

УДК 553.981;551.35

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ И КОТЛОВИНЫ ПОДВОДНИКОВ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

© 2020 г. А. И. Гресов^{1,*}, академик РАН В. И. Сергиенко², А. В. Яцук^{1,**},
Н. В. Зарубина³, В. В. Калинин¹

Поступило 17.02.2020 г.
После доработки 18.02.2020 г.
Принято к публикации 20.02.2020 г.

Представлены новые данные газового и химического состава донных осадков окраинно-шельфовой части Восточно-Сибирского моря, континентального склона и котловины Подводников Северного Ледовитого океана. Определены генетические показатели семи групп эпигенетических углеводородных газов. На основании полученных материалов выделены площади распространения предполагаемых нефтегазовых, газонефтяных и нефтяных залежей. В донных осадках установлены три группы химических элементов, максимумы концентраций которых связаны с определенными геоструктурами района исследований.

Ключевые слова: донные осадки, углеводородные газы, газогеохимические показатели, генезис, нефтегазоносность, Восточно-Сибирское море, котловина Подводников

DOI: 10.31857/S2686739720050072

Окраинно-шельфовая зона Восточно-Сибирского моря (ВСМ), континентальный склон и котловина Подводников Северного Ледовитого океана (рис. 1) являются в настоящее время объектами пристального внимания ученых мирового и российского научного сообщества. Интерес к этим объектам обусловлен не только их слабой изученностью, но и наличием геологических признаков нефтегазоносности [1–4]. В настоящей работе представлены новые данные газогеохимических исследований донных осадков, являющихся информационной базой для оценки перспектив нефтегазоносности.

В процессе газогеохимических исследований использовался метод отбора керн донных отложений из гидростатических трубок в герметические сосуды с последующей их дегазацией, хроматографическим, изотопным и химическим

анализом газа и осадков в лабораториях газогеохимии и геохимии осадочных процессов ТОИ ДВО РАН, лаборатории стабильных изотопов и аналитической химии ДВГИ ДВО РАН, по аттестованным Росстандартом и оптимизированным для выполнения исследований методикам.

В составе газов донных отложений района исследований в интервале опробования 0.7–5.0 м установлены метан в концентрациях 0.0006–0.0122% (0.001–0.102 см³/кг) и его гомологи (до пентана включительно); в сумме – 0.00002–0.002% (0.00007–0.0055 см³/кг), углекислый газ – 0.2–4.6 (0.4–9.9), гелий – 0.00014–0.0015 (0.0003–0.005), водород – 0.0007–0.025 (0.0034–0.05), а также азот и аргон в сумме до 99%, редко – окись углерода и сероводород – до 0.001 и 0.002%.

В основе определения генезиса и идентификации углеводородных газов (УВГ) донных осадков использовался комплекс количественных геохимических показателей: молекулярной массы УВ-фракции (МуВ), весовых концентраций индивидуальных УВ и их соотношений – коэффициентов “сухости” (Ксух), “влажности” (Квл) и преобразованности (Кпр), а также значения изотопного состава углерода СН₄, С₂Н₆, и СО₂. Коэффициенты Кпр, Ксух и Квл представлены соотношениями: (С₂ × С₄): С₃ [6], С₁: ∑ С₂–С₅ [7] и ∑ С₂–С₅:

¹ Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

² Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

³ Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

*E-mail: gresov@poi.dvo.ru

**E-mail: yatsuk@poi.dvo.ru

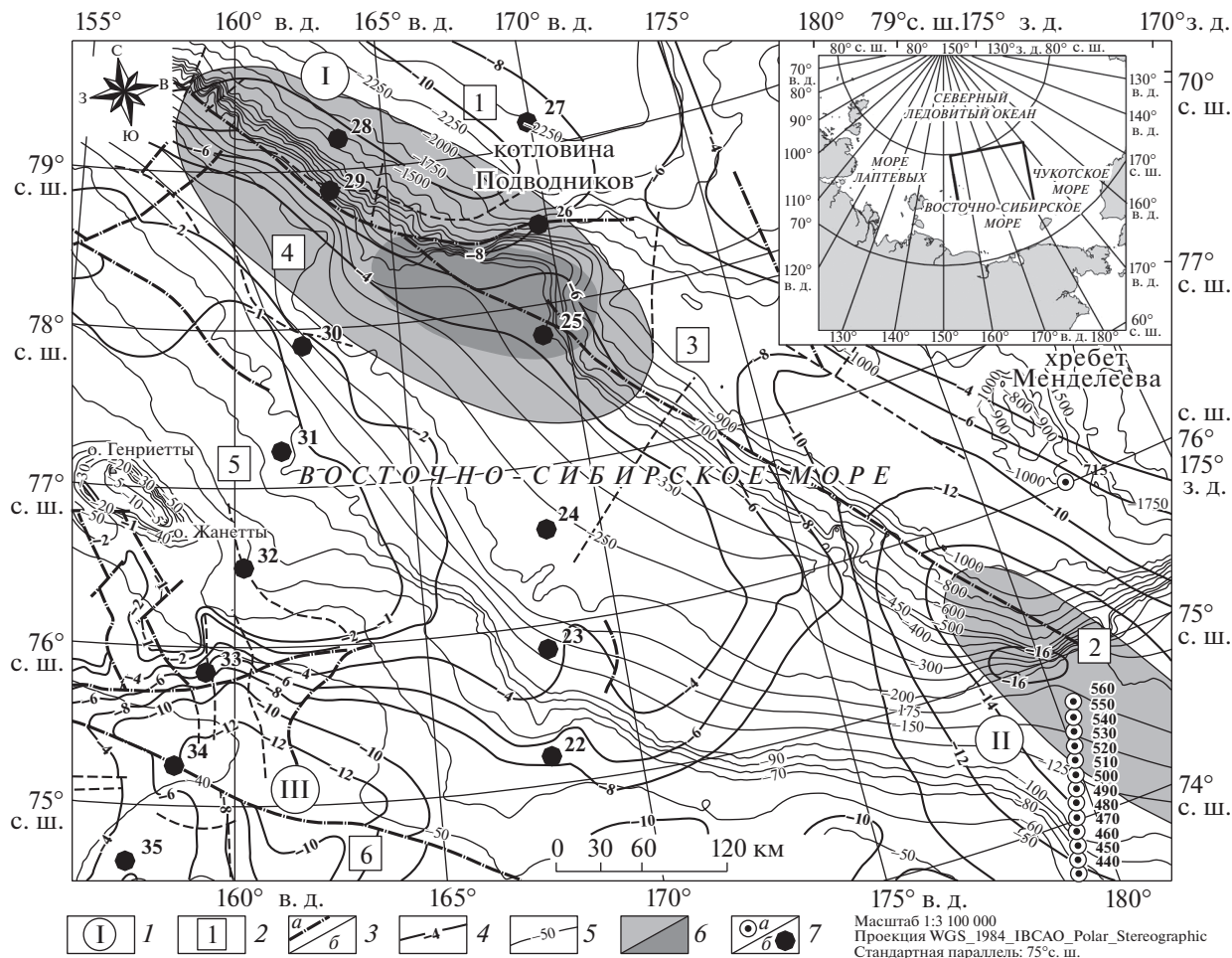


Рис. 1. Структурно-тектоническая карта района исследований [4, 5]: 1 – осадочные бассейны: I – Предвосточносибирский, II – Северо-Чукотский, III – Новосибирский; 2 – геоструктуры: 1 – Предвосточносибирский прогиб, 2 – Северо-Чукотский прогиб, 3 – поднятие Кучерова, 4 – Ломоносово-Менделеевская флексурно-разломная зона, 5 – поднятие Лонга, 6 – Новосибирско-Чукотский прогиб; 3 – тектонические нарушения: а – установленные, б – предполагаемые; 4 – стратоизогипсы, км; 5 – изобаты, м; 6 – площади распространения предполагаемых газонефтяных и нефтяных залежей (серая и темно-серая заливка); 7 – донные станции и их номера: а – рейс LV-45 (2008 г.), б – LV-77 (2016 г.). На врезке – географическое расположение района исследований.

$\sum C_1-C_5 \times 100\%$ [8, 9], где C_1-C_5 – весовые концентрации УВ в долях на 1000 (табл. 1).

Исходя из полученных показателей Мув 16.3–27.5 г/моль, Кпр – 4–327, Ксух – 0.4–39, Квл – 2.6–69.7 и значений $\delta^{13}\text{C}$ CH_4 , C_2H_6 , CO_2 (табл. 1), в донных осадках района исследований наблюдается распространение эпигенетических газов семи генетических групп, поступающих из подстилающих предполагаемых газоматеринских источников в процессе природной диффузии и миграции по зонам разломов и тектонических нарушений (табл. 2). При этом установлено, что формирование состава газа донных осадков подчиняется правилам аддитивности, т.е. последовательного накопления эпигенетических УВГ с доминированием газовой фазы и газогеохимиче-

ских показателей более газонасыщенного газоматеринского источника.

Установленные изотопно-газогеохимические показатели УВГ генетических групп достаточно близки по значениям к их аналогам изученных геоструктур и осадочных бассейнов ВСМ [11–13] и углефтегазоносных бассейнов Востока России в целом [14].

В донных осадках района исследований выделены три группы химических элементов – окраинно-шельфовой зоны (поднятия Лонга, Северо-Чукотского осадочного бассейна), континентального склона (Ломоносово-Менделеевской флексурно-разломной зоны, Предвосточносибирского и Северо-Чукотского бассейнов), террас и подножья котловины Подводников (Предвосточносибирского бассейна).

Таблица 1. Результаты определения газогеохимических показателей донных осадков

Показатели	Окраинно-шельфовая зона		Континентальный склон	Терраса и подножье котловины
	внешний шельф	бровка шельфа		
Глубина моря, м	65–100	101–200	201–1200	1300–2700
Длина керна, см	70–240		100–320	370–500
№/№ станций	22, 31, 32, 440–500	23, 30, 510–550	24, 25, 29, 560, 715	26, 27, 28
Средние значения газогеохимических показателей				
CO ₂ , см ³ /кг	1.39	4.76	1.21	1.97
H ₂ , см ³ /кг	0.0262	0.0299	0.0200	0.0485
He, см ³ /кг	0.0024	0.0035	0.0016	0.0021
CH ₄ (C ₁), см ³ /кг	0.047	0.008	0.014	0.022
∑ C ₂ –C ₅ , см ³ /кг	0.0013	0.0008	0.0024	0.0026
M _{ув} , г/моль	18.20	20.05	21.37	20.90
K _{гр}	98.5	92.2	178.4	197.6
K _{вл}	20.5	30.5	43.1	48.4
K _{сух}	13.1	3.4	2.8	1.1
δ ¹³ C CH ₄ , ‰	–57.2	–46.6	–43.8	–40.4
δ ¹³ C C ₂ H ₆ , ‰	–25.6	–21.2	–21.0	–19.4
δ ¹³ C CO ₂ , ‰	–22.9	–21.3	–20.8	–19.6
C _{орг} , %	1.36	1.27	0.62	0.30
Концентрации химических элементов (г/т), геохимические модули				
Si	296113	288175	285706	279739
1. Hg, Sr, Ba, Ca	28, 193, 615, 5768	30, 196, 622, 6202	29, 173, 579, 4924	15, 172, 554, 4509
2. Co, Ni, V,	16.5, 37.9, 161	21.9, 41.9, 181	23.1, 48.2, 185	17.6, 41.7, 183
Cd, Cu, Zn,	0.15, 20.0, 114	0.19, 23.7, 139	0.21, 30.5, 142	0.15, 25.6, 123
Ti	3673	3707	4392	4218
3. Mn, Fe, Al,	360, 40263, 82042	644, 40781, 84002	817, 47613, 86393	1376, 50567, 87068
Mg, K,	10183, 26393	11090, 27280	12350, 27222	12750, 28073
Ag, Mo, Cr.	0.21, 2.17, 70.5	0.22, 2.34, 72.4	0.27, 2.25, 81.3	0.34, 3.60, 91.3
Tl, Th, As, Pb	0.7, 11.3, 16.6, 20	0.6, 9.9, 13.1, 18.6	0.7, 12.4, 18.3, 21.5	0.8, 14.8, 22, 26
Ta, W, Hf, Nb, Zr, Rb	0.74, 1.3, 2.9, 10.5, 119, 128	0.65, 1.0, 2.4, 9.3, 92, 104	0.83, 1.5, 3.1, 11.8, 128, 134	0.89, 1.7, 3.4, 12.4, 130, 146
Be, Cs, Li	2.3, 6.7, 52.1	2.0, 5.3, 41.7	2.5, 7.3, 58.1	2.7, 8.2, 61.6
Lu, Tm, Tb, Ho	0.34, 0.34, 0.8, 0.8	0.29, 0.30, 0.6, 0.7	0.39, 0.42, 0.8, 0.9	0.42, 0.45, 0.9, 1.0
Eu, Yb, Er, Dy	1.3, 2.3, 2.3, 4.2	1.2, 2.0, 2.1, 3.7	1.4, 2.6, 2.6, 4.5	1.6, 2.9, 2.9, 4.9
Gd, Sm, Pr, Sc	5.3, 6.3, 8.2, 13.3	4.7, 5.4, 7.0, 11.9	5.8, 6.6, 8.7, 15.3	6.3, 7.2, 9.4, 16.7
Y, Nd, La, Ce	22.2, 31.5, 34.3, 71	22.5, 26.8, 28.9, 54	25.0, 33.0, 28.9, 70	25.0, 35.6, 39.2, 81
∑ PЗЭ(REE)	204.4	172.1	206.9	235.5
Al/Si	0.278	0.295	0.303	0.313
Mn/Fe, Mn + Fe/Ti	0.009, 11.0	0.016, 11.1	0.018, 11.2	0.029, 12.3

Примечание: минимальные значения выделены курсивом, максимальные – полужирным текстом. Химический состав осадков донных станций 440–560 взят из [10].

Таблица 2. Средние значения установленных геохимических показателей УВГ донных осадков района исследований для предполагаемых газоматеринских источников

Газоматеринский источник (донные станции)	Весовые концентрации (в долях целого на 1000)					M _{ув} , г/моль	Геохимические коэффициенты		
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅		Кпр	Квл	Ксух
Каменные угли (450, 490, 500)	975	8	7	7	4	16.32	9.1	0.3	36
Твердые битумы (23, 460, 470)	851	53	28	51	16	17.65	96.7	16.5	5.8
Конденсатногазовые скопления и залежи (22, 715)	891	39	28	41	1	17.16	56.0	11.6	8.2
Газоконденсатные скопления и залежи (440, 510, 520, 540)	818	34	26	73	49	18.28	84.6	22.3	4.6
Нефтегазовые скопления и залежи (24, 27, 31, 480, 530, 560)	657	121	121	78	23	20.20	105.6	37.4	2.0
Газонефтяные скопления и залежи (30, 32)	531	177	119	120	26	22.17	232.0	47.0	1.2
Нефтяные скопления и залежи (25, 26, 28, 29, 550)	480	195	109	110	105	24.33	222.6	55.5	0.8

Установлено, что основным химическим элементом осадков является Si, максимум концентраций которого наблюдается в пределах окраинно-шельфовой площади ВСМ. Здесь же на бровке шельфа (поднятии Лонга и южном крыле Северо-Чукотского бассейна) максимумом концентраций характеризуются элементы *первой группы* – Hg, Sr, Ba, Ca, содержания которых в 1.2–2 раза превышают минимальные их значения, установленные в котловине Подводников. Концентрации элементов характеризуются положительной корреляцией с содержанием Сорг, значениями показателя Ксух и отрицательной – с показателями $\delta^{13}\text{C}$ CH₄, C₂H₆, CO₂, Mув, Кпр и Квл (табл. 1).

Максимумы концентраций элементов *второй группы* (Co, Ni, V, Cd, Cu, Zn, Ti) наблюдаются в пределах континентального склона Северного Ледовитого океана (Ломоносово-Менделеевской флексурно-разломной зоны, центральной части Северо-Чукотского и Предвосточносibirского бассейнов) на площадях распространения предполагаемых нефтегазовых, газонефтяных и нефтяных залежей, минимумы – внешнего шельфа (поднятия Лонга). Концентрации элементов группы характеризуются положительной корреляцией со значениями показателей $\delta^{13}\text{C}$ CH₄, C₂H₆, CO₂, Mув, Кпр, Квл. Содержания элементов в 1.2–1.5 раза превышают минимальные их значения, установленные на поднятии Лонга и южном крыле Северо-Чукотского бассейна.

Химические элементы *третьей группы* (Ta, W, Hf, Nb, Zr, Rb, Be, Cs, Li, Tl, Th, As, Pb и редкоземельные металлы) характеризуются максимумами содержаний в пределах террас и подножья котловины Подводников Северного Ледовитого

океана на площадях распространения прогнозных нефтегазовых и газонефтяных залежей и минимальными – в пределах окраинно-шельфовой зоны ВСМ. Концентрации элементов группы в 1.2–3.8 раза превышают их минимальные значения, установленные на поднятии Лонга, и характеризуются положительной корреляцией со значениями показателей $\delta^{13}\text{C}$ CH₄, C₂H₆, CO₂, Кпр, Квл. Аналогичная изменчивость показателей установлена и для значений суммы редкоземельных элементов (увеличение в 1.4 раза) и железомарганцевого модуля (в 3.2 раза). Возрастание значений алюмосиликатного и титанового модуля незначительное и не превышает 11–12%.

В целом вышеуказанные особенности распределения химических элементов в отложениях исследованных осадочных бассейнов в пределах предполагаемых газонефтяных и нефтяных залежей совпадают с выводами работы [15].

Исходя из результатов газогеохимических исследований, следует, что наиболее высокой нефтеперспективностью характеризуются центральная часть Северо-Чукотского осадочного бассейна, Ломоносово-Менделеевская флексурно-разломная зона, континентальный склон, террасы и подножье котловины Подводников (рис. 1).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность руководству ФГУНПП «Севморгео», А.С. Астахову и Р.Б. Шакирову за поддержку в проведении экспедиционных газогеохимических исследований, а также К.И. Аксентову, В.В. Сатаровой и А.В. Алаторцеву за подготовку проб донных осадков для проведения химических анализов.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта № 18–05–70038 “Ресурсы Арктики”, в рамках гостемы № 0271–2019–0006 “Газогеохимические поля морей Востока Азии, геодинамические процессы и потоки природных газов, влияющие на формирование геологических структур с залежами углеводородов и аутигенной минерализации в донных осадках”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Наливкин В.Д., Белонин М.Д., Буянов Н.И.* // Советская геология. 1976. № 1. С. 28–39.
2. *Полякова И.Д., Борукаев Г.Ч.* // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2018. Т. 13. № 2. http://www.ngtr.ru/rub/5/17_2018.pdf.
3. *Казанин Г.С., Барабанова Ю.Б., Кириллова-Покровская Т.А., Черников С.Ф., Павлов С.П., Иванов Г.И.* // Разведка и охрана недр. 2017. № 10. С. 51–55.
4. Геологическая карта масштаба 1 : 1 000 000. Серия Лаптево-Сибироморская, Океанская. Лист Т-57-60 – остров Генриетты. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2015. 84 с.
5. Государственная геологическая карта России и прилегающих акваторий. Масштаб 1:2 500 000. СПб.: ВСЕГЕИ, 2016.
6. *Высоцкий И.В.* Геология природного газа. М.: Недра. 1979. 392 с.
7. *Нестеров И.И.* Критерии прогнозов нефтегазоносности. М.: Недра. 1969. 334 с.
8. *Abrams M.A.* // Marine and Petroleum Geology. 2005. № 22. P. 457–477.
9. *Abrams M.A.* // Geosciences. 2017. № 7. P. 29–35.
10. *Шакиров Р.Б., Сорочинская А.В., Обжиров А.И.* // Вестник КРАУНЦ. 2013. № 1. С. 98–110.
11. *Гресов А.И., Шахова Н.Е., Сергиенко В.И., Яцук А.В., Семилетов И.П.* // ДАН. 2016. № 6. С. 711–713.
12. *Гресов А.И., Обжиров А.И., Яцук А.В. и др.* // Тихоокеан. геология. 2017. № 4. С. 78–84.
13. *Гресов А.И., Яцук А.В.* // Тихоокеан. геология. 2020. № 1. С. 92–101.
14. *Гресов А.И.* // Тихоокеан. геология. 2011. № 2. С. 85–101.
15. *Лебедев Б.А.* Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. Л.: Недра, 1992. 239 с.

GAS-GEOCHEMICAL INDICATORS OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE NORTHERN PART OF THE EAST-SIBERIAN SEA AND PODVODNIKOV BASIN OF THE ARCTIC OCEAN

A. I. Gresov^{a,#}, Academician of the RAS V. I. Sergienko^b, A. V. Yatsuk^{a,##}, N. V. Zarubina^c, and V. V. Kalinchuk^a

^a *P'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

^b *Institute of Chemistry, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

^c *Far East Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

[#] *E-mail: gresov@poi.dvo.ru*

^{##} *E-mail: yatsuk@poi.dvo.ru*

New data about gas and chemical composition of bottom sediments of the marginal-shelf part of East Siberian Sea, continental slope and Podvodnikov basin of the Arctic Ocean are presented. The genetic indicators of seven groups of epigenetic hydrocarbon gases were determined. The distribution areas of the potential oil and gas, gas and oil and oil deposits have been established. In the bottom sediments, three groups of chemical elements have been established whose concentration maxima are associated with certain geostructures of the study area.

Keywords: bottom sediments, hydrocarbon gases, gas-geochemical indicators, genesis, oil and gas, East Siberian Sea, Podvodnikov basin