

ТЕМПЕРАТУРА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ДАГИНСКИХ ИСТОЧНИКОВ (о. САХАЛИН) ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ КАПТАЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ В 2019–2020 гг.

© 2023 О.А. Никитенко^{1,2}, В.В. Ершов^{1,2}, Р.В. Жарков¹, Г.В. Устюгов¹

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия, 693022

²Геологический институт РАН, Москва, Россия, 119017; e-mail: nikitenko.olga@list.ru

Поступила в редакцию 15.02.2023 г.; после доработки 15.05.2023 г.; принята в печать 26.06.2023 г.

В работе представлены результаты исследования физико-химических показателей термоминеральных вод Дагинского месторождения (о. Сахалин) после реконструкции каптажных сооружений источников в 2019–2020 гг. Анализ полученных данных свидетельствует о стабильности химического состава термоминеральных вод до и после проведения строительных работ на территории месторождения. Термоминеральные воды имели типичный для них Cl–Na состав, а значения рассматриваемых гидрогеохимических показателей не выходили за пределы диапазонов значений, установленных в результате анализа данных для этих вод за многолетний период (1958–2019 гг.). Однако для большинства источников, каптажные сооружения которых подверглись реконструкции, было зафиксировано существенное падение поверхностных температур термоминеральных вод — на 5–15°C. Установлено, что выявленная температурная аномалия не связана с изменениями генезиса разгружаемых термоминеральных вод или с сезонными вариациями температуры воздуха. Наблюдаемое понижение температур, по нашему мнению, может быть следствием снижения дебитов источников после проведения строительных работ, а также технически неправильно выбранной конструкцией каптажных сооружений.

Ключевые слова: термоминеральные источники, температурный режим, химический состав, Сахалин.

ВВЕДЕНИЕ

Территория Дальнего Востока России обладает огромными запасами подземных минеральных вод (Челнокова, Гвозденко, 2017). Одним из интересных районов Дальнего Востока для исследования процессов формирования и эволюции химического состава минеральных вод является о. Сахалин — здесь установлены многочисленные естественные выходы, как холодных, так и термальных минеральных вод разного типа (Челнокова, Гвозденко, 2017). Рассматриваемое в настоящей работе Дагинское месторождение термоминеральных вод является одним из наиболее крупных на о. Сахалин и пользуется высокой популярностью у местных жителей и туристов для принятия оздоровительных ванн. В 2019–2020 гг. на территории месторождения проводилась реконструкция каптажных сооружений нескольких основных источников

и облагораживание прилегающих к ним зон (Жарков, 2021; Никитенко и др., 2022). По завершению строительных работ было зафиксировано существенное понижение температуры термоминеральных вод в источниках, что могло свидетельствовать о нарушении режима их водного питания. Это вызвало серьезный общественный резонанс: в средствах массовой информации неоднократно обсуждался вопрос о возможной утрате лечебных и оздоровительных свойств термоминеральных вод Дагинских источников после проведенных здесь инженерно-технических мероприятий.

Цель настоящего исследования заключалась в оценке возможного влияния проведенной реконструкции каптажных сооружений источников на их состояние — температуру и геохимические параметры термоминеральных вод. Для реализации поставленной цели требовалось выполнить сравнительный анализ физико-

химических показателей исследуемых вод до и после проведения строительных мероприятий на территории месторождения, а также рассмотреть возможные причины изменений температурного режима источников.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дагинское месторождение термоминеральных вод расположено в северо-восточной части о. Сахалин в районе с. Горячие Ключи МО «Городской округ Ногликский» (рис. 1б). Естественная разгрузка термоминеральных вод Дагинского месторождения осуществляется в прибрежной заболоченной зоне Ныйского залива Охотского моря в виде горячих источников. Месторождение также вскрыто несколькими скважинами.

По данным И.Г. Завадского¹ всего здесь установлено 67 источников. В пространственном отношении термоминеральные источники формируют узкую вытянутую в северо-восточном направлении область, которую традиционно разделяют на три участка — Южный, Центральный, Северный (рис. 1б) (Сахаров и др., 2020).

С 1986 г. Дагинское месторождение термоминеральных вод отнесено к категории особо

¹ Завадский И.Г. Разведочные работы на Дагинском месторождении термальных вод в Ногликском районе: отчет за 1990–1991 гг. Южно-Сахалинск: Сахалингеология, 1991. С. 142 [Zavadskiy I.G. Razvedochnye raboty na Duginskom mestorozhdenii termal'nyh vod v Noglikskom rajone: otchet za 1990–1991 gg. Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalingeology, 1991. P. 142 (in Russian)].

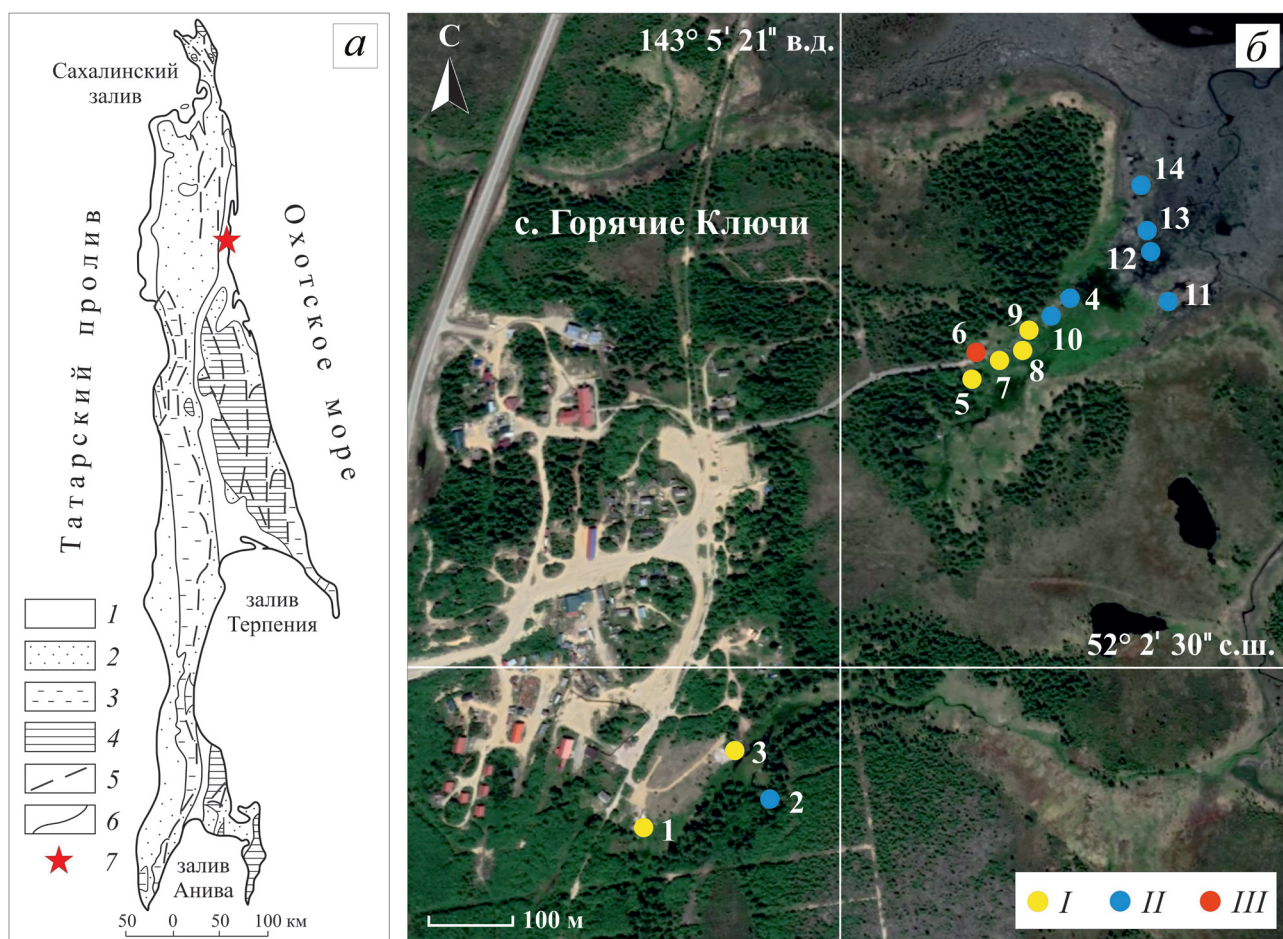


Рис. 1. Карта-схема района исследований: *а* — геологическое строение о. Сахалин по (Мельников и др., 2005); *б* — схема расположения опробованных источников и скважин Дагинского месторождения термоминеральных вод: Южный участок (1 — Молодость; 2 — Здоровье; 3 — Мечта), Центральный участок (4 — Трепанг; 5 — Александровский; 6 — скважина № 4; 7 — Центральный (Пионер); 8 — Партизан; 9 — Патриот; 10 — Питьевой), Северный участок (11 — Пресный; 12 — Осьминог; 13 — Белуга; 14 — Кит). *1* — седиментитовая четвертичная надформация; *2* — литолитовая палеоген-неогеновая надформация; *3* — метаобломочнолитолитовая меловая мегаформация метаморфитовой палеозой-мезозойской надформации; *4* — метаморфитовая палеозой-мезозойская надформация, *5* — основные разрывные дислокации; *6* — стратиграфические границы геологических формаций; *7* — местоположение Дагинского месторождения. *I* — источники, каптажные сооружения которых были реконструированы в 2019–2020 гг.; *II* — источники, каптажные сооружения которых не были реконструированы в 2019–2020 гг.; *III* — скважины.

Fig. 1. A schematic map of the study area. *a* — geology of Sakhalin Island according to (Melnikov et al., 2005); *b* — location of sampled springs and wells in Daginsky thermo-mineral field: South area (1 — Molodost'; 2 — Zdorov'e; 3 — Mechta); Central area (4 — Trepang; 5 — Aleksandrovskiy; 6 — well № 4; 7 — Central (Pioner); 8 — Partizan; 9 — Patriot; 10 — Pit'evoi), North area (11 — Presniy; 12 — Os'minog; 13 — Beluga; 14 — Kit). *I* — Quaternary system; *2* — Paleogene-Neogene system; *3* — Cretaceous system; *4* — Paleozoic-Mesozoic system; *5* — main faults; *6* — stratigraphic boundaries; *7* — location of the Daginsky field. *I* — springs whose captation structures were with reconstructed in 2019–2020; *II* — springs whose captation structures were not reconstructed in 2019–2020; *III* — wells.

охраняемых природных территорий регионального значения лечебно-оздоровительного профиля². Воды термоминеральных источников хлоридно-натриевые без специфических компонентов с минерализацией от 0.7 до 11.1 г/л и температурой до 53°C. Основным компонентом свободно выделяющихся газов из источников является метан микробного и термогенного происхождения (Соколова и др., 2022).

До недавнего времени эстетическое и санитарное состояние термоминеральных источников было на очень низком уровне: наиболее крупные источники были каптированы подручными средствами, в основном дощатыми материалами (рис. 2а, 2с). В 2019–2020 гг. была выполнена реконструкция каптажных и надкаптажных сооружений нескольких источников и благоустройство прилегающих к ним зон. Источники оборудовали купелями из перфорированной стали (193×193 см), закрепили на понтонном основании (8×8 м) и накрыли куполообразными конструкциями (диаметр купола — около 6 м, высота — 3.2 м) из алюминиевого каркаса и оргстекла (рис. 2б–в, 2д–е). В соответствии с реализованным проектом реконструкции были обустроены два источника на Южном участке — Молодость и Мечта, а также четыре источника на Центральном участке — Патриот, Партизан, Александровский и Центральный (Пионер).

Комплекс полевых работ на Дагинских термоминеральных источниках был проведен непосредственно после завершения основного блока строительных мероприятий — в январе 2020 г. На данном этапе были полностью выполнены каптажные работы на всех заявленных в проекте источниках, а также возведены надкаптажные сооружения. Отбор проб термоминеральных вод осуществлялся из разных источников и скважин, расположенных на Южном, Центральном и Северном участках, включая те источники, каптажные сооружения которых были реконструированы. Химико-аналитические исследования термоминеральных вод выполнены в Центра коллективного пользования Института морской

геологии и геофизики ДВО РАН. Для исследуемых вод определялся водородный показатель с помощью рН-метра «3110 ProfiLine» (WTW, Германия). Содержания Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Li^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Br^- определялись методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония) с кондуктометрическим детектором. Концентрации HCO_3^- и CO_3^{2-} определялись титриметрическим методом. Измерения массовых концентраций кремния (мономерно-димерных форм) и бора выполнялись фотометрическим методом на спектрофотометре УФ-1200 (ТМ «Эковью», Россия). В ходе полевых исследований для опробованных источников проводились также измерения поверхностных температур с помощью цифрового измерительного преобразователя AZ8803 Dual K Thermometer (диапазон рабочих температур от –50°C до +1300°C) с датчиком температуры КТХА 01.02-002-к1-И-Т310-3 (диапазон рабочих температур от –40°C до +1000°C). Под поверхностными температурами ($T_{\text{пов}}$) в работе понимаются измеренные значения температур термоминеральных вод в источнике на глубине примерно 20–70 см. Оценки пластовых температур ($T_{\text{гéo}}$) месторождения проводились с помощью гидрогеохимических геотермометров — Na-K, K-Mg, SiO_2 (Fournier, Potter, 1982; Giggensbach, 1988).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Термоминеральные воды Дагинского месторождения на момент проведения исследований характеризовались типичным для этих вод Cl–Na составом и имели минерализацию от 0.7 до 6.5 г/л, рН — от 6.6 до 7.9, поверхностные температуры — от 20 до 50°C (таблица).

Выполненный нами ранее обзор и анализ результатов многолетних гидрогеохимических исследований Дагинского месторождения (с 1958 по 2019 гг.) показал, что для него характерна устойчивая пространственная гидрогеохимическая неоднородность, которая выражается в отличиях определенных физико-химических показателей термоминеральных вод в источниках, расположенных на разных участках, — Северном, Центральном и Южном (Никитенко и др., 2022). В частности, воды источников Южного и Центрального участков стабильно имеют

² 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. P. 861–862 (in Russian)].

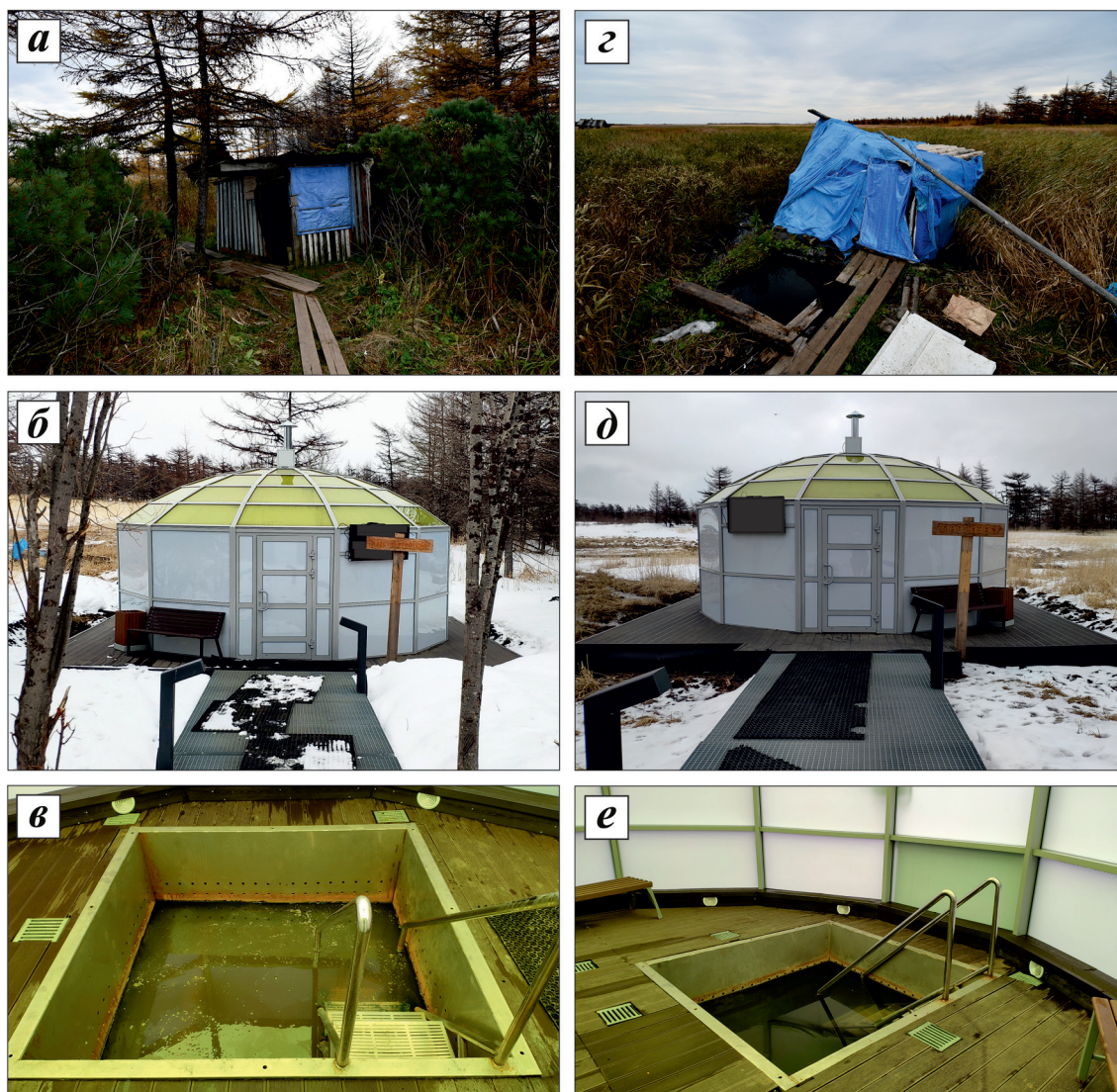


Рис. 2. Внешний вид некоторых термоминеральных источников Центрального участка Дагинского месторождения до (а, с) и после (б, в, д, е) реконструкции каптажных сооружений.

Fig. 2. Appearance of some thermo-mineral springs of Central area of the Daginsky field before (a, c) and after (b, v, d, e) reconstruction of captation structures.

более низкую минерализацию, по сравнению с водами источников Северного участка. Различия термоминеральных вод на разных участках месторождения проявляются также в содержании компонентов ионно-солевого состава: воды источников на Южном и Центральном участках характеризуются более высокими значениями отношений Na/Cl , HCO_3/Cl , Si/Cl , тогда как воды источников на Северном участке отличаются более высокими значениями отношений Ca/Cl , Mg/Cl , SO_4/Cl . Таким образом, термоминеральные воды на Южном и Центральном участках имеют более высокие относительные концентрации Na^+ , HCO_3^- , Si , а термоминеральные воды на Северном участке — Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} . Нормирование компонентов на содержание Cl^- позволило провести сравнение термоминеральных вод, разгружаемых на разных участках

месторождения, поскольку они различаются по показателю общей минерализации. Описываемая пространственная неоднородность сохранялась и после проведения строительных работ по реконструкции каптажных сооружений источников.

Для оценки возможного негативного влияния проведенной реконструкции каптажных сооружений источников на их состояние — температуру и геохимические параметры термоминеральных вод — был выполнен сравнительный анализ измеренных показателей с результатами исследований, полученными нами перед началом строительных работ, а также с результатами более ранних опробований (Никитенко и др., 2022). Значительных различий в химическом составе термоминеральных вод непосредственно до (октябрь 2019 г.) и после (январь 2020 г.)

ТЕМПЕРАТУРА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Физико-химические показатели термоминеральных вод Дагинского месторождения с 2017 по 2020 гг.
Physical-chemical characteristics of the thermo-mineral waters of the Daginsky field from 2017 to 2020

Источник	Годы	T _{пов}	pH	M	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Si	Br ⁻	B	Li ⁺	T _{топ}		
																Na-K	K-Mg	SiO ₂
Южный участок																		
Молодость	2017	37	7.1	2074	689	5.4	22.0	4.3	1064	285	0.1	—	3.8	—	8.0	87	62	—
	2019	38	7.8	2017	709	8.2	22.6	5.1	996	256	0.5	14.4	2.6	2.2	20.9	104	69	81
	2020	31	7.5	2100	726	7.0	23.4	5.1	1028	305	1.8	14.5	2.3	2.2	13.1	96	65	81
	2017	37	7.3	2228	746	7.1	26.0	4.2	1146	295	0.1	—	4.0	—	8.0	95	68	—
Мечта	2019	37	7.5	2182	756	8.2	26.8	5.9	1096	268	0.6	14.8	2.9	2.2	33.6	101	68	82
	2020	32	7.3	2092	721	7.7	25.2	5.9	1059	268	0.9	14.7	2.4	2.0	22.4	101	66	82
Центральный участок																		
Здоровье	2017	26	7.1	2317	780	7.8	24.0	4.0	1227	270	0.1	—	4.1	—	7.0	98	71	—
	2019	27	7.6	2281	792	9.5	24.4	5.1	1162	268	0.2	14.5	2.6	2.3	31.4	105	73	81
	2020	28	7.4	2310	810	9.5	25.1	5.2	1187	268	1.3	14.7	2.5	2.3	36.9	105	73	82
Александровский	2017	40	6.9	1381	460	3.7	22.0	2.2	720	170	0.7	—	2.7	—	5.0	88	61	—
	2019	42	7.5	1341	464	4.7	22.8	2.1	681	146	0.6	17.3	1.7	0.6	15.5	98	67	89
	2020	27	6.6	1394	485	4.3	20.4	2.6	731	146	1.3	19.3	1.9	0.6	16.6	92	62	94
Центральный (Пионер)	2017	40	7.0	1643	550	4.1	22.0	1.2	872	190	0.6	—	3.2	—	3.0	85	70	—
	2019	40	7.3	1560	540	5.0	24.9	1.4	816	146	5.8	17.5	2.0	0.7	15.3	94	73	89
	2020	33	6.9	1547	540	4.2	24.5	1.3	814	159	1.0	19.2	2.0	0.6	16.7	87	70	93
Партизан	2017	42	7.3	1770	595	2.8	26.0	1.8	954	185	1.5	—	3.9	—	2.0	68	57	—
	2019	39	7.3	1770	614	3.5	28.9	2.1	930	171	1.2	14.9	2.5	1.5	7.4	75	61	82
	2020	38	7.3	1737	605	4.1	27.7	2.0	922	171	1.6	15.3	2.3	1.4	12.7	81	64	84
Патриот	2017	41	6.8	1635	546	2.9	25.0	2.4	884	170	1.1	—	3.5	—	1.0	72	55	—
	2019	40	7.2	1599	549	3.6	27.3	3.0	837	159	1.1	15.8	2.2	1.2	11.4	80	57	85
	2020	35	7.4	1687	586	3.7	28.8	3.0	890	171	1.3	16.5	2.3	1.2	13.1	79	57	87
Питьевой	2019	35	7.5	1661	571	3.9	26.7	5.6	873	162	0.6	14.0	2.3	1.4	9.8	82	52	80
	2020	35	7.8	1876	645	4.0	28.9	6.2	993	195	1.2	14.3	2.3	1.5	13.9	79	52	81
	2017	30	7.2	2196	732	3.2	35.0	4.8	1225	190	0.7	—	4.9	—	2.0	65	49	—
Трепанг	2020	30	7.5	2345	822	6.5	39.5	12.7	1279	171	10.2	16.2	3.2	2.1	22.7	88	54	86

Скважина № 4	2017	49	7.8	2291	770	6.2	18.0	3.0	1160	330	0.1	—	3.8	—	5.0	88	69	—
	2019	47	7.9	2333	815	8.1	20.0	3.8	1149	317	0.2	14.8	2.9	2.4	31.8	97	72	82
	2020	50	7.9	2339	825	8.3	20.6	3.9	1160	317	0.1	14.6	2.5	2.2	37.1	98	73	82
	Северный участок																	
Пресный	2020	22	7.6	663	220	1.4	2.6	0.5	215	220	0.9	8.1	0.5	2.3	5.0	78	55	58
Осьминог	2020	20	7.4	2879	1000	8.6	46.9	14.4	1588	207	8.3	16.6	3.8	2.7	29.0	91	59	87
Белуга	2020	20	7.6	6510	2248	18.6	146.8	22.8	3843	220	0.3	15.9	9.4	5.9	35.3	89	71	85
Кит	2020	20	7.4	5944	2030	16.7	155.9	30.0	3518	171	13.1	15.0	8.2	4.0	136.4	89	65	83

Примечание. $T_{\text{пов}}$ — поверхностные температуры термоминеральных вод ($^{\circ}\text{C}$); T_{geo} — пластовые температуры месторождения, рассчитанные по геохимическим геотермометрам ($^{\circ}\text{C}$); M — общая минерализация; «—» — не определялось. Концентрации компонентов представлены в мг/л, концентрация Li^+ — в мкг/л. Данные 2017 г. и 2019 г. приведены по (Никитенко и др., 2022).

Note. $T_{\text{пов}}$ — surface temperatures of thermo-mineral waters ($^{\circ}\text{C}$); T_{geo} — reservoir temperatures of the Daginsky field calculated using hydrochemical ($^{\circ}\text{C}$); M — the total dissolved solids; «—» — not measured. The concentrations of the components are presented in mg/l, the Li^+ concentration in $\mu\text{g/l}$. 2017 and 2019 data are from (Nikitenko et al., 2022).

проведения реконструкции каптажных сооружений не было выявлено (таблица). Кроме того, значения геохимических показателей термоминеральных вод не выходят за пределы их естественной вариабельности, проанализированной за многолетний период (Никитенко и др., 2022).

В свою очередь, значения поверхностных температур термоминеральных вод ($T_{\text{пов}}$) заметно отличаются в 2019 и 2020 гг. Для большинства исследуемых источников наблюдается значительное понижение поверхностных температур в 2020 г., т.е. сразу после проведения строительных работ на территории месторождения. Понижение температур было установлено для всех источников, каптажные сооружения которых были реконструированы — Молодость, Мечта, Александровский, Центральный, Партизан и Патриот (рис. 3). Наиболее существенное понижение температуры установлено для источника — Александровский (на 15°C), наименьшее — для источника Партизан (на 0.9°C). В целом понижение температуры воды в источнике Партизан является довольно незначительным и соответствует естественной изменчивости этого показателя (Жарков, 2021). Для остальных источников поверхностные температуры понизились примерно на $5\text{--}7^{\circ}\text{C}$. В то же время для источников, каптажные сооружения которых не были реконструированы (Здоровье и Питьевой), а также скважины № 4 понижения поверхностных температур не было зафиксировано (рис. 3).

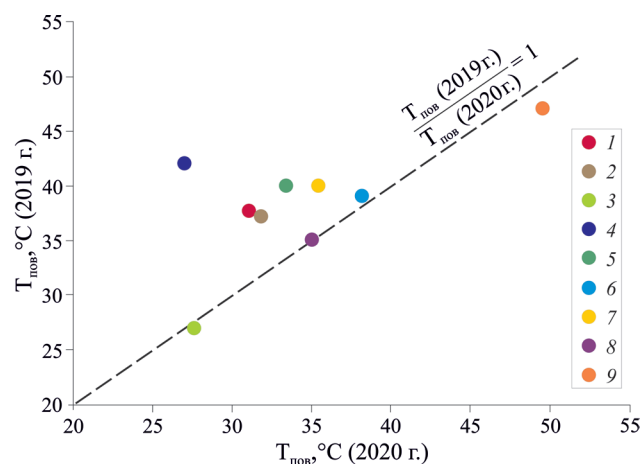


Рис. 3. Сопоставление поверхностных температур ($T_{\text{пов}}$) термоминеральных вод до и после реконструкции каптажных сооружений источников: 1 — Молодость; 2 — Мечта; 3 — Здоровье; 4 — Александровский; 5 — Центральный; 6 — Партизан; 7 — Патриот; 8 — Питьевой; 9 — скважина № 4.

Fig. 3. Comparison of surface temperatures ($T_{\text{пов}}$) of the thermo-mineral waters before and after reconstruction of captation structures of springs: 1 — Molodost'; 2 — Mechta; 3 — Zdorov'e; 4 — Aleksandrovskiy; 5 — Central; 6 — Partizan; 7 — Patriot; 8 — Pit'evoi; 9 — well № 4.

Следует отметить, что анализ связи между поверхностными температурами и величиной общей минерализации термоминеральных вод показал отсутствие корреляционной зависимости. Значения коэффициентов корреляции Пирсона между этими показателями в разные периоды опробований (2014–2019 гг.) составляют от -0.30 до -0.35 и не являются статистически значимыми для имеющихся выборок данных. Таким образом, понижение температур в источниках не связано с изменениями химического состава термоминеральных вод.

Наблюдаемое понижение поверхностных температур термоминеральных вод, прежде всего, может свидетельствовать об изменении гидрогеологического режима источников после проведения строительных работ на территории месторождения. В этой связи важным представляется вопрос о локализации питающего резервуара Дагинского месторождения. Используя расчетные пластовые температуры ($T_{\text{гео}}$) и значения геотермического градиента для исследуемой территории ориентировочно была оценена глубина циркуляции термоминеральных вод. Для оценки пластовых температур Дагинского месторождения наилучшим образом подходят Na-K, K-Mg и SiO_2 гидрохимические геотермометры (Никитенко и др., 2022). По данным опробования 2020 г. температуры по Na-K геотермометру составляют от 78 до 105°C ,

по K-Mg геотермометру — от 52°C до 73°C , по SiO_2 геотермометру — от 58°C до 94°C . При этом различий между расчетными пластовыми температурами в 2019 г. и 2020 г., т.е. до и после проведения реконструкции каптажных сооружений источников, не наблюдается (рис. 4). Кроме того, таких различий не наблюдалось и при сравнении расчетных пластовых температур по результатам более ранних опробований (Никитенко и др., 2022). В соответствии с пластовыми температурами, получаемыми по гидрохимическим геотермометрам в разные периоды опробований, и геотермическим градиентом на исследуемой территории, равным $33.2^\circ\text{C}/\text{км}$ (Штейн, 1962), глубина циркуляции термоминеральных вод Дагинского месторождения неизменно составляет около $2\text{--}3$ км, что позволяет говорить о постоянстве глубин, из которых осуществляется разгрузка термоминеральных вод.

По совокупности изложенных сведений можно заключить, что в химическом составе, а также значениях расчетных пластовых температур термоминеральных вод Дагинского месторождения по данным опробований 2019 и 2020 гг. не выявлено существенных различий, что может свидетельствовать о неизменности водного питания источников. Тогда как в 2020 г. в источниках с реконструированными каптажными сооружениями были зафиксированы аномально низкие значения поверхностных температур термоминеральных вод.

Известно, что температуры вод поверхностных водоемов находятся в тесной зависимости от температуры воздуха — наибольшее охлаждение и прогрев этих вод закономерным образом согласуется с периодами минимальных и максимальных годовых температур воздуха соответственно (Дмитриева, Бучик, 2021). В этой связи можно полагать, что на значения поверхностных температур Дагинских источников некоторое влияние могут оказывать температуры приземного слоя воздуха, особенно в холодные сезоны года. Для понимания годовой динамики поверхностных температур термоминеральных вод были проанализированы собственные, а также опубликованные данные (Жарков, 2008, 2018, 2021) об измеренных температурах в одних и тех же источниках в разные месяцы (январь, март, июнь, июль, октябрь) в период с 2004 по 2019 гг. Несмотря на то, что значения поверхностных температур воды в одних и тех же источниках имеются не для всех месяцев в году, такие данные известны для каждого сезона, что позволяет оценить возможные перепады температур между теплыми и холодными сезонами года. Например, поверхностные температуры воды в источнике Александровский в разные сезоны года могут варьировать от 40°C до 45°C , в источнике Мечта —

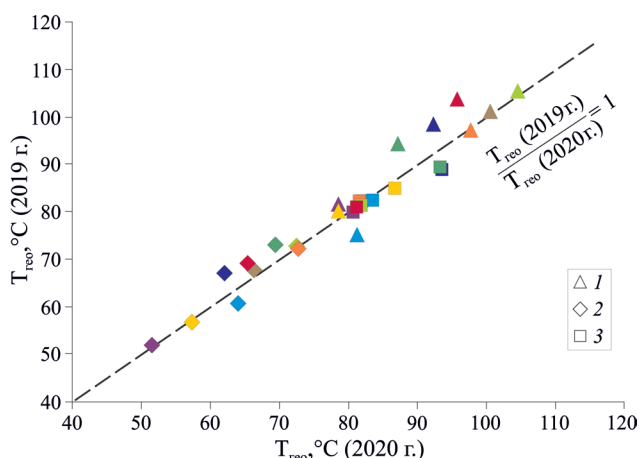


Рис. 4. Сопоставление пластовых температур ($T_{\text{гео}}$) термоминеральных вод, рассчитанных по гидрохимическим геотермометрам до и после реконструкции каптажных сооружений источников: 1 — Na-K; 2 — K-Mg; 3 — SiO_2 . Цвета маркеров для термоминеральных источников соответствуют условным обозначениям на рис. 3.

Fig. 4. Comparison of reservoir temperatures ($T_{\text{гео}}$) of thermo-mineral waters calculated by hydrochemical geothermometers before and after reconstruction of captation structures: 1 — Na-K; 2 — K-Mg; 3 — SiO_2 . Colors of markers for thermo-mineral springs correspond to the symbols in fig. 3.

от 37°C до 39°C, в источнике Патриот — от 40°C до 40.5°C. Видно, что сезонные колебания температуры в указанных источниках являются довольно небольшими. Тогда как после проведения реконструкции каптажных сооружений поверхностные температуры в этих источниках понизились существенно (до 27°C в источнике Александровский, до 32°C в источнике Мечта, до 35°C в источнике Патриот) и вышли за пределы выявленных сезонных колебаний. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что падения поверхностных температур термоминеральных вод в источниках после реконструкции каптажных сооружений не являются следствием сезонных вариаций температуры приземного слоя воздуха.

В геотермальной энергетике для доступа к подземным горячим водам используют скважины. Термальная вода, поднимаясь с глубин 2–5 км, прогревает окружающие горные породы на всем протяжении ствола скважины, что приводит к некоторым потерям добываемого тепла. При этом потери тепла существенно зависят от скорости течения в скважине — чем выше эта скорость, тем меньше температурные изменения поднимающихся вод. Иногда скорость течения воды в скважине удобнее пересчитать в дебит скважины и оперировать уже этим показателем. Флюидоподводящие каналы самоизливающихся источников термоминеральных вод во многом являются природными аналогами скважин, поэтому эти закономерности теоретически можно применить к термальным источникам. При проведении строительных работ на территории месторождения могли быть нарушены пути миграции термоминеральных вод на поверхность, что могло привести к снижению дебитов источников. В этом случае при уменьшении дебитов источников поверхностные температуры термоминеральных вод будут понижаться.

Рассматривая другие возможные причины временного изменения поверхностных температур термоминеральных вод, необходимо отметить, что при проведении строительных работ котлы источников были расширены и углублены механизированной техникой. При этих работах никак не учитывалось положение подводящих каналов источников и их дебит. В котлы источников были установлены купели, у которых стенки и дно выполнены из нержавеющей стали с небольшими отверстиями в некоторых местах. Можно предположить, что такая конструкция купели не обеспечивала свободное поступление в нее термоминеральных вод, а также усложняла их естественную циркуляцию. После зафиксированного падения температур в источниках и последующих за этим многочисленных жалоб посетителей подрядчиком были проведены

дополнительные работы по устранению ряда недостатков. В частности, в купелях были убраны металлические дно и нижняя часть стенок, что способствовало беспрепятственному притоку термоминеральных вод, понтоны (основания надкаптажных сооружений) по всему периметру были покрыты плотным полиэтиленом для уменьшения поступления холодного воздуха внутрь купола. Кроме того, при этих работах была выполнена расчистка котлов, поскольку в обустроенных источниках пространство между стенками котла и металлической купелью было заполнено илистыми отложениями.

Более поздние замеры поверхностных температур в апреле 2021 г. (Жарков, 2021) показали, что источники Патриот и Центральный вернулись к своему обычному температурному режиму, в источниках Александровский, Мечта и Молодость температуры выросли, хотя и не достигли наблюдаемых до реконструкции значений. Результаты проведенной реконструкции каптажных сооружений Дагинских источников показывают, что при реализации такого рода проектов во избежание нарушений эксплуатационных свойств термоминеральных источников необходимо учитывать физико-химические особенности разгружаемых вод, локальные гидрогеологические условия территории, а также использовать такие конструкции купелей, которые не будут препятствовать свободной циркуляции вод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о стабильности химического состава термоминеральных вод до и после проведения строительных работ на территории месторождения — значения исследуемых гидрогеохимических показателей не выходят за пределы их многолетней естественной вариабельности. Следовательно, после проведения реконструкции каптажных сооружений источников термоминеральные воды не утратили свои естественные химические свойства. В то же время значения поверхностных температур термоминеральных вод в 2020 г. понизились на 5–15°C в большинстве источников, каптажные сооружения которых были реконструированы (Молодость, Мечта, Александровский, Патриот, Центральный). Мы полагаем, что наблюдаемое понижение поверхностных температур в источниках может быть вызвано нарушением гидрогеологического режима месторождения при проведении строительных работ. Это могло привести к нарушению путей миграции подземных термоминеральных вод на поверхность и, как следствие, снижению дебитов источников. Также нельзя исключать, что изменение

температурного режима источников могло быть обусловлено технически неправильно выбранной конструкцией купелей, препятствующей свободному поступлению и обновлению в них термоминеральных вод.

Полевые работы и химико-аналитические исследования выполнены в рамках государственного задания ИМГиГ ДВО РАН; анализ и интерпретация гидрогеохимических данных выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-47-00035.

Список литературы [References]

- Дмитриева В.А., Бучик С.В.* Термический режим речных вод как ответная реакция на климатические процессы в бассейне Верхнего Дона // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 1(86). С. 127–134. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2021-10144> [Dmitrieva V.A., Buchik S.V. Thermal Regime of River Water as a Response to Climatic Processes in the Upper Don Drainage Basin // Arid Ecosystems. 2021. V. 11. Iss. 1. P. 109–115. <https://doi.org/10.1134/S2079096121010066>].
- Жарков Р.В.* Дагинское месторождение термоминеральных вод на севере о. Сахалин // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: материалы II Сахалинской молодежной научной школы. Южно-Сахалинск. 2008. С. 285–290 [Zharkov R.V. Daginskoye mestorozhdenie termomineral'nykh vod na severe o. Sakhalin // Natural Hazards: study, monitoring, forecast: materials of the II Sakhalin youth scientific school. Yuzhno-Sakhalinsk. 2008. P. 285–290 (in Russian)].
- Жарков Р.В.* Современные физико-химические особенности термоминеральных вод Дагинского месторождения (о. Сахалин) // Мониторинг. Наука и технологии. 2018. № 4(37). С. 35–40. <https://doi.org/10.25714/MNT.2018.37.004> [Zharkov R.V. Modern physicochemical features of thermomineral water of the Daginsky deposit (Sakhalin Island) // Monitoring. Science and Technologies. 2018. № 4(37). P. 35–40 (in Russian)].
- Жарков Р.В.* Мониторинг температуры Дагинских термальных источников в 2019–2021 годах (остров Сахалин) // Мониторинг. Наука и технологии. 2021. № 4(50). С. 36–40. <https://doi.org/10.25714/MNT.2021.50.005> [Zharkov R.V. Temperature monitoring of Daginsky thermal springs in 2019–2021 (Sakhalin island) // Monitoring. Science and Technologies. 2021. № 4(50). P. 36–40 (in Russian)].
- Мельников О.А., Сергеев К.Ф., Рыбин А.В., Жарков Р.В.* О новом активном извержении одного из «грязевых» (газоводолитокластитовых) вулканов на Сахалине и природе грязевого вулканизма // Доклады Академии наук. 2005. Т. 400. № 4. С. 536–541 [Melnikov O.A., Sergeev K.F., Rybin A.V., Zharkov R.V. Nature of mud volcanism: Evidence from the latest active eruption of a mud (Gas-Water-Lithoclastite) volcano in Sakhalin // Doklady Earth Sciences. 2005. V. 400. Iss. 1. P. 168–172].
- 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> [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) // Geosystems of Transition Zones. 2022. V. 6. № 3. P. 183–194 (in Russian)].
- Сахаров В.А., Ильин В.В., Морозова О.А. и др.* Дагинское месторождение термальных минеральных вод. Условия формирования, современное состояние, перспективы использования (Сахалинская область) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 1. С. 13–26. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/1/2443> [Sakharov V.A., Ilin V.V., Morozova O.A. et al. Daginsky deposit of thermal mineral waters. Formation conditions, current state, prospects for use (Sakhalin region) // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2020. V. 331. № 1. P. 13–26 (in Russian)].
- Соколова Н.Л., Телегин Ю.А., Веникова А.Л., Обжиров А.И.* Газогеохимические исследования Дагинских газогидротермальных источников на восточном побережье о. Сахалин // Тихоокеанская геология. 2022. Т. 41. № 5. С. 82–89. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2022-41-5-82-89> [Sokolova N.L., Telegin Yu.A., Venikova A.L., Obzhirrov A.I. Gas geochemical studies of the Dagi gas-hydrothermal system on the Sakhalin east coast // Russian Journal of Pacific Geology. 2022. V. 16. Iss. 5. P. 503–509. <https://doi.org/10.1134/S1819714022050104>].
- Челнокова Б.И., Гвозденко Т.А.* Минеральные воды и лечебные грязи Дальнего Востока: справочник. Владивосток: ДВФУ, 2017. 220 с. [Chelnokova B.I., Gvozdenko T.A. Mineral'nye vody i lechebnye grjazi Dal'nego Vostoka: handbook. Vladivostok: DVFU, 2017. 220 p. (in Russian)].
- Штейн М.А.* Определение параметров и глубин залегания термальных подземных вод // Труды СахКНИИ. 1962. Вып. 12. С. 162–165 [Shteyn M.A. Opredelenie parametrov i glubin zaleganiya termal'nykh podzemnykh vod. // Trudy SakhKNII. 1962. Iss. 12. P. 162–165 (in Russian)].
- Fournier R.O., Potter R.W.* II A revised and expanded silica (quartz) geothermometer // Geothermal Resources Council Bulletin. 1982. V. 11. № 10. P. 3–12.
- Giggenbach W.F.* Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1988. V. 52. № 12. P. 2749–2765. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(88\)90143-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(88)90143-3).

**TEMPERATURE AND CHEMICAL COMPOSITION
OF THERMO-MINERAL WATER FROM DAGINSKY SOURCES (SAKHALIN ISLAND)
AFTER RECONSTRUCTION OF THE CAPTATION STRUCTURES IN 2019–2020**

O.A. Nikitenko^{1,2}, V.V. Ershov^{1,2}, R.V. Zharkov¹, G.V. Ustyugov¹

*¹Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences,
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 693022; e-mail: nikitenko.olga@list.ru;*

²Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, 119017

Received February 15, 2023; revised May 15, 2023; accepted June 26, 2023

The paper presents the results of the study of physical and chemical characteristics of thermo-mineral waters of the Daginsky field (Sakhalin Island) after the reconstruction of the captation structures in 2019–2020. The analysis of the data indicates the stability of the chemical composition of thermo-mineral waters before and after reconstruction works on the territory of springs. The thermo-mineral waters had a typical Cl-Na composition, and the values of the hydrogeochemical indicators did not exceed the range of values established by the analysis of data for these waters over a multi-year period (1958–2019). However, for most of the springs whose captation structures underwent reconstruction, a significant drop in the surface temperatures of thermo-mineral waters (by 5–15°C) was recorded. The indicated temperature anomaly is not related to changes in the origin of discharged thermo-mineral waters or to seasonal air temperature variation. The observed drop in temperatures may be a consequence of a decrease in the flow rates of the springs after construction work, as well as technically incorrect design of the thermal baths.

Keywords: thermo-mineral springs, temperature regime, chemical composition, Sakhalin Island.