

ОСОБЕННОСТИ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МЕТАНА В РАЙОНЕ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**Н.С. Сырбу, А.О. Холмогоров, Н.С. Ли, А.И. Гресов***ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43, г. Владивосток, 690041; e-mail: syrbu@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 16 декабря 2022 г.

В работе приведены сравнительные результаты детальных газогеохимических исследований, выполненных в бухте Алексева (залив Петра Великого, Японское море) в 1989 и 2022 годах. В результате исследований подробно изучено распределение метана и углекислого газа в воде. Выполнено STD-зондирование зондом YSI CastAway для определения океанологических параметров: температуры и солёности. На основе имеющейся геологической информации, учитывая материалы предшественников, выявлены основные закономерности распределения газогеохимических полей в бухте Алексева. Полученные результаты востребованы как в теоретических исследованиях распределения газогеохимических полей на земной поверхности в связи с сеймотектоническими и геологическими особенностями региона, так и в практике разработки методик и технологий измерения потоков и баланса основных парниковых газов, их выделения и поглощения. Результаты также актуальны для реализации научно-исследовательских программ в рамках «климатической повестки».

Ключевые слова: метан, углекислый газ, о. Попова, залив Петра Великого, Японское море.**ВВЕДЕНИЕ**

Залив Петра Великого располагается в северо-западной части Японского моря, простирается от р. Туманной на западе до м. Поворотного на востоке (общая площадь 9 000 км²) и характеризуется наличием обширного мелководного шельфа с глубинами моря 20–100 м (рис. 1). Его берега сильно изрезаны и образуют внутренние заливы – Амурский, Уссурийский, Посыета, Находка с множеством ещё более мелких заливов и бухт.

На обширной акватории залива имеется множество различных по площади островов, сосредоточенных, главным образом, в западной части залива (рис. 1). Северная группа островов расположена к юго-западу от полуострова Муравьева-Амурского и отделена от него проливом Босфор-Восточный. Эта группа состоит из четырех больших (о-ва Русский, Попова, Рейнеке, Рикорда) и множества мелких островов.

Исследованная акватория находится в бухте Алексева, вдающейся в северо-западный берег острова Попова в заливе Петра Великого, который входит в состав архипелага Императрицы Евгении, вытянутого от п-ова Муравьева-Амурского в юго-западном направ-

лении (рис. 1). В тектоническом плане архипелаг является морским продолжением Муравьевского горст-антиклинария северо-восточного простирания [1, 4].

Район залива Петра Великого характеризуется сложным геологическим и тектоническим строением, является местом сочленения трех геоструктурных единиц [3] и представляет собой переходную зону от континента к океанической литосфере глубоководной котловины Японского моря с интенсивной перестройкой земной коры [6, 7], что вызывает исключительный интерес к его изучению. Он охватывает основные геоструктуры морского дна, характеризуется высоким биоразнообразием морских экосистем.

Остров Попова и прилегающие акватории, расположенные в центре залива Петра Великого, позволяют проследить особенности и закономерности распределения газогеохимических полей метана в зоне перехода континент–океан.

Такое положение острова Попова и акватории бухты Алексева позволяет использовать данную территорию для реализации мер контроля климатически активных газов.

В течение многих десятилетий в бухте Алексева на морской экспериментальной станции «О. По-



Рис. 1. Обзорная карта участка исследований.

На врезке пунктиром выделен район работ. Рельеф по данным [16].

пова» (объект инфраструктуры мирового уровня «Международный научно-образовательный геосферный полигон») проводились научные исследования в самых различных областях наук о Земле: физических, химических, биологических, геофизических [2]. Газогеохимические исследования имели нерегулярный характер и представлены обрывочными сведениями в полевых отчетах. В данной статье сделана попытка сопоставить современные данные по акватории б. Алексеева с данными, полученными предшественниками в 1989 г. в этом районе.

Работа посвящена актуальной проблеме исследования газогеохимических параметров в транзитной зоне перехода, выявлению фоновых и аномальных газогеохимических полей углеводородных газов, их взаимосвязи с геологическим и тектоническим строением района. Это важно для понимания причин и механизмов поступления газов из недр в воду и атмосферу, трассирования зон разломов.

Наблюдаемый в настоящее время цикл сейсмо-тектонической и вулcano-магматической активизации многих районов Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода «континент–океан» имеет «газогеохимический»

отклик. Полученные данные и дальнейшие работы на объекте «Международный научно-образовательный геосферный полигон» (МЭС «О. Попова», б. Алексеева) позволят провести оценку эмиссии климатически активных газов, а также внесут вклад в развитие проекта «Дальневосточный морской карбоновый полигон».

Выделенные площади с аномальным распределением газов могут быть использованы как индикаторы природных или (и) техногенных источников газов и, как следствие, возможного загрязнения окружающей среды, активных зон разломов, оценки экологического состояния залива Петра Великого.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Остров Попова, второй по площади остров архипелага Императрицы Евгении, расположен в 10.5 км от континентальной части города и входит в состав Фрунзенского района Владивостока.

Бухта Алексеева находится в юго-западной части Амурского залива, вдается в северо-западный берег о. Попова. Вершина бухты отличается малыми глубинами, в средней части глубина увеличивается до

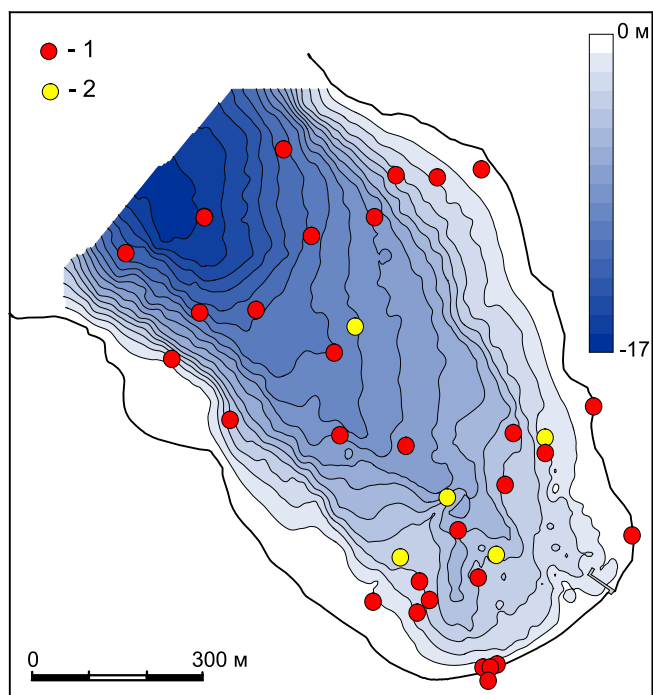


Рис. 2. Карта глубин б. Алексеева и станции отбора проб воды.

1 – в августе 2022; 2 – в августе 1989 г. Цифровая модель рельефа составлена по данным П.С. Зимина.

10–11 м и по направлению к выходу равномерно возрастает до 20 м (рис. 2).

Экспедиционные исследования были проведены в августе 2022 года на МЭС «О. Попова» на объекте «Международный научно-образовательный геосферный полигон». Работы проводились с лодки с использованием батометра для отбора проб воды и CTD зонда YSI CastAway для определения температуры и солености воды. Было отобрано 50 проб воды (табл. 1). Также в работе приведены данные полевых отчетов лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН (д.г.-м.н. Гресов А.И.) по исследованиям акватории в августе 1989 г. (табл. 2).

Для изучения газового состава воды использовались два метода: HeadSpace (при работах в 2022 г.) и дегазации (при работах, выполненных в 1989 г.). Метод HeadSpace заключается в отборе пробы воды из батометра в стеклянную емкость объемом 100 мл. Далее данная емкость закрывалась резиновой пробкой с использованием иглы. Затем в пробу добавлялся гелий – 12 мл. Проба взбалтывалась на перемешивающем устройстве, из воды в гелий переходил газ до равновесного состояния, который отбирался и анализировался на хроматографе. Метод дегазации заключался в отборе пробы воды в стеклянную емкость

объемом 500 мл, которая закрывалась резиновой пробкой. Далее газ из пробы воды извлекался на дегазационной установке в лаборатории и анализировался на газовом хроматографе.

Анализ углеводородных газов, азота, кислорода и углекислого газа был выполнен на двухканальном газовом хроматографе КристалЛюкс 4000М с датчиками потока ионизации и теплопроводности, чувствительностью 10–5 %. При определении фоновых концентраций газов применялись методы, регламентированные действующими нормативными указаниями установления фоновых концентраций веществ (газов) и имеющимися методическими вероятностно-статистическими опубликованными источниками [10, 12, 13, 15, 16]. Лаборатория газогеохимии Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН имеет Свидетельство Росстандарта № 58 от 21.12.2021 к паспорту лаборатории ПС 1.051–21.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мелководная акватория вблизи островов и побережья п-ова Муравьева Амурского является ключевым районом для исследования соотношения газовых компонентов в зоне перехода континент – океан, которые, с одной стороны, отражают специфику геологического строения, с другой, оказывают воздействие на окружающую среду. Именно эти участки представляют собой ключ для понимания природы процессов эмиссии и сорбции климатически активных газов.

В качестве объекта исследований была выбрана акватория б. Алексеева о. Попова, который отличается разнообразием геологических комплексов [4, 5]. В тектоническом плане остров Попова является морским продолжением Муравьевского горст-антиклинария, основу которого составляют купольные структуры гранитного и базитового состава [4]. Геологическое строение о-ва Попова определяется развитием на нем структур преимущественно магматического генезиса и представляет собой вулканогенно-интрузивный купол, в ядре которого выходят позднепермские граниты седанкинского комплекса [1].

Остров Попова и мелководная бухта Алексеева находятся в зоне влияния глубинного Муравьевского (Берегового) разлома [5, 6], что проявляется в особенностях геологического строения и морфологии острова (рис. 3). В его пределах широко проявлены разрывные нарушения северо-восточного и северо-западного простирания, представленные зонами дробления, милонитизации и интенсивной трещиноватости пород [4].

В августе 2022 г. на акватории б. Алексеева было оработаны 33 гидрологические станции, всего отобрано 50 проб воды. Температура и соленость на ка-

Таблица 1. Газогеохимический состав морской воды в бухте Алексева (о. Попова, залив Петра Великого) по результатам исследований, выполненных в августе 2022 г. (метод – HeadSpace)

№	Дата	Станция	Глубина, м	Температура, °С	Соленость, ‰	CH ₄ нл/л	O ₂ +Ar, %	N ₂ , %	CO ₂ , %
30		3	0.5	22.8	30.3	54.68	0.1	8.1	0.13
55		4	0.56	22.7	30.3	32.63	0.1	8.92	0.3
101		5	4.5	22.3	30.6	28.16	0.1	9.13	0.02
10			0.5	22.6	30.3	37.78	0.1	8.46	0.18
67		6	11.3	17.5	32.9	103.22	0.22	9.87	0.07
79			0.5	22.6	30.6	110.35	0.1	7.94	0.33
121	02.08.2022	7	13.7	17.3	32.9	32.13	0.1	9.61	0.42
16			0.5	22.7	30.3	30.84	0.1	7.75	0.11
211		8	12.3	17.3	33	28.99	0.1	10.64	0.47
8			0.5	22.7	30.3	61.02	0.1	8.94	0.08
1		9	2.3	22.6	30.4	26.72	0.15	11.22	0.16
12			0.5	22.7	30.4	43.86	0.1	7.41	0.09
100		10	0.5	22.7	30.5	38.48	0.1	9.55	0.23
62		12	4.5	22.6	30.5	25.78	0.1	9.92	0.37
29			0.5	22.8	30.5	33.73	0.1	8.6	0.07
43		13	8.3	21.3	30.8	65.79	0.1	9.05	0.22
42			0.5	22.7	30.5	448.38	0.1	7.7	0.08
7		14	7.6	21.8	30.8	34.23	0.11	8.71	0.08
57			0.5	22.7	30.5	40.61	0.1	8.75	0.15
11		15	4.7	22.1	30.7	30.26	0.1	10.5	0.15
22			0.5	22.6	30.5	63.89	0.1	8.62	0.1
146	03.08.2022	17	0.5	22.8	30.3	63.16	0.1	7.52	0.07
26		18	0.5	22.8	30.4	28.63	0.1	8.64	0.33
41		19	3.2	21.7	30.9	46.49	0.1	8.41	0.18
65			0.5	22.9	30.3	71.82	0.1	9.56	0.11
129		20	5	19.4	32.2	26.99	0.1	8.97	0.26
33			0.5	22.7	30.4	50.88	0.1	7.93	0.12
17		21	5.6	18.6	32.6	55.26	0.1	9.37	0.11
44			0.5	22.9	30.3	55.39	0.1	9.74	0.09
3		22	2.7	22	30.7	40	0.1	8.18	0.15
18			0.5	22.8	30.4	33.94	0.1	8.24	0.39
212		23	0.5	22.9	30.4	71.05	0.1	8.93	0.14
86		24	2.02	22.4	30.6	36.26	0.1	8.22	0.09
266			0.5	22.8	30.4	57.51	0.1	8.16	0.08
116		25	3.3	21.9	30.7	114.04	0.1	8.61	0.1
87			0.5	23	30.3	62.74	0.1	8.76	0.18
444		26	5.2	18.9	32.5	51.17	0.1	9.08	0.1
13			0.5	22.8	30.4	51.72	0.1	8.81	0.26
38		27	10	18	32.8	83.34	0.1	9.85	0.01
27			0.5	23.5	29.6	100.72	0.1	6.95	0.09
88	04.08.2022	28	16	17.3	32.9	98.83	0.1	7.32	0.12
1010			0.5	23.8	29.3	30.22	0.1	9.99	0.09
35		29	0.5	23.2	29.7	31.45	0.1	10.51	0.2
122		30	11.3	17.9	32.8	18.32	0.1	9.18	0.14
177			0.5	23.5	29.8	45.91	0.1	8.74	0.08
125		31	0.5	25.2	23.8	69.48	0.1	8.07	0.06
14		32	0.5	25.1	26.5	1925.19	0.1	7.81	0.36
50		33	0.5	25.2	26.9	50	0.1	9.69	0.08
63		34	0.5	25	26.9	62.48	0.1	7.25	0.81
66		35	0.5	25	26.9	99.73	0.1	7.78	0.06

Таблица 2. Газогеохимический состав морской воды в бухте Алексеева (о. Попова, залив Петра Великого) по результатам исследований, выполненных д.г.-м.н. Гресовым А.И. в 1989 г. (метод – дегазация)

№	Дата	Станция	Глубина, м	CH ₄ нл/л	O ₂ +Ar, %	N ₂ , %	CO ₂ , %	C ₂ H ₆ , %	C ₂ H ₄ , %	C ₃ H ₈ , %
7		I	1	24	27.36	66.08	0.41	0.0001	0.000316	-
10			4	23	29.77	68.5	0.47	0.0001	0.0003	0.000016
6		II	4.5	21	29.74	68.5	0.94	0.0002	0.0004	0.000008
5	16.08.1989	III	1	37	-	-	-	0.00023	0.000095	-
47			10	19	30.36	7.1	0.32	0.0001	0.0002	0.000003
14		IV	2	62	29.74	66	0.4	0.0002	0.00045	0.000016
-		V	1.5	19	27.36	66.08	0.41	0.00005	0.0002	-
2		I	4.5	17	30.67	69.5	1.45	0.00002	0.0001	-
10			1	2	29.48	76.5	5.16	0.00002	0.0002	-
5		II	6	22	29.49	70	0.26	0.0001	0.0003	0.000002
6	18.08.1989	III	10	26	17.02	70	0.22	0.000087	0.00012	-
7			1	12	31.92	68.5	0.46	0.00009	0.00025	-
14		IV	2	74	31.62	69.5	0.38	0.00007	0.0002	0.000007
47			1	37	-	-	-	0.00005	0.0002	-
12		I	1	17	31.62	69.5	0.36	0.000032	0.0003	-
8			4	12	31.31	65.51	0.25	0.00004	0.0002	-
5		II	1	18	31.31	71	0.34	0.0002	0.00036	-
14			10	16	31.62	70	0.31	0.00007	0.00014	-
2	24.08.1989	III	1	13	22.5	77.5	0.44	0.000048	0.00012	-
26			11	10	36.62	70.09	0.86	0.00012	0.0005	-
47		IV	1	88	36.93	70.09	1.28	0.0003	0.0006	0.000016
7			15	15	35.06	69.56	0.68	0.0003	0.0006	0.000024
10		V	2.7	13	32.55	70.09	0.71	0.0003	0.0005	0.000024
6			7	16	36.93	70.09	1.23	0.0002	0.0005	0.000009

Примечание. «-» – нет данных

ждой станции определялись при помощи CTD-зондирования зондом YSI CastAway.

В результате исследований установлено, что наблюдается достаточно равномерное распределение концентраций метана в придонном и поверхностном слоях воды и в среднем для акватории бухты составляет 52 нл/л. Однако можно выделить несколько участков повышенных концентраций до 100 нл/л и более, самые высокие значения наблюдаются в вершине бухты – до 1925 нл/л (рис. 4). Повышенное содержание метана является результатом хозяйственной деятельности: высокие концентрации метана выявлены в месте впадения в бухту заболоченного ручья и в юго-западной части бухты, являющейся местом швартовки яхт и катеров. Содержание метана в воде б. Алексева сравнимо с концентрациями в других районах залива Петра Великого. Исследованиями установлено [11], что большая часть площади залива характеризуется фоновыми концентрациями метана (80–100 нл/л) в поверхностном слое воды. Высокие концентрации метана определены (200–600 нл/л) в прибрежной части и закрытых бухтах залива.

По результатам исследований углекислого газа в придонном слое воды зафиксировано несколько локальных участков с повышенными концентрациями более 0.33 % (рис. 5). Выделенные участки совпадают с участками повышенных концентраций метана в поверхностных водах юго-западной части бухты, с пониженным рельефом дна, что создает благоприятные условия для накопления осадка и органического материала, выносимого ручьями и реками. По-видимому, на газозатравленность придонного слоя воды оказывают влияние стоки заболоченного ручья. Этан, пропан, бутан не обнаружены.

Происхождение метана возможно и в результате поступления с болота биогенного вещества, приводящего к «цветению» воды. Такое цветение опасно для экосистемы залива, поскольку приводит к гипоксии придонных вод [9].

Также были построены карты распределения температуры (рис. 6, а) и солености (рис. 6, б) для августа 2022 года. По данным проведенного зондирования, температура воды составила от 17.3 °С в придонном слое участков на выходе из бухты до 25.2 °С

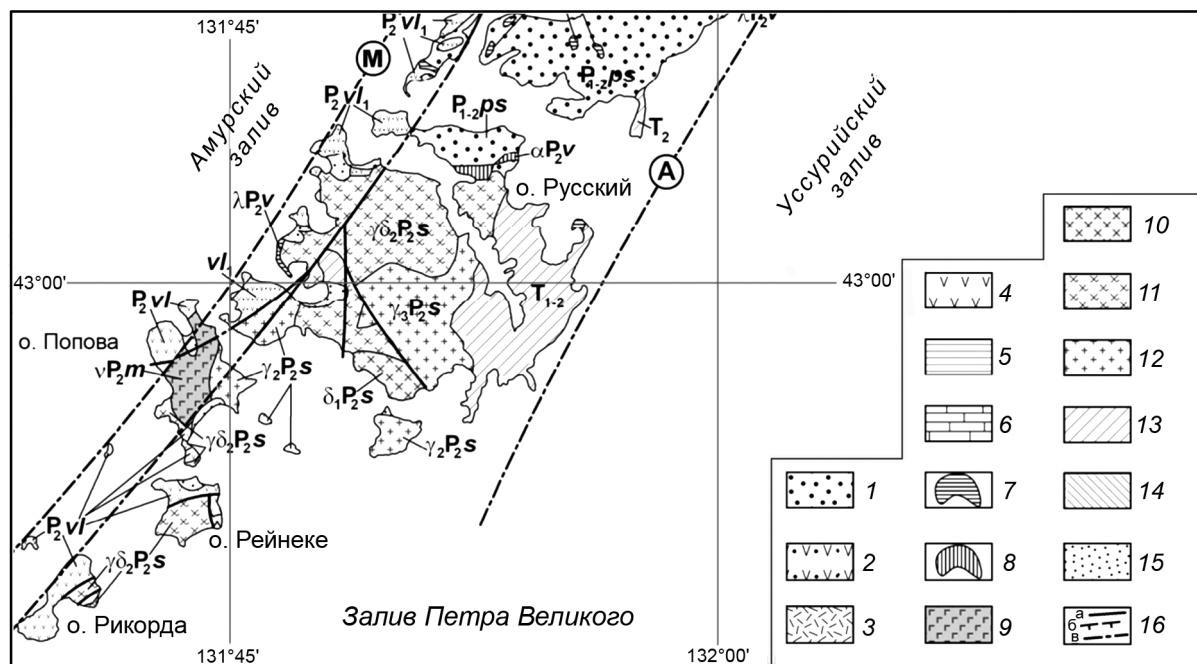


Рис. 3. Фрагмент обзорной геологической карты островов архипелага Императрицы Евгении.

Фрагмент государственной геологической карты м-ба 1: 200 000 (листы К-52-ХІІ, К-53-УІІ, с обобщениями [5]). 1–6 – пермские осадочно-вулканогенные отложения: 1 – поспеловская свита ($P_{1,2ps}$), 2–4 – владивостокская свита: 2 – нижняя подсвита (P_{2vl_1}), 3 – верхняя подсвита (P_{2vl_2}), 4 – владивостокская свита нерасчлененная (P_{2vl}), 5 – барабашская свита нерасчлененная (P_{2br}), 6 – чандалазская свита нерасчлененная (P_{2cn}); 7–8 – субвулканические образования барабашского и владивостокского базальт-андезит-риолитовых комплексов: 7 – экструзии риолитов (λP_{2br} , λP_{2vl}), 8 – экструзии андезитов; 9–12 – интрузивные образования: 9 – габбро и диабазы муравьевского комплекса (νP_{2m} , βP_{2m}), 10 – диориты седанкинского комплекса ($\delta_1 P_{2s}$) и диоритовые порфиры седанкинского и камышового комплексов ($\delta_1 P_{2s}$, $\delta_2 P_{2s}$), 11 – гранодиориты седанкинского комплекса ($\gamma \delta_2 P_{2s}$), 12 – граниты седанкинского комплекса (γP_{2s} , $\gamma_3 P_{2s}$); 13 – триасовые осадочные отложения ($T_{1,2}$), 14 – меловые угленосные отложения ($K_{1,2}$); 15 – четвертичные осадочные отложения (Q_{II-IV}); 16 – тектонические нарушения: а – выходящие на поверхность, б – надвиги, в – предполагаемые (М – Муравьевский, по Р.Г. Кулиничу [6], А – Артемовский).

у места впадения заболоченного ручья. Средняя же температура поверхности воды для августа 2022 г. составила 21.4 °С. Соленость вод – от 23.8 ‰ в местах впадения мелких пресных ручьев у вершины бухты до 32.9 ‰ в глубоководной части у выхода из бухты. В среднем, по нашим данным, соленость вод б. Алексева в августе месяце составила 31 ‰. Полученные результаты согласуются с данными ранее проведенных исследований в августе 2006 и 2007 гг.

По данным авторов работы [14], в августе 2006 и 2007 гг. температура воды в бухте практически не различалась и составляла в среднем 22–23 °С, с максимумом 29 °С. Соленость поверхностных вод летом колеблется от 24 до 32 ‰, зимой близка к 34 ‰.

В августе 1989 г. были проведены исследования б. Алексева, работы выполнялись на 6 гидрологических станциях (рис. 7), всего отобрано 24 пробы воды (табл. 2). Исследования проводились на шести станциях с использованием метода дегазации. Акватория б. Алексева по результатам исследований 1989 г.

характеризуется концентрациями метана ниже фоновых [11]. Повышенные концентрации метана наблюдались в придонных водах зоны разгрузки подводного источника, предположительно углекислого состава. На всей акватории в следовых концентрациях установлены гомологи метана – этан, этилен, пропан, содержание которых повышается в зоне разгрузки ручья. В этой же части бухты исследования зафиксировано повышенное содержание ртути (0.13 мкг/л), на 80 % представленной взвешенной формой, а также свинца (0.45 мкг/л) [8]. Несмотря на превышение пороговой концентрации ртути в осадке токсичность этих осадков низкая и объясняется пониженной биодоступностью ртути в осадках из зон геохимических барьеров вследствие ее нахождения в прочно связанном состоянии.

Концентрации углекислого газа – повышенные в вершине бухты у заболоченного ручья и в юго-западной части акватории, что объясняется загазованностью придонного слоя воды, выносимой стоками.

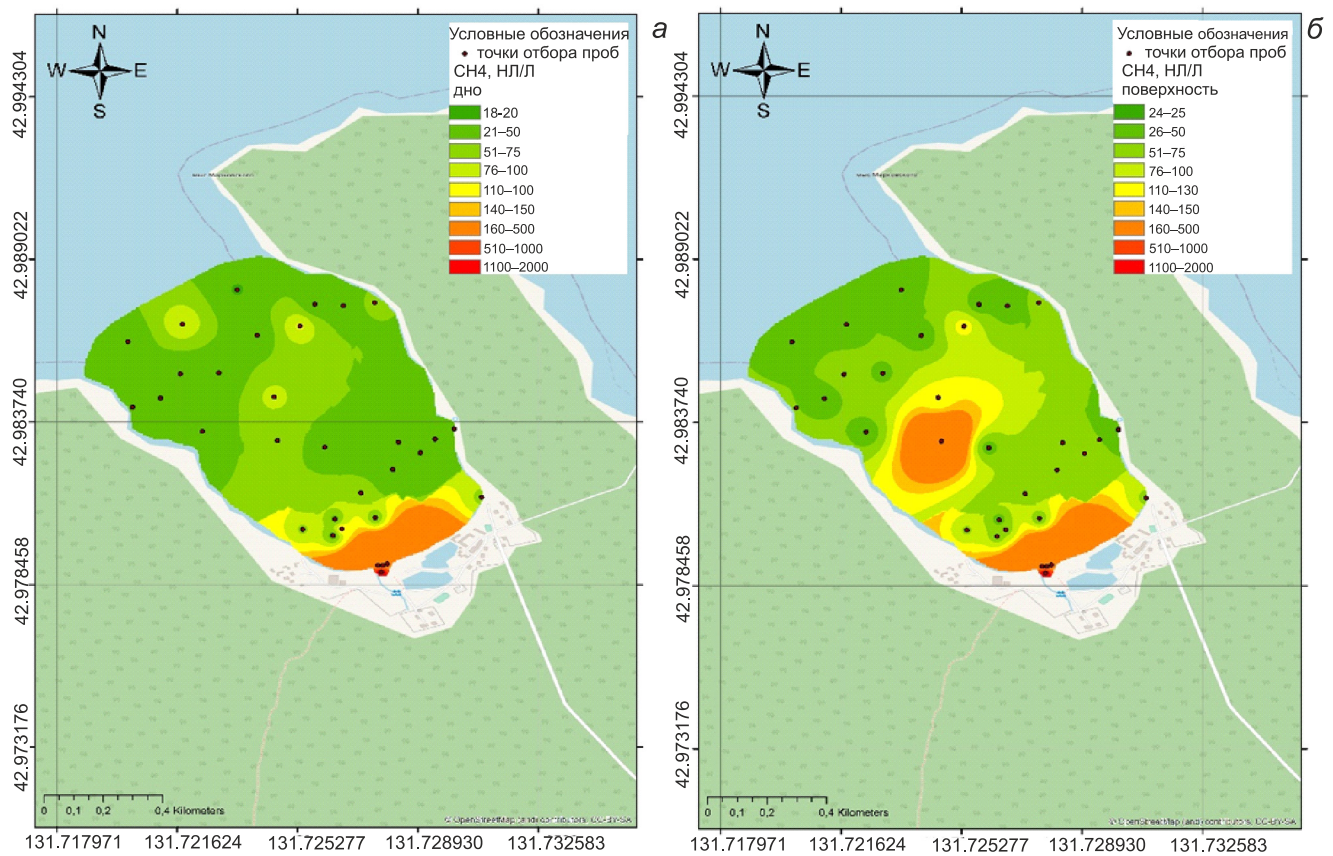
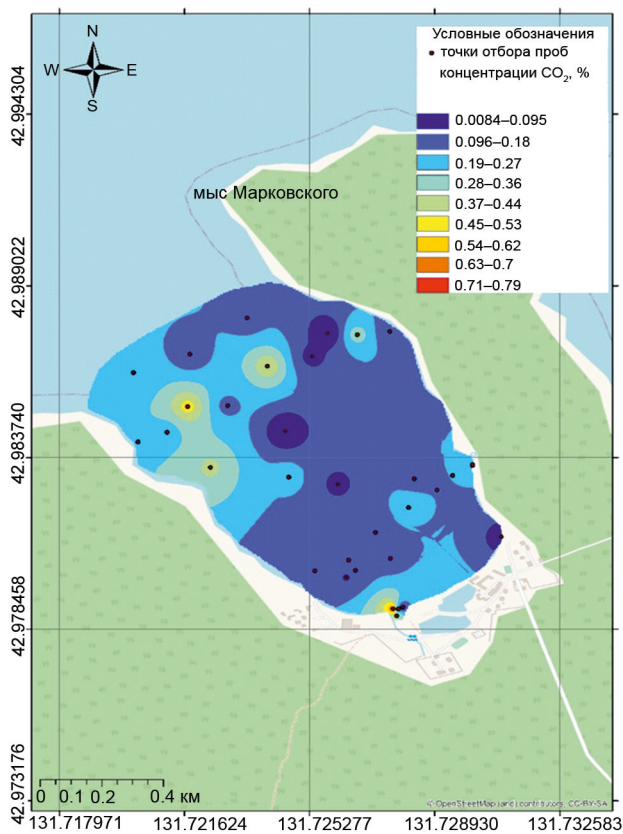


Рис. 4. Распределение концентрации метана в придонной (а) и поверхностной (б) воде б. Алексеева (август, 2022 г.).



Сравнивая результаты газогеохимических исследований 1989 и 2022 годов, необходимо отметить увеличение фонового значения концентраций метана в придонном слое воды: 25.5 нл/л в 1989 г. и 52 нл/л в 2022 г. Повышение содержания метана, в целом, на акватории бухты Алексеева и, в частности, в вершине бухты в первую очередь связаны с возросшей антропогенной нагрузкой: бытовые стоки научной станции и туристических баз отдыха, расположенных на юго-западном побережье бухты.

Фоновые содержания углекислого газа в придонном слое воды, наоборот, понизились в 2022 г. и составили 0.17 %, тогда как в 1989 г. содержание углекислого газа в среднем составляло 0.95 %. Повышение содержания двуокси углерода, скорее всего, связано с нарушением биоценоза бухты Алексеева в результате хозяйственной деятельности рыбокомбината острова Попова в начале–середине 80-х годов прошлого столетия. Рыбокомбинат активно использовал акваторию бухты Алексеева для разведения примор-

Рис. 5. Распределение концентрации углекислого газа в придонной воде б. Алексеева (август, 2022 г.).

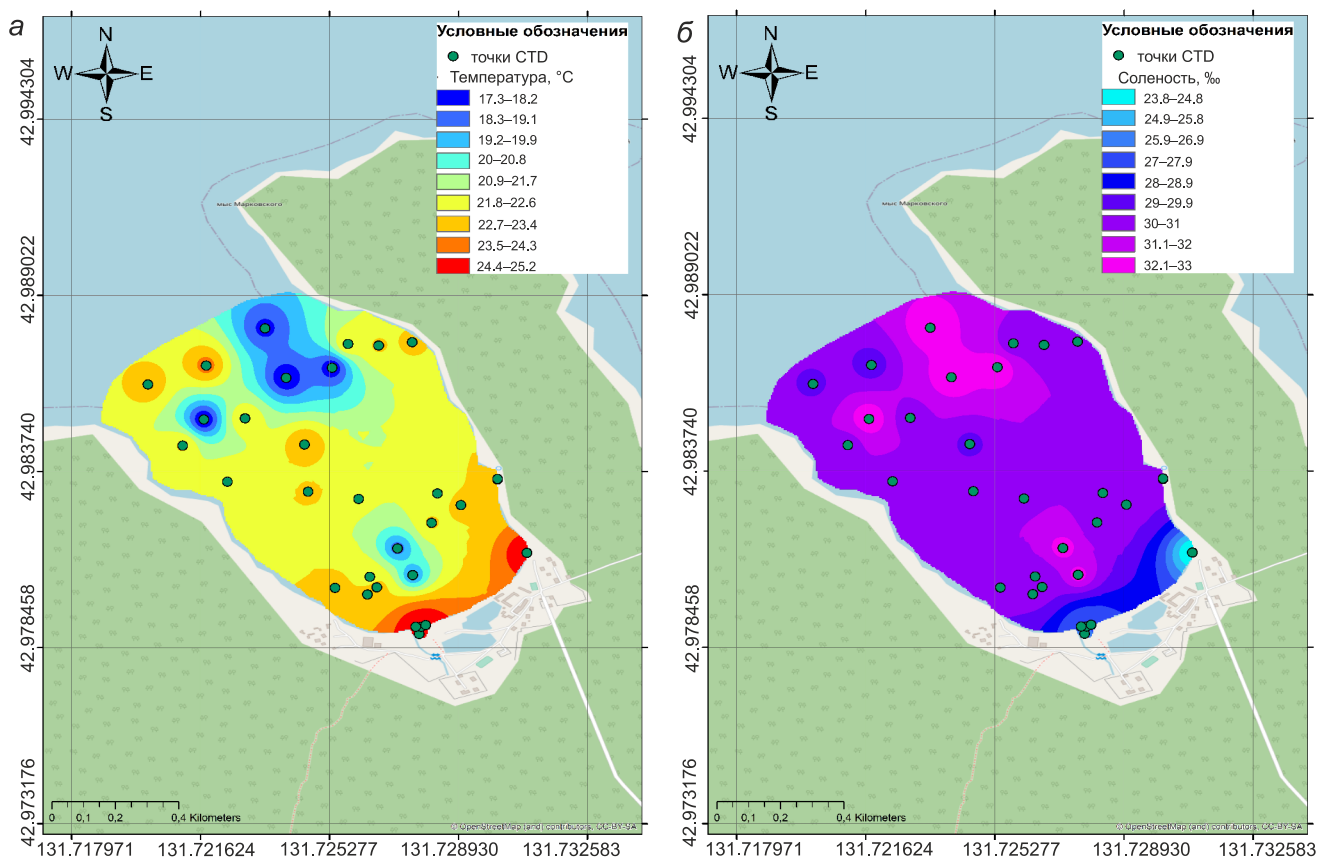


Рис. 6. Распределение температуры (а) и солёности (б) на акватории б. Алексева по данным опробования в августе 2022 года (зонд YSI CastAway).

ского гребешка, а в 1989 г. оставил бухту Алексева, прекратив хозяйственную деятельность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам газогеохимического опробования в августе 2022 г. и при их сравнении с данными, полученными в августе 1989 г., выявлено и наблюдается равномерное распределение концентраций метана и углекислого газа в воде. Особенности распределения полей метана и его гомологов, углекислого газа являются результатом как структурно-геологических особенностей о. Попова, так и хозяйственной деятельности (сток заболоченного пруда).

Несмотря на то, что о. Попова находится в зоне глубинного разлома, где широко проявлены разрывные нарушения северо-восточного и северо-западного простирания, представленные зонами с интенсивной трещиноватостью пород, данные представляют собой поверхностное выражение мощных зон скрытых разломов фундамента и не проявляются в стабильных аномалиях газогеохимических полей метана, его гомологов и углекислого газа.

Дальнейшее выполнение комплексных газогеохимических работ в бухте Алексева (залив Петра Великого) позволит установить участки газопроявлений, проследить динамику газовых изменений, а также выявить аномальные поля природных и антропогенных газов, что необходимо в практике разработки методик и технологий измерения потоков основных парниковых газов.

Результаты исследований вносят вклад в оценку эмиссии климатически активных газов, а также в развитие проекта «Дальневосточный морской карбоновый полигон».

Авторы статьи выражают благодарность: к.г.н. В.Б. Лобанову – за предоставленное техническое обеспечение для организации исследований на акватории; Ю.Д. Гагиловой – за содействие в проведении полевых работ.

Работы выполнены на базе научно-образовательного центра инновационных методов исследования и мониторинга морской среды (НОЦ ИМИМС) ТОИ ДВО РАН (морская экспериментальная станция «О. Попова») в рамках государственной темы

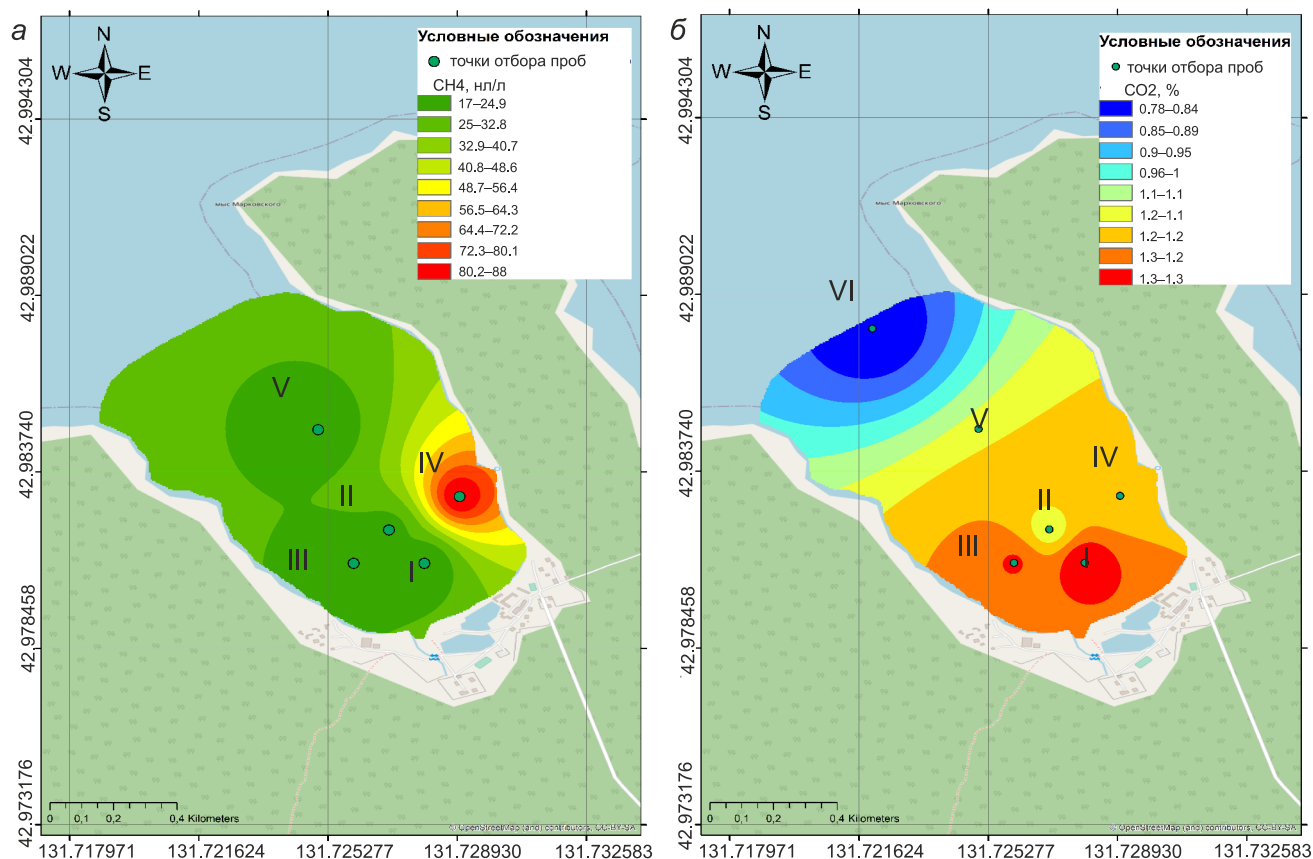


Рис. 7. Распределение концентраций метана (а), углекислого газа (б) в придонном слое воды б. Алексева по результатам отбора в августе 1989 г. (метод – дегазация).

«Исследование состояния и изменений природной среды на основе комплексного анализа и моделирования гидрометеорологических, биогеохимических, геологических процессов и ресурсов Дальнего Востока», рег. № АААА-А19-119122090009-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильковский Н.П. Строение цоколя шельфа залива Петра Великого // Основные черты геологического строения дна Японского моря. М.: Наука, 1978. С. 64–81.
2. Гайко Л.А., Зимин П.С. Научные исследования на морской экспериментальной станции «остров Попова» Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН: история и современное состояние (бухта Алексева, японское море) // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: в 3-х т.: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции, Севастополь, 19–24 сентября 2016 года. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 1. С. 21–24.
3. Изосов Л.А., Коновалов Ю.И. Западно-Сихотэ-Алинский окраинно-континентальный вулканический пояс и его тектоническая позиция в Западно-Тихоокеанской зоне перехода континент–океан. Владивосток: Дальнаука, 2005. 315 с.
4. Изосов Л.А., Съедин В.Т., Емельянова Т.А., Крамчанин К.Ю., Смирнова О.Л., Огородний А.А., Ли Н.С. Новые данные по геологии островов залива Петра Великого (Японское море). Остров Попова // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 2 (168). С. 13–21.
5. Кононец С.Н., Съедин В.Т., Харченко Т.А., Валитов М.Г., Изосов Л.А. Типы и физические свойства магматических пород о. Попова (залив Петра Великого, Японское море) // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 2. С. 39–52.
6. Кулинич Р.Г. Особенности геологического строения Приморского края по геолого-геофизическим данным: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Владивосток, 1969. 27 с.
7. Кулинич Р.Г., Валитов М.Г. Мощность и типы земной коры Японского моря по данным морской и спутниковой альтиметрии // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 6. С. 3–13.
8. Лучшева Л.Н. Природные аномалии ртути в дальневосточных морях России и их экологическое значение: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2004. 22 с.
9. Михайлик Т.А., Тищенко П.Я., Колтунов А.М., Тищенко П.П., Швецова М.Г. Влияние реки Раздольной на экологическое состояние вод Амурского залива (Японское море) // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 4. С. 474–484.
10. Нормативно-методическое обеспечение охраны атмосферного воздуха. Пермь: ИНТЕРЭКО, 1995. Т. 2. 249 с.
11. Окулов А.К., Обжиров А.И., Щербаков В.А., Мишуко-

- ва Г.И., Окулов А.К. Геологические условия газоносности прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого (Японское море) // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 2. С. 56–62. DOI: 10.30911/0207-4028-2019-38-2-56-62.
12. Поротов Г.С. Математические методы при поисках и разведке полезных ископаемых / Учебное пособие. Л.: Изд-во Ленинград. горного института, 1977. 106 с.
 13. Смирнов Б.В. Вероятностные методы прогнозирования в инженерной геологии. М.: Недра, 1983. 134 с.
 14. Федорец Ю.В., Шарова О.А., Косьяненко А.А., Аксентов К.И., Раков В.А., Васильева Л.Е. Экологический мониторинг морской биоты бухты Алексева (залив Петра Великого) // Изв. Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, № 1(6). С. 1386–1392.
 15. Шакиров Р.Б. Газогеохимические поля окраинных морей Дальневосточного региона: распределение, генезис, связь с геологическими структурами, газогидратами и сейсмостектоникой: Автореф. дисс. ... доктора геол.-мин. наук. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2016. 49 с.
 16. Tozer B., Sandwell D.T., Smith W.H.F., Olson C., Beale J.R., Wessel P. Global bathymetry and topography at 15 arc seconds: SRTM15+ // Earth and Space Science. 2019. V. 6, № 10. P. 1847–1864.

Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой

после доработки 27.02.2023 г.

принята к печати 24.03.2023 г.

N.S. Syrbu, A.O. Kholmogorov, N.S. Lee, A.I. Gresov

Features of methane gas-geochemical fields in Peter the Great Bay (Sea of Japan)

The paper presents the comparison results of detailed gas-geochemical surveys carried out in the Alekseev Bight (Peter the Great Bay, Sea of Japan) in 1989 and 2022 aimed at studying the distribution of methane and carbon dioxide in waters of the Alekseev Bight. CTD sounding was performed to measure temperature and salinity using an YSI CastAway CTD probe. Based on the available geological information and prior research, the main patterns were identified in the distribution of gas geochemical fields in the Alekseev Bight (Peter the Great Bay). The results obtained are in demand both in theoretical studies of gas geochemical field distribution on the earth's surface in connection with seismotectonic and geological features of the region, and in the practice of development of methods and technologies for measuring balance between major greenhouse gas emissions and uptake. The results are also important for the implementation of research programs within the «climate agenda».

Key words: methane, carbon dioxide, Popov Island, Alekseev Bight.