

Паромайские термальные источники острова Сахалин: современное состояние и перспективы использования

© 2019 Р. В. Жарков*¹, Д. Н. Козлов¹, В. В. Ершов¹,
Н. С. Сырбу², О. А. Никитенко¹, Г. В. Устюгов¹

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Россия

*E-mail: rafael_zharkov@mail.ru

Реферат. Приводятся результаты современных исследований физико-химических свойств малоизвестных Паромайских термальных источников на севере о. Сахалин, полученные в ходе полевых работ в ноябре 2018 и октябре 2019 г. По сравнению с данными предшествующих исследований 1951 и 1953 гг. существенных изменений физико-химических свойств гидротерм не произошло. На небольшом участке в пойме р. Паромай находятся несколько термальных источников с температурой до 32 °С. По химическому составу воды Паромайских источников относятся к пресным (минерализация до 0.68 г/л), слабощелочным (рН 7.3–7.5), гидрокарбонатно-хлоридным натриевым. В термальных источниках наблюдаются интенсивные выходы газов, преимущественно состоящих из азота (61.4 %) и метана (31.6 %), что не свойственно другим проявлениям и месторождениям гидротерм северного Сахалина, в которых доминирует метан. Проведенные в районе термальных источников измерения объемной активности подпочвенного радона-222 не выявили аномальных концентраций, значения ОА Rn 58–83 Бк/м³ сопоставимы со значениями для других проявлений и месторождений термальных и минеральных вод острова. Рассчитанные с помощью комплекса геотермометров (Na–K, K–Mg, Na–Li, Mg–Li, SiO₂) температуры глубинного водного резервуара составляют 30–40 °С, что соответствует глубине формирования исследуемых гидротерм в 1–1.5 км. Паромайские термальные воды можно использовать как питьевые столовые воды и для наружного бальнеологического применения.

Ключевые слова: термальные воды, Паромай, геохимические особенности, остров Сахалин.

Для цитирования: Жарков Р.В., Козлов Д.Н., Ершов В.В., Сырбу Н.С., Никитенко О.А., Устюгов Г.В. Паромайские термальные источники острова Сахалин: современное состояние и перспективы использования. *Геосистемы переходных зон*. 2019. Т. 3, № 4. С. 428–437. <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.4.428-437>

Paromay thermal springs of Sakhalin Island: modern state and prospects for use

Rafael V. Zharkov*¹, Dmitry N. Kozlov¹, Valeryi V. Ershov¹,
Nadezhda S. Syrbu², Olga A. Nikitenko¹, Gennadyi V. Ustyugov¹

¹Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

²V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

*E-mail: rafael_zharkov@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of modern studies of physical and chemical features of little-known Paromay thermal springs in the north of Sakhalin Island, obtained during field works in November 2018 and October 2019. There were no significant changes in the thermal spring physical and chemical features in comparison with the previous studies of 1951 and 1953. Several thermal springs with a temperature up to 32 °C are on a small plot in the floodplain of the Paromay River. By chemical composition Paromay springs belong to fresh (mineralization up to 0.68 g/l), slightly alkaline (pH 7.3–7.5), hydrogen carbonate-chloride sodium waters. Gas composition of thermal springs mainly consists of nitrogen (61.4 %) and methane (31.6 %), which are not typical to other thermal springs of North Sakhalin, in which the methane dominates. The measurements of volumetric activity of subsoil radon-222 in the area of thermal springs do not reveal abnormal concentrations; values of OA Rn 58–83 Bq/m³ are comparable to other manifestations of thermal

and mineral waters of the island. Computed by complex geothermal meters (Na–K, K–Mg, Na–Li, Mg–Li, SiO₂) the temperatures of deep water reservoir are 30–40 °C, which corresponds to thermal spring formation depth of 1–1.5 km. Paromay thermal waters can be used as drinking water and for balneological application.

Keywords: thermal waters, Paromay, geochemical features, Sakhalin Island.

For citation: Zharkov R.V., Kozlov D.N., Ershov V.V., Syrбу N.S., Nikitenko O.A., Ustyugov G.V. Paromay thermal springs of Sakhalin Island: modern state and prospects for use. *Geosystems of Transition Zones*, 2019, vol. 3, no. 4, pp. 428–437. (In Russian) <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.4.428-437>

Введение

Паромайские термальные источники находятся на правом берегу р. Паромай у северо-западной оконечности безымянного пресного озера размерами 220 × 60 м (рис. 1), в 1 км западнее пересечения с рекой трассы г. Южно-Сахалинск – г. Оха. В орографическом отношении район лежит в пределах Северо-Сахалинской равнины, осложненной отдельными поднятиями высотой около 100 м. Источники выходят в области развития песчаников нутовской свиты, на восточном крыле Паромайской антиклинали, в 3–4 км к востоку от ее оси. Породы нутовской свиты, представленные в данном районе песками, имеют в естественных обнажениях светло-желтоватую и светло-коричневую окраску [Иванов, 1954]. Выходы гидротерм приурочены, очевидно, к тектоническим нарушениям меридионального направления, так как расположены в зоне активного Гаромайского разлома. По данным [Ломтев, Патрикеев, 2017], последнее сейсмическое событие

в пределах Гаромайского разлома произошло не так давно – первые сотни лет назад.

Паромайские термальные источники до 1945 г. использовались японцами для купания, сведений о проводимых ими исследованиях не сохранилось. В 1950–1960 гг. отечественными учеными [Левченко, Макарова, 1953; Иванов, 1954; Цитенко, Евстафьева, 1962] даны описания и физико-химическая характеристика вод и газовых выходов источников. С начала 1960-х гг. до настоящего времени в фондовых материалах и научной литературе, посвященной термальным и минеральным водам Сахалина [Современная изученность... , 1991; Челнокова и др., 2010; Челнокова, Гвозденко, 2017; Chelnokov et al., 2015, 2018], сведений о современном состоянии Паромайских термальных источников нет.

Первые полевые обследования этих термальных источников авторами проводились в ноябре 2018 г. (Жарков Р.В., Козлов Д.Н., Климанцов И.М.) и в октябре 2019 г. (Жарков Р.В., Андриянов Д.А.). Основной целью исследований было выявление современных физико-химических особенностей гидротерм и оценка перспектив их использования в бальнеотерапии. Для выполнения поставленной цели был проведен химический анализ воды и определен состав выделяющихся со дна газов для нескольких наиболее представительных термальных источников. Также проводились измерения объемной активности почвенного радона-222 в районе источников.

Исследования показали, что Паромайские источники схожи по физико-химическим характеристикам с Агневскими термальными источниками [Жарков, Козлов, 2017] в северной части Сахалина и с Амурскими [Жарков

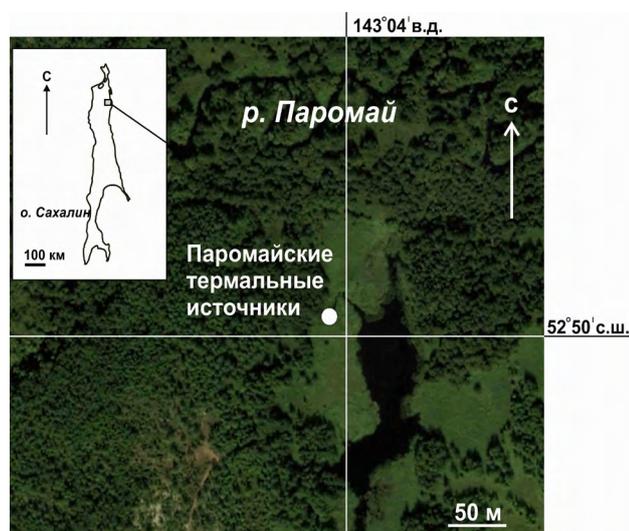


Рис. 1. Схема расположения Паромайских термальных источников (космический снимок Google Earth от 04.09.2018 г.).

и др., 2018] на юге острова. Известные и детально изученные Дагинские термальные источники [Жарков, 2018; Павлова, Жарков, 2018], расположенные в 88 км к югу от Паромайских, существенно отличаются от них как по температуре и дебиту, так и по химическому и газовому составу.

Методы исследований

В ходе полевых исследований проводились отбор проб термальных вод и газов источников и определения основных физико-химических параметров термальных вод (рН, температура). Объемную активность радона-222 (ОА Rn) в почвенном воздухе измеряли с помощью сейсмической радоновой станции СРС-05 (приборостроительная компания ООО «НТМ-Защита», г. Москва). Анализ химического состава водных проб выполнен в Центре коллективного пользования ИМГиГ ДВО РАН. Водные пробы предварительно очищали с помощью мембранных фильтров (0.45 мкм). Содержание Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , F^- , Cl^- , Br^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} определяли методом ионной хроматографии на высокоэффективном жидкостном хроматографе LC-20 Prominence с кондуктометрической ячейкой (Shimadzu, Япония); содержание неорганического углерода (IC – inorganic carbon) и общего азота (TN – total nitrogen) – на анализаторе углерода TOC-L CSN с приставкой TNM-L для определения общего азота (Shimadzu, Япония). Концентрацию HCO_3^- и CO_3^{2-} измеряли титриметрическим методом с визуальной индикацией конечной точки титрования. Для определения водородного показателя использовался портативный рН-метр WTW 3110 ProfiLine. Анализы газов выполнены на газовом хроматографе «Кристаллюкс 4000М» с детекторами ионизации в пламени и теплопроводности и портативном газовом хроматографе «Газохром-2000». Методики газогеохимических исследований закреплены в Паспорте лаборатории газогеохимии ПС 1.047-18, утвержденном Свидетельством Росстандарта № 41 от 17.09.2018 (лаборатория газогеохимии ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток).

С помощью гидрохимических геотермометров (Na-K , K-Mg , Na-Li , Mg-Li , SiO_2) (см.: [Giggenbach, 1988; Kharaka, Mariner, 1989]) проведены оценки температуры формирования Паромайских гидротерм.

Результаты и обсуждение исследований Физико-химические свойства Паромайских термальных источников в 1951–2019 гг.

Первое детальное описание Паромайских термальных источников дано в отчете В.М. Левченко и К.А. Макаровой [1953], посетивших это термопроявление 6 октября 1951 г. По описаниям исследователей, многочисленные малодобитные холодные и термальные источники расположены в русле и на берегу небольшого холодного ручейка, стекающего в ложбине озерной террасы. На правой стороне ручейка находится небольшая дощатая ванна глубиной около 1 м и размерами 110 × 136 см. На дне ванны также имеются выходы теплой воды и выделяются мелкие пузырьки газа. Температура воды в ванне была 31 °С, в некоторых источниках около ванны температура достигала 32 °С при температуре воздуха 18.5 °С. Дебит всех вытекающих источников невелик и оценен приблизительно в 1 л/с. При этом дебит гидротерм в ванне составлял около 0.2 л/с. Никаких признаков сероводорода, никакого цвета, запаха и вкуса термальная вода не имела. В 1951 г. в Сахалинском филиале АН СССР (ныне ИМГиГ ДВО РАН) из пробы воды, взятой Левченко, был выполнен краткий химический анализ (табл. 1), на основании которого гидротермы можно отнести к пресному (минерализация 0.7 г/л) слабощелочному (рН 7.5) гидрокарбонатно-хлоридному натриевому типу.

В 1953 г. [Иванов, 1954] подробно описаны источники, выполнен химический анализ воды, анализ растворенного и спонтанного газа. По описаниям В.В. Иванова, в центре участка, на котором выходит вода, расположен колодец глубиной 0.6 м и сечением 110 × 135 см, закрепленный деревянным срубом (рис. 2). В отчете [Иванов, 1954] этот колодец обозначен как Главный



Рис. 2. Вид с запада на группу Паромайских термальных источников и Главный термальный источник в 1953 г. [Иванов, 1954].

(Основной) термальный источник. Дно колодца дощатое, в значительной части разрушенное. Через сруб колодца из толщи песчано-глинистых отложений поступает незначительная часть воды, большая же ее часть выходит в виде многочисленных мелких источников в радиусе 5–10 м вокруг колодца.

Температура воды в колодце у дна составляла 32.3–32.4 °С, температура воды в источниках вокруг колодца – в пределах 20–32.4 °С. Дебит колодца 0.1 л/с, общий дебит источников Паромайской группы около 1.3 л/с. На основании данных химического состава воды гидротермы можно отнести к пресным (минерализация 0.6 г/л), щелочным (рН 8.4), гидрокарбонатно-хлоридным натриевым. Содержание кремнекислоты (H_2SiO_3) в воде очень мало – 23.4 мг/л. Какие-либо другие бальнеологические компоненты в воде Паромайских источников не обнаружены.

По мнению В.В. Иванова [1954], весьма низкая минерализация и значительное содержание азота (что резко отличает воду Паромайских источников от глубоко залегающих вод) позволяют считать, что в ее составе значительную роль играют инфильтрационные атмосферные воды. Относительно низкая температура воды, отсутствие специфических бальнеологических компонентов и малопривлекательные ландшафтные условия делают нецелесообразной организацию практического лечебного использования Паромайских термальных источников.

Проведенные летом 1960 г. исследования [Цитенко, Евстафьева, 1962] подтвердили основные физико-химические характеристики термальных вод Паромайских источников (табл. 1).

Обследование Паромайских термальных источников, проведенное авторами в ноябре 2018 и октябре 2019 г., выявило небольшие изменения, по сравнению с описаниями начала 1950-х годов, внешнего облика Главного источника. В настоящее время он разрыт и вытянут в северном направлении (рис. 3), несколькими досками каптирована его южная и северная части (рис. 4). Глубина Главного источника 30–60 см, общая длина около 4 м при ширине 60–150 см. В западной части в источник впадает небольшой холодный ручеек, поэтому температура воды в источнике составляет 20–31 °С, а в северной части у дна достигает 31.4 °С. Местами



Рис. 3. Вид с юга на Паромайские термальные источники. Ноябрь 2018 г. Фото Д.Н. Козлова

Таблица 1. Химический состав Паромайских термальных источников (в мг/л)

Показатель	1	2	3	4	5	6
T, °C	31.5	32.4	32.0	30.9	17	27
pH	7.5	8.4	7.5	7.4	7.3	7.5
Na ⁺	189	159	184	154	146	179
K ⁺		0.9		1.0	1.4	1.2
Ca ²⁺	4.7	4.4	6.0	4.5	5.8	5.3
Mg ²⁺	1.1	2.2	1.0	1.1	1.6	1.5
NH ₄	–	0.7	–	0.12	0.23	0.23
Cl ⁻	64	40	39.0	29	33	41
SO ₄ ²⁻	2.1	2.9	4.0	< 0.05	0.2	< 0.05
NO ₃ ⁻	–	–	–	0.4	0.5	0.6
HCO ₃ ⁻	408	378	439	410	385	450
TDS	700	643	673	600	574	679
Br ⁻	–	0.1	–	0.10	0.10	0.12
F ⁻	–	–	–	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Li ⁺	–	–	–	0.005	0.006	0.008
B	–	–	–	0.46	0.44	0.55
Si	–	–	–	10.7	10.6	10.9
IC	–	–	–	84	80	92
TN	–	–	–	0.6	0.7	0.8

Примечания. Прочерк – элемент в пробе не определялся; TN – total nitrogen, IC – inorganic carbon. Пробы воды: 1–4 – Главный источник, дата отбора 06.10.1951 [Левченко, Макарова, 1953] (1), 16.08.1953 [Иванов, 1954] (2), 17.07.1960 [Цитенко, Евстафьева, 1962] (3), 05.11.2018 (4); 5 – источник, расположенный южнее Главного источника, 05.11.2018; 6 – источник с запада от Главного источника, 05.11.2018.

со дна поднимаются пузырьки газов, наиболее интенсивные выходы отмечаются в северной части источника и в русле вытекающего из него теплого ручейка, впадающего в северо-западную часть озера. По химическо-

му составу гидротермы Главного источника отнесены, как и ранее, к пресным, слабощелочным, гидрокарбонатно-хлоридным натриевым (табл. 1). Вокруг Главного источника можно отметить несколько малодобитных



Рис. 4. Южная часть (слева) и северная часть Главного термального источника с выходами со дна газов. Ноябрь 2018 г. Фото Р.В. Жаркова

источников, схожих по химическому составу. В нескольких метрах южнее Главного источника, на склоне небольшой песчаной террасы, расположен выход воды с температурой 16–17 °С. В западной части находятся источники с температурой 20–30.5 °С, в гидротермальных выходах развиты синезеленые термофильные водоросли и ряска, периодически выделяются газы.

Эти малодобитные источники также имеют гидрокарбонатно-хлоридный натриевый состав, низкую минерализацию и pH 7.5.

Несмотря на разные температуру и условия выхода на поверхность, термальные воды трех опробованных в 2018 г. источников имеют практически одинаковый химический состав, низкую общую минерализацию (0.57–0.68 г/л) и pH 7.3–7.5. Среди макрокомпонентов в гидротермах преобладают натрий (146–179 мг/л), гидрокарбонат-ион (385–450 мг/л) и хлор (29–41 мг/л). Значения концентраций NO_3^- и TN свидетельствуют о низком содержании азотсодержащих соединений в исследуемых водах. Азот – это биогенный элемент, образующийся при разложении органики. Азот является хорошим маркером антропогенного загрязнения – промышленного, сельскохозяйственного, коммунально-бытового и др. В данном случае о подобном загрязнении говорить не приходится: соединения азота в исследуемые воды попадают, вероятно, естественным путем в ходе своего биогеохимического цикла. Известно, что фтор в больших количествах обладает токсичными свойствами, повышая риск возникновения различных заболеваний – флюороза, патологий костно-мышечной системы, нарушений функций щитовидной железы и др. Его предельно допустимая концентрация, например, в пи-

тневых водах составляет 1.5 мг/л. Видно, что в нашем случае концентрации F очень низкие (<0.1 мг/л) и не представляют опасности для здоровья. Бор, бром и кремний относятся к биологически активным компонентам минеральных вод. В паромайских водах концентрации Br (0.10–0.12 мг/л), В (0.44–0.55 мг/л) и Si (10.6–10.9 мг/л) существенно ниже бальнеологической нормы [ГОСТ Р 54316–2011]: бром не менее 25 мг/л; бор (в пересчете на ортоборную кислоту) не менее 35 мг/л; кремний (в пересчете на метакремниевую кислоту) не менее 50 мг/л. Одним из главных источников поступления лития в подземные воды осадочных бассейнов является его десорбция из глин при достаточно большом времени взаимодействия вода–порода и относительно высоких температурах. Низкие концентрации Li^+ , полученные в нашем случае, позволяют говорить о том, что исследуемые воды формируются в зоне свободного водообмена на довольно небольших глубинах. Заметим также, что отношение Cl/Br имеет значения в диапазоне 290–400, что указывает на возможную подпитку Паромайских источников морскими водами.

Общие физико-химические параметры Паромайских гидротерм за более чем 65-летний период их исследований имеют стабильный характер. Диапазон изменения во времени концентраций макроэлементов незначительный.

Состав газов

Паромайских термальных источников

Анализы растворенного и спонтанного газов Главного источника в 1953 г. [Иванов, 1954] показали преобладание азота и метана (табл. 2). В свободном газе доминирует азот

Таблица 2. Состав свободно выделяющихся газов в Главном Паромайском термальном источнике (в %)

№	CO ₂	O ₂ +Ar	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	He, ppm	H ₂ , ppm
1	0.65	0.00	~66.00	~33.00	–	–	–	0.0
2	0.00	0.00	48.30	51.69	–	–	–	0.0
3	0.11	0.44	61.45	31.63	0.02	0.00004	30.0	1.6

Примечания. Прочерк – элемент в пробе не определялся. 1 – свободный газ, дата отбора 17.08.1953 [Иванов, 1954]; 2 – растворенный газ, 18.08.1953 [Иванов, 1954]; 3 – свободный газ, 05.11.2018.

(~66 %), в растворенном газе немного преобладает метан (~52 %).

Отмечено [Иванов, 1954], что нефтяные воды Паромайского нефтяного месторождения, а также других нефтяных и гидротермальных месторождений на севере Сахалина являются метановыми. Химический состав воды и преобладание азота в составе свободно выделяющихся газов термальных источников может указывать на значительную роль инфильтрационных атмосферных вод в питании данных гидротерм.

В 2018 г. в газовом составе поднимающихся в северной части со дна пузырьков (табл. 2) преобладали азот (61 %) и метан (~32 %). Газовый состав не претерпел существенных изменений за последние 65 лет, содержания азота и метана стабильны. Концентрации гелия (30 ppm) и водорода (1.6 ppm) в свободном газе Паромайских гидротерм типичны для термальных и минеральных месторождений о. Сахалин [Шакиров и др., 2016].

Содержание подпочвенного радона в районе Паромайских термальных источников

5 ноября 2018 г. в шурфе на песчаной террасе в 10 м юго-западнее Главного источника было проведено 5 последовательных измерений объемной активности радона-222 (ОА Rn) в воздухе подпочвы. Исследования потока радона ведутся как с целью выявления зон разуплотнения, выступающих в качестве проводящих коллекторов для подпочвенных газов и указывающих на наличие систем региональных разломов, так и с целью поиска предвестников землетрясений [Зубков, 1981; Cicerone et al., 2009; Chelnokov et al., 2015; Фирстов, Макаров, 2018; Макаров и др., 2018; Фирстов и др., 2018]. Для гидротермальных и минеральных проявлений и месторождений Сахалина характерен низкий уровень концентрации радона в подпочвенном воздухе. По данным [Челноков и др., 2015; Chelnokov et al., 2015], на Синегорском месторождении минеральных вод ОА Rn составляет 64 Бк/м³, на Волчанских минеральных источниках достигает 51 Бк/м³, на территории Лесогор-

ских термальных источников – 100 Бк/м³. По нашим впервые полученным данным, содержание подпочвенного радона в районе Главного Паромайского источника составляет 58–83 Бк/м³, что сопоставимо со значениями в перечисленных проявлениях и месторождениях.

Геотермические условия формирования гидротерм

С помощью гидрохимических геотермометров (Na–K, K–Mg, Na–Li, Mg–Li, SiO₂) проведены оценки температуры формирования вод Паромайских гидротерм. Гидрохимические геотермометры – это полуэмпирические зависимости, которые связывают концентрации некоторых компонентов химического состава (Na, K, Mg, Li, SiO₂) и температуру подземных вод. Применение того или иного геотермометра имеет свою специфику и зависит от состава водовмещающих пород. Поэтому результаты расчетов по различным гидрохимическим геотермометрам могут различаться. Для вод гидротермальных систем наиболее подходящими считаются Na–K и K–Mg геотермометры [Giggenbach, 1988].

Пластовые температуры Паромайских источников, рассчитанные по K–Mg геотермометру, составляют от 41 до 44 °С, по Na–K геотермометру – от 80 до 96 °С (табл. 3). При этом установлено, что концентрации Na и K в термальных водах достигают равновесного состояния медленнее, чем концентрации K и Mg, поэтому температуры, рассчитанные по K–Mg геотермометру, следует считать более надежными [Giggenbach, 1988]. Необходимо также учитывать, что Na–K геотермометры откалиброваны и используются обычно для термальных вод с высокими пластовыми температурами – 100–150 °С и выше [Kharaka, Mariner, 1989].

Кремниевые геотермометры основаны на растворимости кварца, халцедона, кристобалита или аморфного диоксида кремния. При использовании этих геотермометров может возникнуть неопределенность в отношении того, какой именно минерал контролирует концентрацию растворенного кремнезема.

В работе [Kharaka, Mariner, 1989] отмечается, что при температурах ниже примерно 110 °С растворенный кремнезем будет контролироваться халцедоном. Оценки пластовых температур Паромайских источников, рассчитанные с помощью SiO₂ геотермометра (по халцедону), составляют 36–37 °С (табл. 3).

В области низких пластовых температур (меньше 70 °С) рекомендуется также использовать Na–Li и Mg–Li геотермометры [Kharaka, Mariner, 1989]. Оценки температур, полученные нами по Na–Li геотермометру, составляют 29–37 °С (табл. 3). Это хорошо согласуется с температурными оценками по K–Mg и SiO₂ геотермометрам. Mg–Li геотермометр показывает пластовые температуры 9–14 °С (табл. 3). Здесь необходимо отметить, что концентрации Li в Паромайских термальных водах очень низкие – менее 10 мкг/л. Такие концентрации определяются на нижнем пределе обнаружения ионного хроматографа. В связи с этим относительная погрешность определяемой концентрации Li может повышаться до 30–50 %.

Таблица 3. Оценки температур формирования вод Паромайских термальных источников по гидрохимическим геотермометрам

Геотермометр	Температура (°С)		
	4	5	6
K–Mg	41	44	41
Na–K	80	96	81
SiO ₂ (по халцедону)	37	36	37
Na–Li	29	35	37
Mg–Li	9	9	14

Примечания. 4 – Главный источник, 5 – источник, расположенный южнее Главного источника, 6 – источник с запада от Главного. Номера источников совпадают с номерами в табл. 1.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что значения температуры формирования Паромайских термальных вод, рассчитанные по комплексу геотермометров, находятся в диапазоне 30–40 °С. Принимая среднюю для севера Сахалина геотермическую ступень 33.2 м на 1 °С [Штейн, 1962], можно определить примерную глубину формирования для Паромайских гидротерм – 1–1.5 км.

Возможности применения гидротерм в бальнеотерапии

Паромайские термальные источники малоизвестны среди жителей и гостей острова, они редко посещаются и используются. Физико-химические свойства гидротерм предполагают возможность их использования в качестве питьевых столовых вод и для наружного применения в бальнеотерапии. Согласно [ГОСТ Р 54316–2011], Паромайские термальные воды можно отнести к Эссентукскому горному гидрохимическому типу питьевых столовых вод I гидрокарбонатной натриевой группы, у которого нет медицинских показаний для внутреннего применения. Для наружного (бальнеологического) применения Паромайских гидротерм аналогом условно может быть Горячинский тип кремнистых термальных вод [Классификация минеральных... , 2000]. Воды этого типа рекомендуется использовать в виде ванн при болезнях системы кровообращения, болезнях нервной системы, болезнях эндокринной системы, расстройстве питания и нарушении обмена веществ (ожирение алиментарное), при болезнях мочеполовой системы, болезнях кожи. Вследствие низкой общей минерализации Паромайских гидротерм, незначительных концентраций биологически активных компонентов (в том числе кремния) и невысокой температуры, бальнеологический эффект от внутреннего и наружного применения предполагается незначительный. Для детальной оценки перспектив внутреннего и наружного использования вод в дальнейшем необходимы комплексные физико-химические и экспериментально-клинические исследования.

Заключение

На сегодняшний день Паромайские термальные источники на севере Сахалина малоизвестны и практически не используются, в отличие, например, от Дагинских термальных источников. Современные исследования Паромайских источников в ходе полевых работ в ноябре 2018 и октябре 2019 г. не выявили существенных изменений физико-

химических свойств гидротерм по сравнению с данными 1950–1960 гг.

Источники с температурой до 32 °С относятся к пресным, слабощелочным (рН около 7.5), гидрокарбонатно-хлоридным натриевым водам.

В составе свободно выделяющихся газов преобладают азот (61.4 %) и метан (31.6 %), что резко отличает их от других проявлений и месторождений гидротерм северного Сахалина, в которых доминирует метан.

Проведенные в районе термальных источников измерения объемной активности подпочвенного радона-222 показали относительно низкие концентрации (58–83 Бк/м³), что свойственно и другим проявлениям и месторождениям термальных и минеральных вод Сахалина.

Глубину формирования исследуемых гидротерм можно оценить в 1–1.5 км, что соответствует температуре глубинного водного резервуара (30–40 °С), рассчитанной с помощью комплекса геотермометров.

Использовать воды Паромайских источников можно в качестве питьевых столовых, не имеющих медицинских показаний к применению. Возможно наружное бальнеологическое применение гидротерм по аналогии с кремнистыми водами, но из-за низких температур и концентраций элементов, в том числе кремния, бальнеотерапевтический эффект может быть незначителен. Окончательный вывод можно сделать после комплексных физико-химических и экспериментально-клинических исследований. Полагаем, что Паромайские термальные источники и окружающие их ландшафты больше подходят для рекреации и экологического туризма, чем для лечебно-оздоровительных процедур.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМГиГ ДВО РАН и гранта РФФИ (грант № 20-35-70014).

Список литературы

1. ГОСТ Р 54316–2011. *Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ, 2011. 48 с.
2. Жарков Р.В. Современные физико-химические особенности термоминеральных вод Дагинского месторождения (о. Сахалин) // *Мониторинг. Наука и технологии*. 2018. № 4(37). С. 6–11.

3. Жарков Р.В., Козлов Д.Н. Современные сведения о состоянии Агневских термальных источников (остров Сахалин) // *Вестник ДВО РАН*. 2017. № 1. С. 5–11.

4. Жарков Р.В., Козлов Д.Н., Веселов О.В., Еришов В.В., Сырбу Н.С., Никитенко О.А. Амурские термальные источники (остров Сахалин) // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 11 (ч. 2). С. 317–322. <https://doi.org/10.17513/use.36946>

5. Зубков С.И. Радонные предвестники землетрясений // *Вулканология и сейсмология*. 1981. № 6. С. 74–105.

6. Иванов В.В. *Курортные ресурсы Сахалина и перспективы их лечебного использования: отчет комплексного отряда Сахалинской экспедиции*. М.: Центральный ин-т курортологии, 1954. 265 с.

7. *Классификация минеральных вод и лечебных грязей для целей их сертификации: Методические указания № 2000/34* / А.Н. Разумов, В.Б. Адилев, О.Б. Давыдова и др. М.: РНЦ ВМиК, 2000. 150 с.

8. Левченко В.М., Макарова К.А. *Минеральные источники и лечебные грязи Сахалина*. Ново-Александровск: СФ АН СССР. 1953. 84 с. Инв. № 550-ф (фонды ИМГиГ ДВО РАН).

9. Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. Сейсмические признаки активных разломов Северного Сахалина = Lomtev V.L., Patrickeyev V.N. Seismic signatures indicators of North Sakhalin active faults // *Геосистемы переходных зон*. 2017. Т. 1, № 1. С. 37–48. doi:10.30730/2541-8912.2017.1.1.037-048

10. Макаров Е.О., Фирстов П.П., Костылев Д.В., Рылов Е.С., Дудченко И.П. Первые результаты мониторинга подпочвенного радона сетью пунктов, работающей в тестовом режиме, на юге острова Сахалин // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2018. № 5(25). С. 89–104. doi:10.18454/2079-6641-2018-25-5-89-104

11. Павлова В.Ю., Жарков Р.В. Результаты георадарных исследований на территории Дагинской гидротермальной системы (остров Сахалин) = Pavlova V.Yu., Zharkov R.V. GPR surveys of the discharge zone of the Daginsky hydrothermal system (Sakhalin Island) // *Геосистемы переходных зон*. 2018. Т. 2, № 4. С. 323–331. doi:10.30730/2541-8912.2018.2.4.323-331

12. *Современная изученность гидротермоминеральных ресурсов Сахалина и Курильских островов и перспективы их использования в народном хозяйстве*: геол. отчет за 1990–1991 гг. / исполн.: Т.С. Розорителева, В.Е. Прядко, Е.Л. Спалило. Южно-Сахалинск: Сахалингеология. 1991. 895 с. Инв. № 461852 (Росгеолфонд, Центральное фондохранилище).

13. Фирстов П.П., Макаров Е.О. *Динамика подпочвенного радона на Камчатке*. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2018. 145 с.

14. Фирстов П.П., Макаров Е.О., Глухова И.П., Будилов Д.И., Исакевич Д.В. Поиск предвестниковых аномалий сильных землетрясений по данным мониторинга подпочвенных газов на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне = Firstov P.P.,

- Makarov E.O., Glukhova I.P., Budilov D.I., Isakevich D.V. Search for predictive anomalies of strong earthquakes according to monitoring of subsoil gases at Petropavlovsk-Kamchatsky geodynamic test site // *Геосистемы переходных зон*. 2018. Т. 2, № 1. С. 16–32. doi:10.30730/2541-8912.2018.2.1.016-032
15. Цитенко Н.Д., Евстафьева В.И. *Гидрогеологические факторы формирования и разрушения нефтяных и газовых залежей Сахалина*: геол. отчет. Оха: ВНИГРИ, 1962. 307 с. Инв. № 1482-ф (фонды ИМГиГ ДВО РАН).
16. Челноков Г.А., Жарков Р.В., Брагин И.В., Веселов О.В., Харитоновна Н.А., Шакиров Р.Б. Геохимические характеристики подземных флюидов южной части Центрально-Сахалинского разлома // *Тихоокеанская геология*. 2015. Т. 35, № 5. С. 81–95.
17. Челнокова Б.И., Гвозденко Т.А. *Минеральные воды и лечебные грязи Дальнего Востока: справочник*. Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2017. 220 с.
18. Челнокова Б.И., Иванов Е.М., Гвозденко Т.А. *Минеральные воды и лечебные грязи Дальнего Востока: справочник*. Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2010. 128 с.
19. Шакиров Р.Б., Сырбу Н.С., Обжиров А.И. Распределение гелия и водорода в отложениях и воде на склоне о. Сахалин // *Литология и полезные ископаемые*. 2016. № 1. С. 68–81. [Shakirov R.B., Syrbu N.S., Obzhirov A.I. Distribution of helium and hydrogen in sediments and water on the Sakhalin slope. *Lithology and Mineral Resources*. 2016, 51(1): 61-73. https://doi.org/10.1134/s0024490216010065]
20. Штейн М.А. Определение параметров и глубин залегания термальных подземных вод // *Труды СахКНИИ*. Южно-Сахалинск: СахКНИИ, 1962. Вып. 12. С. 162–165.
21. Chelnokov G., Zharkov R., Bragin I. Radon monitoring in groundwater and soil gas of Sakhalin Island // *J. of Geoscience and Environment Protection*. 2015. Vol. 3. P. 48–53. http://dx.doi.org/10.4236/gep.2015.35006
22. Chelnokov G.A., Bragin I.V., Kharitonova N.A. Geochemistry of mineral waters and associated gases of the Sakhalin Island (Far East of Russia) // *J. of Hydrology*. 2018. Vol. 559. P. 942–953. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.049
23. Cicerone R.D., Ebel J.E., Beitton J.A. Systematic compilation of earthquake precursors // *Tectonophysics*. 2009. № 476. P. 371–396. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.06.008
24. Giggenbach W.F. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na–K–Mg–Ca geoindicators // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1988. Vol. 52(12). P. 2749–2765. https://doi.org/10.1016/0016-7037(88)90143-3.
25. Kharaka Y.K., Mariner R.H. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins // *Thermal History of Sedimentary Basins, Methods and Case Histories*. New York, 1989. P. 99–117. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3492-0_6

Об авторах

ЖАРКОВ Рафаэль Владимирович (ORCID 0000-0002-9753-0627), кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, КОЗЛОВ Дмитрий Николаевич (ORCID 0000-0002-8640-086X), кандидат географических наук, старший научный сотрудник – лаборатория вулканологии и вулканопасности, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН), Южно-Сахалинск; ЕРШОВ Валерий Валерьевич (ORCID 0000-0003-2289-6103), кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, НИКИТЕНКО Ольга Александровна (ORCID 0000-0002-0177-2147), научный сотрудник, УСТЮГОВ Геннадий Викторович, инженер-исследователь – отдел исследования вещественного состава геосфер Центра коллективного пользования, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН), Южно-Сахалинск; СЫРБУ Надежда Сергеевна (ORCID 0000-0002-1441-6133), кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории газогеохимии, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток