

УДК 553.7

ДАГИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ТЕРМАЛЬНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (САХАЛИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Сахаров Валерий Александрович¹,
sakhsakh@yandex.ru

Ильин Владимир Вениаминович¹,
vladimirilyin7@gmail.com

Морозова Ольга Анатольевна¹,
sgi84@mail.ru

Выпряхкин Евгений Николаевич¹,
e_vipryashken@mail.ru

И Кен Хи¹,
Sakhgu@list.ru

Гоголева Ирина Владимировна¹,
risha.89@mail.ru

¹ Сахалинский государственный университет,
Россия, 693008, г. Южно-Сахалинск, ул. Пограничная, 68.

Актуальность исследования обусловлена потребностью расширения использования ресурсной базы минеральных вод бальнеологического назначения, приближенной к потребителю, оценки лечебных свойств минеральных вод на основе изучения опыта их эксплуатации, соответствия требованиям актуальных руководящих документов. Развитие этого направления позволит нарастить объем и увеличить спектр лечебных и профилактических услуг с использованием местных природных минеральных вод с минимизацией капитальных затрат на геологоразведочные работы.

Цель: изучить строение, современное состояние и опыт эксплуатации Дагинского месторождения термальных минеральных вод (Сахалинская область), оценить перспективы расширения бальнеологических и туристических услуг, разработать рекомендации по промышленному освоению месторождения.

Объекты: минеральные термальные воды, их свойства и условия распространения на земной поверхности и в гидрогеологическом разрезе.

Методы: изучение фондовых и архивных документов о геологическом строении и гидрогеологических условиях района исследований, натурное обследование современного состояния месторождения, гидрохимическое опробование отдельных источников, опрос потребителей минеральных вод.

Результаты. Дана геолого-гидрогеологическая характеристика месторождения термальных минеральных вод. Определены бальнеологические свойства вод на различных участках месторождения в соответствии с актуальными руководящими документами. Представлено современное состояние использования термальных минеральных вод. Разработаны рекомендации по эксплуатации месторождения.

Выводы. Многолетней эксплуатацией Дагинского месторождения доказана высокая бальнеологическая эффективность термальных минеральных вод. Месторождение сформировано путем смешения глубинных горячих минерализованных вод с приповерхностными холодными и пресными подземными водами. Разрывной тектоникой месторождение разбито на три участка. Подземные воды напорные. На участке месторождения наблюдается более 60 восходящих источников термоминеральных вод. Воды горячие слабо- и среднеминерализованные, хлоридные натриевые, бромные, йодные (Северный участок) и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые (Центральный и Южный участки). Балансовые эксплуатационные запасы утверждены по категориям В+С₁+С₂ в количестве 2500 м³/сут. Воды в источниках обладают широким спектром медицинских показателей по применению. В настоящее время месторождение эксплуатируется «диким образом». Воды используются в основном для принятия ванн на источниках. Посещаемость источников в летнее время достигает 300 чел./день. В зимний период посещение источников затруднено. Имеются хорошие перспективы для многократного увеличения количества посещений без капитальных затрат на геологическую разведку месторождения. Термальные минеральные воды месторождения обладают очень высокой биологической активностью. Бесконтрольное применение вод вместо лечебного, может привести к негативному эффекту. Известны случаи летальных исходов после чрезмерно длительного принятия ванн в источниках. Необходимо провести всестороннее исследование бальнеологических свойств вод различных источников и разработать рекомендации по методике их применения. Также необходимо организовать мониторинг источников с целью определения времени восстановления воды после посещения и разработать режим приема ванн.

Ключевые слова:

Термальные минеральные воды, термоминеральный источник, бальнеологические свойства воды, геотермический градиент, разрывная тектоника.

Введение

В административном отношении Дагинское месторождение термальных минеральных вод находится в Ногликском районе Сахалинской области. Расположено в северной части о. Сахалин, на его восточном побережье, в 1 км от устья в правобережной части р. Нельбуты, в 30 км к северу от районного центра пос. Ноглики. Площадь выхода на поверхность земли термальных минеральных источников составляет около 0,5 км² (рис. 1).

Краткие сведения о месторождении

Целебная сила Дагинских термоминеральных источников известна давно. Они пользуются большой популярностью как у местных жителей, так и за пределами области.

В 1951 г. было впервые произведено их специальное обследование В.М. Левченко. Им отобраны первые две

пробы воды из источников на химические анализы. В августе 1963 г. более детально Дагинские источники обследованы комплексной конторой «Геоминвод» Центрального НИИ курортологии и физиотерапии (ЦНИИКиФ) под руководством В.В. Иванова при изучении курортных ресурсов о. Сахалина. В последующие годы район Дагинских источников исследовался в связи с изучением гидрогеологии нефтеносных отложений Северного Сахалина. Летом 1969 г. конторой «Геоминвод» ЦНИИКиФ проведены детальные комплексные исследования термальных вод Дагинских источников и грязевых отложений района. Силами этой же организации в 1972 г. при комплексном обследовании минеральных вод и лечебных грязей о. Сахалин на Дагинских источниках были отобраны пробы воды на полные физико-химические анализы из основных источников, измерена температура более чем в 60 источниках.



км 2 1 0 1 2 км



участок месторождения "Даги"

Рис. 1. Обзорная схема расположения месторождения

Fig. 1. Overview layout of the field

В 1988 г. Сахалинской гидрогеологической экспедицией было проведено обследование каптированных источников, оценены ресурсы источника «Центральный» (А.Ф. Прядко, В.Е. Прядко). Результаты этих исследований опубликованы не были, хранятся в архиве Сахалинской гидрогеологической экспедиции (г. Южно-Сахалинск). Одновременно сотрудником Южно-Сахалинского педагогического института В.А. Ведмицким, в рамках той же работы, были детально рассмотрены бальнеологические свойства термоминеральных вод.

Эксплуатация месторождения осуществляется на очень низком уровне. В пос. Горячие Ключи в конце XX в. действовала водолечебница на 35 койко-мест. В летнее время до 200 человек в день принимали ванны «диким» образом.

Некоторые источники каптированы, как правило, примитивными сооружениями и находятся в антисанитарном состоянии (рис. 5–10).

Общие естественные ресурсы месторождения очень осторожно оценены А.Ф. Прядко (1991) в количестве 15–20 л/с по результатам кратковременных пробных откачек и замеров дебита каптированных источников.

В 1990–1991 гг. на месторождении силами Сахалинской гидрогеологической экспедиции проведена разведка термальных минеральных подземных вод. Было пробурено и исследовано 5 поисковых и 1 наблюдательная скважины (рис. 3), выполнены наземные геофизические исследования и химические анализы воды. Глубина изучения – 180 м.

В результате территориальной комиссией по запасам полезных ископаемых при «Сахалингеолкоме» (ТКЗ) утверждены балансовые эксплуатационные запасы минеральных хлоридных натриевых, азотно-метановых, слабощелочных вод в количестве 2500 м³/сут. (табл. 1) (Протокол № 63 от 07 июня 1993 г.).

В современной литературе Дагинские источники упоминаются достаточно часто, однако исследования носят поверхностный характер [1–10].

Геологическое строение района исследований

Стратиграфия

В геологическом строении района работ принимают участие миоценовые отложения дагинской (N₁dg) и окабыкайской (N₁ok) свит и плиоценовые нutowской свиты

(N₂nt). Неогеновые отложения повсеместно перекрыты четвертичными образованиями различного генезиса [3].

Дагинская свита (N₁dg). Отложения залегают на глубинах ниже 2000 м и вскрыты глубоким поисковым бурением. Вскрытый геологический профиль представлен слабосвязанными песками и песчаниками разномерностистыми глинистыми. Песчаники содержат включения мелкой гальки и обуглившегося детрита.

Окабыкайская свита (N₁ok). Отложения свиты выходят на дневную поверхность вблизи западной границы района работ, на исследованной площади нигде не обнажаются. Представлены переслаиванием песчаных и глинистых разностей при преобладании последних (60–70 %).

Нижненutowская (N₂nt₁). Отложения нижненutowской подсвиты обнажаются вблизи западной границы района. Представлены песчано-глинистыми образованиями. Пески обычно плохо отсортированные, косослоистые, часты прослои гравелистых песков, переходящих в гравий с включениями мелкой гальки кремнистого состава. Мощность глинистых прослоев редко превышает 20 м. Мощность подсвиты 600–750 м.

Средне-верхненutowская подсвита (N₂nt₂). В пределах района развита повсеместно. Она объединяет толщи средне- и грубозернистых песков с прослоями гравелитов, мелкозернистых песчаников и алевролитов и плохоотсортированных разномерностистых песков. Пески обычно серые, желтовато-серые, слоистые, по плоскостям наложения слюдистые, неотсортированные. Косая слоистость в песках дельтового и прибрежно-морского типов. Алевролиты светло-серые, реже желтовато-серые и серые, песчано-глинистые, слоистые и тонкослоистые. Глины встречаются в виде маломощных прослоев. Обычно серого, бурого-серого цвета, мягкие, вязкие, зачастую песчаные. Мощность песчаных пластов 2–40 м, реже 80–100 м, глинистых 1–30 м, иногда 50–60 м. Мощность средненutowской подсвиты 1600–1850 м.

Четвертичные отложения (Q) развиты повсеместно. Они представлены современными пойменными, биогенными, лагунными и элювиально-делювиальными образованиями.

Аллювиальные отложения I-ой надпойменной террасы и поймы (aQ_{IV}) распространены в долине р. Нельбуты и ее притоков. Они представлены песками грубозернистыми и мелкозернистыми с окатанной галькой из отложений нutowской свиты, глинами и алевролитами. Мощность данных образований колеблется от 2 до 6 м.

Таблица 1. Эксплуатационные балансовые запасы минеральных подземных вод Дагинского месторождения (м³/сут.)

Table 1. Operating balance reserves of mineral underground waters of the Daginsky deposit (m³/day)

Категория, м³/сут. Category, m³/day	t, °C	Пределы содержания основных бальнеологических компонентов, мг/дм³ Limits of content of the main balneological components, mg/dm³				
		M	H₂SiO₃	Br	B	I
B+C₁+C₂=2500	40–52	1200–2460	40–47	до (to) 6,0	5,1	до (to) 3,0
B=190						
C₁=1495						
C₂=815						
в том числе/including:						
участок Южный/South section						
C₁+C₂=1250	40–42	1200–1900	до (to) 47	до (to) 6,0	–	до 3,0
C₁=864						
C₂=386						
участок Центральный/Central section						
B+C₁+C₂=1250	51–52	2460	40–47	–	4,9–5,1	–

Лагунно-морские образования ($l_m Q_{IV}$) представлены песками мелкозернистыми, илистыми и алевритистыми до грубозернистых. Они развиты вблизи устья р. Нельбуты, где слагают современные морские валы. Мощность голоценовых лагунно-морских отложений колеблется в пределах 2–4 м.

Поверхность четвертичных образований практически повсеместно перекрыта биогенными образованиями ($b Q_{IV}$). Мощность торфяников, как правило, составляет 2 м, иногда достигает 3–4 м.

Элювиально-делювиальные отложения ($ed Q_{IV}$) сплошным чехлом перекрывают неогеновые породы. Для элювия характерно сходство с подстилающими коренными породами, отличие заключается лишь в его большей рыхлости и желтоватой окраске. Мощность этих отложений достигает 3–4 м.

В региональном тектоническом плане месторождение находится в юго-восточной части Северо-Сахалинской наложенной впадины, которая представляет собой одноименный артезианский бассейн [4].

В районе распространены высоконапорные минерализованные подземные воды в глубоких частях гидрогеологического разреза и слабонапорные пресные воды в приповерхностной зоне. Глубокими скважинами (1,5–2,0 км) вскрыты воды с минерализацией 15–20 г/дм³ и температурой 70–80 °С. Возрастание температуры с глубиной подчиняется общему геотермическому градиенту, достигающему 3,5 °С на 100 м.

Интенсивно развитая разрывная тектоника обусловила образование ослабленных зон, по которым напорные минерализованные термальные воды поднимаются на дневную поверхность, образуя локальные очаги разгрузки (Дагинские, Луньские и другие источники) [6]. По

мере продвижения вверх происходит понижение температуры подземных вод и разбавление пресными инфильтрационными водами. Поэтому на поверхности температура воды в источниках составляет 20–50 °С, минерализация 2–8 г/дм³.

Месторождение сформировано в водоносном комплексе отложений нутовской свиты верхнего неогена. Водовмещающие породы представлены слоистой толщей, состоящей из песков, имеющих высокие фильтрационные свойства, и сабопроницаемых глинистых отложений (рис. 2).

Месторождение имеет очень сложное тектоническое строение, обусловленное наличием нескольких систем разрывных нарушений.

Основная зона гидротермально измененных и переработанных пород, приуроченная к северо-восточному диагональному нарушению, испытывала многократные подвижки и переработку в процессе заложения и развития разрывов северо-западного и меридиональных простираний. Разрывной тектоникой месторождение разбито на три участка: Южный, Центральный и Северный. В каждом из участков свои, отличные от других, условия миграции вод с глубины (рис. 3).

Южный участок изолирован от Центрального и Северного, расположен в районе выхода источников «Мечта», «Молодость». Центральный и Северный участки физической границы не имеют и разделяются по минерализации воды в источниках – около 2 г/дм³ на Центральном и более 5 г/дм³ – на Северном. На Центральном участке расположены источники «Бегемот», «Пионер», «Центральный», «Патриот», «Партизан». На Северном – «Дельфин», «Кальмар». Всего на месторождении наблюдается более 60 восходящих источников термальных минеральных вод (табл. 2).

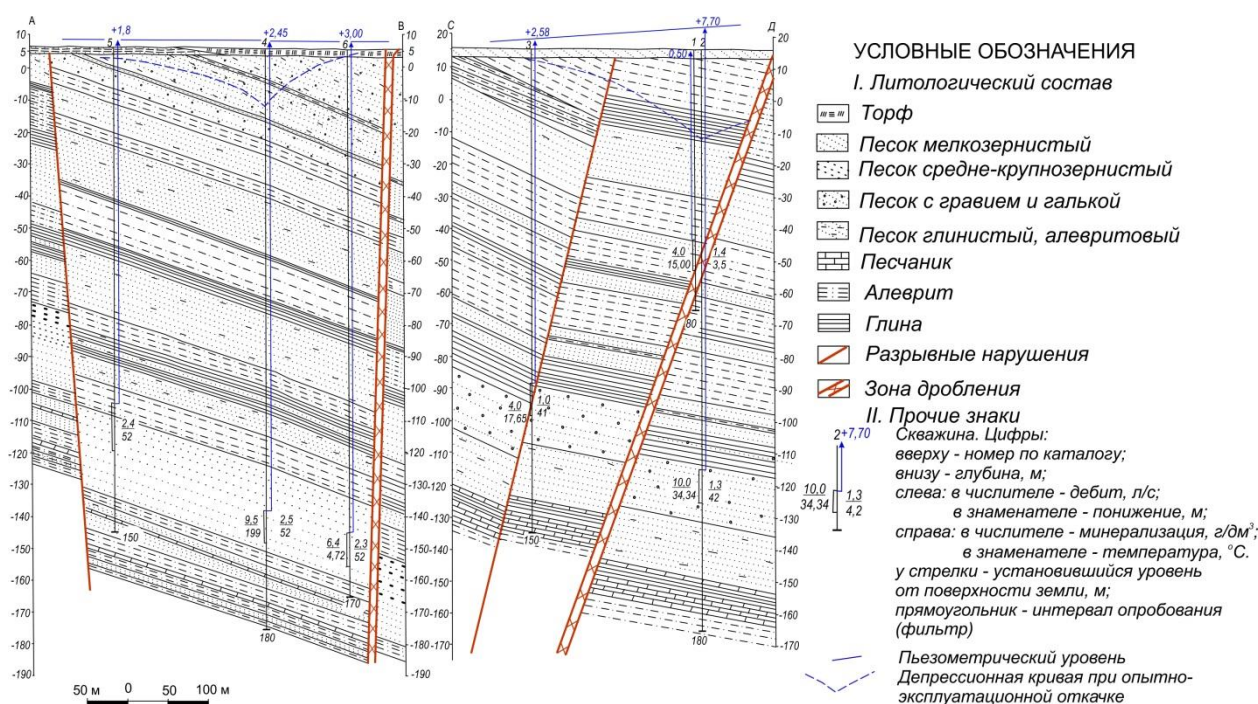


Рис. 2. Геологический разрез Дагинского месторождения термальных минеральных вод

Fig. 2. Geological section of the Daginsky deposit of thermal mineral waters

Скважинами изучены Южный и Центральный участки.

На Южном участке при опытно-эксплуатационной откачке из скв. № 2 дебит составил 864 м³/сут при понижении уровня на 34,2 м. Водопроницаемость составила 39,5 м²/сут, коэффициент фильтрации – в пределах 1 м/сут.

На Центральном участке фильтрационные свойства пород выше. При опытно-эксплуатационной откачке из скв. № 4 дебит составил 821 м³/сут при понижении на 19,9 м. Водопроницаемость составила 73,5 м²/сут, коэффициент фильтрации – около 3 м/сут.

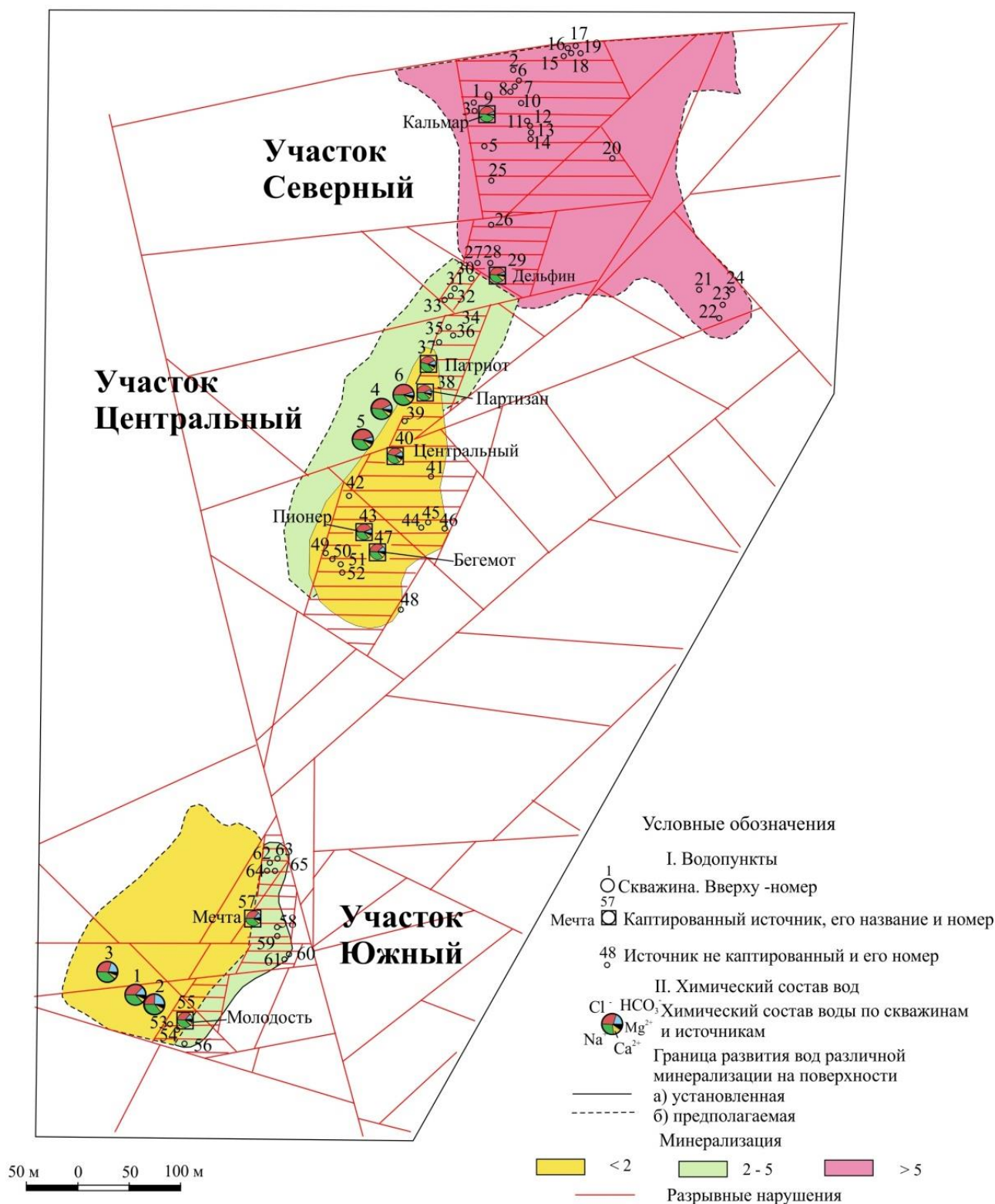


Рис. 3. Схема строения Дагинского месторождения термальных минеральных вод

Fig. 3. Scheme of the structure of the Daginsky deposit of thermal mineral waters

Таблица 2. Характеристика источников термальных минеральных вод на Дагинском месторождении

Table 2. Characteristics of the sources of thermal mineral waters in the Daginsky field

№ на схеме	Название/Title	Температура Temperature (°C)	Минерализация, г/дм ³ Mineralization, g/dm ³	Микрокомпоненты Microcomponents		
1	Морской 6/Morskoy 6	27	5,7	J	–	–
2	Морской 11/Morskoy 11	25	н/с	–	–	J-Br
3	Морской 7/Morskoy 7	36	5,6	–	–	–
4	Морской 5/Morskoy 5	45	5,4	J	–	–
5	Морской 4/Morskoy 4	43	6,7	J	–	–
6	Морской 10/Morskoy 10	27	9,3	–	–	–
7	Безымянный/Nameless	30	н/с	–	–	–
8	Безымянный/Nameless	32	н/с	–	–	–
9	Кальмар/Kalmar	41	–	–	–	–
10	Морской 9/Morskoy 9	41	–	–	–	–
11	Безымянный/Nameless	24	–	–	–	–
12		31	–	–	–	–
13		12	–	–	–	–
14		12	–	–	–	–
15		22	–	–	–	–
16		27	–	–	–	–
17		10	–	–	–	–
18		26	–	–	–	–
19		16	–	–	–	–
20		34	–	–	–	–
21		25	–	–	–	–
22		24	–	–	–	–
23		20	–	–	–	–
24		21	–	–	–	–
25	Морской 3/Morskoy 3	41	6,5	–	–	J-Br
26	Безымянный/Nameless	41	–	–	–	J-Br
27	Морской 2/Morskoy 2	41	6,7	–	–	J-Br
28	Морской 1/Morskoy 1	43	–	–	–	J-Br
29	Дельфин/Delfin	44	8,4	–	–	J-Br
30	Безымянный/Nameless	37	2,9	–	–	–
31		39	2,9	–	–	–
32		36	–	–	–	–
33		32	–	–	–	–
34	Стиральный/Stiralniy	38	2,9	–	–	–
35	Питьевой/Pityevoy	47	2,1	–	–	–
36	Безымянный/Nameless	32	2,8	–	–	–
37	Патриот/Patriot	42	1,6	–	–	–
38	Партизан/Partizan	41	1,9	–	–	–
39	Дикий/Dikiy	42	1,4	–	–	–
40	Центральный/Tsentralny	52	1,6	–	–	–
41	Безымянный/Nameless	20	1,2	–	–	–
42	Безымянный/Nameless	45	1,6	–	–	–
43	Пионер/Pioner	42	1,6	–	–	–
44	Безымянный/Nameless	17	–	–	–	–
45	Безымянный/Nameless	28	1,3	–	–	–
46	Безымянный/Nameless	25	1,2	–	–	–
47	Бегемот/Begemot	37	–	–	–	–
48	Безымянный/Nameless	30	1,3	–	–	–
49		36	–	–	–	–
50		40	–	–	–	–
51		34	–	–	–	–
52		37	–	–	–	–
53	Питьевой 1/Pityevoy 1	36	2,9	–	–	–
54	Безымянный/Nameless	42	2,7	–	–	–
55	Молодость/Molodost	40	2,6	–	–	–
56	Безымянный/Nameless	25	2,4	–	–	–
57	Мечта/Mechta	46	2,4	–	–	–
58	Безымянный/Nameless	47	–	–	–	–
58 a		30	2,3	–	–	–
59		38	2,5	–	–	–
60		35	–	–	–	–
61		35	2,3	–	–	–

Общая характеристика гидрогеохимических условий месторождения

Месторождение расположено в пределах одного водоносного комплекса отложений нутовской свиты, представленной многослойной толщей, относится к трещинно-жильным очагового типа [2].

Хлоридные натриевые термальные воды Дагинского месторождения являются морскими седиментационными водами, генетически связаны с нормальными морскими осадочными отложениями в зоне затрудненного водообмена. В этих условиях в восстановительной обстановке формируются метановые воды в результате насыщения подземных вод газами биохимического происхождения [11–20]. Появление азотной составляющей в газовом составе вод, очевидно, связано с тем, что при выходе термоминеральных вод на поверхность происходит смешение их с водами атмосферного и частично морского генезиса. Изменения минерализации в пределах месторождения связано с различными условиями «транспортировки» термоминеральных вод на поверхность.

Накопление кремнекислоты в подземных водах происходит за счет выщелачивания водным раствором силикатов из горных пород, чему благоприятствуют: высокая температура, большое давление, слабощелочная реакция вод, наличие горных пород, содержание SiO_2 .

В процессе метаморфизации нормальных морских вод в них исчезают ионы SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} и накапливаются ионы HCO_3^- .

Очевидно, в водах имеется дополнительный источник брома, помимо того, который поступил вместе с хлором [12]. Бром дополнительно накапливается в результате разрушения органического вещества, захороняемого вместе с породой. В целом содержание брома коррелируется с минерализацией, оно растет с увеличением последней. Для маломинерализованных вод Южного и Центрального участков при минерализации 2–5 г/дм³ концентрация брома не превышает 8 мг/дм³. С увеличением минерализации на Северном участке увеличивается содержание брома (до 37 мг/дм³).

Обогащение подземных вод йодом генетически связано с морскими отложениями, содержащими значительные количества органического вещества. Накоплению йода в водах способствуют также восстановительные условия и щелочная реакция среды. Различное содержание йода на месторождении объясняется, по-видимому, разным количеством глинистого материала на отдельных участках [8, 11].

Термальные воды поднимаются к поверхности земли по зонам разрывных нарушений из одного очага (зоны) затрудненного водообмена водоносных комплексов окочкайских и дагинских отложений. Рассчитанная по SiO_2 -геотермометру температура теплоносителя на глубине составляет 81–100 °С (табл. 3). Глубина подъема термоминеральных вод составляет 2,7–3,3 км, где их вероятная минерализация, судя по данным глубоких скважин, составляет 15–17 г/дм³.

В приповерхностной зоне внедряющиеся минерализованные воды смешиваются с пресными (по составу хлоридно-гидрокарбонатными натриевыми с минерализацией до 0,46 г/дм³) и образуют «Купола» термоминеральных вод в хорошо проницаемых песчаных пластах. Раз-

личные условия миграции глубоких вод и степень их смешения с приповерхностными водами обусловили формирование на месторождении вод двух бальнеологических групп (по классификации В.В. Иванова, Г.А. Невраева, 1964, ГОСТ Р 54316-2011 [5]):

- без «специфических» компонентов,
- йодных, бромных.

Таблица 3. Прогнозная глубинная температура, °С, рассчитанная по SiO_2 -геотермометру

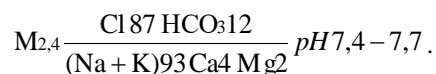
Table 3. Forecast depth temperature, °C, calculated using a SiO_2 -geothermometer

Источник/Source	Глубинная температура/Deep temperature, °C
Бегемот/Begemot	89,6
Мечта/Mechta	69,6
Молодость/Molodost	81,7
Центральный/Tsentrallyy	94,7
Пионер/Pioner	97,8
Партизан/Partizan	86,6
Патриот/Patriot	94,7
Дельфин/Delfin	86,6
Кальмар/Kalmar	97,8
Скв. № 1/Well no. 1	96,8
Скв. № 2/Well no. 2	99,9
Скв. № 3/Well no. 3	85,6
Скв. № 4/Well no. 4	88,6
Скв. № 5/Well no. 5	89,6

Само месторождение приурочено к зоне диагонального разрывного нарушения северо-восточного простирания, значительно измененного при формировании нарушений северо-западного и меридионального простирания. Последними месторождение разбито на три участка (рис. 3), в каждом из которых развиты воды, отличающиеся по минерализации.

На Центральном и Южном участках проявляются воды без «специфических» компонентов. Воды теплые и горячие (температура 21–54 °С), слабощелочные (pH – 7,9–8,3), хлоридные натриевые, газовый состав – азот, метан. Соленость воды варьирует от 1 до 2,4 г/дм³.

На Южном участке естественные проявления термоминеральных вод (ист. «Молодость» и «Мечта») имеют минерализацию 2,4 г/дм³. Типичная формула ионного состава:



Температура воды источников 40–41,5 °С. Из микрокомпонентов в незначительных количествах содержится йод (2 мг/дм³) и бром (6 мг/дм³). Содержание метакремниевой кислоты составляет 28–38 мг/дм³, что ниже бальнеологической нормы [6] (50 мг/дм³).

Пробуренными на Южном участке скважинами глубиной до 180 м, вскрыты и опробованы термоминеральные воды того же типа, что и воды поверхностных проявлений. Температура воды на устье скважин при самоизливе +42 °С. По сравнению с водой источников увеличивается величина pH и содержание кремнекислоты до 47 мг/дм³, и содержание гидрокарбонат-иона. В незначительных количествах содержится йод и бром (I – 0,8 мг/дм³, Br – 1,4 мг/дм³). В воде практически отсутствуют нитраты и нитриты, железо. В небольших количествах (до 2,1 мг/дм³) отмечено наличие аммония.

Типичная формула ионного состава имеет вид:

$$M_{1,7} \frac{Cl\ 47\ HCO_3\ 45\ CO_3\ 8}{(Na + K)98\ Ca1} pH\ 8,7.$$

При проведении опытно-эксплуатационной откачки из скв. 2 химический и микрокомпонентный состав оставался постоянным, как и состав воды источников Южно-го участка.

На Центральном участке источниками выведены на поверхность термоминеральные воды без «специфических» компонентов с температурой 38–51 °С и минерализацией до 2 г/дм³ (преимущественно 1,1–1,7 г/дм³).

Воды слабощелочные. Концентрация метакремниевой кислоты составляет 38–42 мг/дм³ (до 51 мг/дм³, ист. «Центральный»).

Типичная формула ионного состава имеет вид:

$$M_{1,7} \frac{Cl\ (85 - 90)\ HCO_3\ (15 - 10)}{(Na + K)93\ Ca6} pH\ 7,7 - 8,0.$$

Все источники Центрального участка расположены в заболоченной низине и во время длительных дождей и интенсивного снеготаяния температура и минерализация их вод снижается, хотя тип воды остается постоянным. Стабильным остается только состав источника «Центральный», который изолирован от болотных вод.

В многолетнем разрезе состав вод Центрального участка постоянный. Температура изменяется в пределах 1–3 °С.

Подземные воды на Центральном участке изучены скважинами № 4–6 до глубины 180 м. На поверхность выведены воды без «специфических» компонентов с минерализацией 2,1–2,5 г/дм³. Отмечается содержание в небольших количествах йода – 2 мг/дм³, брома – 5 мг/дм³. Температура вод на устье скважин составила 51–52 °С. В ходе опытно-эксплуатационной откачки состав воды и температура оставались стабильными.

Типичная формула ионного состава:

$$M_{2,5} \frac{Cl\ 88\ HCO_3\ 10\ CO_3\ 2}{(Na + K)92\ Ca3\ Mg1} pH\ 7,9 - 8,0.$$

На Северном участке воды, согласно ГОСТ Р 54316-2011, относятся к группе йодных, бромных. Проявления наблюдаются в виде восходящих источников, получивших общее название «Морские» (типичные представители «Дельфин» и «Кальмар»). Химический состав воды хлоридный натриевый, минерализация 5,4–9,0 г/дм³, содержание йода 5,0–9,2 мг/дм³, брома 18–37 мг/дм³, метакремниевой кислоты 18–34 мг/дм³, pH – 7,9–8,1. Температура вод в источниках 40–42 °С.

Типичная формула ионного состава:

$$M_{5,5} \frac{Cl\ 97\ HCO_3\ 3}{(Na + K)85\ Ca10\ Mg2} pH\ 7,9 - 8,1.$$

Источники подвержены затоплению. Во время высоких приливов на море, когда источники заливаются морской водой, возрастает минерализация воды, содержание кремнекислоты уменьшается как и температура воды. Примерно через 1,5 часа после отлива свойства воды полностью восстанавливаются (по режимным наблюдениям на источнике «Дельфин»). От затопления «мор-

ских» источников легко защититься, если их каптировать сооружениями с краями, выше поверхности земли на 0,8–1,0 м. В многолетнем разрезе тип воды не изменяется.

На Северном участке скважины не бурились, подземные воды не изучались.

По составу свободно выделяющегося газа воды Дагинских источников являются метановыми и азотно-метановыми. В составе растворенного газа преобладают азот и углекислота. Сероводород отсутствует. Наличие в составе газа свободного водорода указывает на его глубинное происхождение.

Микрокомпонентный состав вод исключительно бедный.

Специальными анализами установлено отсутствие элементов, оказывающих вредное воздействие на организм человека. Поскольку в настоящее время отсутствуют запретительные критерии для минеральных вод, используемых при бальнеолечении для наружного применения, предельно допустимые концентрации вредных компонентов сравнивались в соответствии с ГОСТ Р 54316-2011 [5] для питьевых лечебных и лечебно-столовых вод. Максимальное содержание токсичных компонентов на Дагинском месторождении приведено в табл. 4.

Таблица 4. Данные о гостимулируемых содержаниях токсичных компонентов в водах Дагинского месторождения

Table 4. Data on the accommodated contents of toxic components in the waters of the Daginsky deposit

Компоненты Components	Допустимые уровни содержания токсичных элементов по ГОСТ Р 54316-2011 (для столовых вод), мг/дм ³ Tolerable levels of toxic elements by SS R 54316-2011 (for table waters), mg/dm ³	Максимальное содержание вредных компонентов в водах Дагинского месторождения, г/дм ³ Maximum content of harmful components in the waters of the Daginsky field, g/dm ³
Барий/Barium	1,0	0,6
Кадмий/Cadmium	0,003	н.о. / not detected
Медь/Copper	1,0	0,02
Мышьяк/Arsenic	0,05	н.о. / not detected
Никель/Nickel	0,02	0,006
Нитраты/Nitrates	50,0	4,0
Нитриты/Nitrites	0,1	н.с. /no information
Ртуть/Mercury	0,001	н.с. /no information
Селен/Selenium	0,01	0,0002
Selenium/Selenium	0,01	0,008
Стронций/Strontium	7,0	3,4
Сурьма/Antimony	0,005	н.о. / not detected
Хром/Chromium	0,05	0,012
Цианиды/Cyanides	0,07	н.с. /no information

Примечание: н.о. – не обнаружено (not detected); н.с. – нет сведений (no information).

Из таблицы видно, что содержание токсичных веществ, которые были определены в термоминеральных водах Дагинского месторождения, ниже допустимых уровней. Отметим, что анализы выполнялись в 1991 г. и ранее. Необходимо провести гидрохимическое обследо-

вание источников с соблюдением требований актуальных руководящих документов.

В ненарушенных условиях бактериологические показатели воды в источниках и скважинах соответствуют санитарным нормам.

Бальнеологическое значение

Согласно ГОСТ Р 54316-2011 [5], по химическому составу воды Северного участка наиболее близки к воде Талицкого месторождения, Свердловская область. Группа ХХХг: вода среднеминерализованная, хлоридная натриевая, бромная, йодная. Лечебная. Тип Талицкий. Медицинские показатели по внутреннему применению: В.2.1*, В.2.3, В.4, В.5, В.7.

Воды Центрального и Южного участков наиболее близки водам Обуховского месторождения, Свердловской области. Группа XXVIII: вода слабоминерализованная, гидрокарбонатно-хлоридная натриевая. Лечебно-столовая. Тип Обуховский. Медицинские показатели по применению: В.1, В.2.1, В.2.2, В.2.3., В.3, В.4, В.5, В.6, В.7, В.8, В.9.

*ГОСТ Р 54316-2011. Приложение В

Перечень медицинских показаний по применению (внутреннему) минеральных вод.

В.1 Болезни пищевода (эзофагит, гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь).

В.2 Хронический гастрит:

В.2.1 с нормальной секреторной функцией желудка;

В.2.2 с повышенной секреторной функцией желудка;

В.2.3 с пониженной секреторной функцией желудка;

В.3 Язвенная болезнь желудка и 12-перстной кишки.

В.4 Болезни кишечника (синдром раздраженного кишечника, дискинезия кишечника).

В.5 Болезни печени, желудочного пузыря и желчевыводящих путей.

В.6 Болезни поджелудочной железы (хронический панкреатит).

В.7 Нарушение органов пищеварения после оперативных вмешательств по поводу язвенной болезни желудка, постхолецистэктомические синдромы.

В.8 Болезни обмена веществ (сахарный диабет, ожирение, нарушение солевого и липидного обмена).

В.9 Болезни мочевыводящих путей (хронический пиелонефрит, мочекаменная болезнь, хронический цистит, уретрит).

До настоящего времени официальные сведения о бальнеологических свойствах воды Дагинских источников при наружном применении отсутствуют. По отзывам пользователей, считается, что вода в источниках Северного и Центрального участка обладает положительным

эффектом при лечении кожных болезней, при функциональных нарушениях центральной нервной системы, лечении органов пищеварения, в эстетической медицине, косметологии. Вода из источников Южного участка дает положительный эффект при лечении кожных заболеваний, заболеваний опорно-двигательного аппарата, гинекологических патологий.

Современное состояние

Дагинские геотермальные источники, известные под названием «Горячие Ключи», в настоящее время используются «диким образом». Исключение составляют две организации ООО «Бытовик» и «Лесхоз», которые имеют закрытые бассейны (однако использование термальных вод весьма незначительно).

Воды используются в основном для принятия ванн на источниках. На сегодняшний день на месторождении остался только один благоустроенный павильон в относительно удовлетворительном состоянии «Патриот» (рис. 4), остальные источники руками энтузиастов оборудованы самодельными укрытиями (рис. 5–10).

На тропе от пос. Горячие ключи к источникам расположена скважина, пробуренная при разведке месторождения, вода из которой населением используется в качестве лечебной питьевой, а также в гигиенических целях (рис. 11).

В целом, не смотря на, мягко говоря, неприглядное санитарное и техническое состояние, Дагинские источники весьма популярны у населения Сахалинской области. Современная посещаемость источников оценена нами в летний период в 300 человек в сутки без учета упомянутых домов отдыха. По опросным данным, большое количество людей регулярно (часто ежегодно) посещают Дагинские источники для поправки здоровья. Вместе с тем многих отпугивает неблагоприятное санитарное состояние источников и бытовые условия. Так как используются лишь 6 источников, нагрузка на один источник составляет около 50 человек в день. В этом случае природа справляется со сложившейся нагрузкой, так как на протяжении нескольких десятков лет источники находятся в стабильном состоянии. При восстановлении заброшенных известных источников количество посещений можно безболезненно увеличить как минимум в два раза. Отметим, что указанное количество посещений относится к летнему периоду, т. к. большое количество приезжих проживает в палатках. Количество посещений зимой ограничивается количеством мест в местных гостиницах и съемных помещениях, а также плохой доступностью самих источников.



Рис. 4. Источник «Патриот»

Fig. 4. Source «Patriot»



Рис. 5. Источник «Александровский» (оборудован жителями г. Александровск-Сахалинский, отсюда и название)

Fig. 5. Source «Aleksandrovsky» (equipped by residents of Aleksandrovsk-Sakhalinsky, hence the name)



Рис. 6. Безымянный источник на Центральном участке

Fig. 6. Nameless source on the Tsentralny area



Рис. 7. Источник «Мечта»

Fig. 7. Source «Mechta»



Рис. 8. Источник «Молодость»
Fig. 8. Source «Molodost»



Рис. 9. Источник «Партизан»
Fig. 9. Source «Partizan»



Рис. 10. Источники «Кальмар» (слева), «Трепанг» (аварийные не используются)
Fig. 10. Sources «Kalmar» (left), «Trepang» (emergency ones are not used)



Рис. 11. Заброшенная скважина
Fig. 11. Abandoned borehole

В случае применения принудительной добычи термальных вод с помощью скважин, количество посещений может быть увеличено в разы.

Рекомендации

Термальные минеральные воды месторождения обладают очень высокой биологической активностью. Бесконтрольное применение вод вместо лечебного может привести к негативному эффекту. Известны случаи летальных исходов после чрезмерно длительного принятия ванн в источниках. Необходимо провести всестороннее исследование бальнеологических свойств вод различных источников и разработать рекомендации по методике их применения.

Также необходимо организовать мониторинг источников с целью определения времени восстановления воды после посещения и разработать режим приема ванн.

Организовать эксплуатацию источников в соответствии с «Правилами разработки месторождений минеральных вод и лечебных грязей».

Заключение

Многолетней эксплуатацией Дагинского месторождения доказана высокая бальнеологическая эффективность термальных минеральных вод.

Месторождение сформировано путем смешения глубинных горячих минерализованных вод с приповерхностными холодными и пресными подземными водами. Разрывной тектоникой разбито на три участка. Подземные воды напорные, уровни устанавливаются на отметках «+»4–«+»7,7 м. Фильтрационные свойства водовмещающих пород достаточно высокие, удельные дебиты скважин составили 25–41 м³/сут*м. На участке месторождения наблюдается более 60 восходящих источников термоминеральных вод.

Воды горячие слабо- и среднеминерализованные, хлоридные натриевые, бромные, йодные (Северный участок) и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые (Центральный и Южный участки). Балансовые эксплуатационные запасы утверждены по категориям В+С₁+С₂ в количестве 2500 м³/сут.

Согласно ГОСТ Р 54316-2011, воды в источниках обладают широким спектром медицинских показателей по внутреннему применению. Кроме того, многолетний опыт (несколько десятков лет) свидетельствует о том, что воды дают положительный эффект и при наружном применении.

В настоящее время месторождение эксплуатируется «диким образом». Воды используются в основном для принятия ванн на источниках. Посещаемость источников в летнее время достигает 300 чел./день. В зимний период посещение источников затруднено. Имеются хорошие перспективы для многократного увеличения количества посещений без капитальных затрат на разведку месторождения.

Благодарности. Использованы материалы Сахалинской гидрогеологической экспедиции. В работе участвовали А.И. Бондарев, И.Г. Завадский, О.А. Курузов, И.В. Леонов, А.Ф. Пряко, Т.С. Розорителева, Н.Н. Самсонова, Н.Э. Точилин. Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки РФ: 5.9560.2017/8.9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бровко П.Ф., Дзен Г.Н., Малюгин А.В. Рекреационные ресурсы о. Сахалин // Сборник материалов Всесоюзной молодежной школы-конференции, посвященной 25-летию кафедры физической географии и геоморфологии им. И.Н. Арчикова и 50-летию Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова». – Чебоксары: ИД «Среда», 2017. – С. 190–196.
2. Вартанян Г.С., Яроцкий Л.А. Поиски, разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений минеральных вод. – М.: Недра, 1972. – 126 с.
3. Геология СССР. Т. XXXIII. Остров Сахалин. – М.: Недра, 1970. – 432 с.
4. Гидрогеология СССР. Т. XXIV. Остров Сахалин. – М.: Недра, 1972. – 343 с.
5. ГОСТ Р 54316-2011 Воды минеральные природные питьевые. – М.: Стандартинформ, 2011. – 33 с.
6. Жарков Р.В. Геохимические особенности и перспективы использования термальных вод острова Сахалин // XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2018. – С. 204–207.
7. Завгородюк М.С., Завгородюк В.Н., Шаталова И.Г. Рекреационный ресурс Дагинского месторождения термальных минеральных вод // Актуальные вопросы современной медицины: Материалы 70-й итоговой научной конференции молодых ученых и студентов. – Хабаровск: Дальневосточный государственный медицинский университет, 2013. – С. 117–119.
8. Посохов Е.В., Толстихин Н.И. Минеральные воды: лечебные, промышленные, энергетические. – Л.: Недра, 1977. – 240 с.
9. Розен Б.Я. Геохимия брома и йода. – М.: Недра, 1970. – 144 с.
10. Суслова К.И., Чернов В.А. Дагинские термальные источники как туристический ресурс Сахалинской области // Развитие медицинской реабилитации на Дальнем Востоке. – Хабаровск: Дальневосточный государственный медицинский университет, 2016. – С. 68–70.
11. Филатов Д.Г. Бромные подземные минеральные воды: генезис и бальнеологические свойства // Вестник Воронежского государственного университета, серия: геология. – 2012. – № 2. – С. 229–235.
12. Alcalá F.J., Custodio E. Using the Cl/Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal // Journal of Hydrology. – 2008. – № 359. – P. 189–207.
13. Barut I.F., Erdogan N., Basak E. Hydrogeochemical evaluation of western Anatolian mineral waters // Environmental Geology. – 2004. – V. 45. – № 4. – P. 494–503.
14. Grasby S.E., Hutcheon I., Krouse H.R. The influence of water-rock interaction on the chemistry of thermal springs in western Canada // Applied Geochemistry. – 2000. – V. 15. – № 4. – C. 439–454.
15. Evaluation of the effect of balneotherapy in patients with osteoarthritis of the hands: a randomized controlled single-blind follow-up study / K. Horváth, Á. Kulisch, A. Németh, T. Bender // Clinical Rehabilitation. – 2012. – V. 26. – № 5. – P. 431–441.
16. Kralj P., Kralj P. Thermal and mineral waters in north-eastern Slovenia // Environmental Geology. – 2000. – V. 39. – № 5. – P. 0488–0500.
17. Melioris L. Mineral and thermal waters of the Ipelská Pahorkatina hillyland // Environmental Geology. – 2000. – V. 39. – № 5. – P. 448–462.
18. Formation of chemical composition of injection-type mineral water deposits as exemplified by chapaevskoye field in Korsakov district of Sakhalin region / V.A. Sakharov, O.A. Morozova, E.N. Vypryzhkin, I. Ken Khi, H.S. Poliak // Periódico TchêQuími. – 2019. – V. 16. – № 31. – P. 457–471.
19. Tarcan G., Gemici U. Water geochemistry of the seferihisar geothermal area, Izmir Turkey // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2003. – V. 126. – № 3–4. – P. 225–242.
20. Mineral and thermal waters of Serbia: multivariate statistical approach to hydrochemical characterization / M. Todorović, J. Štrbački, M. Čuk, J. Andrijašević, J. Šišović, P. Papić // Environmental Earth Sciences. – 2016. – P. 81–95.

Поступила 28.01.2019 г.

Информация об авторах

Сахаров В.А., кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Сахалинского государственного университета.

Ильин В.В., старший преподаватель кафедры строительства Технического нефтегазового института Сахалинского государственного университета.

Морозова О.А., ведущий инженер Сахалинского государственного университета.

Выпряхкин Е.Н., ведущий инженер Сахалинского государственного университета.

И Кен Хи, ведущий инженер Сахалинского государственного университета.

Гоголева И.В., стажер Сахалинского государственного университета.

UDC 553.7

DAGINSKY DEPOSIT OF THERMAL MINERAL WATERS. FORMATION CONDITIONS, CURRENT STATE, PROSPECTS FOR USE (SAKHALIN REGION)

Valeriy A. Sakharov¹,
sakhsakh@yandex.ru

Vladimir V. Ilin¹,
vladimirilyin7@gmail.com

Olga A. Morozova¹,
sgi84@mail.ru

Evgeny N. Vypryazhkin¹,
e_vipryazhken@mail.ru

I Ken Khi¹, Sakhgu@list.ru

Irina V. Gogoleva¹,
risha.89@mail.ru

¹ Sakhalin State University,
68, Pogranichnaya street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693008, Russia.

The relevance of the research is caused by the need to expand the use of the resource base of mineral waters for balneological purposes, close to the consumer, assess the therapeutic properties of mineral waters based on a study of their operating experience and compliance with the requirements of current guidance documents. The development of this direction will allow increasing the volume and spectrum of therapeutic and preventive services using local natural mineral waters while minimizing the capital expenditures for geological exploration.

The aim of the research is to study the structure, current state and operating experience of the Daginsky thermal mineral water field (Sakhalin Region), to assess the prospects for expanding balneological and tourist services, to develop recommendations for industrial development of the field.

Objects: mineral thermal waters, their properties and conditions of distribution on the earth's surface and in the hydrogeological section.

Methods: study of stock and archive documents on geological structure and hydrogeological conditions of the study area, a field survey of the current state of the field, hydrochemical testing of individual sources, a survey of mineral water consumers.

Results. The paper introduces the geological and hydrogeological characteristics of the field of thermal mineral waters. The balneological properties of the waters in different parts of the field were determined in accordance with the relevant guidelines. The present state of use of thermal mineral waters is presented. The authors have developed the recommendations for field operation.

Findings. The long-term operation of the Daginsky field proves high balneological efficiency of thermal mineral waters. The field is formed by mixing deep hot mineralized waters with near-surface cold and fresh groundwater. Explosive tectonics field is divided into three sections. More than 60 ascending sources of thermomineral waters are observed on the site of the field. The waters are hot, weakly and moderately mineralized, sodium chloride, bromine, iodine (Northern part) and sodium bicarbonate-sodium (Central and Southern). Balance operational reserves are approved for categories B+C₁+C₂ in the amount of 2500 m³/day. Water in the sources have a wide range of medical indicators for use. Currently, the field is exploited «wildly». Waters are used primarily for bathing at the springs. Attendance sources in the summer reaches 300 people/day. In winter, visiting the sources is difficult. There are good prospects for a multiple increase in the number of visits without the capital expenditure on exploration of the field. Thermal mineral waters of the deposit have a very high biological activity. Uncontrolled use of water instead of therapeutic, can lead to a negative effect. There are cases of deaths after excessively long baths in the sources. It is necessary to conduct a comprehensive study of the balneological properties of waters of various sources and to develop recommendations on the method of their use. It is also necessary to organize monitoring of sources in order to determine the time of water recovery after the visit and to develop a mode of bathing.

Key words:

Thermal mineral waters, thermal mineral source, balneological properties of water, geothermal gradient, discontinuous tectonics.

The authors appreciate the specialists of the Sakhalin hydrogeological company whose data and reports were applied in the article: A.I. Bondarev, I.G. Zavadsky, O.A. Kutuzov, I.V. Leonov, A.F. Pryadko., T.S. Rozoriteleva, N.N. Samsonova, N.E. Tochilin. The results were obtained in the framework of the fulfillment of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation: 5.9560.2017/8.9.

REFERENCES

1. Brovko P.F., Dzen G.N., Malyugin A.V. Rekreatsionnye resursy o. Sakhalin [Recreational resources of Sakhalin]. *Sbornik materialov Vsesoyuznoy molodezhnoy shkoly-konferentsii, posvyashchennoy 25-letiyu kafedry fizicheskoy geografii i geomorfologii im. I.N. Archikova i 50-letiyu Chuvashskogo gosudarstvennogo universiteta im. I.N. Ulyanova* [Collection of materials of the All-Union Youth School Conference dedicated to the 25th anniversary of the department of I.N. Archikov physical geography and geomorphology and the 50th anniversary of Chuvash State University named after I.N. Ulyanov]. Cheboksary, Sreda Publ. house, 2017. pp. 190–196.
2. Vartanyan G.S., Yarotsky L.A. *Poiski, razvedka i otsenka ekspluatatsionnykh zasobov mestorozhdeniy mineralnykh vod* [Prospecting, exploration and evaluation of the operational reserves of mineral water deposits]. Moscow, Nedra Publ., 1972. 126 p.
3. *Geologiya SSSR. T. 33. Ostrov Sakhalin* [Geology of the USSR. Vol. 33. Sakhalin Island]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 431 p.

4. *Gidrogeologiya SSSR. T. XXIV. Ostrov Sakhalin* [Hydrogeology of the USSR. Vol. XXIV. Sakhalin island]. Moscow, Nedra Publ., 1972. 343 p.
5. *GOST R 54316-2011 Vody mineralnye prirodnye pityevye* [State Standard R 54316-2011 Natural mineral drinking water]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 33 p.
6. Zharkov R.V. *Geokhimicheskie osobennosti i perspektivy ispolzovaniya termalnykh vod ostrova Sakhalin* [Geochemical features and prospects for the use of thermal waters of Sakhalin Island]. *XXII Soveshchanie po podzemnym vodam Sibiri i Dalnego Vostoka s mezhdunarodnym uchastiem* [XXII Conference on Groundwater of Siberia and the Far East with international participation]. Novosibirsk, NNIGU Publ., 2018. pp. 204–207.
7. Zavorudko M.S., Zavorudko V.N., Shatalova I.G. *Rekreatsionnyy resurs Daginskogo mestorozhdeniya termalnykh mineralnykh vod* [Recreational resource of the Daginsky deposit of thermal mineral waters]. *Aktualnye voprosy sovremennoy meditsiny: Materialy 70-y itogovoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i studentov* [Actual problems of modern medicine: Materials of the 70th final figure conference of young scientists and students]. Khabarovsk, DVGUM Publ., 2013. pp. 117–119.
8. Posokhov E.V., Tolstikhin N.I. *Mineralnye vody: lechebnye, promyshlennye, energeticheskie* [Mineral waters: medicinal, industrial, energy]. Leningrad, Nedra Publ., 1977. 240 p.
9. Rosen B.Y. *Geokhimiya broma i yoda* [Geochemistry of bromine and iodine]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 144 p.
10. Suslova K.I., Chernov V.A. *Daginskie termalnye istochniki kak turistskiy resurs Sakhalinskoy oblasti* [Daginsky thermal springs as a tourist resource of the Sakhalin region]. *Razvitie meditsinskoy reabilitatsii na Dalnem Vostoke* [Development of medical rehabilitation in the Far East]. Khabarovsk, DVGUM Publ. house, 2016. pp. 68–70.
11. Filatov D.G. *Bromnye podzemnye mineralnye vody: genezis i balneologicheskie svoystva* [Bromine underground mineral waters: genesis and balneological properties]. *Bulletin of Voronezh State University, series: Geology*, 2012, no. 2, pp. 229–235. In Rus.
12. Alcalá F.J., Custodio, E. Using the Cl/Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal. *Journal of Hydrology*, 2008, no. 359, pp. 189–207.
13. Barut I.F., Erdogan N., Basak E. Hydrogeochemical evaluation of western Anatolian mineral waters. *Environmental Geology*, 2004, vol. 45, no. 4, pp. 494–503.
14. Grasby S.E., Hutcheon I., Krouse H.R. The influence of water-rock interaction on the chemistry of thermal springs in western Canada. *Applied Geochemistry*, 2000, vol. 15, no. 4, pp. 439–454.
15. Horváth K., Kulisch Á., Németh A., Bender T. Evaluation of the effect of balneotherapy in patients with osteoarthritis of the hands: a randomized controlled single-blind follow-up study. *Clinical Rehabilitation*, 2012, vol. 26, no. 5, pp. 431–441.
16. Kralj P., Kralj P. Thermal and mineral waters in north-eastern Slovenia. *Environmental Geology*, 2000, vol. 39, no. 5, pp. 0488–0500.
17. Melioris L. Mineral and thermal waters of the Ipelská Pahorkatina hillyland. *Environmental Geology*, 2000, vol. 39, no. 5, pp. 448–462.
18. Sakharov V.A., Morozova O.A., Vypryzhkin E.N., I Ken Khi, Poliak H.S. Formation of chemical composition of injection-type mineral water deposits as exemplified by chapaevskoye field in Korsakov district of Sakhalin region. *Periódico Tchê Quími*, 2019, vol. 16, no. 31, pp. 457–471.
19. Tarcan G., Gemici U. Water geochemistry of the seferihisar geothermal area, Izmir Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2003, vol. 126, no. 3–4, pp. 225–242.
20. Todorović M., Štrbački J., Čuk M., Andrijašević J., Šišović J., Papić P. Mineral and thermal waters of Serbia: multivariate statistical approach to hydrochemical characterization. *Environmental Earth Sciences*, 2016, vol no, pp. 81–95.

Received: 28 January 2019.

Information about the authors

Valeriy A. Sakharov, Cand. Sc., head of laboratory, Sakhalin State University.

Vladimir V. Ilin, senior lecturer, Sakhalin State University.

Olga A. Morozova, lead engineer, Sakhalin State University.

Evgeny N. Vypryzhkin, lead engineer, Sakhalin State University.

I Ken Khi, lead engineer, Sakhalin State University.

Irina V. Gogoleva, trainee, Sakhalin State University.