной зоне также заставляет принять их во внимание при интерпретации распределения газов.

## Метан-бариевое проявление в Восточно-Дерюгинском грабене

В Восточно-Дерюгинском грабене на сегодняшний день известен уникальный выход метана, пространственно совпадающий с локальной аутигенной барит-карбонатной минерализацией [Suess, 1999; Деркачев и др., 2000]. Постройки на дне, сложенные баритом, достигают в высоту 20 м («баритовые холмы»). Масса баритов во впадине Дерюгина, определенная акустическим методом, составляет около 3.0 млн т [Саломатин, Юсупов, 2009].

Изучаемый участок расположен в районе чрезвычайно активного проявления деструктивных геологических процессов. Для этого района характерен повышенный тепловой поток (на трех станциях зафиксированы высокие значения – 90, 109 и 156 мВт/м<sup>2</sup> [Веселов и др., 2018], рис. 5) и предполагается деструкция низов осадочной толщи под влиянием высоких термобарических условий в глубинных слоях. Согласно [Харахинов, 1998], в таких жестких условиях преимущественно глинистые и кремнисто-глинистые толщи не успевают полностью реализовать свой нефтематеринский потенциал, и одновременно идет деструкция уже генерированных нефтяных углеводородов. Предполагается, что здесь должна возрастать доля абиогенных углеводородов [Харахинов, 1998]. В пределах изучаемого участка Восточно-Дерюгинского грабена современный тектонический режим является компрессионным [Biebow et al., 2000]. Фундамент бассейна разбит на систему грабенов и горстов. Грабены заполнены мощными толщами хорошо стратифицированных осадков. Клинораздвиговая система может формировать зоны проницаемости за счет разуполотнения (дилатансные зоны), при этом в верхней части осадочного чехла не исключается образование условий сжатия в конкретных зонах. В донных отложениях Восточно-Дерюгинского грабена установлены метан и его гомологи – этилен, этан, пропилен, пропан.

Концентрации метана на аномальных полях на участке с проявлением массивной баритовой



**Рис. 4.** Распределение метана (мкл/дм<sup>3</sup>) в кернах осадка Охотского моря по профилю 1-OM, 2009 г. **Fig. 4.** Distribution of methane (mcl/dm<sup>3</sup>) in sediment cores of the Sea of Okhotsk along the 1-OM, 2009.

минерализации достигали 1000-5700 нл/л, превышая фоновые значения в 100 раз 1998-2004 (период гг.). Максимальное содержание 5700 нл/л обнаружено на станции, которая находится ближе всего к взбросу. Примечательно, что эта станция лежит между двумя локальными небольшими возвышениями с отметками 1500 м. Аномальные поля метана встречаются на небольшой площади (около 10-20 км<sup>2</sup>) в слое придонной воды мощностью 50-70 м на глубине 1420–1500 м. Участок «баритовых холмов», в пределах которого обнаружено устойчивое придонное поле метана, расположен в зоне грабенообразных структур и приурочен к крутопада-



**Рис. 5.** Схема придонного устойчивого аномального поля метана высокой интенсивности на участке баритовой минерализации во впадине Дерюгина, с нанесенными значениями теплового потока.

Fig. 5. Bottom stable anomalous methane field of high intensity in the area of barite mineralization in the Deryugin Basin, with marked values of the heat flux.

ющим взбросам, оперяющим предполагаемые крупные субмеридиональные (С-СЗ) сдвиги [Baranov et al., 1999, 2000]. Взбросы в пределах участка баритовой минерализации, в пределах которого обнаружены аномалии метана до 5700 нл/л, являются, согласно [Baranov et al., 1999], результатом компрессионных тектонических условий. Благодаря этому взбросы активны и достигают поверхности дна, а места их пересечений со сдвиговыми дислокациями служат наиболее благоприятными путями миграции метан-барийсодержащего флюида на поверхность дна. Наличие обнаруженно-

го нами высокоинтенсивного устойчивого аномального поля метана в пределах этих структур является подтверждением тектонического контроля Восточно-Дерюгинского метан-бариевого источника (рис. 6, 7a).

Природа источника, с которым связана эмиссия метана на участке «баритовых холмов», вызывает острые дискуссии. Аутигенная баритовая минерализация пространственно сопряжена с эмиссией метана. Крупные постройки барита обнаружены на небольшой площади (около 20 км<sup>2</sup> по данным на 2002 г.). В настоящее время существуют три основные гипотезы природы рассматриваемого источника. Согласно самой ранней, источником флюидов является низкотемпературная гидротермальная деятельность [Астахова и др., 1987, 1990]. Подтверждением этой гипотезы являются результаты исследования комплексом физико-химических методов (барий-стронциевый модуль, параметры элементарной ячейки барита, фазовый минералогический анализ, радиационная оценка, сопоставление с баритами установленного генезиса) травертиноподобных баритов [Ахманов и др., 2015].



**Рис. 6.** Сейсмический разрез НСП по профилю, проходящему через участок баритовой минерализации [Biebow et al. (eds), 2000]. Красными линиями обозначены активные разломы.

**Fig. 6.** Seismic section of the CSP along the profile passing through the area of barite mineralization [Biebow et al. (eds), 2000]. The active faults are marked with red lines.



Рис. 7. (а) Тектоническое строение северо-восточного шельфа и склона о. Сахалин и восточной части впадины Дерюгина: 1 – разломы (установленные); 2 – сбросы (а), взбросы(b), сдвиги предполагаемые (с); 3 – станции мониторинга метана 1998-2000 гг.; 4 - выходы метана в 1998–2000 гг. (красными столбиками схематично показаны повышенные концентрации СН<sub>4</sub>) (a), по литературным данным (b); 5 – нефтегазоносные структуры; 6 - Восточно-Сахалинская разломная зона; Пр.3, Пр.4 и Пр.5 – профили отбора проб; 1-1 - разрез шельф о. Сахалин – впадина Дерюгина – Кашеваровская рифтогенная зона [Гнибиденко, 1979; Кулинич, Обжиров, 2003]. (б) Магнитное поле [Кулинич, Обжиров, 2003]. (в) Глубинная структура северовосточного шельфа о. Сахалин, впадины Дерюгина [Гнибиденко, 1979] и Кашеваровской рифтогенной зоны [Кулинич, Обжиров, 2003]: 1 – верхняя мантия, 2 – метабазальтовый слой, 3 – гранитно-метаморфический слой, 4 – вулканогенно-осадочный складчатый слой, 5 - нижний деформированный чехол, 6 – верхняя осадочная толща чехла, 7 – выступы гранитоидного комплекса, 8 – разломы (глубинные и коровые), 9 – границы разделов. На разрезе положение участка «баритовые холмы» показано стрелкой красного цвета.

Fig. 7. (a) Tectonic structure of the northeastern shelf and slope of Sakhalin Island and the eastern part of the Deryugin basin: 1 - faults (ascertained); 2 - normal faults (a), reverse faults (b), supposed strike-slip faults (c); 3 – methane monitoring stations 1998–2000; 4 – methane seepages during 1998-2000 (increased CH<sub>4</sub> concentrations are schematically shown with red bars) (a), according to literature data (b); 5 - oil and gas bearing structures; 6 - East Sakhalin fault zone; Пр.3, Пр.4, Пр.5 - sampling profiles; 1–1 the shelf section Sakhalin Island - the Deryugin depression - Kashevarovskaya riftogenic zone [Gnibidenko, 1979; Kulinich, Obzhirov, 2003]. (6) magnetic field [Kulinich, Obzhirov, 2003]. (B) Deep structure of the northeastern shelf of Sakhalin Island, the Deryugin Basin [Gnibidenko, 1979], and Kashevarovskaya riftogenic zone [Kulinich, Obzhirov, 2003]: 1 - upper mantle,

2 - metabasaltic layer, 3 - granite-metamorphic layer, 4 - folded volcanogenic-sedimentary layer, 5 - lower deformed cover, 6 - upper sedimentary cover, 7 - protrusions of the granitoid complex, 8 - faults (deep and crustal), 9 - section boundaries. The position of the Barite Mounds site is shown in the section with an arrow.

В результате авторы пришли к выводу о гидротермальном происхождении баритовых построек. Согласно второй гипотезе, это долгоживущие холодные газово-флюидные источники и ремобилизация бария в верхней части осадочного разреза впадины Дерюгина [Деркачев и др., 2000]. Результаты комплексной интерпретации магнитных, гравитационных и газогеохимических данных и анализа имеющихся сведений по геологии района легли в основу третьей гипотезы [Кулинич, Обжиров, 2003] (рис. 7 б). В ней обосновано, что барит-карбонатная минерализация и аномальное поле метана расположены в пределах вулканогенно-осадочной депрессии в узле пересечения разнонаправленных тектонических разломов. Согласно этой работе, данная структура была сформирована главным образом в результате тектоно-магматической активности в олигоцене-миоцене и в настоящее время представляет собой вулканотектоническую депрессию. При этом современная эмиссия метана может быть проявлением остаточных постмагматических процессов, а барит-карбонатная минерализация – вторичным эффектом этих процессов. С этим согласуются выводы В.В. Харахинова [1998], согласно которым в подошве осадочной толщи впадины Дерюгина существуют или существовали такие термобарические условия, которые не давали органическому веществу реализовать нефтематеринский потенциал в достаточной мере. Это, вероятно, обусловило генерацию преимущественно метана.

Таким образом, большинство авторов сходятся на предположении о формировании особенных геологических условий, благоприятствующих миграционной природе метана и барийсодержащего флюида. Геолого-тектонические условия в пределах района, куда входит изучаемый участок, создали возможность в основном газовой реализации органического вещества осадочных пород. Длительная тектоно-магматическая активность должна благоприятствовать или разрушению уже сфорнефтегазовых залежей, или мированных генерации природного газа преимущественно метанового состава в условиях остаточной постмагматической активности.

Для обсуждения представленных данных авторами привлечены результаты более ранних геолого-геофизических исследований Г.С. Гнибиденко [1979]. По результатам этой работы, основанной на комплексировании геолого-геофизических методов и совокупности всей имеющейся на тот период времени информации, для Охотского моря были построены региональные разрезы. На одном из региональных разрезов, пересекающем изучаемый участок, обнаруживается крупное вертикальное тело магматического происхождения мощностью около 10 км (диапир), достигающее верхних горизонтов чехла. Заслуживает внимания результат сопоставления глубинного разреза и положения участка баритовой минерализации. Положение аномального поля метана и баритовой минерализации совпадает с выступом комплекса пород, прорванного, предположительно, интрузиями гранитоидов [Гнибиденко, 1979] (рис. 7 в). Сопоставление с данными, полученными авторами, позволяет сделать вывод, что локальный долгоживущий выход метана, сопряженный с баритовой минерализацией, контролируется узлами пересечения взбросов с крутыми углами падения и сдвигов северо-северо-западного простирания. Устойчивое придонное аномальное поле метана в нижнем 70-метровом слое водной толщи участка «баритовые холмы» характеризует современную активность барийметанового проявления.

В соответствии с приведенными данными источником метана и барийсодержащего флюида могут быть постмагматические и наложенные биогенные процессы, которые и обусловили наблюдаемое явление выходов метана и баритовых построек на дне. Подобные процессы наблюдаются в различных областях Мирового океана [Kelley et al., 2002]. Это в целом говорит в поддержку гипотезы постмагматического происхождения восходящего флюида, поскольку масштабы геодинамических процессов определяют длительный в геологическом времени характер формирования флюидной системы района. Авторы не исключают существование наложенных процессов биогенной генерации углеводородных газов в верхней зоне катагенеза по аналогии с западным газогидратоносным бортом Восточно-Дерюгинского грабена.

Можно отметить, что существование разломных зон глубокого заложения (до 10 км) и блоковой структуры в рассматриваемой части Восточно-Дерюгинского грабена подтверждается также современными комплексными исследованиями [Сакулина, 2011]. Как было выявлено в ходе российско-германского проекта КОМЭКС (Курило-Охотский морской эксперимент), зона метаново-бариевого проявления во впадине Дерюгина также характеризуется развитием уникальной экосистемы [Biebow et al. (eds), 2000].

### Заключение

В донных отложениях Восточно-Дерюгинского грабена установлены метан и его гомологи – этилен, этан, пропилен, пропан. Наблюдается общая закономерность возрастания концентраций метана вниз по разрезу с различным градиентом, отражающим газонасыщенность осадков и перспективы обнаружения залежей углеводородов. Наибольший градиент обнаружен в зонах разломов. В отдельные аномальные зоны можно выделить участок «баритовых холмов» в северо-восточной части впадины Дерюгина, Кашеваровский прогиб, желоб Макарова и участок на склоне Курильской котловины. Все они демонстрируют потоки миграционных газов.

В Восточно-Дерюгинском грабене Охотского моря находится уникальный выход метана, пространственно приуроченный к зоне локальной аутигенной барит-карбонатной минерализации. Изучаемый участок расположен в пределах района, в котором существуют геолого-тектонические условия, создающие возможность в основном газовой реализации органического вещества осадочных пород и восходящей миграции флюида вдоль глубинной зоны проницаемости.

Аномальные поля метана на участке с проявлением массивной баритовой минерализации составляли 1000–5700 нл/л, что превышает фон в 100 раз. Зона проницаемости в пределах области распространения баритовой минерализации и аномального поля метана является, по всей видимости, результатом глубинных магматических процессов и разломной тектоники, связанных с особенностями региональной геодинамической обстановки. Этот вывод подтверждается исследованиями теплового потока.

В верхней части осадочного чехла сформирована система разломов, некоторые из них достигают поверхности дна, а места их пересечений представляют собой наиболее благоприятные зоны проникновения метан-барийсодержащего флюида на поверхность дна.

Для решения проблемы происхождения баритовой минерализации необходимы детальные геолого-геофизические исследования и изучение изотопов элементов, образующих аутигенный барит. Необходимо отметить, что подобные участки с сочетанием газовой и рудообразующей флюидной эмиссии могут быть на арктическом шельфе, где распространены тектонические депрессии с глубинными разломными зонами.

Работа вносит важный вклад в национальный план действий в рамках Десятилетия наук об океане ООН в интересах устойчивого развития. Работа выполнена также для реализации плана Рабочей группы по газогидратам и климату в рамках подкомиссии ЮНЕСКО по западной части Тихого океана (WESTPAC).

### Список литературы

1. Астахова Н.В., Липкина М.И., Мельниченко Ю.И. **1987.** Гидротермальная баритовая минерализация во впадине Дерюгина Охотского моря. *Доклады АН СССР*, 295: 242–245.

2. Астахова Н.В., Нарнов Г.А., Якушева И.Н. **1990.** Карбонат-баритовая минерализация во впадине Дерюгина (Охотское море). *Тихоокеанская геология*, 3: 37–42.

3. Ахманов Г.Г., Егорова И.П., Михайлик П.Е., Гревцев В.А., Наумкина Н.И., Семенова Г.М. **2015.** К генезису травертиноподобных баритов впадины Дерюгина (Охотское море). *Отечественная геология*, 1: 82–87.

4. Веселов О.В., Семакин В.П., Кочергин А.В. **2018.** Тепловой поток и неотектоника района впадины Дерюгина (Охотское море). *Геосистемы переходных зон*, 2(4): 312–322. doi.org/10.30730/2541-8912.2018.2.4.312-322

5. Гнибиденко Г.С. 1979. Тектоника дна окраинных морей Дальнего Востока. М.: Наука, 161 с.

6. Деркачев А.Н., Борман Г., Грайнерт Й., Можеровский А.В. **2000.** Аутигенная карбонатная и баритовая минерализация в осадках впадины Дерюгина (Охотское море). *Литология и полезные ископаемые*, 6: 568–585.

7. Кулинич Р.Г., Обжиров А.И. **2003.** Барит-карбонатная минерализация, аномалии метана и геофизические поля во впадине Дерюгина (Охотское море). *Тихоокеанская геология*, 4: 35–40.

8. Мясникова Г.П., Шпильман А.В. **2003**. Дегазация Земли и формирование месторождений нефти и газа. Вестник недропользователя Ханты-Мансийского автономного округа.

9. Обжиров А.И. 1993. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 139 с.

10. Обжиров А.И., Астахова Н.В., Липкина М.И., Верещагина О.Ф., Мишукова Г.И., Сорочинская А.В., Югай И.Г. **1999.** *Газогеохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря.* Владивосток: Дальнаука, 184 с.

11. Обжиров А.И., Соколова Н.Л., Телегин Ю.А. **2021.** Геологические условия формирования и разрушения газогидратов в Охотском море: аспекты тектоники и генезиса. *Литология и полезные ископаемые*, 4: 338–348. 12. Пестрикова Н.Л. **2008.** Поля газогидратов в Охотском море и их геоэкологическое значение: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Владивосток: ТОИ ДВО РАН.

13. Сакулина Т.С., Каленич А.П., Атаков А.И., Тихонова И.М., Крупнова Н.А., Пыжьянова Т.М. **2011.** Геологическая модель Охотоморского региона по данным опорных профилей 1-ОМ и 2-ДВ-М. *Разведка* и охрана недр, 10: 11–17.

14. Саломатин А.С., Юсупов В.И. **2009.** Акустическая оценка проявлений баритовой минерализации в Охотском море. *Океанология*, 49(3): 474–477.

15. Харахинов В.В. **1998.** *Тектоника Охотоморской нефтегазоносной провинции:* автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Оха-на-Сахалине: Сахалин-НИПИморнефть.

16. Шакиров Р.Б. 2003. Аномальные поля метана в Охотском море и их связь с геологическими структурами: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Владивосток: ТОИ ДВО РАН.

17. Baranov B.V., Karp B.Ya., Wong H.K. **1999.** Areas of gas seepage. In: *KOMEX Cruise Report I RV Professor Gagarinsky, Cruise 22.* Kiel, 45–52. (GEOMAR Report 82 INESSA).

18. Baranov B.V., Dozorova K., Karp B. **2000.** Tectonics of the Okhotsk Sea: extension vs compression. In: *KOMEX Cruise Report V. RV Professor Gagarinsky, Cruise 26.* Kiel: 67–80. (GEOMAR Report 88).

19. Biebow N., Ludmann T., Karp B., Kulinich R. (eds) **2000.** Cruise Report 88: KOMEX V and KOMEX VI, R/V Professor Gagarinsky cruise 26 and M/V Marshal Gelovany cruise 1. Kiel, 296 p.

20. Kelley D.S., Baross J.A., Delaney J.R. 2002. Volcanoes, fluids and life at mid-ocean ridge spreading centers. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 30: 385–491. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.30.091201.141331

21. Nelson C.H., Thor D.R., Sandstrom M.V., Kvenvolden K.A. **1979.** Modern biogenic gas-generated craters (sea-floor "pockmarks") on the Bering Shelf, Alyaska. *Geological Society of America Bull.*, 90(12): 1144–1152. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1979)90<1144:mbgcsp>2.0.co;2

22. Suess E. **1999.** Fluid venting and barite-carbonate-mineralization in the Derugin Basin. In: *Cruise Reports: KOMEX I and II RV Professor Gagarinsky Cruise 22 and RV «Akademik M.A. Lavrentyev». Cruise 28.* Kiel, 132–134. (GEOMAR Report 82).

23. Suess E. 2018. Marine Cold Seeps: Background and Recent Advances. In: *Hydrocarbons, Oils and Lipids: Diversity, Origin, Chemistry and Fate.* Switzerland, 1–21.

#### References

1. Astakhova N.V., Lipkina M.I., Mel'nichenko Yu.I. **1987.** [Hydrothermal barite mineralization in the Deryugin basin of the Sea of Okhotsk]. *Doklady AN SSSR*, 295: 242–245. (In Russ.).

2. Astakhova N.V., Narnov G.A., Yakusheva I.N. **1990.** [Carbonate-barite mineralization in the Deryugin basin (the Sea of Okhotsk)]. *Geology of the Pacific Ocean*, 3: 37–42. (In Russ.).

3. Akhmanov G.G., Egorova I.P., Mikhaylik P.E., Grevtsev V.A., Naumkina N.I., Semenova G.M. **2015.** [To a genesis of travertine-like barites from the Deryugin basin (the Sea of Okhotsk)]. *Otechestvennaya geologiya*, 1: 82–87. (In Russ.).

4. Veselov O.V., Semakin V.P., Kochergin A.V. Heat flow and neotectonics of the Deryugin Basin (Okhotsk Sea). *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2(4): 312–322. doi.org/10.30730/2541-8912.2018.2.4.312-322 (In Russ.).

5. Gnibidenko G.S. **1979.** *Tektonika dna okrainnykh morey Dal'nego Vostoka* [*Tectonics of the floor of the Far East marginal seas*]. Moscow: Nauka, 161 p. (In Russ.).

6. Derkachev A.N., Borman G., Graynert Y., Mozherovskiy A.V. **2000.** [Authigenic carbonate and barite mineralization in sediments of the Deryugin basin (the Sea of Okhotsk)]. *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 6: 568–585. (In Russ.).

7. Kulinich R.G., Obzhirov A.I. **2003.** Barite-carbonate mineralization, methane anomalies and their geophysical fields in the Deryugin Basin (Sea of Okhotsk). *Tikhookeanskaya geologiya*, 4: 35–40. (In Russ.).

8. Myasnikova G.P., Shpil'man A.V. **2003.** [Earth degassing and the formation of oil and gas fields]. *Vestnik nedropol'zovatelya Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga*. (In Russ.).

9. Obzhirov A.I. **1993.** Gazogeokhimicheskie polya pridonnogo sloya morey i okeanov [Gas-geochemical fields of the bottom layer of the seas and oceans]. Moscow: Nauka, 139 p. (In Russ.).

10. Obzhirov A.I. Astakhova N.V., Lipkina M.I., Vereshchagina O.F., Mishukova G.I., Sorochinskaya A.V., Yugay I.G. **1999.** [*Gas-geochemical zoning and mineral association of the floor of the Sea of Okhotsk*]. Vladivostok: Dalnauka, 183 p. (In Russ.).

11. Obzhirov A.I., Sokolova N.L., Telegin Yu.A. **2021.** Geological conditions of the formation and destruction of gas hydrates in the Sea of Okhotsk: aspects of tectonics and genesis. *Litologiya i poleznye iskopaemye* = *Lithology and Mineral Resources*, 4: 338–348. (In Russ.).

12. Pestrikova N.L. **2008.** Polya gazogidratov v Okhotskom more i ikh geoekologicheskoe znachenie [Gas hydrates fields in the Sea of Okhotsk and their geoecological value]: [extended abstract of Cand. Sci. (Geol. and Miner.) dissertation)]. Vladivostok: TOI DVO RAN. (In Russ.).

13. Sakulina T.S., Kalenich A.P., Atakov A.I., Tihonova I.M., Krupnova N.A., Pyzhjanova T.M. **2011.** Geological model of the Okhotsk Sea region according to basic profiles 1-OM and 2-DW-M. *Razvedka i okhrana nedr*, 10: 11–17. (In Russ.).

14. Salomatin A.S., Yusupov V.I. **2009.** Acoustic estimate of barite mineralization manifestation in the Sea of Okhotsk. *Oceanology*, 49(3): 438–441.

15. Kharakhinov V.V. **1998.** *Tektonika Okhotomorskoy neftegazonosnoy provintsii [Tectonics of the Sea of Okhotsk oil-gas province]*: [extended abstract of Dr Sci. (Geol. and Miner.) dissertation)]. Okha-na-Sakhaline: Sakhalin-NIPImorneft'. (In Russ.).

16. Shakirov R.B. **2003.** Anomal'nye polya metana v Okhotskom more i ikh svyaz' s geologicheskimi strukturami [Anomalous methane fields in the Sea of Okhotsk and their relation to the geological structures]: [extended abstract of Dr Sci. (Geol. and Miner.) dissertation]. Vladivostok: TOI DVO RAN. (In Russ.).

17. Baranov B.V., Karp B.Ya., Wong H.K. **1999.** Areas of gas seepage. In: *KOMEX Cruise Report I RV Professor Gagarinsky, Cruise 22.* Kiel, 45–52. (GEOMAR Report 82 INESSA).

18. Baranov B.V., Dozorova K., Karp B. **2000.** Tectonics of the Okhotsk Sea: extension vs compression. In: *KOMEX Cruise Report V. RV Professor Gagarinsky, Cruise 26.* Kiel: 67–80. (GEOMAR Report 88).

19. Biebow N., Ludmann T., Karp B., Kulinich R. (eds) **2000.** *Cruise Report 88: KOMEX V and KOMEX VI, R/V Professor Gagarinsky cruise 26 and M/V Marshal Gelovany cruise 1.* Kiel, 296 p.

20. Kelley D.S., Baross J.A., Delaney J.R. 2002. Volcanoes, fluids and life at mid-ocean ridge spreading centers. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 30: 385–491. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.30.091201.141331

21. Nelson C.H., Thor D.R., Sandstrom M.V., Kvenvolden K.A. **1979.** Modern biogenic gas-generated craters (sea-floor "pockmarks") on the Bering Shelf, Alyaska. *Geological Society of America Bull.*, 90(12): 1144–1152. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1979)90<1144:mbgcsp>2.0.co;2

22. Suess E. **1999.** Fluid venting and barite-carbonate-mineralization in the Derugin Basin. In: *Cruise Reports: KOMEX I and II RV Professor Gagarinsky Cruise 22 and RV «Akademik M.A. Lavrentyev». Cruise 28.* Kiel, 132–134. (GEOMAR Report 82).

23. Suess E. **2018.** Marine Cold Seeps: Background and Recent Advances. In: *Hydrocarbons, Oils and Lipids: Diversity, Origin, Chemistry and Fate.* Switzerland, 1–21.

### Об авторах

ШАКИРОВ Ренат Белалович (https://orcid.org/0000-0003-1202-0351), доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе, руководитель лаборатории газогеохимии, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, ren@poi.dvo.ru

ВЕНИКОВА Анна Леонидовна (https://orcid.org/0000-0002-1445-8579), научный сотрудник лаборатории газогеохимии, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, anett29@mail.ru

СОКОЛОВА Наталья Леонидовна (https://orcid.org/0000-0002-2248-6924), кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории газогеохимии, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, natap81@mail.ru

ОБЖИРОВ Анатолий Иванович (https://orcid.org/0000-0002-4031-6419), доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории газогеохимии, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, obzhirov@poi.dvo.ru

ВЕСЕЛОВ Олег Васильевич (https://orcid.org/0000-0003-3151-324X), кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория вулканологии и вулканоопасности, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, o.veselov@imgg.ru

МАЛЬЦЕВА Елена Валерьевна (https://orcid.org/0000-0003-3230-7042), кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории газогеохимии, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, ekor@poi.dvo.ru

КУЗИВ Федор Владимирович (https://orcid.org/0000-0002-0307-0552), инженер-геофизик, ООО «Первая Геотехническая компания», Санкт-Петербург, frostimus@gmail.com ЛЕКСИН Василий Константинович (https://orcid.org/0000-0003-2635-9882), руководитель группы морских изысканий, ООО «РН-СахалинНИПИморнефть», Южно-Сахалинск, lex-vasya@mail.ru

### About the Authors

SHAKIROV Renat Belalovich (https://orcid.org/0000-0003-1202-0351), Doctor of Geology and Mineralogy, Deputy Director, Head of the Laboratory of gasgeochemistry, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, ren@poi.dvo.ru

VENIKOVA Anna Leonidovna (https://orcid.org/0000-0002-1445-8579), Researcher, the Laboratory of gasgeochemistry, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, anett29@mail.ru

SOKOLOVA Natalia Leonidovna (https://orcid.org/0000-0002-2248-6924), Cand. of Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, the Laboratory of gasgeochemistry, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, natap81@mail.ru

OBZHIROV Anatolii Ivanovich (https://orcid.org/0000-0002-4031-6419), Doctor of Geology and Mineralogy, Principal Researcher, the Laboratory of gasgeochemistry, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, obzhirov@poi.dvo.ru

VESELOV Oleg Vasil'evich (https://orcid.org/0000-0003-3151-324X), Cand. of Sci. (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, the Laboratory of volcanology and volcanic hazard, Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, o.veselov@imgg.ru

MALTCEVA Elena Valer'evna (https://orcid.org/0000-0003-3230-7042), Cand. of Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, the Laboratory of gasgeochemistry, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, ekor@poi.dvo.ru

KUZIV Fedor Vladimirovich (https://orcid.org/0000-0002-0307-0552), engineer geophysicist, "LLC FGTC", Saint-Petersburg, frostimus@gmail.com

LEKSIN Vasilii Konstantinovich (https://orcid.org/0000-0003-2635-9882), Head of marine survey group, «RN-SakhalinNIPImorneft» LLC, Yuzhno-Sakhalinsk, lex-vasya@mail.ru