

© Авторы 2022 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors 2022. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.234+550.4

<https://doi.org/10.30730/gtr.2022.6.3.183-194>
<https://www.elibrary.ru/gokikf>

Динамика физико-химических параметров термоминеральных вод Дагинского месторождения (до проведения реконструкции источников 2019–2020 гг.)

О. А. Никитенко*, В. В. Ершов, Р. В. Жарков, Г. В. Устюгов

*E-mail: nikitenko.olga@list.ru

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

Реферат. В работе представлены результаты исследований (2017 и 2019 гг.) физико-химических показателей термоминеральных вод Дагинского месторождения, полученные перед проведением реконструкции источников в 2019–2020 гг. Результаты были сопоставлены с данными исследований предыдущих лет (1958–2014 гг.) для изучения динамики измеряемых показателей во времени. Установлено, что воды Дагинского месторождения характеризуются постоянством химического состава и пластовых температур, рассчитанных по нескольким гидрохимическим геотермометрам, что свидетельствует о стабильном гидрогеологическом режиме месторождения. На протяжении многих лет сохраняется также пространственная гидрогеохимическая неоднородность в пределах месторождения, выраженная в различиях некоторых физико-химических показателей (поверхностные температуры, концентрации Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- и др.) термоминеральных вод, разгружаемых на разных участках (Северном, Центральном и Южном). Показано, что измерения содержаний микрокомпонентов (B , Br^- , Li^+) в исследуемых водах, выполненные в разных лабораториях (или разными методами химического анализа), могут существенно различаться. Наилучшие оценки пластовых температур Дагинского месторождения получены с помощью Na-K , K-Mg и SiO_2 гидрохимических геотермометров. Рассчитанные температуры составляют преимущественно от 60 до 100 °С, что соответствует глубине циркуляции термоминеральных вод около 2–3 км. Результаты данного исследования представляют основу для изучения дальнейшей динамики гидрогеохимических показателей Дагинского месторождения, в том числе после проведения мероприятий по реконструкции термоминеральных источников.

Ключевые слова: термоминеральные воды, химический состав, гидрохимические геотермометры, Сахалин

Dynamics of the physicochemical characteristics of the thermomineral waters of the Daginsky field (before the reconstruction of the springs in 2019–2020)

Olga A. Nikitenko*, Valery V. Ershov, Rafael V. Zharkov, Gennady V. Ustyugov

*E-mail: nikitenko.olga@list.ru

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

Abstract. The paper presents the results of studies (2017 and 2019) of the physicochemical characteristics of the thermomineral waters of the Daginsky field, obtained before the reconstruction of the springs in 2019–2020. The obtained data were compared with the data from the studies of previous years (1958–2014) in order to study the dynamics of the measured indicators in over time. It was found that the waters of the Daginsky field are characterized by the constancy of the chemical composition and reservoir temperatures calculated by means of hydrochemical geothermometers. This fact indicates a stable hydrogeological regime of the field. For many years, spatial hydrogeochemical heterogeneity has also been preserved within the field, which consists in the differences in some physicochemical indicators (surface temperatures, concentrations of Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , etc.) of the thermomineral waters discharged in different sites (Northern, Central, Southern). It is shown that the content of microcomponents (B , Br^- , Li^+) in the studied waters, which were measured in different laboratories (or with different methods of chemical analysis) can differ significantly. The most reliable estimates of reservoir temperatures of the Daginsky field are obtained using Na-K , K-Mg and SiO_2 hydrochemical geothermometers. The reservoir temperatures mainly range from 60 to 100 °C, which corresponds to a circulation depth of the thermomineral waters of about 2–3 km. These researches provide a basis for the studying the further dynamics of hydrogeochemical indicators of the Daginsky field, including after the reconstruction of the thermomineral springs.

Keywords: thermomineral waters, chemical composition, hydrochemical geothermometers, Sakhalin Island

Для цитирования: Никитенко О.А., Ершов В.В., Жарков Р.В., Устюгов Г.В. Динамика физико-химических параметров термоминеральных вод Дагинского месторождения (до проведения реконструкции источников 2019–2020 гг.). *Геосистемы переходных зон*, 2022, т. 6, № 3, с. 183–194. <https://doi.org/10.30730/gtr.2022.6.3.183-194>; <https://www.elibrary.ru/gokikf>

For citation: Nikitenko O.A., Ershov V.V., Zharkov R.V., Ustyugov G.V. Dynamics of the physicochemical characteristics of the thermomineral waters of the Daginsky field (before the reconstruction of the springs in 2019–2020). *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2022, vol. 6, no. 3, pp. 183–194. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2022.6.3.183-194>; <https://www.elibrary.ru/gokikf>

Введение

Подземные термоминеральные воды вызывают большой интерес исследователей из различных научных областей, поскольку гидротермы активно используются в качестве экологически чистого и возобновляемого источника энергии, гидроминеральных месторождений для получения редких металлов, а естественные области их разгрузки представляют собой уникальные объекты для создания рекреационных зон [1–10]. На территории Сахалинской области известны многочисленные выходы подземных термоминеральных вод. Одним из таких объектов является Дагинское месторождение термоминеральных вод, которое расположено в северной части о. Сахалин на побережье Ныйского залива Охотского моря. Здесь функционируют десятки высокодебитных горячих источников с температурой разгружаемых вод до 53 °С [11]. В пределах Дагинского месторождения установлен режим особо охраняемой природной территории – термоминеральные источники являются памятником природы регионального значения лечебно-оздоровительного профиля¹. Бальнеологическая ценность термоминеральных вод и высокий рекреационный потенциал данной территории, а также наличие в относительной близости углеводородных залежей обуславливают высокий интерес к проведению здесь гидрогеологических исследований [11–15].

Как правило, исследования Дагинских источников проводятся для того, чтобы получить инструментальные данные о поверхностных температурах, оценить пластовые температуры, дать общую гидрогеохимическую характеристику на момент отбора проб. Однако не менее важно, на наш взгляд, проводить систематизацию и сравнительный анализ физико-химических показателей термоминеральных

вод, полученных разными исследователями в разные периоды времени, начиная с 50-х годов XX в., когда были выполнены первые гидрогеохимические опробования на Дагинском месторождении. Это позволило бы изучить вариации физико-химических показателей термоминеральных источников во времени, а также установить закономерности их пространственных различий, поскольку известно, что источники, расположенные на разных участках месторождения – Северном, Центральном и Южном – имеют определенные различия в химическом составе разгружаемых вод [15]. Такое исследование представляется актуальным, потому что результаты реконструкции Дагинских источников с благоустройством территории вокруг них² в 2019–2020 гг. вызвали серьезный общественный резонанс³. В средствах массовой информации обсуждался вопрос о возможном нарушении режима водного питания источников после выполнения строительных работ, что могло послужить причиной наблюдаемого снижения температуры термоминеральных вод.

Цель настоящей работы – изложить результаты гидрогеохимических исследований, проведенных нами непосредственно перед благоустройством (реконструкцией) Дагинских источников, а также сопоставить их с результатами исследований предыдущих лет для изучения динамики измеряемых физико-химических показателей термоминеральных вод.

Объект и методы исследования

Область разгрузки Дагинских термоминеральных вод протягивается узкой полосой примерно на один километр в юго-западном направлении от литоральной зоны Ныйского залива. На территории Дагинского месторождения выделяют три участка: Южный, Цен-

¹ Государственный кадастр особо охраняемых природных территорий регионального значения Сахалинской области. 2021. Южно-Сахалинск, с. 861–862 [State cadastre of specially protected natural areas of regional importance of the Sakhalin region. 2021. Yuzhno-Sakhalinsk, 861–862 p.].

² Официальный сайт Губернатора и Правительства Сахалинской области [Official website of the Governor and the Government of the Sakhalin region]. URL: https://sakhalin.gov.ru/index.php?id=105&tx_ttnews%5Btt_news%5D=16530&cHash=74db037beacfd50215d2360448a0e54 (accessed 04.05.2022).

³ Информационное агентство «Сак.ком» [News agency “Sakh.com”]. URL: <https://sakhalin.info/news/183125> (accessed 20.04.2022).

тральный и Северный [15]. Источники Северного участка расположены непосредственно в приливно-отливной зоне и периодически затопляются морскими водами залива. Источники Центрального участка в основном сосредоточены в заболоченном понижении, которое в периоды весеннего снеготаяния и интенсивных дождей подтапливается пресными водами атмосферных осадков. Южный участок находится на некотором удалении от Центрального и Северного и представлен небольшой группой источников, часть из которых располагается в русле мелкого ручья. Морфологически термоминеральные источники представляют собой воронкообразные углубления диаметром от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров (рис. 1а). Всего на территории месторождения насчитывается более 60 источников [14]. При обустройстве минеральных источников обычно осуществляют каптаж – комплекс инженерно-технических мероприятий для изоляции минеральных вод от примеси поверхностных вод. Каптаж должен обеспечить максимальный дебит и напор подземных вод с сохранением их естественного состава и свойств. До проведения реконструкции 2019–2020 гг. наиболее крупные источники были каптированы подручными средствами, в основном дощатыми материалами, а их эксплуатация населением происходила путем принятия ванн «диким» образом. В настоящее время на территории месторождения в соответствии с реализованным проектом реконструкции специально оборудовано для принятия лечебно-оздоровительных ванн 6 источников (Молодость, Мечта, Патриот, Партизан, Центральный и Александровский) (рис. 1б, 2 б).

С позиции региональной тектоники Дагинское месторождение термоминеральных вод приурочено к восточной части Северо-Сахалинской наложенной впадины, в пределах которой развит одноименный артезианский бассейн [16, 17]. В геологическом строении бассейна принимают участие рыхлые литифицированные отложения четвертичного, плиоценового и миоценового возраста, общая мощность которых составляет 2–8 км. Фундамент бассейна представлен верхнемеловыми сильно литифицированными образованиями. Считается, что Дагинское месторождение тер-

моминеральных вод сформировано в отложениях нутовской свиты плиоценового возраста, состоящей из слоев водоупорных глин и водоносных песков. Район месторождения характеризуется наличием нескольких систем разрывных нарушений, что обеспечивает возможность вертикальной миграции термоминеральных подземных вод на земную поверхность. В Северо-Сахалинском артезианском бассейне прослеживается выраженная гидродинамическая и гидрохимическая зональность. В основной области водосбора развита зона свободного водообмена, где распространены пресные гидрокарбонатно-натриевые воды. Ближе к северной части бассейна в нижней части разреза – ниже плиоценового водоносного

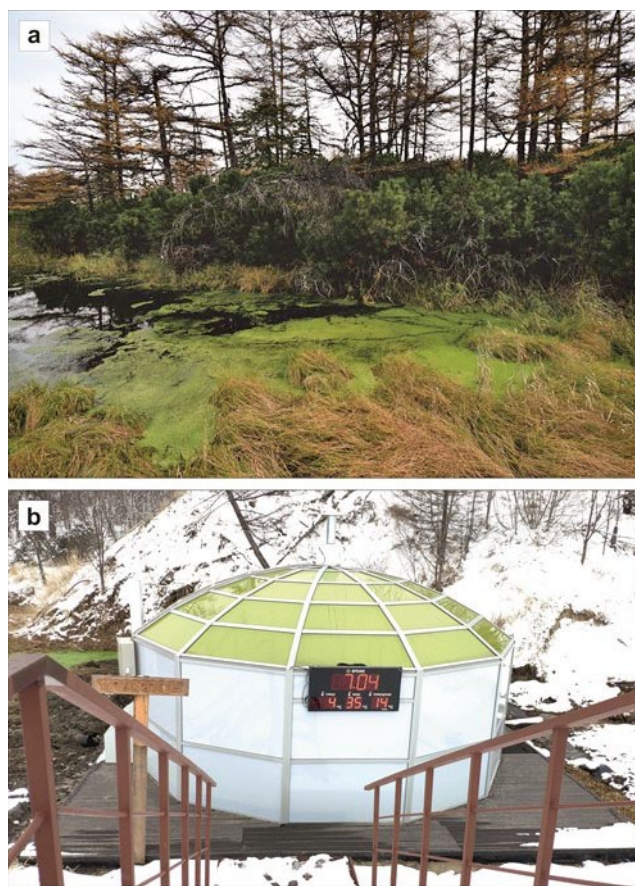


Рис. 1. Современное состояние некоторых термоминеральных источников Дагинского месторождения. (а) область разгрузки термоминеральных вод на одном из источников Центрального участка; (б) источник Молодость на Южном участке после проведения мероприятий по реконструкции в 2019–2020 гг. Фото О.А. Никитенко

Fig. 1. The current state of the some thermomineral springs of the Daginsky field. (a) the area of discharge of the thermomineral waters in the Central site; (b) Molodost' spring in the Southern site after reconstruction in 2019–2020. Photos by O.A. Nikitenko

комплекса – находится зона затрудненного водообмена, для которой характерны гидрокарбонатно-натриевые воды с минерализацией около 3 г/л. А на северной и восточной окраинах артезианского бассейна в гидрогеологическом разрезе преобладают подземные воды хлоридно-натриевого состава с минерализацией преимущественно от 12 до 28 г/л, зона же пресных и солоноватых вод здесь имеет сравнительно небольшую мощность [17].

Традиционно на территории Дагинского месторождения термоминеральных вод выделяют Дагинское грязевулканическое проявление на Северном участке, которое состоит из группы небольших грифонов высотой в основном не более 25–30 см [18]. Однако необ-

ходимо отметить, что причисление данного геологического объекта к грязевым вулканам является дискуссионным, поскольку было установлено, что по многим параметрам он не соответствует типичным проявлениям грязевого вулканизма [19].

Полевые исследования на Дагинских источниках проводились нами в период с 2017 по 2019 г., т.е. до мероприятий по их реконструкции. Отбор проб термоминеральных вод осуществлялся из разных источников и скважин, расположенных на Южном, Центральном и Северном участках (рис. 2), включая источники, которые в настоящее время реконструируются. Для опробованных источников определялись координаты с помощью системы GPS.

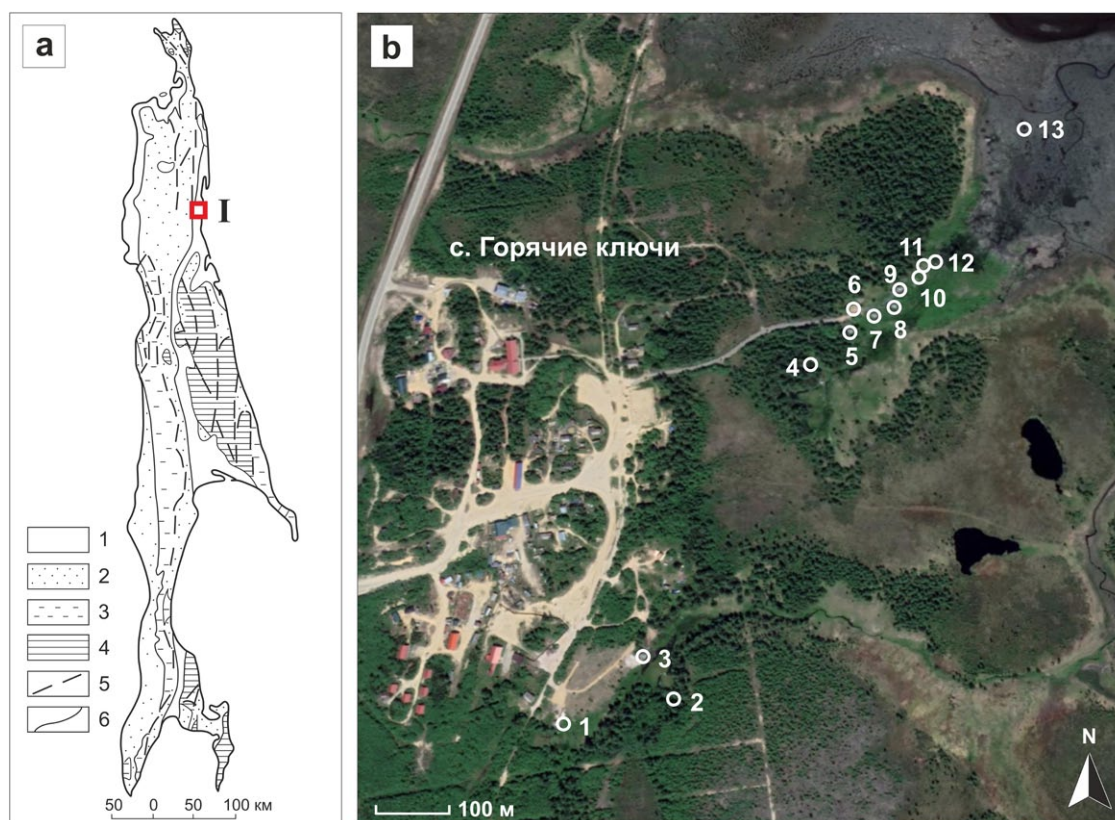


Рис. 2. Карта-схема района исследования. (а) геолого-тектонические условия о. Сахалин по [23]: 1 – седиментитовая четвертичная надформация, 2 – литолитовая палеоген-неогеновая надформация, 3 – метаобломочно-литолитовая меловая мегаформация метаморфитовой палеозой-мезозойской надформации, 4 – метаморфитовая палеозой-мезозойская надформация, 5 – основные разрывные дислокации; 6 – стратиграфические границы геологических формаций; I – местоположение Дагинского месторождения. (б) Схема расположения опробованных источников и скважин: Южный участок (1 – Молодость, 2 – Здоровье, 3 – Мечта); Центральный участок (4 – Озерный, 5 – Александровский, 6 – скважина № 4, 7 – Пионер, 8 – Партизан, 9 – Патриот, 10 – Питьево, 11 – Стиральный, 12 – Трепанг); Северный участок (13 – Морской).

Fig. 2. Schematic map of the study area. (a) the geological and tectonic settings of Sakhalin Island are given according to [23]: 1 – Quaternary system, 2 – Paleogene-Neogene system, 3 – Cretaceous system, 4 – Paleozoic-Mesozoic system; 5 – main discontinuous dislocations; 6 – stratigraphic boundaries; I – the location of the Daginsky field. (b) Layout of the sampled springs and wells: Southern site (1 – Molodost', 2 – Zdorov'e, 3 – Mechta); Central site (4 – Ozernyi, 5 – Aleksandrovskii, 6 – well № 4, 7 – Pioner, 8 – Partizan, 9 – Patriot, 10 – Pit'evoi, 11 – Stiral'nyi, 12 – Trepanng); Northern site (13 – Morskoi).

Химико-аналитические исследования термоминеральных вод были выполнены в Центре коллективного пользования ИМГиГ ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск, Россия). Для исследуемых вод определялся водородный показатель с помощью рН-метра «3110 ProfiLine» (WTW, Германия). Основной ионный состав (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Li^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Br^-) определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония) с кондуктометрическим детектором. Концентрации HCO_3^- и CO_3^{2-} определяли титриметрическим методом с визуальной индикацией конечной точки титрования. Массовые концентрации кремния (мономерно-димерных форм) и бора измеряли фотометрическим методом на спектрофотометре УФ-1200 (ТМ «Эковью», Россия). В ходе полевых исследований для опробованных источников выполнялись также измерения поверхностных температур с помощью цифрового измерительного преобразователя AZ8803 Dual K Thermometer (диапазон рабочих температур от -50 до $+1300$ °C) с датчиком температуры КТХА 01.02-002-к1-И-Т310-3 (диапазон рабочих температур от -40 до $+1000$ °C). Оценки пластовых температур проводились по гидрогеохимическим геотермометрам – Na-K, K-Mg, Na-Li, Mg-Li, SiO_2 [20–22].

Результаты и обсуждение

Гидрогеохимические исследования Дагинского месторождения 2017–2019 гг. показали, что разгружаемые здесь термоминеральные воды по соотношению основных анионов и катионов относятся к Cl-Na типу. Величина общей минерализации в анализируемых водах варьирует от 1.3 до 11.1 г/л, уровень pH – от 6.8 до 7.9, поверхностные температуры – от 22 до 49 °C (табл. 1).

Наблюдаемая в пределах месторождения пространственная гидрогеохимическая неоднородность выражается в различиях измеренных нами некоторых физико-химических показателей источников на разных участках – Северном, Центральном и Южном. Воды источников Центрального и Южного участков имеют относительно низкую минерализацию, значения которой не превышают 2.6 г/л, тогда как минерализация вод на Северном участке достигает 11.1 г/л. По нашему мнению, это обусловлено существенным влиянием морских

вод на гидрогеологический режим Северного участка, который территориально расположен непосредственно в приливно-отливной зоне.

Различия термоминеральных вод на разных участках месторождения проявляются и в содержании определенных компонентов ионно-солевого состава. Воды источников Северного участка характеризуются более высокими значениями отношений K/Cl , Ca/Cl , Mg/Cl , SO_4/Cl , Cl/B , воды Южного и Центрального участков – более высокими значениями отношений Na/Cl , HCO_3/Cl , Si/Cl . Таким образом, воды источников Южного и Центрального участков относительно богаты Na^+ , HCO_3^- и Si, а воды Северного – K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} и B. Различия между источниками на трех участках месторождения проявляются и в поверхностных температурах изливаемых вод – для Северного участка они более низкие, что также обусловлено подмешиванием в источники холодных морских вод Ныйского залива.

Для оценки устойчивости во времени выявленных различий источников на разных участках Дагинского месторождения мы сравнили измеренные нами физико-химические показатели с результатами исследований предыдущих лет. Из табл. 2, в которой систематизированы как литературные, так и собственные гидрогеохимические данные, видно, что различия в химическом составе между термоминеральными водами на Северном, Центральном и Южном участках сохраняются на протяжении многих лет. Вместе с тем на каждом из этих участков наблюдаются различия между данными разных лет. Так, для вод источников Центрального и Северного участков в 1958–1959 гг. отмечена более высокая минерализация (в среднем 12.8 г/л), чем по результатам более поздних опробований (на уровне 2 г/л). Минерализация вод источников Северного участка в 1958–1959 гг. составляла в среднем 19.2 г/л, в то время как по результатам следующих опробований – не выше 11.1 г/л. Такие значительные вариации данных параметров во времени в пределах одного участка могут быть обусловлены разной степенью их смешения с морскими водами Ныйского залива на поверхности. По этой же причине в пределах Центрального и Северного участков в разные моменты времени наблюдается существенный разброс концентраций основных компонентов ионно-солевого состава, что особенно хорошо видно по содержанию Na^+ и Cl^- .

Особое внимание обращают на себя концентрации Br^- , B и Li^+ , которые в термоминеральных источниках в пределах одного участка могут различаться на порядок при разных опробованиях в период с 1958 по 2019 г. Например, в водах источников Южного участка среднее содержание Br^- варьирует от 3.3 до 49 мг/л, B – от 1.2 до 28 мг/л, Li^+ – от 0.02 до 0.2 мг/л (табл. 2). При этом влияние морских вод на этом участке наименьшее, а средние показатели общей минерализации практически не изменяются во времени – от 2183 до 2484 мг/л. Вариации минерализации во

времени на Центральном и Северном участках более существенные: 1784–12770 и 3909–19153 мг/л соответственно (табл. 2). Этим можно было бы попытаться объяснить наблюдаемые здесь вариации содержаний Br^- , B и Li^+ . Однако диапазон колебаний в концентрациях этих микрокомпонентов несоизмерим с диапазоном изменений общей минерализации вод. Например, содержание Br^- на Центральном участке колеблется в пределах от 2.9 до 77 мг/л (табл. 2).

Указанные вариации концентраций Br^- , B и Li^+ могут быть обусловлены аналити-

Таблица 1. Физико-химические показатели термоминеральных вод в 13 источниках Дагинского месторождения в 2017 г. (верхняя строка) и 2019 г. (нижняя)

Table 1. Physicochemical characteristics of the thermomineral waters in 13 springs of the Daginsky field in 2017 (top line) and 2019 (bottom line)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$T, ^\circ\text{C}$	37 38	26 27	37 37	31 35	40 42	49 47	40 40	42 39	41 40	35 н.о. 32	н.о. 32	30 н.о.	н.о. 22
pH	7.1 7.8	7.1 7.6	7.3 7.5	7.4 7.2	6.9 7.5	7.8 7.9	7.0 7.3	7.3 7.3	6.8 7.2	7.5 н.о.	н.о. 7.5	7.2 н.о.	н.о. 7.3
M	2074 2017	2317 2281	2228 2182	1509 1517	1381 1341	2291 2333	1643 1560	1770 1770	1635 1599	1661 н.о.	н.о. 2558	2129 н.о.	н.о. 11125
Na^+	689 709	780 792	746 756	509 525	460 464	770 815	550 540	595 614	546 549	571 н.о.	н.о. 885	732 н.о.	н.о. 3541
K^+	5.4 8.2	7.8 9.5	7.1 8.2	3.2 3.8	3.7 4.7	6.2 8.1	4.1 5.0	2.8 3.5	2.9 3.6	3.9 н.о.	н.о. 4.4	3.2 н.о.	н.о. 89
Ca^{2+}	22 23	24 24	26 27	18 22	22 23	18 20	22 25	26 29	25 27	27 н.о.	н.о. 49	35 н.о.	н.о. 183
Mg^{2+}	4.3 5.1	4.0 5.1	4.2 5.9	1.4 1.5	2.2 2.1	3.0 3.8	1.2 1.4	1.8 2.1	2.4 3.0	5.6 н.о.	н.о. 8.6	4.8 н.о.	н.о. 271
Cl^-	1064 996	1227 1162	1146 1096	770 760	720 681	1160 1149	872 816	954 930	884 837	873 н.о.	н.о. 1417	1225 н.о.	н.о. 6297
HCO_3^-	285 256	270 268	295 268	205 183	170 146	330 317	190 146	185 171	170 159	162 н.о.	н.о. 171	190 н.о.	н.о. 146
SO_4^{2-}	0.1 0.5	0.1 0.2	0.1 0.6	0.3 2.6	0.7 0.6	0.1 0.2	0.6 5.8	1.5 1.2	1.1 1.1	0.6 н.о.	н.о. 0.5	0.7 н.о.	н.о. 570
Si	н.о. 14	н.о. 15	н.о. 15	н.о. 16	н.о. 17	н.о. 15	н.о. 18	н.о. 15	н.о. 16	н.о. 14	н.о. 17	н.о. н.о.	н.о. 11
B	н.о. 2.2	н.о. 2.3	н.о. 2.2	н.о. 1.0	н.о. 0.6	н.о. 2.4	н.о. 0.7	н.о. 1.5	н.о. 1.2	н.о. 1.4	н.о. 2.7	н.о. н.о.	н.о. 3.6
Br^-	3.8 2.6	4.1 2.6	4.0 2.9	2.5 1.6	2.7 1.7	3.8 2.9	3.2 2.0	3.9 2.5	3.5 2.2	н.о. 2.3	н.о. 3.8	4.9 н.о.	н.о. 13.1
Li^+	0.008 0.02	0.007 0.03	0.008 0.03	0.005 0.01	0.005 0.02	0.005 0.03	0.003 0.02	0.002 0.01	0.001 0.01	н.о. 0.01	н.о. 0.02	0.002 н.о.	н.о. 0.04

Примечания. Концентрации компонентов, а также показатель общей минерализации (M) представлены в мг/л; н.о. – показатель не определялся. Термоминеральные источники и скважины: Южный участок (1 – Молодость, 2 – Здоровье, 3 – Мечта); Центральный участок (4 – Озерный, 5 – Александровский, 6 – скважина № 4, 7 – Пионер, 8 – Партизан, 9 – Патриот, 10 – Пит'евый, 11 – Стиральный, 12 – Трепанг); Северный участок (13 – Морской). Номера источников совпадают с их номерами на рис. 2.

Notes. The concentrations of the components, as well as the total dissolved solids (M) are given in mg/l; n.o. – indicator was not measured. Thermomineral springs and wells: Southern site (1 – Molodost', 2 – Zdorov'e, 3 – Mechta); Central site (4 – Ozernyi, 5 – Aleksandrovskii, 6 – well № 4, 7 – Pioneer, 8 – Partizan, 9 – Patriot, 10 – Pit'evoi, 11 – Stiral'nyi, 12 – Trepanng); Northern site (13 – Morskoi). Spring numbers are the same that in the Fig. 2.

ческими ошибками при определении этих микрокомпонентов. В частности, измерения концентраций Br^- в 1958–1959 гг. [24] проводились методом «мокрой» химии (окислением бромид-ионов гипохлоритом кальция), в котором селективность и погрешность измерений зависит от многих факторов – например, качества используемых химических реактивов или влияния матрицы пробы (т.е. наличия и концентраций в пробе других компонентов). В связи с этим отметим, что в работе [24] концентрация Br^- в термоминеральных водах Дагинских источников достигает 410 мг/л, тогда как в наших исследованиях, проведенных современными химико-аналитическими методами (высокоэффективная жидкостная хроматография), содержание Br^- не превышает 13.1 мг/л. Кроме того, можно сопоставить приводимые в работе [24] данные о химическом составе вод рек и озер с данными о химическом составе термоминеральных источников (те и другие используются для оценки перспектив нефтегазоносности Северного Сахалина). Согласно [24], концентрации Br^- в водах поверхностных водоемов и пластовых водах нефтегазовых месторождений большей частью соизмеримы. По данным [24], содержание Br^- в речных водах достигает 32 мг/л, а в пластовых водах, например, Паромайского месторождения – 75 мг/л.

Таблица 2. Сопоставление средних значений физико-химических показателей термоминеральных вод Дагинского месторождения, полученных в разные периоды наблюдений

Table 2. Comparison of the average values of the physicochemical characteristics of the thermomineral waters of the Daginsky field, obtained in different observation periods

Участок	Время опробования, годы (количество проб)	T, °C	pH	M	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Si	Br ⁻	B	Li ⁺
Южный	1958–1959 (5)	39	7.7	2315	774		33	4.2	991	461	1.7	н.о.	49	1.2	н.о.
	2004 (2)	33	7.1	2484	855	12	34	6.1	1250	305	1.7	1.0	5.7	28	н.о.
	2014 (4)	37	8.0	2303	803	7.8	25	6.1	1082	348	0	н.о.	29	2.6	0.2
	2017–2019 (6)	34	7.4	2183	745	7.7	24	4.8	1115	274	0.3	15	3.3	2.2	0.02
Центральный	1958–1959 (8)	31	7.8	12770	4483		199	170	7634	188	28	н.о.	77	6.1	н.о.
	2004 (2)	33	7.6	2036	701	8.2	31	5.2	1041	226	0.6	7.8	4.1	28	н.о.
	2014 (3)	44	7.9	2023	734	7.1	24	3.8	1015	211	0.6	н.о.	26	1.9	0.2
	2017–2019 (15)	39	7.3	1784	608	4.2	26	3.0	936	193	1.2	16	2.9	1.4	0.01
Северный	1958–1959 (6)	28	7.9	19153	5885		290	726	10545	157	1454	н.о.	192	н.о.	н.о.
	2004 (2)	26	7.3	6915	2313	31	203	70	4058	138	67	1.5	15	20	н.о.
	2014 (2)	45	7.6	3909	1337	13	92	18	2253	166	9.1	н.о.	17	3.0	0.4
	2017–2019 (1)	22	7.3	11125	3541	89	183	271	6297	146	570	11	13	3.6	0.04

Примечания. Концентрации компонентов, а также показатель общей минерализации (M) приведены в мг/л; н.о. – показатель не определялся. По каждому участку представлены средние значения гидрохимических показателей. Данные 1958–1959 гг. приведены по [24, 15], 2004 и 2014 гг. – по [11, 12]. В работах [24, 15] для термоминеральных вод дана суммарная концентрация Na^+ и K^+ .

Notes. The concentrations of the components, as well as the total dissolved solids (M) are given in mg/l. n.o. – indicator was not measured. For each site, the average values of hydrochemical indicators are showed. 1958–1959 data are from [24, 15], 2004 and 2014 data are from [11, 12]. Works [24, 15] contain information on the total Na^+ and K^+ concentrations for the thermomineral waters.

При этом общая минерализация у поверхностных вод на 2–3 порядка ниже, чем у пластовых [24]. Таким образом, концентрация Br^- в речных водах заметно превышает концентрации основных анионов и катионов, что представляется нам маловероятным. К тому же такая высокая концентрация Br^- свидетельствует о нарушении принципа электронейтральности в речных водах. Поэтому мы полагаем, что представленные в работе [24] результаты измерений содержания Br^- в термоминеральных водах Дагинского месторождения следует считать завышенными. По нашему мнению, это обусловлено ошибками в измерениях устаревшими на сегодняшний день методами химического анализа.

Для оценки предполагаемых различий в результатах химико-аналитических исследований термоминеральных вод разными методами химического анализа, в настоящей работе проведен анализ одной и той же пробы в трех лабораториях (табл. 3). Химико-аналитические исследования пробы из источника Морской (Северный участок) выполнены в аккредитованной лаборатории ОАО «Приморгеология» (г. Владивосток) по стандартным методикам [11], в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, а также авторами в Центре коллективного пользования ИМГиГ ДВО РАН методами высокоэффективной жидкостной хроматографии и спектрофотометрии. Сопоставление данных из разных лабораторий показало в целом достаточно высокую воспроизводимость результатов измерений. Однако существует большое расхождение между концентрациями Br^- и Li^+ ,

несмотря на то что все измерения проводились современными высокочувствительными методами химического анализа. Это также свидетельствует в пользу нашего предположения, что наблюдаемые во времени вариации содержания микрокомпонентов в пределах одного участка Дагинского месторождения могут быть обусловлены химико-аналитическими особенностями измерений. Учитывая все это, для получения корректных выводов необходимо использовать результаты, полученные современными методами химического анализа, обладающими высокой точностью, чувствительностью, селективностью, а также низким восприятием к матричному составу пробы. Для минимизации влияния компонентов матрицы калибровку прибора проводят по стандартным образцам, соответствующим матричному составу анализируемой пробы. Кроме того, при получении сомнительных результатов анализа стоит провести параллельные измерения определяемых компонентов разными методами химического анализа.

С помощью геохимических геотермометров: Na-K , K-Mg , Na-Li , Mg-Li , SiO_2 – для Дагинских термоминеральных источников были сделаны оценки пластовых температур [20–22]. Результаты расчетов показали некоторые различия температур, установленных по разным геотермометрам (рис. 3). Наиболее близкие значения пластовых температур были получены из расчетов по Na-K , K-Mg и SiO_2 геотермометрам. Температуры формирования термоминеральных вод, рассчитанные с помощью Na-K геотермометра, находятся в диапазоне от 85 до 100 °C, K-Mg геотермометра – от 60 до 70 °C, SiO_2 геотермометра – от 70 до 85 °C.

Таблица 3. Результаты химического анализа пробы вод из термального источника Морской в трех лабораториях
Table 3. Results of chemical analysis of water sample from the Morskoi thermal spring obtained in three laboratories

Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Br^-	B	Li^+
1829	21	159	24	3397	162	11	9.4	3.4	0.06
1852	18	149	30	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	3.8	0.07
2046	20	158	33	3605	153	6.1	<0.05	4.5	0.69

Примечания. Концентрации компонентов представлены в мг/л; н.о. – показатель не определялся. Анализы выполнены: первая строка – в Центре коллективного пользования ИМГиГ ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск); вторая – в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток); третья – в Центральной лаборатории ОАО «Приморгеология» (г. Владивосток) – по данным [11].

Notes. The concentrations of the components, as well as the total dissolved solids (M) are given in mg/l, n.o. – indicator was not measured. Sample analyses were performed: first line – in the Center for Collective Use of the IMGGE FEB RAS (Yuzhno-Sakhalinsk); second line – in the Analytical Center of the FEGI FEB RAS (Vladivostok); third line – the Central Laboratory of OJSC «Primorgeology» (Vladivostok) – according to [11].

Существенных различий между пластовыми температурами, рассчитанными по указанным геотермометрам, для источников Южного, Центрального и Северного участков не наблюдается. Исключением здесь выступают только две пробы с Северного участка, для которых по Na-K и SiO₂ геотермометрам были получены температуры, значительно отличающиеся от большинства расчетных значений, – 142 и 8 °С соответственно. Вероятно, такие вариации пластовых температур на данном участке месторождения обусловлены подмешиванием к термоминеральным водам холодных морских вод Ныйского залива, что приводит к нарушению равновесия в системе «вода–порода», т.е. использование указанных геотермометров в таких условиях некорректно. По Na-Li и Mg-Li геотермометрам в большинстве случаев также были получены некорректные результаты: отрицательные значения или очень низкие положительные значения пластовых температур (2–6 °С), т.е. значительно ниже инструментально измеренных значений поверхностных температур Дагинских источников (22–49 °С). Учитывая описанные выше существенные различия аналитических определений Li⁺, полученных разными методами, такие аномальные значения расчетных температур по Na-Li и Mg-Li геотермометрам неудивительны. Отметим, что при расчете средних значений пластовых температур для каждого участка (рис. 3) отрицательные значения из анализируемой выборки были исключены.

В соответствии с температурами, полученными по Na-K, K-Mg и SiO₂ геотермометрам, и геотермическим градиентом на исследуемой территории, равным 33.2 °С [25], глубина циркуляции термоминеральных вод Дагинского месторождения составляет около 2–3 км. Существенных различий между температурами формирования термоминеральных вод в период с 2004 по 2019 г. не наблюдалось. Соответственно, можно говорить о неизменности глубин, с которых осуществляется разгрузка термоминеральных вод, что дополнительно указывает на стабильность гидрогеологического режима Дагинского месторождения в этот промежуток времени.

Заключение

В работе получены и проанализированы новые данные о физико-химических показателях термоминеральных вод Дагинского месторождения, полученные в 2017 и 2019 гг., т.е. непосредственно перед проведением в 2019–2020 гг. мероприятий по реконструкции источников и облагораживанию прилегающей территории. Сопоставление данных результатов с результатами исследований предыдущих лет, представленными в литературе, позволило оценить динамику измеряемых показателей во времени.

Совокупность проанализированных данных свидетельствует о том, что термоминеральные воды Дагинского месторождения в период с 1958 по 2019 г. характеризуются достаточно высокой стабильностью химического состава.

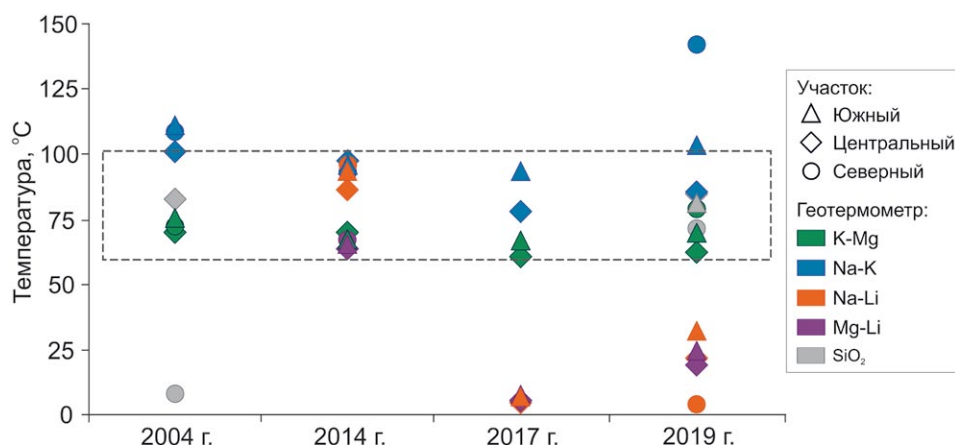


Рис. 3. Оценки средних значений пластовых температур для каждого участка Дагинского месторождения в разные годы по гидрохимическим геотермометрам. Пунктиром выделен диапазон температур, в котором группируется большинство полученных расчетных значений.

Fig. 3. Estimates of average formation temperatures in different years for each site of the Daginsky field using hydrochemical geothermometers. The temperature range in which most of the calculated values are grouped is marked with the dotted line.

При этом в пределах месторождения наблюдается пространственная гидрогеохимическая неоднородность, выраженная в различиях некоторых физико-химических показателей (поверхностные температуры, концентрации Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- и др.) термоминеральных вод, разгружаемых на разных участках – Северном, Центральном и Южном. Больше всего эта неоднородность проявляется в варьировании общей минерализации термоминеральных вод – от 1.3 до 23.7 г/л. Такой разброс значений общей минерализации обусловлен приуроченностью месторождения к прибрежной части Ныйского залива, где морские воды оказывают значительное влияние на его гидрогеологический режим. Воды источников, расположенных непосредственно в приливно-отливной зоне – на Северном участке, имеют более высокую минерализацию, тогда как по мере удаления от прибрежной зоны – к Центральному и Южному участкам – минерализация вод снижается, достигая наиболее низких значений.

Несмотря на то что термоминеральные воды на трех разных участках имеют одинаковый Cl-Na состав, соотношение компонентов ионно-солевого состава в них несколько различно. В частности, для Северного участка характерны более высокие отношения K/Cl , Ca/Cl , Mg/Cl , SO_4/Cl , Cl/B , для Центрального и Южного участков – Na/Cl , HCO_3/Cl , Si/Cl . Установленные различия в химическом составе термоминеральных вод, разгружаемых на разных участках, сохраняются во времени, что свидетельствует о стабильном гидрогеологическом режиме месторождения.

Важно отметить, что в исследуемых водах не наблюдается четкой пространственной дифференциации по содержанию микрокомпонентов Br^- , B , Li^+ . Кроме того, даже в пределах одного участка концентрации указанных микрокомпонентов, полученные разными исследователями, часто различаются в несколько раз. Мы связываем это с химико-аналитическими особенностями измерений микрокомпонентов. Подобные нюансы важно учитывать для корректной интерпретации гидрогеохимических данных, в том числе и для расчета пластовых температур. В частности, для большей части проб 2017 и 2019 гг. по Na-Li и Mg-Li гидрохимическим геотермометрам были получены аномальные температуры – очень низкие положительные или даже отрицательные значения. Поэтому наилучшими оценками пла-

стовых температур Дагинского месторождения мы полагаем рассчитанные по Na-K, K-Mg и SiO_2 геотермометрам.

Наше утверждение о стабильности гидрогеологического режима Дагинского месторождения подтверждают оценки пластовых температур, сделанные по гидрохимическим геотермометрам, и установленные на их основе глубины циркуляции термоминеральных вод. Согласно полученным данным, пластовые температуры для Дагинского месторождения с 2004 по 2019 г. составляют преимущественно от 60 до 100 °C, что соответствует глубине циркуляции термоминеральных вод около 2–3 км.

Выполненные в настоящей работе систематизация и сравнительный анализ гидрогеохимических данных Дагинского месторождения, полученных в разные периоды времени, представляют основу для изучения дальнейшей динамики физико-химических показателей термоминеральных вод. Например, информация о влиянии (негативном или позитивном?) на обсуждаемый природный объект проведенных мероприятий по реконструкции термоминеральных источников противоречива. В дальнейшем планируется продолжить наши исследования и оценить, в том числе, возможные изменения физико-химических показателей термоминеральных вод Дагинского месторождения после реконструкции 2019–2020 гг.

Список литературы

1. Aydin H., Karakuş H., Mutlu H. 2020. Hydrogeochemistry of geothermal waters in eastern Turkey: Geochemical and isotopic constraints on water-rock interaction. *J. of Volcanology and Geothermal Research*, 390: 106708. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.106708>
2. Davraz A. 2008. Hydrogeochemical and hydrogeological investigations of thermal waters in the Usak Area (Turkey). *Environmental Geology*, 54: 615–628. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0829-0>
3. Chimeddorj B., Munkhbat D., Altanbaatar B., Dolgorjav O., Oyuntsetseg B. 2021. Hydrogeochemical characteristics and geothermometry of hot springs in the Mongolian Altai region, Mongolia. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 21(4). doi:10.1144/geochem2021-016
4. Mao X., Zhu D., Ndikubwimana I., He Y., Shi Z. 2021. The mechanism of high-salinity thermal groundwater in Xinzhou geothermal field, South China: Insight from water chemistry and stable isotopes. *Journal of Hydrology*, 593: 125889. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125889>
5. Micallef A., Person M., Berndt C., Bertoni C., Cohen D., Dugan B., Evans R., Haroon A., Hensen C. et al. 2020. Offshore freshened groundwater in continental margins. *Reviews of Geophysics*, 58: e2020RG000706. <https://doi.org/10.1029/2020RG000706>
6. Luo J., Li Y., Tian J., Cheng Y., Pang Z., Gong Y. 2022. Geochemistry of geothermal fluid with implications on cir-

- culation and evolution in Fengshun-Tangkeng geothermal field, South China. *Geothermics*, 100: 102323. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102323>
7. Su S., Li Y., Chen Z., Chen Q., Liu Z., Lu C., Hu L. **2022**. Geochemistry of geothermal fluids in the Zhangjiakou-Peng-lai Fault Zone, North China: Implications for structural segmentation. *J. of Asian Earth Sciences*, 230: 105218. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2022.105218>
 8. Wei Z.-A., Shao H., Tang L., Deng B., Li H., Wang C. **2021**. Hydrogeochemistry and geothermometry of geothermal waters from the Pearl River Delta region, South China. *Geothermics*, 96: 102164. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102164>
 9. Wrage, J., Tardani, D., Reich, M., Daniele, L., Arancibia, G., Cembrano, J., Sánchez-Alfaro P., Morata D., Pérez-Moreno R. **2017**. Geochemistry of thermal waters in the Southern Volcanic Zone, Chile – Implications for structural controls on geothermal fluid composition. *Chemical Geology*, 466: 545–561. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.07.004>
 10. Yi L., Qi J., Li X., Xu M., Zhang X., Zhang Q., Tang Y. **2021**. Geochemical characteristics and genesis of the high-temperature geothermal systems in the north section of the Sanjiang Orogenic belt in southeast Tibetan Plateau. *J. of Volcanology and Geothermal Research*, 414: 107244. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107244>
 11. Жарков Р.В. **2018**. Современные физико-химические особенности термоминеральных вод Дагинского месторождения (о. Сахалин). *Мониторинг. Наука и технологии*, 4(37): 35–40. <https://doi.org/10.25714/MNT.2018.37.004>
 12. Жарков Р.В. **2008**. Дагинское месторождение термоминеральных вод на севере о. Сахалин. В кн.: *Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: Сб. материалов II Сахалинской молодежной научной школы, 4–10 июня 2007, Южно-Сахалинск*. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 285–290.
 13. Павлова В.Ю., Жарков Р.В. **2018**. Результаты георадарных исследований на территории Дагинской гидротермальной системы (остров Сахалин). *Геосистемы переходных зон*, 2(4): 323–331. <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2018.2.4.323-331>
 14. Завадский И.Г. **1991**. *Разведочные работы на Дагинском месторождении термальных вод в Ногликском районе: отчет за 1990–1991 гг.* Южно-Сахалинск, Сахалингеология, 218 с. Инв. № 7078 (Фонды ФБУ ТФИ по Сахалинской области).
 15. Цитенко Н.Д. **1961**. Воды Дагинских горячих ключей на о. Сахалине (к вопросу о формировании химического состава хлоркальциевых вод). *Труды ВНИГРИ*, 181: 203–212.
 16. *Геология СССР. Т. 32. Остров Сахалин. Геологическое описание*. **1970**. М.: Недра, 432 с.
 17. *Гидрогеология СССР. Т. 34. Остров Сахалин*. **1972**. М.: Недра, 344 с.
 18. Цитенко Н.Д. **1961**. Грязевые вулканы в Дагинском районе о. Сахалина. *Труды ВНИГРИ*, 181: 171–175.
 19. Никитенко О.А., Ершов В.В. **2020**. Гидрогеохимическая характеристика проявлений грязевого вулканизма на острове Сахалин. *Геосистемы переходных зон*, 4(3): 321–350. <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.3.321-335.336-350>
 20. Fournier R.O., Potter R.W., II. **1982**. A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geothermal Resources Council Bull.*, 11: 3–12.
 21. Giggenbach W.F. **1988**. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(12): 2749–2765. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(88\)90143-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(88)90143-3)
 22. Kharaka Y.K., Mariner R.H. **1989**. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. In: *Thermal History of Sedimentary Basins, Methods and Case Histories*. New York, Springer, 99–117. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3492-0_6
 23. Мельников О.А., Сергеев К.Ф., Рыбин А.В., Жарков Р.В. **2005**. О новом активном извержении одного из «грязевых» (газоводолитокластитовых) вулканов на Сахалине и природе грязевого вулканизма. *Доклады Академии наук*, 400(4): 536–541.
 24. Григель Н.М. **1959**. *Характеристика и происхождение пластовых вод нефтеносных районов Северного Сахалина*: прил. к отчету о НИР «Результаты химического анализа вод нефтеносных районов Северного Сахалина». Оха: Сах. отд-ние ВНИГРИ, т. 2, 77 с. Инв. № 1369ф (Фонды ИМГиГ ДВО РАН).
 25. Штейн М.А. **1962**. Определение параметров и глубин залегания термальных подземных вод. *Труды СахКНИИ*, 12: 162–165.

References

1. Aydin H., Karakuş H., Mutlu H. **2020**. Hydrogeochemistry of geothermal waters in eastern Turkey: Geochemical and isotopic constraints on water-rock interaction. *J. of Volcanology and Geothermal Research*, 390: 106708. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.106708>
2. Davraz A. **2008**. Hydrogeochemical and hydrogeological investigations of thermal waters in the Usak Area (Turkey). *Environmental Geology*, 54: 615–628. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0829-0>
3. Chimeddorj B., Munkhbat D., Altanbaatar B., Dolgorjav O., Oyuntsetseg B. **2021**. Hydrogeochemical characteristics and geothermometry of hot springs in the Mongolian Altai region, Mongolia. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 21(4). doi:10.1144/geochem2021-016
4. Mao X., Zhu D., Ndikubwimana I., He Y., Shi Z. **2021**. The mechanism of high-salinity thermal groundwater in Xinzhou geothermal field, South China: Insight from water chemistry and stable isotopes. *Journal of Hydrology*, 593: 125889. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125889>
5. Micallef A., Person M., Berndt C., Bertoni C., Cohen D., Dugan B., Evans R., Haroon A., Hensen C. et al. **2020**. Offshore freshened groundwater in continental margins. *Reviews of Geophysics*, 58: e2020RG000706. <https://doi.org/10.1029/2020RG000706>
6. Luo J., Li Y., Tian J., Cheng Y., Pang Z., Gong Y. **2022**. Geochemistry of geothermal fluid with implications on circulation and evolution in Fengshun-Tangkeng geothermal field, South China. *Geothermics*, 100: 102323. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102323>
7. Su S., Li Y., Chen Z., Chen Q., Liu Z., Lu C., Hu L. **2022**. Geochemistry of geothermal fluids in the Zhangjiakou-Peng-lai Fault Zone, North China: Implications for structural segmentation. *J. of Asian Earth Sciences*, 230: 105218. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2022.105218>
8. Wei Z.-A., Shao H., Tang L., Deng B., Li H., Wang C. **2021**. Hydrogeochemistry and geothermometry of geothermal waters from the Pearl River Delta region, South China. *Geothermics*, 96: 102164. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102164>
9. Wrage, J., Tardani, D., Reich, M., Daniele, L., Arancibia, G., Cembrano, J., Sánchez-Alfaro P., Morata D., Pérez-Moreno R. **2017**. Geochemistry of thermal waters in the Southern Volcanic Zone, Chile – Implications for structural controls on geothermal fluid composition. *Chemical Geology*, 466: 545–561. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.07.004>

10. Yi L., Qi J., Li X., Xu M., Zhang X., Zhang Q., Tang Y. **2021**. Geochemical characteristics and genesis of the high-temperature geothermal systems in the north section of the Sanjiang Orogenic belt in southeast Tibetan Plateau. *J. of Volcanology and Geothermal Research*, 414: 107244. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107244>
11. Zharkov R.V. **2018**. Modern physicochemical features of thermomineral water of the Daginsky deposit (Sakhalin Island). *Monitoring. Nauka i tekhnologii = Monitoring. Science and Technologies*, 4(37): 35–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.25714/MNT.2018.37.004>
12. Zharkov R.V. **2008**. [Daginsky field of thermomineral waters in the north of Sakhalin Island]. In: *Prirodnyye katastrofy: izucheniye, monitoring, prognoz: Sb. materialov II Sakhalinskoy molodezhnoy nauchnoy shkoly, 4–10 iyunya 2007, Yuzhno-Sakhalinsk* [Natural catastrophes: study, monitoring, forecast: Proceedings of the II Sakhalin scientific school for young researchers, June 4–10, 2007, Yuzhno-Sakhalinsk]. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGG FEB RAS, 285–290. (In Russ.).
13. Pavlova V.Yu., Zharkov R.V. **2018**. GPR surveys of the discharge zone of the Daginsky hydrothermal system (Sakhalin Island). *Geosistemy perekhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2(4): 323–331. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2018.2.4.323-331>
14. Zavatskiy I.G. **1991**. *Razvedochnyye raboty na Daginskoy mestorozhdenii termal'nykh vod v Noglikom rayone: otchet za 1990–1991 gg.* [Exploration work at the Daginsky field of thermal waters in the Nogliki District: a report for 1990–1991]. Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalingeology, 218 p. Inv. № 7078 (Fondy FBU TFGI for the Sakhalin Region). (In Russ.).
15. Tsitenko N.D. **1961**. [Waters of the Daginsky hot springs on the Island of Sakhalin (on the problem of formation of chemical composition of calcium chloride waters)]. *Trudy VNIGRI* [Transactions of the All-Union Scientific Research Institute of Petroleum Geology], 181: 203–212. (In Russ.).
16. [Geology of the USSR]. Vol. 32. [Sakhalin Island. Geological description]. **1970**. Moscow: Nedra, 432 p. (In Russ.).
17. [Hydrogeology of the USSR]. Vol. 34. [Sakhalin Island]. **1972**. Moscow: Nedra, 344 p. (In Russ.).
18. Tsitenko N.D. **1961**. [Mud volcanoes in the Daginsky area of Sakhalin Island]. *Trudy VNIGRI* [Transactions of the All-Union Scientific Research Institute of Petroleum Geology], 181: 171–175. (In Russ.).
19. Nikitenko O.A., Ershov V.V. **2020**. Hydrogeochemical characteristic of mud volcanism manifestations on Sakhalin Island. *Geosistemy perekhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 4(3): 321–350. (In Russ & Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.3.321-335.336-350>
20. Fournier R.O., Potter R.W., II. **1982**. A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geothermal Resources Council Bull.*, 11: 3–12.
21. Giggenbach W.F. **1988**. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(12): 2749–2765. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(88\)90143-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(88)90143-3)
22. Kharaka Y.K., Mariner R.H. **1989**. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. In: *Thermal History of Sedimentary Basins, Methods and Case Histories*. New York, Springer, 99–117. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3492-0_6
23. Mel'nikov O.A., Sergeev K.F., Rybin A.V., Zharkov R.V. **2005**. Nature of mud volcanism: Evidence from the latest active eruption of a mud (Gas-Water-Lithoclastite) volcano in Sakhalin. *Doklady Earth Sciences*, 400(1): 168–172.
24. Grigel' N.M. **1959**. *Kharakteristika i proiskhozhdenie plastovykh vod neftenosnykh rayonov Severnogo Sakhalina: pril. k otchetu o NIR «Rezultaty khimicheskogo analiza vod neftenosnykh rayonov Severnogo Sakhalina»* [Characteristic and origin of stratum waters of the oil-bearing areas of the Northern Sakhalin: app. to the report on scientific research “The results of the chemical analysis of the waters of oil-bearing areas of the Northern Sakhalin”]. Okha: Sakh. otd-nie VNIGRI, vol. 2, 77 p. Inv. № 1369f (Fondy IMGIG DVO RAN). (In Russ.).
25. Shteyn M.A. **1962**. *Opreделение parametrov i glubin zaleganiya termal'nykh podzemnykh vod* [Determination of the parameters and depths of underground thermal water occurrence]. *Trudy SakhKNII* [Transactions of the Sakhalin Complex Scientific Research Institute], 12: 162–165. (In Russ.).

Об авторах

Сотрудники отдела исследования вещественного состава геосфер ЦКП, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск:

Никитенко Ольга Александровна (<https://orcid.org/0000-0002-0177-2147>), научный сотрудник, nikitenko.olga@list.ru

Ершов Валерий Валерьевич (<https://orcid.org/0000-0003-2289-6103>), кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, valery_ershov@mail.ru

Устюгов Геннадий Викторович (<https://orcid.org/0000-0002-7269-7439>), младший научный сотрудник, gen.ustyugov@mail.ru

Сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск:

Жарков Рафаэль Владимирович (<https://orcid.org/0000-0002-9753-0627>), кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, rafael_zharkov@mail.ru

About the Authors

Employees of the Department for the study of material composition of the geospheres of Centre for the Collective Use, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk:

Nikitenko, Olga A. (<https://orcid.org/0000-0002-0177-2147>), Researcher, nikitenko.olga@list.ru

Ershov, Valery V. (<https://orcid.org/0000-0003-2289-6103>), Cand. Sci. (Phys. and Math.), Leading Researcher, valery_ershov@mail.ru

Ustyugov, Gennady V. (<https://orcid.org/0000-0002-7269-7439>), Junior Researcher, gen.ustyugov@mail.ru

Employee of the Laboratory of volcanology and volcanic hazard, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk:

Zharkov, Rafael V. (<https://orcid.org/0000-0002-9753-0627>), Cand. Sci. (Geography), Leading Researcher, rafael_zharkov@mail.ru

Поступила 25.07.2022

После доработки 25.08.2022

Принята к печати 29.08.2022

Received 25 July 2022

Revised 25 August 2022

Accepted 29 August 2022