

УДК 553.981; 551.35

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В ОСАДКАХ ТАТАРСКОГО ТРОГА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

© 2023 г. Р. Б. Шакиров^{1,*}, А. В. Яцук¹, А. В. Сорочинская^{1,**}, К. И. Аксентов¹, Д. С. Максеев¹

Представлено академиком РАН Г.И. Долгих

Поступило 07.07.2023 г.

После доработки 14.08.2023 г.

Принято к публикации 15.08.2023 г.

Представлены результаты газогеохимических и литогеохимических исследований современных донных осадков трого Татарского пролива (Японское море) по данным рейсов на НИС “Академик М.А. Лаврентьев” (LV-81 и LV-85). Выявлены аномалии углеводородных газов (УВГ) и химических элементов в поверхностных донных отложениях. Установлено, что осадки с аномальными содержаниями метана значительно обогащены Mn, Sc, V, Co, Ni, Cu, As, Se, Mo, Cd, Sb, Te, Tl, U, коэффициенты концентрирования (K_k) которых в 1.3–5.9 раза превышают аналогичные их значения на других донных станциях. Полученные данные позволяют предположить наличие новых источников миграции УВГ, а континентальный склон и глубоководная акватория Татарского трого перспективны для постановки детальных работ по оценке нефтегазоносности и газогидратоносности. Исследования соответствуют задачам рабочей группы “Газогидраты и потоки метана в Индо-Тихоокеанском регионе” подкомиссии ВЕСТПАК Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО.

Ключевые слова: метан, углеводородные газы, химические элементы, донные осадки, Татарский трог, Японское море

DOI: 10.31857/S2686739723601540, **EDN:** UOADEY

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое внимание уделяется широкомасштабным специализированным работам по оценке нефтегазоносности и газогидратоносности континентального склона и глубоководной акватории российского сектора Японского моря [1, 2]. Первые сведения о распространении УВГ в донных отложениях изучаемого района были получены в рамках российско-корейско-японского проекта САХАЛИН 2012–2015 (SSGH – Sakhalin Slope Gas Hydrate Project). Согласно проекту было проведено в Южно-Татарском осадочном бассейне четыре морских экспедиции на НИС “Академик М.А. Лаврентьев” (LV-59, LV-62, LV-67, LV-70) [3–6]. Научно-исследовательские морские экспедиции LV-81 (май 2018 г.) и LV-85 (май–июнь 2019 г.) позволили дополнить предыдущие исследования и объединить их в единый полигон. Полученные данные указывают на

существование в пределах Татарского пролива активных флюидопроводящих зон, которые формируют локальные аномалии в верхнем слое осадков. Таким образом, существуют определенные газоматеринские источники этих аномалий, детализация и исследования которых являются важными для дальнейшего развития нефтегазового потенциала региона. В данной статье использовались материалы, полученные в морских экспедициях LV-81 и LV-85. Целью исследований являлось изучение особенностей распределения углеводородных газов и химических элементов в поверхностных донных осадках Татарского трого (рис. 1).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При изучении распространения и генезиса природных газов отличается высокой эффективностью газогеохимический метод, позволяющий выявлять и прогнозировать скопления углеводородных газов (УВГ) в осадочном чехле [9, 10]. Отбор проб, их подготовка и аналитические исследования проводились согласно сертифицированной методике, принятой в лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН. Газохроматографический анализ осуществлялся на борту судна на

¹Федеральное государственное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

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

**E-mail: sorochin2001@mail.ru

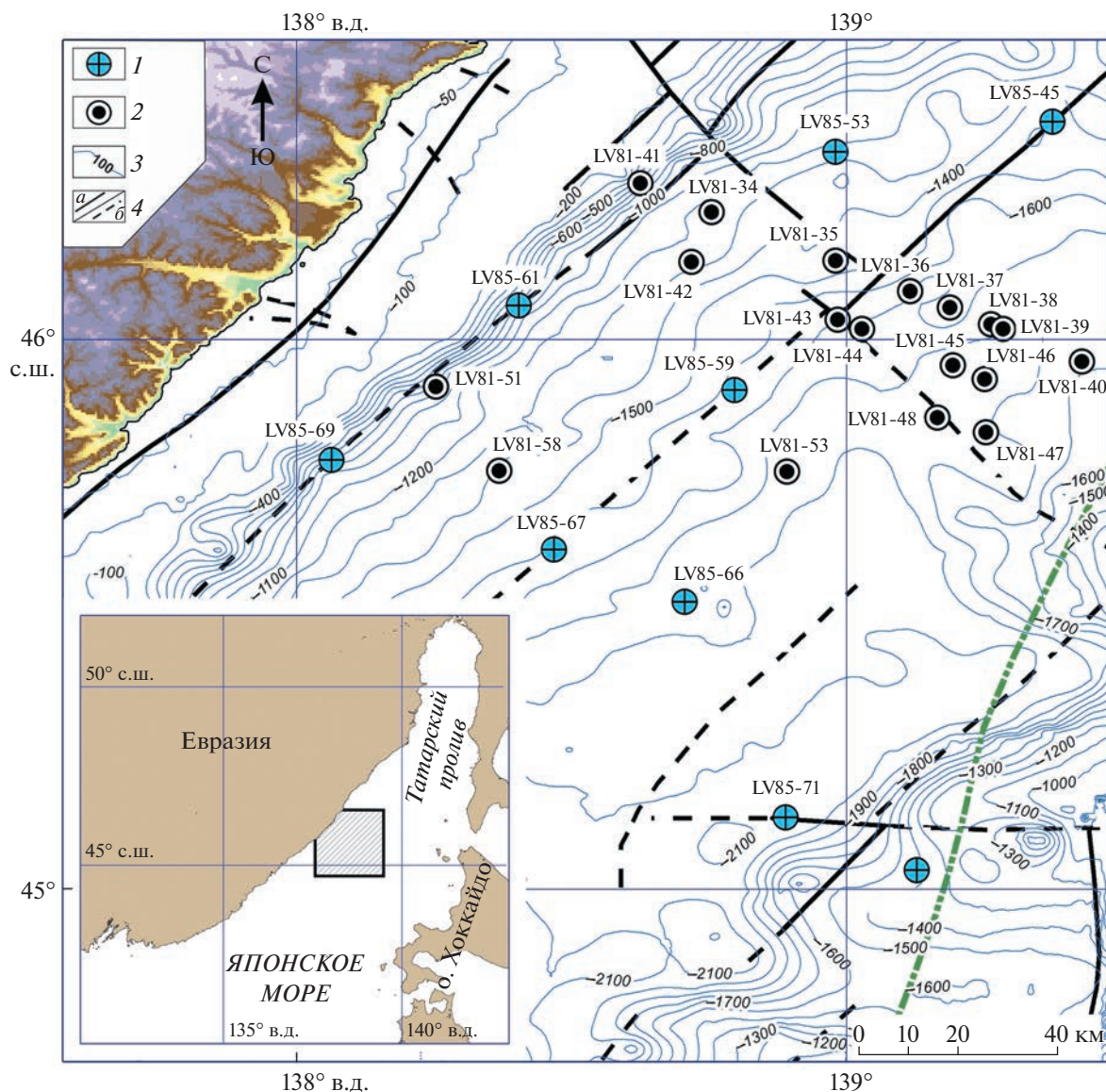


Рис. 1. Структурная карта района исследований Татарского трога (Японское море): 1 – станции рейса LV-85; 2 – станции рейса LV-81; 3 – изобаты, м [1]; 4 – тектонические нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые [7, 8].

отечественном газовом хроматографе “КРИСТАЛЛЮКС-4000М” по методикам лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН (Паспорт Лаборатории 1.051–21, Заключение Росстандарта № 58). Было определено содержание углеводородных газов: метана, этана, этилена, пропилена, пропана, бутана, а также углекислого газа, водорода и гелия. Для получения дополнительной информации о современных геологических процессах изучался валовый элементный состав донных осадков: макрокомпонентный состав определялся на рентгенофлуоресцентном анализаторе DELTA “Olimpus” (США), микрокомпонентный состав – на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 с (“Agilent Technologies”, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении газогеохимических особенностей Татарского трога детально были рассмотрены 27 станций геологического опробования. В компонентном газовом составе донных отложений определены метан, этан, этилен, пропилен, пропан, бутан, углекислый газ, водород и гелий. Содержание метана (CH_4) в пробах составляло от 1.19 ppm (10^{-4} об. %) до 196295 ppm (19.62 об. %). Максимальные концентрации метана, до 95032–196295 ppm (9.50–19.62%), зафиксированы в осадках континентального склона на западном фланге Татарского трога на станциях LV81-51 и LV81-42 и более глубоководной LV85-67, глубины

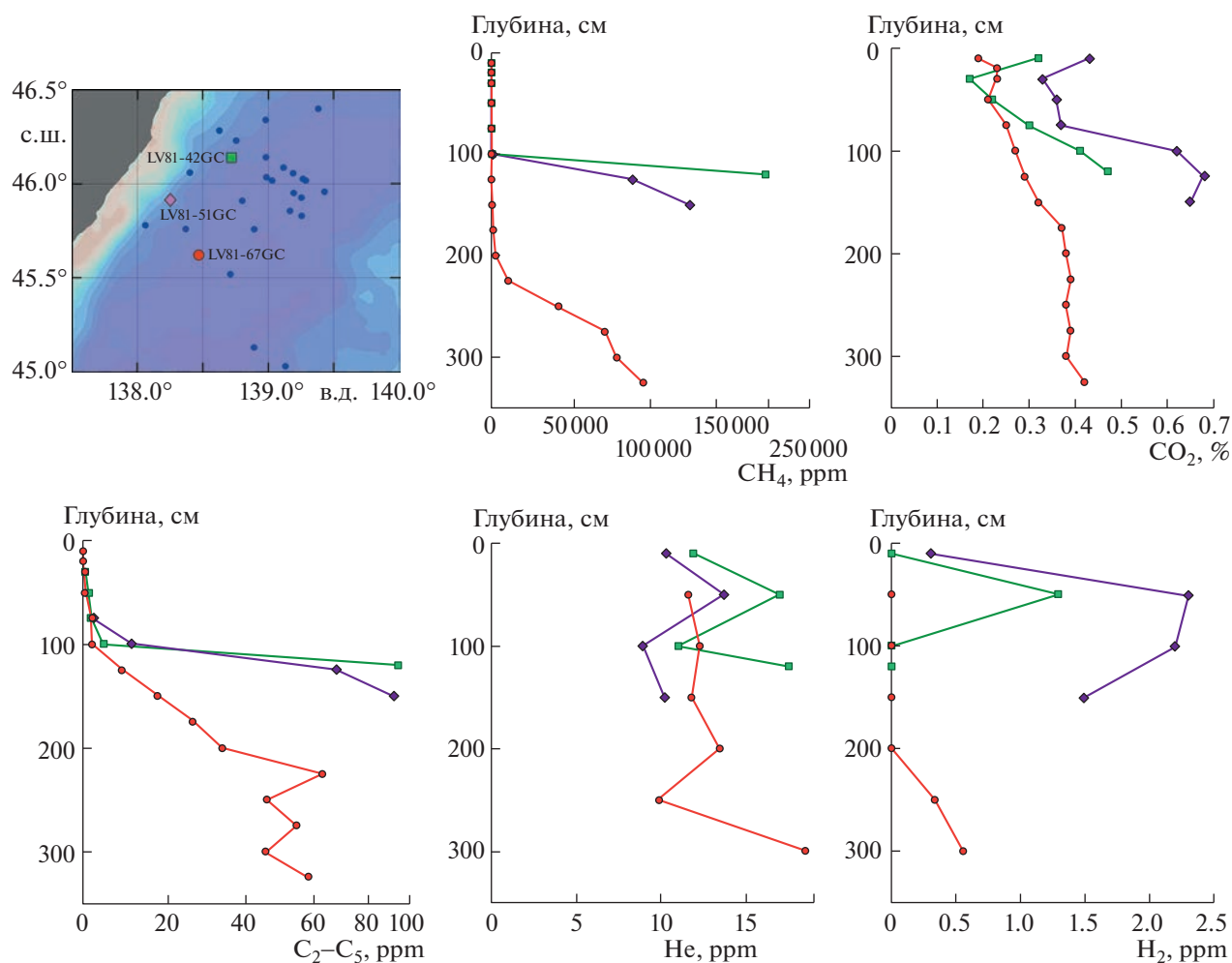


Рис. 2. Графики распределения основных газовых компонентов по колонкам с аномальным содержанием метана и его гомологов.

отбора осадка соответственно 851, 1381, 1987 м (рис. 2). Температуры осадка в забое этих станций от +1.2 до +2.3°C. Донные отложения с подобным уровнем газонасыщенности являются потенциально газогидратоносными с учетом термобарических условий, благоприятных для образования и накопления газогидратов.

Предыдущими исследованиями установлено, что для поверхностного слоя (0–15 см) донных осадков северной части Татарского трога (Южно-Татарский осадочный бассейн, Японское море) значения регионального фонового показателя концентраций метана не превышают 5.2 ppm, а в пределах распространения гидратоносных отложений концентрации метана достигают 149000 ppm (14.9%) [11].

Углеводородные газы C_2-C_5 в сумме определены в концентрациях от 0.01 до 94.40 ppm. Максимальные концентрации этана и пропана обнаружены в колонках с аномальным содержанием ме-

тана (рис. 2). Вниз по разрезу колонок наблюдается тенденция к увеличению концентраций УВГ. Содержание углекислого газа варьирует от 0.02 до 0.68%. Водород определен в концентрациях 0.1–41.25 ppm, гелий – 5.87–18.52 ppm при фоновых концентрациях водорода 5.4 ppm и гелия – 5.6 ppm [12].

По гранулометрическим показателям основная часть поверхностных донных отложений Татарского трога представлена алевритами, отдельные пробы – алевритами пелитовыми. На станциях, расположенных ближе к берегу, отмечается наличие песчанистой фракции (до 10%). Средние содержания химических элементов, статистические параметры их распределения в донных осадках Татарского трога приведены в табл. 1. По химическому составу исследуемые осадки близки к обычным терригенным обломочно-глинистым отложениям, но отличаются вариациями в содержании основных оксидов (%): SiO_2 57.8–64.1;

Таблица 1. Содержания химических элементов в поверхностном слое донных осадков Татарского трога, значения литохимических модулей, статистические параметры, коэффициенты концентрирования (K_k)

Элементы и литологические модули	Содержание				Среднее содержание для осадочных пород	
	$x_{\max}$	$x_{\min}$	$x_{\text{ср}}$	δ	Содержание	K_k
Si, %	29.97	27.02	28.52	0.82	23.8*	1.20
Al	7.77	6.23	6.67	0.33	10.45*	0.64
Ti	0.40	0.25	0.29	0.03	0.45*	0.64
Fe	3.93	3.03	3.42	0.22	3.33*	1.03
Mn	1.73	0.02	0.48	0.44	0.097**	4.95
V, г/т	138.0	85.13	101.14	9.89	120**	0.85
Cr	53.18	38.41	48.43	2.90	76**	0.64
Co	31.39	6.78	14.69	6.24	19**	0.75
Ni	90.00	22.08	49.71	18.54	47**	1.07
Cu	49.00	21.42	35.21	7.23	36**	0.98
Zn	124.0	82.79	97.52	10.97	52**	1.88
As	13.00	5.25	8.57	1.90	9.3**	0.92
Se	2.35	0.51	0.85	0.36	0.36**	2.40
Zr	83.60	48.61	65.64	10.66	190**	0.34
Mo	27.00	0.82	7.70	7.97	1.6**	4.90
Sb	2.50	1.00	1.60	0.38	1.0**	1.60
Cd	1.41	0.11	0.23	0.25	1.0**	0.24
Ba	650.4	360.6	537.89	82.32	4.60**	1.17
Hf	2.11	1.60	1.87	0.14	5.0**	0.37
W	2.90	1.01	1.66	0.48	2.6**	0.41
Te	0.18	0.057	0.13	0.03	10**	0.13
Tl	0.80	0.33	0.46	0.11	1.3**	0.58
Bi	0.69	0.34	0.53	0.10	0.38**	1.38
Pb	41.00	24.34	32.83	4.53	14**	2.34
U	7.15	1.35	1.99	1.13	4.5**	0.45
(Mn + Fe)/Ti	23.54	7.50	13.01	3.55	—	—
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.24	0.19	0.21	0.01	—	—
Mn/Fe	0.49	0.01	0.14	0.12	—	—
Zr/Hf	46.44	24.99	35.30	6.20	—	—

* — среднее содержание для осадочных пород [13], ** — среднее содержание для осадочных пород [14], прочерк — значения не рассчитывались.

Al₂O₃ 11.8–14.7; K₂O 3.3–4.3; CaO 0.76–4.4; TiO₂ 0.42–0.67; MnO₂ 0.03–2.22; Fe₂O₃ 4.3–5.6.

Приведенные в табл. 1 литохимические модули [15] характеризуют поверхностные осадки Татарского трога как терригенные отложения без существенного гидротермального влияния: величины модулей Страхова (Mn + Fe)/Ti [16] варьируют от 7.9 до 20.9, отношение Zr/Hf — в пределах

25.0–46.4 [17]. Алюмокремниевый модуль Al₂O₃/SiO₂, характеризующий степень химической дифференциации силикатов и алюмосиликатов в процессе постседиментационного преобразования осадков, меняется от 0.19 до 0.24, что типично для терригенных осадков. Более значителен разброс величин железомарганцевого модуля Mn/Fe (0.008–0.490), который отражает сте-

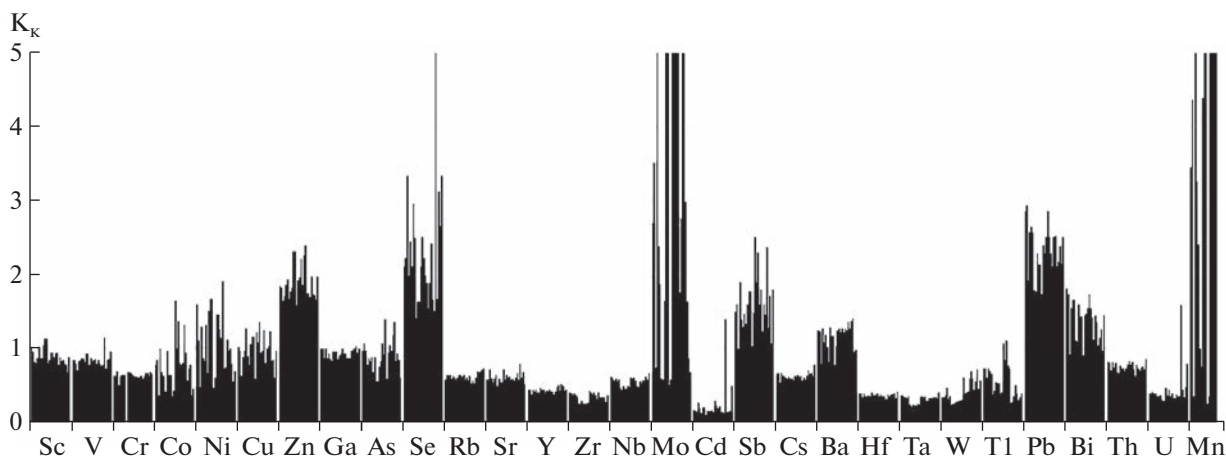


Рис. 3. Коэффициенты концентрирования элементов-примесей в поверхностном слое осадков Татарского трого.

пень дифференциации этих элементов в морской среде. Для осадков западной части Татарского трого (LV81-33, LV81-41, LV81-42, LV81-51) отношение Mn/Fe не превышает 0.03 и определяет эти отложения как типично терригенные. В осадках глубоководных станций в центре Татарского трого (станции LV81-43, LV81-44) отмечаются максимальные величины Mn/Fe (0.490) и максимальные значения модуля Страхова, что может указывать на существенную роль аутигенных минералов в осадке [15].

Для изучения особенностей распределения химических элементов в осадках использовались коэффициенты концентрирования (K_k), величины которых определяются как отношение содержания химического элемента в пробе к среднему содержанию в осадочных породах [13, 14]. Приведенные в табл. 1 данные показали, что осадки обеднены большинством элементов (Al, Ti, Ca, Co, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cd, Sn, Cs, Hf, W, Th, U), их коэффициенты концентрирования (K_k) не превышают 0.7. Средние значения концентраций в осадках для Fe, K, Li, Be, Sc, V, Cr, Ni, Cu, Ga, As, Ba близки к кларковым величинам в осадочных породах ($K_k = 0.8-1.2$). Максимальные значения K_k (1.3–16.9) характерны для Mn, Zn, Se, Mo, Sb, Pb, Bi.

Установлено, что поверхностные донные отложения станций, где зафиксированы аномальные и повышенные значения УВГ, значительно обогащены рядом химических элементов по сравнению с другими донными станциями.

Колонка LV81-51, глубина пробоотбора 851 м (рис. 1, 2). Содержания метана увеличиваются вниз по разрезу колонки от 3.85 до 12 8861 ppm (12.86%), этана — от 0.02 до 91.49 ppm, пропана — от 0.01 до 0.39 ppm. Отсутствие непредельных гомологов и повышенный уровень содержания этана и пропана являются прямым признаком нали-

чия глубинного миграционного газового потока. Поверхностные донные осадки данной станции характеризуются повышенными по отношению к кларку содержаниями Zn ($K_k - 1.6$), Se ($K_k - 3.3$), Pb ($K_k - 1.9$).

Колонка LV81-42 отобрана с глубины 1381 м (рис. 1, 2). Концентрация метана в поверхностном слое 10.73 ppm, на нижнем горизонте — 196295 ppm (19.6 об. %). В составе УВГ также присутствуют этан (до 92.4 ppm), пропан (до 0.93 ppm). Содержания Cu, Zn, Se, Sb, Pb, Bi в поверхностном слое осадка выше средних содержаний в осадочных породах (K_k от 1.2 до 2.5).

Колонка LV85-67 (1687 м), расположенная в зоне предполагаемого разлома северо-восточного простирания, содержит метан в концентрациях до 95032 ppm (9.5 об. %), этан — до 57.6 ppm, пропан — до 0.4 ppm. В поверхностных донных осадках присутствуют в повышенных концентрациях Cu, As, Mo, Sb, Ba, Pb и в аномальных концентрациях V, Se, Cd, U [18]. Средние величины коэффициентов концентрирования этих элементов в 1.3–6 раза превышают аналогичные их значения в осадках других донных станций.

Аномальные содержания УВГ в изученных колонках характерны для донных отложений, содержащих газогидраты, и могут быть индикаторами их наличия в более глубоких горизонтах [11, 12, 19].

Следует отметить, что в поверхностном слое осадков глубоководных колонок из центральной части Татарского трого (LV81-44, LV81-43, LV81-46, LV81-45, LV81-36; глубины 1687–1853 м) были также зафиксированы повышенные содержания метана (до 413.78 ppm) и содержания Co, As, Mo, Sb, Te, Pb, Bi, Mn в 1.2–3.5 раза выше по сравнению с другими станциями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования осадков в пределах Татарского трога с помощью газогеохимического метода позволили выявить участки с аномальными и повышенными содержаниями УВГ по краям глубоководной впадины и в ее центральной части. Уровень концентраций УВГ, характер их распределения и термобарический фактор позволяют предположить наличие газогидратов в данном районе.

Литогеохимическое изучение поверхностных донных осадков, вмещающих УВГ, показало, что они представлены, в основном, алевритовыми разностями, и по величинам модулей Страхова, алюмокремниевое модуля и отношения Zr/Hf характеризуются как типично терригенные без существенного гидротермального влияния. Установлено, что в зонах газовых аномалий наблюдаются повышенные концентрации Mn, Sc, V, Co, Ni, Cu, As, Se, Mo, Cd, Sb, Te, Tl, U, коэффициенты концентрирования которых в 1.3–5.9 раза превышают аналогичные их значения на других донных станциях. Причиной этому являются, очевидно, постседиментационные изменения в осадках, связанные с поступлением в осадки флюидов, формирование специфических гидрогазогеохимических условий, что способствует накоплению ряда элементов.

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности проведения детализационных комплексных литолого-газогеохимических и нефтегазописковых исследований в пределах Татарского трога Японского моря в целях развития минерально-сырьевой базы России.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность М.Г. Валитову (ТОИ ДВО РАН) за организацию экспедиций и поддержку в проведении морских газогеохимических исследований.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Газогеохимические и аналитические исследования выполнены в рамках Гостемы ТОИ ДВО РАН № 0211-2021-0006 “Газогеохимические поля Мирового океана, геодинамические процессы и потоки природных газов, влияющие на формирование геологических структур с залежами углеводородов и аутигенной минерализации” (121021500055-0).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жаров А.Э., Кириллова Г.Л., Маргулис Л.С. и др. Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива. Владивосток: Дальнаука, 2004. 220 с.
2. Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Научный мир, 2010. 276 с.

3. Operation Report of Sakhalin slope gas hydrate Project 2012, RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 59 / Y.K. Jin, et al. (Eds). Korea Polar Res. Inst., Incheon. 2013. 163 p.
4. Operation Report of Sakhalin slope gas hydrate Project II, 2013, RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 62 / H. Shoji, et al. (Eds). New Energy Resources Res. Center, Kitami Inst. of Technology. 2014. 111 p.
5. Operation Report of Sakhalin slope gas hydrate Project II, 2014, RV Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 67 / Y.K. Jin, et al. (Eds). Korea Polar Res. Inst., Incheon. 2015. 121 p.
6. Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project II, 2015, R/V Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 70 / H. Minami, et al. (Eds). Kitami Institute of Technology, Kitami. 2016. 119 p.
7. GEBCO Bathymetric Compilation Group 2019. The GEBCO_2019 Grid – a continuous terrain model of the global oceans and land. British Oceanographic Data Centre, National Oceanography Centre, NERC, UK. 2019.
8. Государственная геологическая карта масштаба 1 : 1000000 (новая серия). Лист L-53–54 – Кавалерово. Объяснительная записка. СПб: ВСЕГЕИ, 1994, 176 с.
9. Обжиров А.И. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 с.
10. Илатовская П.В., Семенов П.Б., Рыськова Е.О. и др. Распределение газообразных углеводородов в донных отложениях и придонно-пограничном слое водной толщи континентального шельфа южного Вьетнама // Нефтегазовая геология: Теория и практика. 2012. Т. 7. № 3. С. 1–13.
11. Yatsuk A., Shakirov R., Gresov A., Obzhirrov A. // Geo-Mar. Lett. 2019. <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00628-5>
12. Шакиров Р.Б., Сырбу Н.С., Обжиров А.И. // Литология и полезные ископаемые. 2016. № 1. С. 68–81.
13. Виноградов А.П. // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
14. Григорьев Н.А. // Геохимия. 2004. № 7. С. 785–792.
15. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 478 с.
16. Страхов Н.М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. М.: Наука, 1976. 299 с.
17. Стрекопытов С.В., Дубинин А.В., Волков И.И. // Геохимия. 1995. № 7. С. 985–997.
18. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. 210 с.
19. Shakirov R.B., Valitov M.G., Obzhirrov A.I., Mishukov V.F., Yatsuk A.V., Syrbu N.S., Mishukova O.V. // Mar. Geophys. Res. 2019. V. 40. P. 581–600. <https://doi.org/10.1007/s11001-019-09389-3>

GAS GEOCHEMICAL ANOMALIES IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE TATAR TROUGH (SEA OF JAPAN)

R. B. Shakirov^{a,#}, A. V. Yatsuk^a, A. V. Sorochinskaya^{a,##}, K. I. Aksentov^a, and D. S. Makseev^a

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

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

^{##}E-mail: sorochin2001@mail.ru

Presented by Academician of the RAS G.I. Dolgikh July 7, 2023

The paper presents the results of gas geochemical and lithogeochemical studies of bottom sediments in the Tatar Strait trough (Sea of Japan) based on cruise data from the R/V "Akademik M.A. Lavrentyev" (LV-81 and LV-85). Anomalies of hydrocarbon gases (HCG) and chemical elements in surface bottom sediments were determined. It has been established that sediments with anomalous methane contents are significantly enriched in Mn, Sc, V, Co, Ni, Cu, As, Se, Mo, Cd, Sb, Te, Tl, U, the concentration coefficients (K_k) of which are 1.3–5.9 times higher than their similar values at other stations. The data obtained allow us to assume the presence of gas sources of hydrocarbon migration, the continental slope and deep water area of the Tatar trough is promising for setting up detailed work on the assessment of oil and gas potential and gas hydrate content.

Keywords: methane, hydrocarbon gases, chemical elements, bottom sediments, Tatar trough, Sea of Japan