

## ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАГИНСКИХ ГАЗОГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ВОСТОЧНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ О. САХАЛИН

*Н.Л. Соколова, Ю.А. Телегин, А.Л. Веникова, А.И. Обжиров*

*ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43, г. Владивосток, 690041; e-mail: natap81@mail.ru*

Поступила в редакцию 20 февраля 2022 г.

Миграция природных газонасыщенных потоков играет важную роль в формировании литосферно-атмосферных взаимосвязей. В работе обсуждается природа происхождения источников газообразных флюидов Дагинских газогидротермальных источников на о. Сахалин на основе данных газогеохимического и изотопного анализов и изучения геологических особенностей данной структуры. Показано, что источником выходов газа является смесь микробиального и биодеградированного термогенного метана.

**Ключевые слова:** метан, источники метана, природные газы, Дагинские газогидротермальные источники, о. Сахалин.

### ВВЕДЕНИЕ

В различных регионах установлено, что зоны нефтегазонакопления приурочены к тем глубинным разломам, которые наиболее активны в настоящую эпоху [2]. Они характеризуются более интенсивными современными движениями земной поверхности, изменчивостью во времени гравитационного и магнитного полей, более напряженным температурным полем и активной вертикальной, иногда вплоть до поверхности, миграцией флюидных систем, которую можно измерить геофизическими и геохимическими методами.

Изучение строения зоны перехода от азиатской части материка Евразия к Тихому океану представляет несомненный интерес, так как здесь в настоящее время происходят интенсивные геологические процессы, поверхностным проявлением которых являются высокая сейсмичность, современный вулканизм и газогидротермальная деятельность [32].

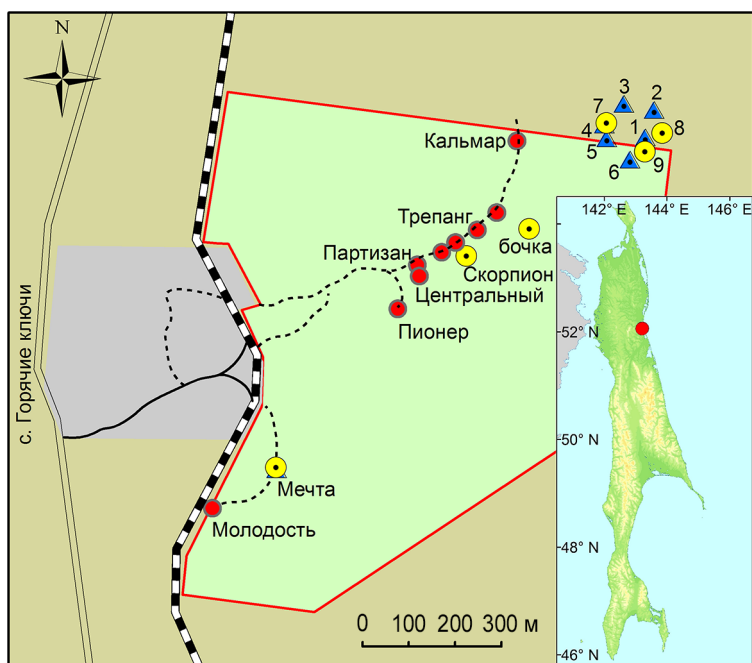
Газогидротермальная деятельность, особенно та, которая сопряжена с районами распространения нефтегазовых залежей и скоплений, является одним из мощных проявлений естественных выходов углеводородных флюидов на поверхность Земли. Состав и интенсивность поставки флюидов изменяются во времени и находятся в тесной связи с сеймотектоническими процессами, протекающими в земной коре.

Постоянный поток глубинных газов по проницаемым зонам разломов является проявлением дега-

зации глубинных сфер Земли [20, 22]. Присутствие гелия, в частности его аномалия, в приповерхностных отложениях отражают проводимость глубинных разломов [29]. Водород редко встречается в значительных концентрациях в природных газах из-за геохимической активности и миграционной способности. Небольшие его скопления, как правило, возможны при наличии слабопроницаемых покрышек [10].

Дагинские газогидротермальные источники располагаются на северо-восточном побережье о. Сахалин в 30 км от пгт. Ноглики в п. Горячие ключи в районе Ныйского залива Охотского моря, что в 1 км от устья в правобережной части р. Нельбуты. Исследуемая территория находится вблизи нефтегазового промысла [13].

Дагинские газогидротермальные источники относятся к Дагинскому месторождению термоминеральных вод, которое является наиболее крупным и известным на о. Сахалин. На территории региона также известны Лунские термальные источники, прекратившие существование в 2014 г., и небольшие проявления в долинах рек Паромай, Агнево, Тавда (Лесогорские термальные источники), Приточная и Амурская. Их начали исследовать в 1950-х гг. В.В. Иванов [11], Н.Д. Цитенко [24], М.А. Штейн [27, 28] и др. Современные работы по разведке на Дагинском месторождении проводились Охинской партией Сахалинской гидрогеологической экспедиции в 1990–1991 гг., в результате чего были утверждены



**Рис. 1.** Схема расположения Дагинских газогидротермальных источников.

Кружки залитые – окультуренные источники. Треугольники – точки отбора проб в 2012 г., незалитые кружки с точками – точки отбора проб в 2014 г. Светлое поле – территория Дагинских термальных источников.

эксплуатационные запасы термоминеральных вод [9, 21]. Последующее десятилетие изучение Дагинских газогидротермальных источников практически не осуществлялось. С 2004 г. сотрудники ИМГиГ ДВО РАН (Р.В. Жарков, О.А. Мельников и др.), ДВГИ ДВО РАН (Г.А. Челноков, И.В. Брагин), ИВиС ДВО РАН (В.Ю. Павлова) проводили полевые исследования термальных и минеральных вод о. Сахалин [6, 7, 25, 30]. В 2014 г. Р.В. Жарков впервые за последние 25 лет на Дагинском месторождении провел полные физико-химические исследования основных термальных источников и двух скважин с термальными водами [8]. В 2001, 2005, 2007, 2012 и 2014 гг. исследование Дагинских газогидротермальных источников (ДГИ) на о. Сахалин осуществлялось лабораторией газогеохимии ТОИ ДВО РАН (д.г.-м.н. Р.Б. Шакиров, д.г.-м.н. А.И. Обжиров, к.г.-м.н. Н.Л. Соколова (Пестрикова), к.г.-м.н. Ю.А. Телегин, А.Л. Веникова, А.А. Агеев, О.С. Котлярова (Яновская)). Основной целью исследований группы были режимные наблюдения за газобразной фазой продуктов газогидротермальной деятельности Дагинских источников о. Сахалин и анализ результатов на предмет их связи с сейсмичностью в регионе, а также выяснение происхождения этих газобразных флюидов [33]. Для этого были выполнены: режимные (ежедневные – на момент присутствия на объекте исследования) наблюдения за гидротермаль-

ной деятельностью с отбором проб воды и грунта на газохимический анализ состава газа; определение изотопного состава углерода метана; обработка и интерпретация полученных данных. Данные, полученные в 2005–2007 гг., показали преимущественно метановый состав газа ДГИ, что было подтверждено в 2012 и 2014 гг.

В июне 2012 г. состоялась экспедиция, во время которой было отобрано 46 проб на газовую составляющую: 6 точек – непосредственно в районе газогидротермального поля (мониторинг  $\text{CH}_4$  и др. углеводородов), 1 точка – в окультуренном источнике «Мечта» (рис. 1). Из них: 44 пробы природного газа, 2 пробы воды, 6 проб – на изотопию ( $\delta^{13}\text{C}$  V-PDB), 6 проб – на гелий и водород.

#### МЕТОДИКА

При подготовке работы проведен комплексный анализ геологических, газогеохимических данных, полученных во время экспедиционных исследований и в процессе последующей обработки результатов и их сопоставления с литературными источниками. Для изучения газовой фазы отобранных образцов в исследуемом районе был применен газогеохимический метод [18, 19]. Концентрации газов определялись в пробах методом «Head Space» [34]. Пробы свободного газа отбирались в стеклянные бутылки объемом

273 мл, тщательно упаковывались и доставлялись в лабораторию для последующего анализа газа. Анализ газа проводился на газовом хроматографе «КРИСТАЛЛЮКС-4000М» (ЗАО МЕТАХРОМ, г. Йошкар-Ола). Изотопный анализ углерода метана выполнен в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНЕ ДАГИНСКИХ ГАЗОГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В геологическом строении района исследований принимают участие миоценовые отложения дагинской и окобыкайской свит и плиоценовые отложения нутовской свиты [9]. Неогеновые отложения повсеместно перекрыты четвертичными образованиями различного генезиса, которые представлены современными пойменными, биогенными, лагунными и элювиально-делювиальными образованиями. Аллювиальные отложения 1-ой надпойменной террасы и поймы распространены в долине р. Нельбуты и ее притоков. Лагунно-морские образования представлены песками мелкозернистыми, илистыми и алевритистыми до грубозернистыми. Они развиты вблизи устья р. Нельбуты, где слагают современные морские валы. Поверхность четвертичных образований практически повсеместно покрыта биогенными образованиями. Мощность торфяников, как правило, составляет 2 м, иногда достигает 3–4 м. Элювиально-делювиальные отложения сплошным чехлом перекрывают неогеновые породы. Для элювия характерно сходство с подстилающими коренными породами, отличие заключается лишь в его большей рыхлости и желтоватой окраске.

По данным, представленным в работе [16], новые карты эпицентрии мелкофокусных (коровых) землетрясений и главных региональных структур и разломов Сахалина надежно фиксируют тектоническую подвижность (мобильность) континентальной коры острова, которая, вслед за акад. А.А. Пейве, описывается как гравитационный срыв к востоку по кровле асейсмичной мантии. Восточно-Сахалинский, Суэнаинский и Тонино-Анивский антиклинории с неогена развивались унаследованно. В широтных сечениях они обычно асимметричны за счет более крутого и короткого восточного склона в сравнении с западным, поэтому, в соответствии с [15], являются структурами корового срыва к востоку с главными взбросо-надвигами на их восточном склоне. Их выход, как и Центрально-Сахалинского разлома, фиксируют грифоны и грязевые вулканы Лесновский на юге и Дагинские на севере [17].

Район исследования приурочен к Восточно-Сахалинскому антиклинорию [4]. Структура представляет собой брахиантиклиналь северо-северо-восточ-

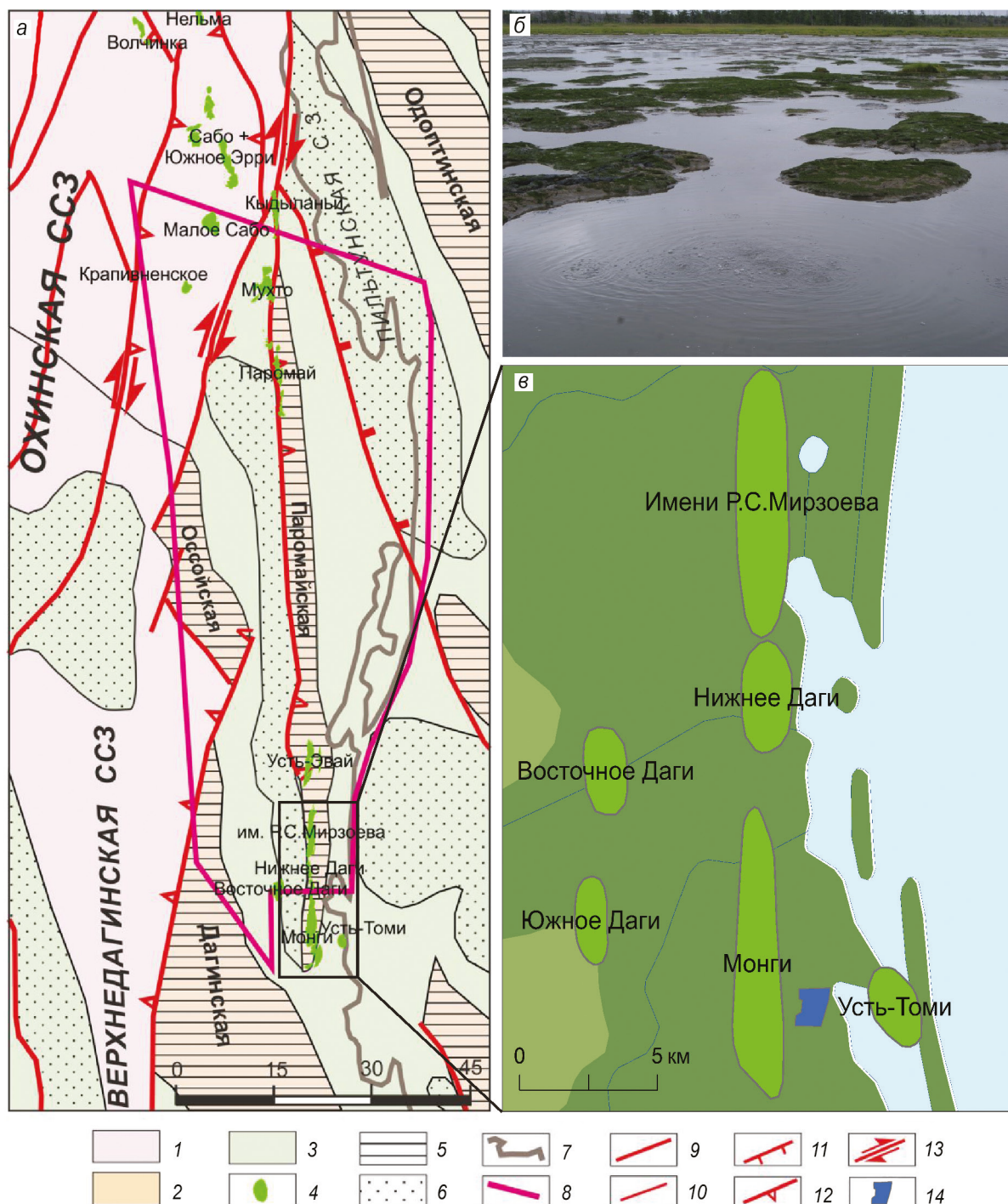
ного простирания. Свод складки широкий и пологий, по всей складке развиты многочисленные дизъюнктивные нарушения. Дагинское месторождение приурочено к водоносным горизонтам нутовской свиты миоценового возраста, состоящей из слоев водоупорных глин и водоносных песков. Отложения свиты перекрыты четвертичными образованиями. Термальные источники пространственно тяготеют к зоне разлома северо-восточного простирания и оперяющим ее мелким разрывам восточного и юго-восточного простирания. Преимущественный тип коллектора – поровый. Водовмещающими являются торфяники, пески, редко гравийники среди слабопроницаемых глинистых пород. Только на глубинах более 1000 м залегают литифицированные отложения с трещинным и трещинно-жильным типом коллектора – песчаники, алевриты, аржиллиты, вскрытые поисковым бурением [9].

Тектоническое строение территории во многом определено глубокими разломами мел-палеоценового заложения, являющимися активными до настоящего времени [1, 3]. Разломы контролируют Оссойскую, Паромайскую и Дагинскую антиклинальные зоны [23] (рис. 2, а). Интенсивно развитая разрывная тектоника обусловила образование ослабленных зон, по которым напорные минерализованные термальные воды поднимаются на дневную поверхность, образуя локальные очаги разгрузки. По мере продвижения вверх происходит понижение температуры подземных вод и разбавление пресными инфильтрационными водами. На поверхности температура воды в источниках составляет 20–50 °С [9]. Близость Дагинских газогидротермальных источников к месторождениям углеводородного сырья в свою очередь обуславливает миграцию к поверхности газообразных углеводородов, водорода, гелия (рис. 2, б, в).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В региональном тектоническом плане месторождение термоминеральных вод находится в юго-восточной части Северо-Сахалинской наложенной впадины, которая представляет собой одноименный артезианский бассейн [9]. Дагинское месторождение термоминеральных вод имеет очень сложное тектоническое строение, обусловленное наличием нескольких систем разрывных нарушений. Основная зона гидротермально измененных и передробленных пород, приуроченная к северо-восточному диагональному нарушению, испытывала многократные подвижки и переработку в процессе заложения и развития разрывов северо-западного и меридионального простираний. Последними нарушениями месторождение разбито на три участка: Северный, Центральный и Южный. В работе исследована в основном площадь,





**Рис. 2.** Тектоническая схема района исследований, по В.В. Харахинову [23] (а); пример выхода природного газа на Северном участке Дагинских газогидротермальных источников (б); схема пространственного расположения месторождений углеводородного сырья [12] и Дагинских газогидротермальных источников (в).

1 – складчато-сдвиговые и складчато-надвиговые зоны декстрального тектогенеза (ССЗ), 2 – антиклинальные зоны и поднятия, 3 – синклинальные, грабен-синклинальные, моноклинальные зоны присдвигового и тылового растяжения, 4 – месторождения (Монги – нефть и газоконденсат, Усть-Томи – конденсат и газоконденсат, Южное Даги – нефть и газоконденсат, Восточное Даги – нефть и газ, Нижнее Даги – нефть и газоконденсат, Имени Р.С. Мирзоева – нефть и газоконденсат), 5 – антиклинальные зоны, отдельные мегантиклинали, 6 – депозиты прогибов, синклинальных зон, мегасинклиналей, 7 – береговая линия, 8 – граница ЛУ (лицензионный участок), 9–13 – разрывы: 9 – региональные, 10 – зональные и локальные, 11 – сбросы, 12 – взбросо-надвиги, 13 – сдвиги, 14 – Дагинские газогидротермальные источники.

Таблица. Состав газа в пробах свободных газопроявлений и воды в пределах Дагинских газогидротермальных источников.

Станция	Координаты		проба	CO <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , % (max)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , %	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> +C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , %	He, ppm	H <sub>2</sub> , ppm	δ <sup>13</sup> C CH <sub>4</sub> , ‰
	Широта	Долгота								
1	52°02'49"	143°05'41"	газ	0.167	90.44	0.0388	следы	25	23.5	-62.7
2	52°02'51"	143°05'42"	газ	0.137	92.22	-	следы	4.8	4.1	-64.5
3	52°02'52"	143°05'39"	газ	0.133	91.07	следы	-	18.5	1	-64.6
4	52°02'50"	143°05'38"	газ	0.169	88.37	-	-	12.1	3	-64
5	52°02'49"	143°05'38"	газ	0.475	93.71	0.0333	0.00021	3.7	49	-63.2
6	52°02'48"	143°05'40"	газ	0.294	93.07	0.0438	0.00035	17.7	15.9	-62.4
7	52°02'50"	143°05'38"	газ	0.41	90.8	0.0036	0.00003	20.6	8.1	-
8	52°02'50"	143°05'42"	газ	0.51	92	0.0488	0.00052	21.3	41	-
9	52°02'48"	143°05'41"	газ	0.32	91.9	0.0560	0.00063	25.9	6.5	-
Бочка	52°02'43"	143°05'33"	вода	0.25	18.3	0.0021	0.00004	-	-	-
«Мечта»2012	52°02'26"	143°05'15"	вода	0.365	7.75	-	-	-	-	-
«Мечта»2014	52°02'26"	143°05'15"	вода	0.58	15.2	0.02174	0.00004	-	-	-
«Скорпион»	52°02'41"	143°05'29"	вода	0.39	14.9	0.0270	0.00008	-	-	-

обрамляющая источник Кальмар (Северный участок), как наиболее интересная и представительная с точки зрения газогеохимии, поскольку отличается от остальных наличием многочисленных газирующих природных «ванн», периодически заливаемых морской водой (рис. 2, б), а также источник Мечта (участок Южный) и фрагментарно Центральный. Мечта находится в пределах небольшого ручейка, непосредственно в заболоченной части его долины. Источник оборудован деревянным сооружением, глубина котлована ориентировочно около 1 м, дно песчаное.

Данные газогеохимических исследований в 2012 (т. 1–6) и 2014 (т. 7–9) гг. представлены в таблице. Пробы в каждой точке в 2012 г. отбирались в течение трех дней. Результаты измерения содержания метана по каждой точке представлены на рис. 3.

Содержание метана за трехдневный период измерений в точке 1 составило от 63 до 90.4 % (медианное значение 89.7 %). В этой точке были обнаружены небольшие содержания тяжелых углеводородных газов, а также максимальное содержание гелия (25 ppm). В точке 2 содержание метана было в пределах 57–92.2 % (медианное значение 85.6 %), отмечались следовые значения углеводородных газов. В точке 3 содержание метана – 80.5–91 % (медианное значение 87 %). Также на этой точке были определены повышенные содержания гелия (18.5 ppm) и минимальные – водорода (1 ppm). В точке 4 метан варьировал в значениях 69–88.4 % (медианное значение 83.1 %). Тяжелые углеводородные газы на этой точке обнаружены не были, содержание гелия и водорода составили 12.1 и 3 ppm, соответственно. В точке 5 значения по содержанию метана были в пределах 71.7–93.7 % (медианное значение 89.9 %), отмечались тяжелые углеводородные газы. В составе газа точки 5

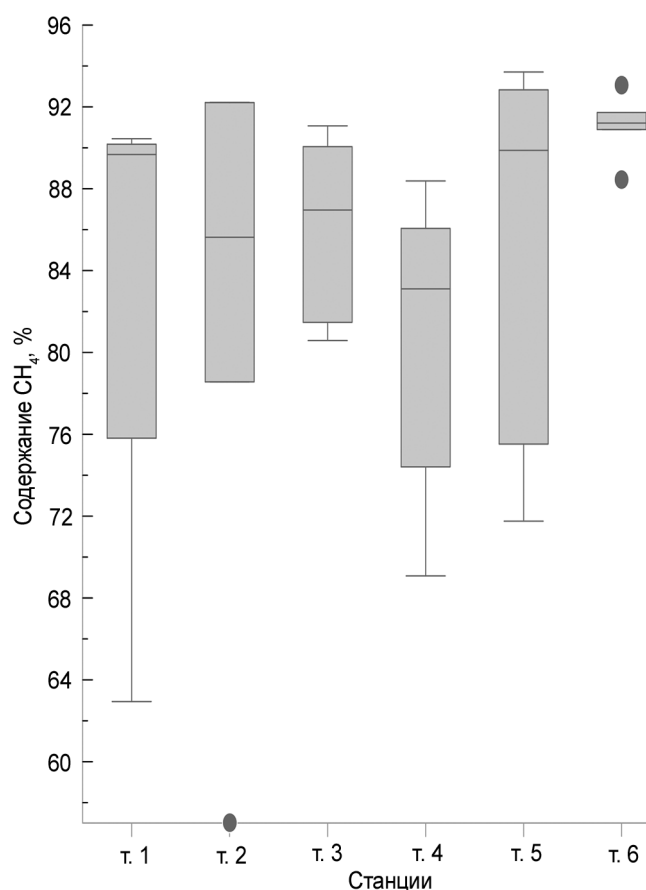


Рис. 3. Диаграмма содержания метана по каждой точке в 2012 г.

было обнаружено максимальное содержание водорода – 49 ppm. Содержание метана в точке 6 составило от 88.4 до 93 % (медианное значение 91.9 %). Здесь были обнаружены самые высокие содержания тяжелых углеводородных газов в 2012 г. (табл.), а также

повышенное содержание гелия и водорода – 17.7 и 15.9 ppm, соответственно.

В 2014 г. содержание метана в составе газа свободных газопоявлений в пределах исследуемой площади (точки 7, 8 и 9) составило 90.8–93.4 % (табл.). В пробах отмечен этан (0.0036–0.0636 %) и пропан (0.00003–0.00064 %), причем их содержание по сравнению с предыдущими годами исследований несколько увеличилось. Во всех пробах газа были обнаружены максимальные содержания водорода (до 41 ppm) и гелия (до 26 ppm). Содержание углекислого газа во всех пробах варьировало от 0.133 до 0.475 %. Максимальное значение было обнаружено в точке 5.

Таким образом, основным компонентом спонтанного газа Дагинских газогидротермальных источников является метан (до 93.7 %). Полученные результаты по содержанию водорода и гелия свидетельствуют о том, что, вероятно, газ поступает из глубинного источника. По данным Р.Б. Шакирова [26], в источниках Дагинской геотермальной системы обнаруженный гелий фиксировался в концентрациях до 60 ppm. Такая концентрация является аномальной и сходна с таковыми в грязевых вулканах Грузии (второй район на территории бывшего СССР, где грязевой вулканизм сопряжен с современными магматическими процессами) [14]. Известно, что повышенные концентрации  $^3\text{He}$  сопутствуют мантийным газам. В свою очередь, изотопный состав углерода  $\text{CH}_4$  (-62.4 – -64.6 ‰) указывает на смешанный состав газа (рис. 4), образование которого происходит в результате термогенного преобразования и анаэробного разложения органического вещества с участием сульфатредуцирующих и метанообразующих бактерий при повышенных температурах. Как показано в работе [5], указанные значения изотопного состава углерода метана не укладываются в диапазоны, которые в традиционных представлениях соответствуют микробному метану. Для такого метана характерен экстремально изотопно-легкий состав метана по углероду (до -110 ‰). Из чего можно предположить, что к глубинному газу в процессе миграции к поверхности примешивается биогенный газ. В пользу глубинного источника (как преобладающего) свободного газа Дагинской газогидротермальной системы говорит и приуроченность последней к близрасположенным в исследуемом районе месторождениям нефти и газа (рис. 2, в).

В пределах Северного участка газогидротермальные источники располагаются в литоральной зоне залива и во время большого прилива заливаются морскими водами, что, возможно, объясняет относительное понижение содержания исследуемых газов по направлению к открытой части залива.

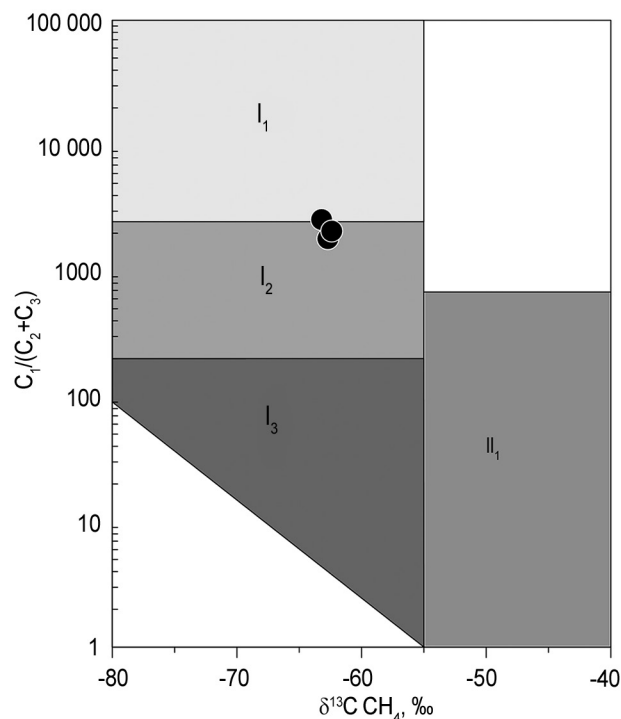


Рис. 4. Диаграмма [31] отношения  $C_1/(C_2+C_3)$ – $\delta^{13}\text{C}$  метана с Дагинских газогидротермальных источников.

$I_1$  – микробный газ;  $I_2$  – смесь микробного и биогенного термогенного;  $I_3$  – биогенный термогенный;  $II_1$  – сопутствующий газ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании газогеохимических исследований Дагинских газогидротермальных источников на восточном побережье о. Сахалин выявлено, что основным компонентом свободного газа источников является метан (до 93 %). Углекислый газ выявлен в пределах от 0.133 до 0.475 %. В свободных газопоявлениях площади, обрамляющей источник Кальмар Северного участка исследуемой территории, зафиксированы гелий и водород, что указывает на глубинную компоненту газо-флюидного потока. Изотопный состав углерода метана, поступающего вместе с газо-флюидным потоком, в районе Дагинских газогидротермальных источников и приуроченность последних к активным разломным зонам и нефтегазовому промыслу позволяют рассматривать углеводородную газовую составляющую этих источников как образование, формирование которого происходит в результате термогенного преобразования и анаэробного разложения органического вещества с участием сульфатредуцирующих и метанообразующих бактерий при повышенных температурах. При этом не исключается роль метана из нефтегазоносных отложений.



Содержание основных газовых компонентов в источниках в районе Северного и Центрального участков могут изменяться вследствие большого влияния поверхностных и подземных пресных или морских вод.

Таким образом, весь полученный спектр данных на сегодняшний день позволяет охарактеризовать Дагинские газогидротермальные источники как уникальную природную газогидротермальную систему, характеризующуюся своеобразными морфоструктурными и флюидо-генетическими показателями.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам лаборатории, принимавшим участие и оказывавшим содействие в получении и обработке полученных материалов и данных по исследуемому объекту: Р.Б. Шакирову, А.В. Сорочинской, О.Ф. Верещагиной, А.А. Агееву и О.С. Котляровой.

Исследования выполнены в рамках государственных тем ТОИ ДВО РАН (номер гос. регистрации 121021500055-0 и АААА-А19-119122090009-2).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аршев Б.Г. Геологические условия размещения и формирования скоплений нефти и газа на Северном Сахалине как предпосылки поисков крупнейших месторождений // Автореф. дис. к. геол.-минер. н. М., 1974. 21 с.
2. Багдасарова М.В. Современный вулканизм – основной процесс дегазации Земли и формирования флюидогенных полезных ископаемых, в том числе нефти и газа // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения акад. П.Н. Кропоткина, 18–22 октября 2010 г. М.: ГЕОС, 2010. С. 50–53.
3. Буценко Р.Л., Брутман В.Ш., Иваньшина Л.П. Прогнозирование экраняющих свойств пород на основе анализа их эволюции в ходе литогенеза // Коллекторские свойства пород на больших глубинах. М.: Наука, 1985. С. 107–111.
4. Геология СССР. Т. 33. Остров Сахалин. М.: Недра, 1970. 431 с.
5. Дмитриевский А.Н., Валяев И.Е. Распространение и ресурсы метана газовых гидратов // Наука и техника в газовой промышленности. Науч.-техн. журн. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. С. 5–13.
6. Жарков Р.В. Дагинское месторождение термоминеральных вод на севере о. Сахалин // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: Материалы II Сахалинской молодежной научной школы, Южно-Сахалинск, 4–10 июня 2007 г. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2008. С. 285–290.
7. Жарков Р.В., Козлов Д.Н. Современные сведения о состоянии Агневских термальных источников (остров Сахалин) // Вестн. Дальневост. отд. РАН. 2017. №1 (191). С. 5–11.
8. Жарков Р.В. Современные физико-химические особенности термоминеральных вод Дагинского месторождения (о. Сахалин) / Мониторинг. Наука и Технологии // Науки о Земле. 2018. №4(37). С. 35–40. DOI: <https://doi.org/10.25714/MNT.2018.37.004>.
9. Завадский И.Г. Разведочные работы на Дагинском месторождении термальных вод в Ногликском районе: отчет за 1990–1991 гг. Южно-Сахалинск: Сахалингеология, 1991. 218 с.
10. Зорькин Л.М. Генезис газов подземной гидросферы (в связи с разработкой методов поиска залежей углеводородов) // Геоинформатика. 2008. № 1. С. 45–53.
11. Иванов В.В. Курортные ресурсы Сахалина и перспективы их лечебного использования: отчет комплексного отряда Сахалинской экспедиции. М.: Центр. инст. курортологии, 1954. 265 с.
12. Карта полезных ископаемых, увязанная с государственным балансом запасов РФ. Углеводородное сырье. Карта подготовлена ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 26.12.2019 г. № 049-00017-20-04 (в ред. от 13.10.2020 № 049-00017-20-06).
13. Красный М. Охрана природы, мониторинг и обустройство сахалинского шельфа. Южно-Сахалинск: Русское географ. об. Сахалин. отделение, 2001. 180 с.
14. Лаврушин В.Ю., Поляк Б.Г., Покровский Б.Г., Копп М.Л., Буачидзе Г.И., Каменский И.Л. Изотопно-геохимические особенности грязевых вулканов Восточной Грузии // Литология и полез. ископаемые. 2009. № 2. С. 183–197.
15. Ломтев В.Л. К диагностике пластовых срывов // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики: Материалы ХLI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2008. Т. 1. С. 508–512.
16. Ломтев В.Л., Жердева О.А. К сейсмодинамике Сахалина: Новые подходы // Геология и полез. ископаемые Мирового океана. 2015. № 3. С. 56–68. ISSN 1999 7566.
17. Мельников О.А. Структура и геодинамика Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. М.: Наука, 1987. 94 с.
18. Обжиров А.И. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 с.
19. Обжиров А.И., Астахова Н.В., Липкина М.И., Верещагина О.Ф., Мишукова Г.И., Сорочинская А.В., Югай И.Г. Газогеохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря. Владивосток: Дальнаука, 1999. 184 с.
20. Природные газы осадочной толщи / Под ред. В.П. Якуцени. Л.: Недра, 1976. 344 с.
21. Розорителева Т.С., Прядко В.Е., Спалило Е.Л. Современная изученность гидротермоминеральных ресурсов Сахалина и Курильских островов и перспективы их использования в народном хозяйстве: геологический отчет за 1990–1991 гг. Южно-Сахалинск: Сахалингеология, 1991. 895 с.
22. Термодинамика и ее применение в литологии / М.Ф. Стащук; Отв. ред. Л.М. Грамм-Осипов, А.С. Бычков. М.: Наука, 1985. 221 с.
23. Хмарин Э.К., Васильев М.В., Костров Ю.В., Левин А.В., Дегтярев В.А. Пильгун-Чайвинский бассейн: новый виток развития нефтегазовой отрасли суши острова Сахалин // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2021. Т. 16, № 2. С. 1–13.
24. Цитенко Н.Д. Воды Дагинских горячих ключей на о. Сахалине // Тр. ВНИГРИ. СПб: ВНИГРИ, 1961. Вып. 181.

- С. 203–213.
25. Челноков Г.А., Жарков Р.В., Брагин И.В., Веселов О.В., Харитонов Н.А., Шакиров Р.Б. Геохимические характеристики подземных флюидов южной части Центрально-Сахалинского разлома // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 35, № 5. С. 81–95.
26. Шакиров Р.Б. Газогеохимические поля окраинных морей Восточной Азии. М.: ГЕОС, 2018. 341 с. + 1 вклейка. ISBN 978-5-89118-783-2.
27. Штейн М.А. Определение параметров и глубин залегания термальных подземных вод // Тр. СахКНИИ. Южно-Сахалинск: СахКНИИ, 1962. Вып. 12. С. 162–165.
28. Штейн М.А. Термальные воды Сахалина и вопросы их использования // Региональная геотермия и распространение термальных вод в СССР. М.: Наука, 1967. С. 274–280.
29. Яницкий И.Н. Гелиевая съемка [Текст]. М.: Недра, 1979. 96 с.
30. Chelnokov G.A., Bragin I.V., Kharitonova N.A. Geochemistry mineral waters and gases of the Sakhalin Island (Far East of Russia) // J. of Hydrology. 2018. V. 559. P. 942–953. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.02.049.
31. Lu Z. Gas source for gas hydrate and its significance in the Qilian Mountain permafrost, Qinghai. // Marine and Petroleum Geol. 2013. V. 43. P. 341–348.
32. Obzhairov A.I., Sokolova N.L., Telegin Yu.A. Geological conditions of the formation and dissociation of gas hydrates in the Sea of Okhotsk: Tectonic and genetic aspects. // Lithology and Mineral Resources. 2021. V. 56, N. 4. P. 333–342.
33. Venikova A.L., Pestrikova N.L. Gas genesis of Dagi Hydrothermal vents from Sakhalin Island // The 5th International Scientific Conference of young scientists and students «Fundamental and applied geological science through the eyes of young scientists: achievements, prospects, problems and ways of their solutions». Baku, November 14–15, 2013. Geology Institute of Azerbaijan National Academy of Science, Azerbaijan. Nafta-Press, 2013. P. 304–305.
34. Vereshchagina O.F., Korovitskaya E.V., Mishukova G.I. Methane in water columns and sediment of north western Sea of Japan // Deep Sea Research. P. II // Topical studies in Oceanography. 2013. V. 86. P. 25–33.

Рекомендована к печати О.В. Чудаевым  
после доработки 12.05.2022 г.  
принята к печати 23.04.2022 г.

*N.L. Sokolova, Yu.A. Telegin, A.L. Venikova, A.I. Obzhairov*

### **Gas geochemical studies of the Dagi gas-hydrothermal system on the Sakhalin east coast**

The study of deep fluids is a great importance: it helps to understand what is happening not only in the bowels of the Earth, but also on the surface. The natural gas-saturated fluid migration plays an important role in the formation of lithospheric-atmospheric relationships. In the paper the origin nature of gas-saturated fluid sources of the Dagi gas-hydrothermal system on the Sakhalin Island is discussed. It is based on the data of gas-geochemical and isotope analyses and geological features of the research object. It is shown that gas discharge source is a mixture of microbial and biodegraded thermogenic methane.

**Key words:** methane, methane sources, natural gases, Dagi gas-hydrothermal system, Sakhalin Island.