

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ¹

© 2011 г. И. Д. Ульзетуева, В. В. Хахинов

*Байкальский институт природопользования
Сибирского отделения Российской академии наук*

670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

Бурятский государственный университет

670000 Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а

Поступила в редакцию 18.05.2010 г.

Представлены результаты исследования минеральных источников Юго-Западного Забайкалья. Проведены расчеты физико-химических равновесий бальнеологически активных компонентов (фтор, кремний) для выявления роли растворимости и осадкообразования минералов в формировании химического состава минеральных вод. Дана типизация источников.

Ключевые слова: гидрохимия, минеральные воды, физико-химические равновесия.

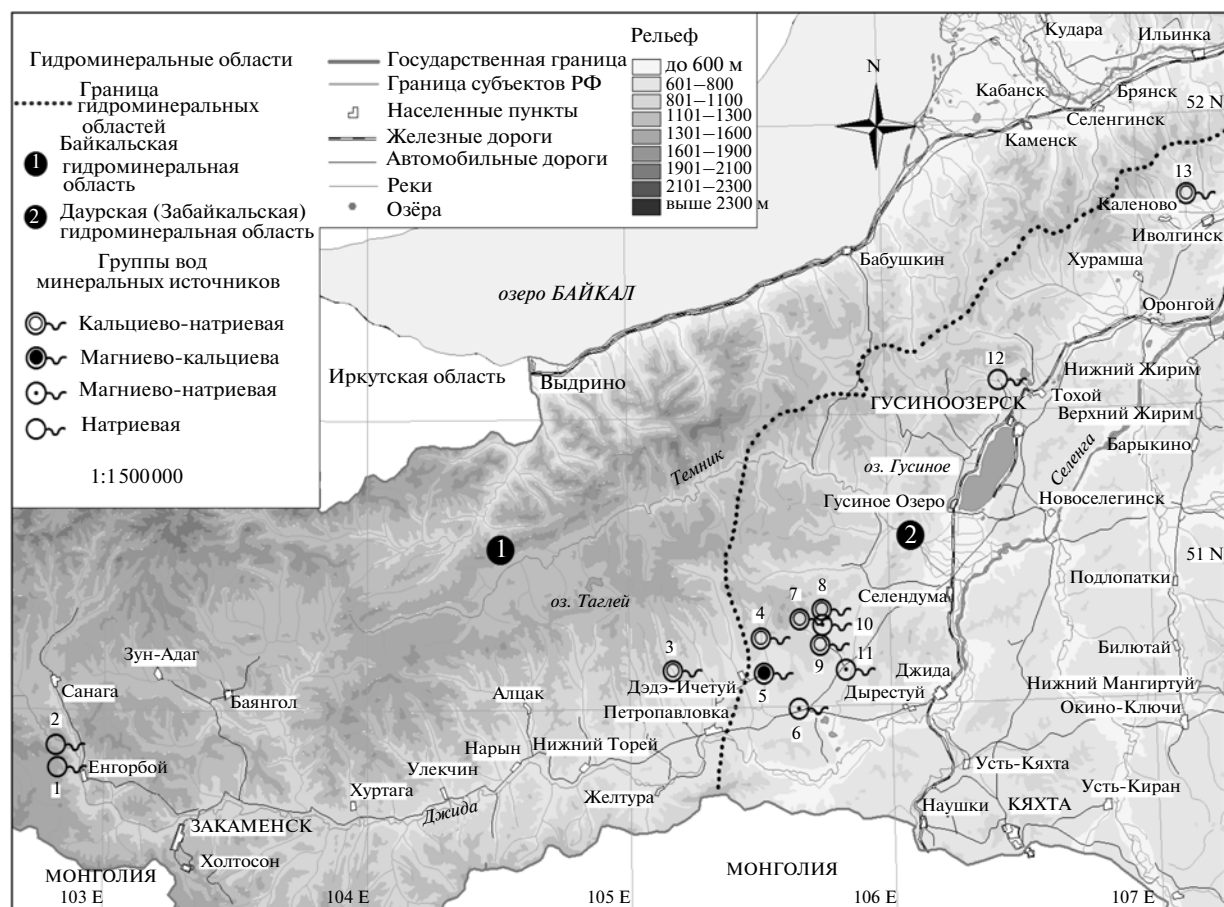
Байкальский регион представляет обширную область природных водных объектов, где сосредоточены огромные запасы пресной воды, многочисленные выходы минеральных источников. На территории Юго-Западного Забайкалья имеются практически все известные типы минеральных вод, но они остаются мало изученными [2, 12, 13]. Повышенная антропогенная нагрузка, отсутствие нормативно установленных зон санитарной охраны приводят к загрязнению источников, появлению в них токсогенных органических и неорганических веществ. Возникает необходимость проведения экологической оценки гидроминеральных ресурсов, лечебные свойства которых определяются происходящими в них химическими процессами, от состояния которых зависят условия миграции бальнеологически активных компонентов.

Цель работы – изучение химического состава минеральных вод Юго-Западного Забайкалья, исследование физико-химического равновесия бальнеологически активных компонентов (F и Si) для выявления роли растворимости и осадкообразования минералов, проведение типизации минеральных источников для последующего определения направления их использования в бальнеологических и рекреационных целях.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 08-05-98036, 08-04-98018), СО РАН (интеграционные проекты 38 и 95), программ “Фундаментальные исследования и высшее образование” (проект НОЦ-017 “Байкал”) и “Развитие научного потенциала высшей школы” (2009–2010 гг.) (проект РНП 2.2.1.1/5901).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ химического состава воды проводился общепринятыми стандартными методами [1, 5]. Пробы воды для химического анализа были отобраны из выходов минеральных источников (грифонов) в летний период 2003–2008 гг. Непосредственно на месте отбора проб были измерены pH (с помощью pH-метра pHep2, Португалия), общая минерализация (кондуктометром TDS, Сингапур), температура (сенсорным электродом Ppima, Сингапур), окислительно-восстановительный потенциал (измерителем редокс-потенциала ORP, Португалия). Концентрация CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} в анализируемых водах определялась в полевых условиях на момент отбора проб титрованием 0.5 N HCl в присутствии индикаторов фенолфталеина и метилового оранжевого. Растворенный сероводород фиксировался раствором ацетата кадмия с последующим количественным установлением фотометрическим методом, общая и свободная щелочность – титрованием проб 0.1 N NaOH, общая жесткость, ионы кальция и магния определены при помощи титриметрического метода с использованием трилона Б. Концентрации NH_4^+ , NO_3^- и NO_2^- , зафиксированные при отборе проб воды соляной кислотой и хлороформом, а также кремниевая кислота, железо общее, фосфат- и фторид-ионы были установлены фотометрическим методом, хлорид-ион определен титриметрическим методом с использованием азотнокислого серебра, сульфат-ион – гравиметрическим методом.



Карта-схема расположения минеральных источников. 1 – Енгорбойские термальные, 2 – Енгорбойские холодные, 3 – Гэгэтуй, 4 – Худугэ, 5 – Актранэ, 6 – Каменный ключ, 7 – Инзагатуй-1, 8 – Инзагатуй-2, 9 – Инзагатуй-3, 10 – Инзагатуй-4, 11 – Боргойский, 12 – Агсурга, 13 – Халюты.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованные минеральные источники по своим физическим свойствам, химическому и газовому составу отнесены к Селенгинскому гидроминеральному району холодных негазирующих вод Даурской (Забайкальской) гидроминеральной области и к азотным термальным кремнистым водам, азотным холодным водам с радоном Байкальской гидроминеральной области (рисунок, табл. 1) [2, 12].

Холодные негазирующие радоновые воды

Источники имеют низкую температуру (1,2–7,5°C) и малую минерализацию (до 0,3 мг/дм³). Величина рН варьирует в пределах 6,6–8,7. В анионном составе повсеместно преобладают гидрокарбонаты. Катионный состав смешанный, как правило, натриево-кальциевый, кальциево-натриевый и магниевый, реже натриевый, кальциевый, кальциево-магниевый и магниевый. Содержание радона, по данным авторов данной статьи

и [2], – в большинстве источников не более 300–400 эман (1110–1480 Бк), что не превышает нормативов для их использования в бальнеологических целях.

Источник Агсурга. Воды источника по показателям общей жесткости – мягкие с преобладанием ионов кальция. В анионном составе доминируют гидрокарбонаты, в небольших концентрациях содержатся сульфат- и хлорид-ионы. Содержание радона до 130 эман (480 Бк), кремниевой кислоты – до 54 мг/дм³.

Источник Халюты. Вода источника – слабоминерализованная гидрокарбонатная магниевый-кальциевая, содержит кремниевую кислоту до 73 мг/дм³ и радон, концентрация которого достигает 150 эман (555 Бк). Изучение сравнительной характеристики сезонных изменений физико-химических параметров выявило, что показатели макро- и микрокомпонентов изменяются незначительно, что свидетельствует о стабильности химического состава воды источника (табл. 2). На основе проведенных исследований получено бальнеологическое заключение

Таблица 1. Катионно-анионный состав и физико-химическая характеристика вод минеральных источников Юго-Западного Забайкалья (М – минерализация, Ж – жесткость, *T* – температура; прочерк – не определены)

Источник	Ж, мг-экв/дм ³	Катионы, мг/дм ³			Анионы, мг/дм ³					Физико-химические параметры			
		(Na ⁺ + K ⁺)	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	SiO ₃ ²⁻	<i>T</i> , °C	pH	М, г/дм ³	Eh, мВ
Агсурга	1.0	9	3.8	13.4	5.0	4.5	78	0.3	53.5	4.0	8.0	0.13	34
Халюты	3.5	28	7.3	58.1	5.7	25.0	240	0.8	72.8	3.0	6.6	0.27	–
Джидинские источники													
Боргойский	3.7	90	35.5	15.0	8.5	15.5	415	3.3	37.7	3.0	8.7	0.29	195
Инзагатуй-1	4.0	120	19.1	48.1	11.0	30.6	430	22.0	62.0	3.5	8.3	0.27	320
Инзагатуй-2	5.2	160	20.1	70.2	10.5	2.0	670	14.5	51.4	2.7	8.0	0.33	342
Инзагатуй-3	4.0	100	85	66.2	4.4	3.0	430	1.2	70.3	7.5	8.3	0.24	254
Инзагатуй-4	7.1	85	40.2	76.2	6.2	40.8	490	12.5	65.1	6.7	8.1	0.36	302
Гэгэтуй	4.1	65	8.6	68.0	2.0	2.0	335	2.4	9.6	1.2	7.7	0.15	355
Актранэ	3.1	30	16.5	34.1	8.4	1.0	275	1.5	44.6	5.6	8.3	0.14	358
Худугэ	3.4	55	15.8	42.1	3.0	4.5	305	0.5	53.1	3.1	8.1	0.13	338
Каменный ключ	3.1	110	26.8	18.5	5.5	8.5	460	1.8	57.7	4.1	8.3	0.26	–
Енгорбойские источники													
Халуун	1.9	296	2.4	34.1	75.8	446.9	92.4	15.0	94.1	35.4	8.4	0.96	122
Табан	1.5	207	2.6	26.1	60.6	309.2	85.4	11.0	85.4	32.5	7.8	0.75	127
Зурхэнэй	1.6	13	7.3	20.1	3.0	33.3	80.9	0.6	54.9	2.0	7.3	0.42	178
Шарын	1.7	370	2.6	30.0	74.7	582.3	97.1	13.0	91.0	32.0	7.3	1.20	182
Бурхатай	1.4	334	1.2	26.1	83.8	491.9	86.3	14.0	110.5	38.5	8.3	1.10	167
Нюрганэ	1.5	146	4.9	22.6	44.5	202.9	83.7	9.0	90.5	25.5	7.4	0.95	148
Ханяаданай	1.6	89	6.1	22.0	47.5	107.0	90.6	8.7	65.1	16.8	7.2	0.67	148
Залуу рулдаг	1.5	79	6.1	20.0	48.5	70.8	98.7	10.3	34.3	12.6	7.2	0.47	147
Эльгэнэй	2.1	134	7.3	30.2	39.9	196.1	103.7	9.8	68.6	14.4	7.2	0.42	161
Хабын	1.6	136	109	14.1	39.4	171.4	115.9	9.2	87.4	15.0	7.3	0.41	153
Шудэнээ	2.2	98	20.7	10.0	38.4	138.7	102.7	8.5	79.1	10.7	7.1	0.38	122
Нюдэнээ	1.6	97	13.4	10.2	33.3	119.8	98.8	7.7	70.3	7.4	7.2	0.34	79
Хотын	1.7	91	6.1	24.1	32.8	104.9	109.8	7.9	78.3	8.1	7.3	0.38	91

Томского НИИ курортологии и физиотерапии о составе и качестве воды минерального источника Халюты, согласно которому вода источника относится к третьей бальнеологической группе лечебных минеральных вод (Липовский тип) и может применяться в соответствии с показаниями для данной группы вод.

Джидинские источники. Эти родники объединены по территориальному принципу, имеют различный химический состав, известны среди местного населения по своим названиям (глазной, желудочный и т.п.). До настоящего времени физико-химические свойства, ионный состав этих вод не изучался. Исследования показали, что воды источников – холодные, слабоминерализованные, слабощелочные. Наименьшая температура у выхода источника Гэгэтуй – 1.2°C. Значения минерализа-

ции находятся в пределах от 0.13 до 0.36 г/дм³, самые низкие значения минерализации имели воды источников Худугэ, Актранэ и Гэгэтуй. Окислительно-восстановительный потенциал – +195–+358 мВ, что свидетельствует об окисленных условиях среды (табл. 1).

По анионному составу воды относятся к гидрокарбонатным, по катионному – к натриевым, за исключением источника Актранэ, который относится к гидрокарбонатным кальциевым. По показателям общей жесткости вода мягкая (за исключением источников Инзагатуй-2 и Инзагатуй-4, имеющих среднюю жесткость). Обнаружены невысокие концентрации SO₄²⁻ (до 40.8 мг/дм³) и Cl⁻ (до 11.0 мг/дм³), что улучшает вкусовые качества этих вод. Количество нитрат-, нитрит- и фосфат-

Таблица 2. Сезонные изменения физико-химических показателей воды минерального источника Халюты

Компонент	Июнь 2003 г.	Ноябрь 2003 г.	Апрель 2004 г.	Июнь 2004 г.	Ноябрь 2004 г.
$T, ^\circ\text{C}$	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
pH	6.6	6.5	6.5	6.6	6.5
Жесткость, мг-экв/дм ³	3.52	3.52	3.52	3.51	3.53
Сухой остаток, мг/дм ³	200	252	265	270	250
Ионы, мг/дм ³					
Ca ²⁺	43.4	54.7	55.1	58.1	55.0
Mg ²⁺	16.24	9.36	9.12	7.3	9.4
(Na ⁺ + K ⁺)	6.0	7.5	7.0	6.0	6.5
Fe _{общ.}	0.59	0.55	0.52	0.58	0.56
NH ₄ ⁺	0.05	0.06	0.05	0.10	0.06
HCO ₃ ⁻	241	231	238	210	231
Cl ⁻	5.7	5.3	5.5	5.2	5.3
SO ₄ ²⁻	25.0	25.1	25.5	25.5	25.1
NO ₂ ⁻	0.004	<0.003	<0.003	<0.003	0.004
NO ₃ ⁻	0.04	0.03	0.04	0.08	0.03
F ⁻	0.86	0.85	0.82	0.80	0.85
SiO ₃ ²⁻	72.8	66.5	62.7	55.8	67.0

ионов незначительное. В водах источников Инзагатуй-1, Инзагатуй-2 и Инзагатуй-4 обнаружено повышенное содержание фторид-ионов (22.0, 14.5 и 12.5 мг/дм³ соответственно), в других источниках его количество составляло от 0.5 до 3.3 мг/дм³.

Углекислый газ обнаружен в воде источника Боргойский, и его концентрация составила 1.76 мг/дм³, в воде источника Инзагатуй-4 присутствует сероводород в количестве 0.24 мг/дм³.

Азотные термальные и холодные радоновые воды

На территории Забайкалья известны термальные воды, обогащенные кремнеземом и одновременно характеризующиеся повышенной (>40 эман, или 133 Бк) радиоактивностью. Кремнистые радоновые термы имеют большую лечебную ценность. Их аналоги – курорты Цхалтубо (Кавказ), Белокурихи (Алтай) [8, 10].

Енгорбойские источники. Исследования гидрохимического состава показали, что воды всех источников за исключением Бурхатай и Шарын, – слабоминерализованные, слабощелочные. Значения минерализации вод составляют от 0.34 г/дм³ до 1.20 г/дм³. По температуре воды часть родников относится к холодным, температура самого холодного источника (Зурхэнэй аршан) составляет 2.0°C. К теплым

термальным водам с температурой до 37°C отнесены четыре источника, и один – с температурой 38.5°C отнесен к горячим. По анионно-катионному составу воды источников – гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатно-гидрокарбонатные, кальциево-натриевые, натриево-кальциевые, натриевые. Из основных ионов присутствуют SO₄²⁻ в пределах 33.3–582.3, HCO₃⁻ – 80.9–115.9, Cl⁻ – 3.0–83.8 мг/дм³. Основные катионы представлены ионами натрия (суммарно с калием) в количестве 13–370, кальция 10.2–34.1 мг/дм³ (табл. 1). Кроме источника Зурхэнэй аршан, отмечено высокое содержание F во всех источниках в пределах 7.7–15.0 мг/дм³. Другой, привлекающий внимание элемент Енгорбойских источников – наличие в них радона, по его содержанию источники относятся к слаборадиоактивным, концентрация которых достигает 35 эман (110 Бк).

Типизация минеральных вод

Исследованные холодные воды минеральных источников Селенгинского гидроминерального района – слабоминерализованные (пресные), что позволяет отнести их к группе минеральных природных столовых вод. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые, гидрокарбонат-

ные натриевые. По газовому составу – воды азотные, содержащие радон. Эти воды представляют ценность как нативные пресные, которые могут употребляться для питья и приготовления пищи, для целей розлива без специальной реагентной водоподготовки.

Кремнистые воды Енгорбойского источника относятся к солоноватым (минеральные питьевые лечебно-столовые воды), низкотермальным и термальным, кремнистым и высококремнистым, сульфатным натриевым. По газовому составу – воды азотные, содержащие радон.

Исследованные минеральные воды содержат Si (кремниевую кислоту) – важный бальнеологический элемент, он активизирует жизнедеятельность протоплазмы клеток человеческого организма, уменьшает степень выраженности дистрофических и некробиотических процессов в печени, снижает уровень перекисного окисления липидов, усиливает выделение из организма мочевой кислоты, способствует образованию и росту костной ткани [4, 11]. Воды некоторых источников содержат еще один компонент – F, его количество близко или незначительно превышает нормативы по его содержанию в питьевых минеральных водах, зачастую соизмеримо с содержаниями макрокомпонентов. Присутствующий в природных водах F оказывает большое влияние на организм человека – недостаток или избыток этого элемента может повлечь за собой нежелательные последствия [7].

Слабоминерализованные слабощелочные воды минеральных источников могут использоваться в профилактических и лечебных целях, как для внутреннего потребления, так и для ваннных процедур. Большое значение имеет климатолечебные и оздоровительные ресурсы, поскольку окрестности минеральных источников, как правило, это живописнейшие места, где можно организовать учреждения отдыха и лечения. Климатические ресурсы могут служить предпосылкой для круглогодичной эксплуатации санаторно-курортных учреждений.

На исследованных источниках действуют два курорта местного значения – Енгорбойский с медицинским обслуживанием на 200 мест и Агсурга без медицинского контроля, на котором ежегодно отдыхают 80–100 человек, в основном, из местного населения. Наряду с водо- и грязелечением на курортах используется также опыт тибетской медицины: игло- и рефлексотерапия, лечение растительными препаратами.

Своеобразные “дикие курорты” образуются вокруг минеральных источников Халюты и Гэгэтуй. В летнее время территория вокруг минерального источника Халюты представляет собой неорганизованный палаточный лагерь. Количество отдыхающих – в среднем от 40–50 человек в будние дни до 100 в выходные. Для водных процедур построены деревянные желоба, под которыми принимают

душ. Возле желобов оборудована площадка для отдыха. Медицинское обслуживание отсутствует.

Вблизи источника Гэгэтуй построены дома для отдыхающих, имеется ванное отделение с печью и баком для подогрева воды. Медицинское обслуживание отсутствует, хотя источник представляет большой интерес для развития лечебно-оздоровительного туризма, поскольку расположен в живописном месте.

Исследованные источники Боргойский, Инзагатуйские, Худугэ и Актранэ характеризуются незначительной величиной дебита и мало используются местным населением.

Стоит отметить, что интенсивное использование минеральных вод и грязей в течение продолжительного времени приводит к тому, что территория вокруг них испытывает большую антропогенную нагрузку. Необходимо решение санитарно-гигиенических задач в организации врачебного наблюдения за лечением, улучшении условий их проживания, благоустройстве территорий, повышении уровня обслуживания отдыхающих. Для дальнейшего перспективного использования источников нужна их экологическая паспортизация, выделение зон горно-санитарной охраны, мониторинговые исследования их состояния [14].

Фторидно-кальциевое равновесие в минеральных водах

Как показали результаты исследований, минеральные воды в значительной мере обогащены F, концентрации которого зачастую соизмеримы с содержанием макрокомпонентов. Поскольку изучение условий миграций F в природных водах имеет большое значение, для исследования минеральных вод были выполнены расчеты насыщенности их CaF_2 (табл. 3) [6, 9]. Используемая для расчетов величина PP_{CaF_2} принята равной 1.16×10^{-11} [7].

Из приведенных результатов (табл. 3) видно, что воды как не насыщены (степень насыщения $r < 1$), так и пересыщены CaF_2 ($r > 1$). В водах, ненасыщенных CaF_2 , (r составляет 0.005–0.440), возможно дальнейшее накопление F. Эти воды крайне обеднены F, в связи с чем можно предполагать отсутствие контакта этих вод с флюоритом в процессе формирования их химического состава.

В воде, пересыщенной CaF_2 , содержание F лимитируется содержанием Ca. Увеличение концентрации одного из этих компонентов в растворе вызывает уменьшение содержания другого. Следует отметить, что когда термальные воды выходят на поверхность и охлаждаются, то растворимость CaF_2 в них уменьшается и многие из них, ранее ненасыщенные CaF_2 , могут оказаться пересыщенными этим соединением. Пересыщенными CaF_2 при температурах разгрузки оказались некоторые проявле-

Таблица 3. Насыщенность вод минеральных источников Юго-Западного Забайкалья фтористым кальцием (C_{F^-} , мг/дм³ – концентрация ионов фтора; γCa^{2+} – коэффициент активности ионов кальция; γF^- – коэффициент активности ионов фтора; Ca^{2+} , моль/л – активность ионов кальция; PP_{CaF_2} – произведение растворимости фтористого кальция, равное 1.16×10^{-11} ; r – кратность насыщения CaF_2)

Источник	C_{F^-} , мг/дм ³	Ионная сила I	γCa^{2+}	γF^-	Ca^{2+} , моль/л	$PP_{CaF_2} \times 10^{-11}$	$C_{F^-}^2$, мг/дм ³	$r = \frac{C^2 F^-_{\text{эксп}}}{C^2 F^-_{\text{расч}}}$
Агсурга	0.3	0.002	0.835	0.953	0.279	1.16	16.53	0.005
Халюты	0.8	0.007	0.716	0.920	1.038	1.16	4.77	0.13
Боргойский	3.3	0.013	0.592	0.877	0.222	1.16	24.53	0.44
Инзагатуй-1	22.0	0.016	0.559	0.864	0.671	1.16	8.36	57.89
Инзагатуй-2	14.0	0.020	0.521	0.850	0.913	1.16	6.28	31.21
Инзагатуй-3	1.2	0.012	0.604	0.882	0.998	1.16	5.39	0.37
Инзагатуй-4	12.0	0.020	0.521	0.850	0.991	1.16	5.84	24.66
Гэгэтуй	2.4	0.010	0.631	0.891	1.071	1.16	4.93	1.17
Актранэ	1.5	0.009	0.646	0.897	0.550	1.16	9.46	0.24
Худугэ	0.5	0.009	0.646	0.897	0.679	1.16	7.66	0.03
Каменный ключ	1.8	0.012	0.604	0.882	0.279	1.16	19.29	0.17
Халуун	15.0	0.030	0.450	0.819	0.383	1.20	16.30	13.80
Табан	11.0	0.022	0.505	0.843	0.329	1.19	17.87	6.77
Зурхэнэй	0.6	0.006	0.700	0.915	0.351	1.16	14.25	0.03
Шарын	13.0	0.037	0.412	0.801	0.308	1.18	21.15	7.99
Бурхатай	14.0	0.032	0.439	0.814	0.286	1.21	22.10	8.87
Нюрганэ	9.0	0.016	0.559	0.864	0.307	1.16	18.27	4.43
Ханяаданай	8.7	0.011	0.617	0.886	0.339	1.16	15.74	4.81
Залуу рулдаг	10.3	0.009	0.646	0.897	0.322	1.16	16.16	6.56
Эльгэнэй	9.8	0.017	0.549	0.861	0.411	1.16	13.74	6.99
Хабын	9.2	0.014	0.580	0.873	0.203	1.16	27.07	3.13
Шудэнээ	8.5	0.014	0.580	0.873	0.145	1.16	37.89	1.91
Нюдэнээ	7.7	0.013	0.592	0.877	0.148	1.16	36.79	1.61
Хотын	7.9	0.009	0.646	0.897	0.388	1.16	13.41	4.65

ния и месторождения сульфатно-гидрокарбонатных натриевых вод и почти все термы гидрокарбонатно-сульфатного натриевого состава – типичные концентраты F, характеризуются абсолютным преобладанием в катионном составе ионов Na^+ и незначительным содержанием ионов Ca^{2+} . Высокие концентрации F (до 15 мг/дм³) связаны, безусловно, с их высокой температурой и низким содержанием в составе ионов Ca^{2+} – условиями, благоприятными для интенсивного растворения флюорита.

Насыщенность минеральных вод кварцем и аморфным кремнеземом

Характерная особенность щелочных термальных и холодных вод – наличие в их составе высоких концентраций Si (до 110.0 мг H_4SiO_4 /дм³) и фторид-

иона (до 22.0 мг/дм³). Накоплению этих компонентов в водах способствует щелочная среда и повышенная температура в термальных источниках [4, 8].

В минеральных водах, особенно в термальных, содержание растворенного кремнезема может достигать половины общей минерализации, что не может не сказаться на их физико-химических свойствах. В связи с этим рассмотрение факторов, с которыми связано поступление и накопление Si в растворе, несомненно, важно. Для определения насыщенности минеральных вод кварцем и аморфным кремнеземом была рассчитана растворимость этих соединений по эмпирическим формулам, приведенным в [3] при различных температурах и pH 6.6–8.7 (табл. 4). Как видно из данных таблицы, все воды – пересыщены по отношению к кварцу, однако его отложений в местах разгрузки термальных

Таблица 4. Данные насыщенности кварцем и аморфным кремнеземом вод минеральных источников Юго-Западного Забайкалья (r_1, r_2 – кратность насыщения кварцем и аморфным кремнеземом)

Источник	Концентрация H_4SiO_4 m_0 , мг/дм ³	Растворимость кварца m_1 , мг/дм ³	$r_1 = \frac{m_0}{m_1}$	Растворимость аморфного кремнезема m_2 , мг/дм ³	$r_2 = \frac{m_0}{m_2}$
Агсурга	53.5	11.08	4.83	189.78	0.28
Халюты	72.8	10.73	6.78	186.45	0.39
Боргойский	37.7	10.73	3.51	186.45	0.20
Инзагатуй-1	62.0	10.91	5.68	188.45	0.33
Инзагатуй-2	51.4	10.63	4.84	188.11	0.28
Инзагатуй-3	70.3	12.38	5.68	185.46	0.35
Инзагатуй-4	65.1	12.08	5.39	201.72	0.33
Гэгэтуй	9.6	11.01	0.87	198.95	0.05
Актранэ	44.6	11.66	3.83	189.11	0.23
Худугэ	53.1	10.77	4.93	195.20	0.28
Каменный ключ	57.7	11.12	5.19	186.78	0.30
Халуун	94.1	27.40	3.43	311.45	0.30
Табан	85.4	25.40	3.36	299.42	0.29
Зурхэнэй	54.9	10.39	5.28	183.15	0.30
Шарын	91.0	25.07	3.63	297.26	0.31
Бурхатай	110.5	29.67	3.72	326.11	0.34
Нюрганээ	90.5	21.03	4.30	269.87	0.34
Ханяаданай	65.1	16.41	3.97	235.51	0.28
Залуу рулдаг	34.3	14.48	2.37	219.88	0.16
Эльгэнэй	68.6	15.29	4.49	226.50	0.30
Хабын	87.4	15.56	5.62	228.74	0.38
Шудэнээ	79.1	12.34	6.41	201.37	0.39
Нюдэнээ	70.3	12.42	5.66	202.06	0.35
Хотын	78.3	12.62	6.20	203.81	0.38

вод не наблюдается, что можно объяснить чрезвычайно малой скоростью реакции кристаллизации кварца из раствора [3, 4, 14]. Результаты расчетов указывают на отсутствие насыщения термальных и холодных вод при температурах их разгрузки аморфным кремнеземом, очевидно, весь Si в этих водах находится в истинно растворенном состоянии (в виде кремниевой и метакремниевой кислот). При охлаждении, когда растворимость кремнезема резко падает, многие из вод оказываются насыщенными этим соединением, т.е. возникает возможность появления полимерных форм и перехода растворенного кремнезема в твердую фазу. Фактором, тормозящим переход растворенного кремнезема в твердую фазу, может быть наличие высоких концентраций фторид-иона в водах, который способен оказывать на растворенный кремнезем деполимерирующее влияние, тем самым стабилизируя на длительное время пересыщенный аморфным кремнеземом раствор.

Формирование макрокомпонентного состава вод данного типа, ненасыщенных аморфным кремнеземом, связано с поступлением из пород и минералов за счет процессов выщелачивания как ионов кальция и магния, так и кремнезема.

ВЫВОДЫ

На основе гидрохимических исследований дана оценка физико-химическим свойствам минеральных источников Юго-Западного Забайкалья. Исследованные минеральные воды по химическому составу – слабощелочные слабоминерализованные гидрокарбонатно-натриевые, соленоватые сульфатно-натриевые. Химический состав исследованных вод соответствует показаниям для использования их в бальнеологических целях.

На примере бальнеологических активных компонентов F и Si показана роль растворимости и осадкообразования флюорита и кварца в формировании химического состава минеральных вод. Усло-

вия накопления F в минеральных водах тесно связаны с растворимостью CaF_2 — в пересыщенных этим соединением водах содержание F лимитируется концентрацией Ca. Накопление Si в природных водах зависит от температуры и растворимости аморфного кремнезема.

Ландшафтно-климатические условия Юго-Западного Забайкалья благоприятны для создания санаторно-курортных учреждений. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что минеральные воды исследуемой территории представляют определенный потенциал, достаточный для формирования рынка бальнеологических услуг для населения с целью удовлетворения рекреационного, бальнеологического, туристического спроса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 444 с.
- 2 *Борисенко И.М., Замана Л.В.* Минеральные воды Бурятской АССР. Улан-Удэ: Бурятское кн. изд-во, 1978. 162 с.
- 3 *Волосов А.Г., Ходаковский И.Л., Рыженко Б.Н.* Равновесия в системе $\text{SiO}_2\text{—H}_2\text{O}$ при повышенных температурах // Геохимия. 1972. № 5. С. 575—589.
- 4 *Гото К., Окомото Г., Окура Т.* Свойства кремнезема в воде // Геохимия литогенеза. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. С. 196—209.
- 5 ГОСТ 23268.0-91; ГОСТ 23268.18-91. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Правила приемки и методы анализа. М.: Изд-во стандартов, 1991. 68 с.
- 6 *Жигунова Н.М.* Роль некоторых физико-химических процессов в формировании химического состава минеральных вод Монгольской Народной Республики. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Иркутск: Ин-т географии СО АН СССР, 1979. 21 с.
- 7 *Замана Л.В.* Фторидные воды Забайкалья // Докл. АН СССР. 1990. Т. 315. № 5. С. 1230—1233.
- 8 Кварц. Кремнезем / Под ред. Юшкина Н.П. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 350 с.
- 9 *Крайнов С.Р., Швец В.М.* Гидрогеохимия. М.: Недра, 1992. 463 с.
- 10 *Кустов Ю.И., Пиннекер Е.В.* Азотные кремнистые сильнощелочные холодные воды юга Сибирской платформы // Докл. РАН. 2002. Т. 384. № 3. С. 1—3.
- 11 *Кустов Ю.И.* Гидроминеральные области и провинции юга восточной Сибири (опыт классификации минеральных вод) // Матер. междунар. конф. “Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии”. Томск: НТЛ, 2004. С. 171—176.
- 12 Минеральные воды Южной части Восточной Сибири / Под ред. Власова Н.А. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. 2. 200 с.
- 13 *Намсараев Б.Б., Данилова Э.В., Бархутова Д.Д., Хахинов В.В.* Минеральные источники и лечебные озера Южной Бурятии. Улан-Удэ: Полиграфик, 2005. 75 с.
- 14 *Ульзетуева И.Д.* Геоэкологические основы использования минеральных источников и озер Юго-Западного Забайкалья. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Улан-Удэ: Бурятский гос. ун-т, 2006. 24 с.