

УДК 556.314 (571.54)

Е.М. Дутова, Д.С. Покровский, В.П. Парначев, В.Д. Покровский

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

Территория Республики Хакасия в геоморфологическом плане располагается в Минусинских котловинах (около трети наиболее населённой площади) и в горных сооружениях Кузнецкого Алатау и Западного Саяна (две трети). Основным источником водоснабжения населения республики являются подземные воды (96,7%). Изменчивость ионно-солевого состава, величина общей минерализации, качество вод подчиняются высотной зональности. В приподнятых гидрогеологических массивах в условиях избыточного увлажнения формируются пресные гидрокарбонатные воды. Воды степной части минерализованы и превышают нормативы по общей жесткости и минерализации, содержанию брома, лития, сульфатов, хлоридов, бора, стронция, бария. Подземные воды горно-таежного и подтаежного поясов, как правило, равновесны с каолинитом и кварцем, часть из них – с Са- и Mg-монтмориллонитами, иллитом, карбонатными минералами, иногда с баритом. Воды степного пояса, наряду с упомянутыми минералами, равновесны с баритом, целестином, флюоритом и гипсом. Все эти минералы лимитируют уровень накопления в подземных водах соответствующих элементов.

Ключевые слова: подземные воды; воды хозяйственно-питьевые; химический состав; качество; геохимия подземных вод; равновесие с минералами; Республика Хакасия.

Введение. Обеспечение населения питьевой водой во всем мире является важнейшей и приоритетной проблемой. От качества питьевой воды зависят состояние здоровья людей, уровень их санитарно-эпидемиологического благополучия, комфортности проживания и экологической безопасности. Особенно актуальны вопросы качества для регионов с аридным и полуаридным климатом, в которых природные воды уже в естественном состоянии зачастую являются некондиционными по ряду нормируемых компонентов. Именно к таким регионам относится Республика Хакасия. Данная статья посвящена анализу закономерностей изменчивости химического состава подземных вод, используемых для водоснабжения, пониманию механизма формирования качества подземных вод посредством изучения их равновесия как с минералами горных пород, являющимися источниками элементов, так и с минералами, формирующимися из раствора.

Основой для исследований послужил обширный фактический материал по составу вод эксплуатационных скважин водозаборов подавляющего большинства населенных пунктов, собранный нами при выполнении работ по созданию целевой программы «Обеспечения населения Республики Хакасия питьевой водой» [1, 2]. Кроме того, для характеристики подземных вод были использованы результаты полевых исследований, проведенных совместно с английскими и норвежскими учеными-гидрогеологами Д. Бенксом и Б. Френгстадом [3–5].

Общие сведения. Республика Хакасия находится практически в центре Азиатского материка и занимает площадь 61,9 тыс. км². Максимальная ее протяженность с севера на юг составляет 463 км, с запада на восток – 210 км. На севере и востоке Хакасия граничит с Красноярским краем, на юге и юго-западе – с республиками Тыва и Алтай, на западе с Кемеровской областью. Приблизительно одна треть её территории принадлежит равнинным пространствам Минусинских котловин и две трети – горным сооружениям Кузнецкого Алатау и Западного Саяна, обрамляющим

котловины с запада и юга. В пределах горных сооружений преобладает среднегорный рельеф с подтаежными и горно-таежными ландшафтами, в наиболее приподнятых частях хребтов развиты участки высокогорного рельефа. Минусинские котловины (Южно-Минусинская, Сыдо-Ербинская и Северо-Минусинская) характеризуются степными и лесостепными ландшафтами. Климат Хакасии резко континентальный, с большими амплитудами колебаний сезонных температур (до 85–92°C), недостаточным увлажнением в степной зоне и избыточным – в горных сооружениях.

По данным Госкомстата РФ, в республике в 2012 г. проживали 533 тыс. человек, основная масса которых сосредоточена в пяти городах и четырнадцати поселках городского типа [6]. Сельское население проживает в 242 населенных пунктах. Наиболее освоены и густо заселены степная и лесостепная зоны Минусинских котловин. Немногочисленные населенные пункты, расположенные в пределах Кузнецкого Алатау и Западного Саяна, связаны преимущественно с горнорудными предприятиями и лесоперерабатывающей промышленностью.

Среднегодовая удельная обеспеченность местными водными ресурсами, формирующимися на территории республики, составляет 38 тыс. м³, а с учетом расхода транзитных рек достигает 193 тыс. м³ на душу населения [2]. Эти величины существенно превышают соответствующие общероссийские показатели, однако ресурсы распределены неравномерно и проблема надежного водоснабжения отдельных населенных пунктов стоит очень остро. Основой водоснабжения населения служат подземные воды, доля которых в общем водопотреблении составляет 96,7%.

В пределах Кузнецкого Алатау и Западного Саяна распространены трещинные, трещинно-карстовые и трещинно-жильные подземные воды, приуроченные главным образом к зонам экзогенной трещиноватости. Относительно низкие фильтрационные свойства и, соответственно, невысокая водообильность коренных пород не позволяют рассчитывать на формирование крупных запасов подземных вод. Исключение

составляют закарстованные карбонатные образования и разнообразные трещиноватые и брекчированные породы в зонах тектонических нарушений

В пределах Минусинских котловин средневерхнепалеозойские (средний девон – пермь) в различной степени дислоцированные терригенные, терригенно-карбонатные, вулканогенно-терригенные отложения вмещают пластово-трещинные и трещинные воды и характеризуются неоднородной водообильностью. На фоне в целом невысокой обводненности повышенной водообильностью обладают песчаные и карбонатные разности пород в верхней, наиболее трещиноватой зоне, особенно в долинах рек

и депрессиях рельефа. При благоприятных условиях здесь формируются достаточно крупные водные ресурсы.

Четвертичные отложения развиты практически повсеместно и представлены широким спектром генетических типов, фаций и литологических разностей. Водоносные горизонты аллювиальных отложений крупных рек являются основным источником водоснабжения городов Абакана, Черногорска, Саяногорска и ряда других, более мелких, населенных пунктов.

Химический состав и качество подземных вод. Обобщенные сведения о химическом составе подземных вод представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Химический состав подземных вод хозяйственно-питьевого назначения Республики Хакасия

Подземные воды	Число проб	pH	мг/дм ³										Окисляемость, мгО ₂ /дм ³	Общ. жест., мг-экв/дм ³	Минерализация, мг/дм ³	
			HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	NO ₂	Na	Ca	Mg	NH ₄	Fe _{общ}				SiO ₂
Подтаежный, горно-таежный пояса																
Каменноугольных отложений	5	7,52	249	7,8	14,0	4,64	0,024	63,7	28,6	10,9	0,29	3,59	14,03	1,36	2,33	473
Девонских отложений	29	7,48	331	34,5	68,6	7,81	0,023	48,5	70,8	26,6	0,27	0,64	11,40	1,19	6,16	598
Кембрийских отложений	7	7,70	281	11,0	20,9	17,56	0,024	23,4	65,4	17,2	0,38	1,48	11,36	0,72	4,67	435
Рифейских отложений	4	8,07	344	12,0	16,2	3,81	0,002	32,7	58,0	25,5	0,25	0,1	5,35	1,23	5,08	522
Интрузивных образований	3	7,89	313	6,2	7,4	3,01	0,002	30,0	59,5	19,5	0,56	0,07	14,28		4,60	452
Подтаежного, горно-таежного поясов	48	7,60	313	25,0	51,5	8,55	0,021	44,6	64,1	23,2	0,30	0,94	11,50	1,11	5,37	550
Степной, лесостепной пояса																
Четвертичных отложений	37	7,73	254	65,9	99,1	19,43	0,011	80,6	56,6	23,8	0,19		14,60	1,19	4,79	626
Каменноугольных отложений	31	7,87	360	137,2	302,1	41,86	0,076	210,4	67,2	51,0	2,13	0,12	12,49	2,05	7,98	1187
Девонских отложений	71	7,80	368	113,4	200,0	22,55	0,024	125,7	93,9	51,6	0,43	0,28	9,78	1,72	9,12	1118
Кембрийских отложений	7	7,84	353	33,8	96,3	31,25	0,017	63,4	71,7	45,3	0,27	0,28	11,84	0,78	6,70	700
Рифейских отложений	5	7,98	368	26,6	78,1	8,20	0,030	52,1	47,9	34,4	0,06	0,05	10,87	3,57	6,95	699
Интрузивных образований	7	7,83	314	10,9	40,6	3,34	0,002	21,0	66,2	29,8	0,07	0,1	10,00	0,89	5,51	478
Степного, лесостепного поясов	158	7,81	335	98,3	203,1	25,61	0,029	133,1	76,5	43,4	0,63	0,25	10,88	1,63	7,57	988
Республики в целом	206	7,74	345	86,7	173,0	21,18	0,026	115,7	74,8	39,4	0,53	0,60	11,08	1,57	7,16	909

Таблица 2

Микрокомпонентный состав подземных вод хозяйственно-питьевого назначения Республики Хакасия, мг/дм³

Параметры	PO ₄	Cr	As	Mn	Zn	Cd	Pb	Cu	F	Ni	Co	Фенол
Подтаежный, горно-таежный пояса												
Среднее	0,0193	<0,01	<0,006	0,1085	0,014	0,0027	0,038	0,0099	0,299	0,0068	0,0065	0,0020
Минимум	<0,005	<0,01	<0,006	<0,002	0,004	<0,0001	0,005	0,0020	<0,02	0,0030	0,0025	0,0010
Максимум	0,0500	<0,01	<0,006	0,4000	0,027	0,0060	0,096	0,0360	0,640	0,0120	0,0110	0,0030
Счет	6	6	5	9	11	11	11	11	9	5	3	3
Степной, лесостепной пояса												
Среднее	0,0225	0,002	0,0008	0,0375	0,020	0,0042	0,032	0,0096	0,477	0,0080	0,0058	0,0027
Минимум	<0,005	<0,01	<0,006	<0,002	0,004	<0,0001	0,001	0,0020	<0,02	0,0060	0,0030	0,0010
Максимум	0,1000	0,020	0,0060	0,4370	0,094	0,0310	0,086	0,0350	1,300	0,0120	0,0100	0,0050
Счет	23	24	24	24	27	24	27	26	21	3	4	7
Республика Хакасия												
Среднее	0,0219	0,002	0,0008	0,0568	0,018	0,0037	0,034	0,0097	0,423	0,0073	0,0061	0,0025
Минимум	<0,005	<0,01	<0,006	<0,002	0,004	<0,0001	0,001	0,0020	<0,02	0,0030	0,0025	0,0010
Максимум	0,1000	0,020	0,0060	0,4370	0,094	0,0310	0,096	0,0360	1,300	0,0120	0,0110	0,0050
Счет	29	30	29	33	38	35	38	37	30	8	7	10

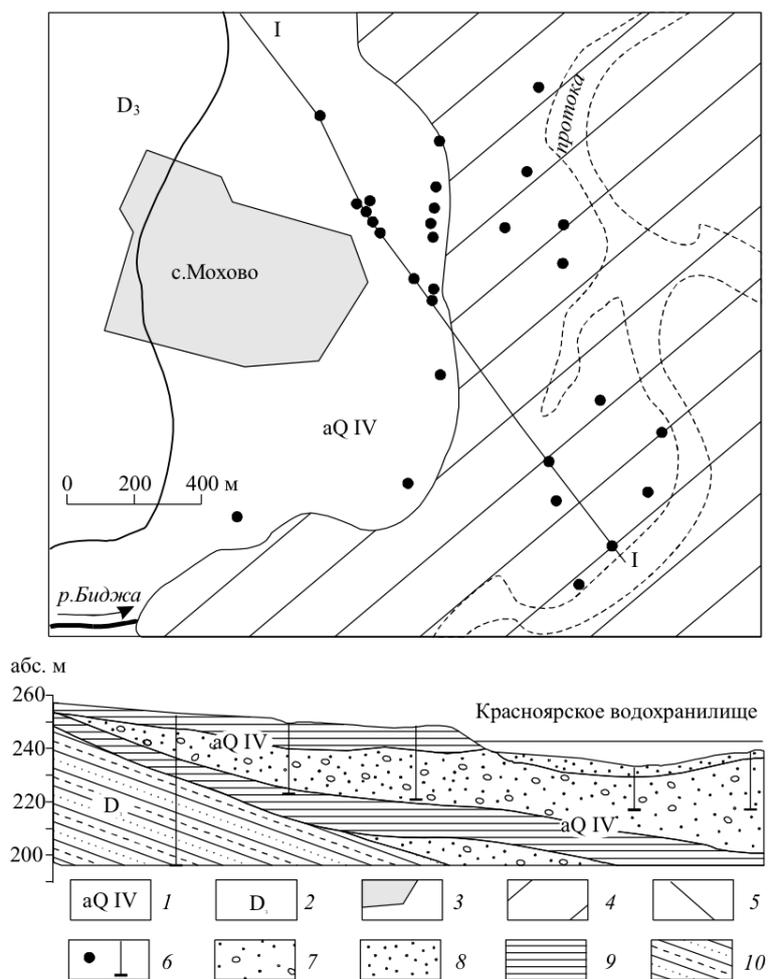


Рис. 1. Схема строения Моховского месторождения подземных вод: 1 – водоносный горизонт современных аллювиальных отложений; 2 – водоносный комплекс верхнедевонских терригенных отложений; 3 – площадь застройки; 4 – зона затопления Красноярского водохранилища; 5 – линия разреза; 6 – гидрогеологические скважины; 7 – гравийно-галечниковые отложения с песчаным заполнителем; 8 – пески; 9 – глины; 10 – алевролиты, песчаники, аргиллиты

Воды комплекса четвертичных аллювиальных отложений по своим естественно-природным характеристикам пресные, гидрокарбонатные с различным катионным составом, нейтральные и слабощелочные, мягкие и умеренно жесткие. Величина минерализации по средним величинам составляет порядка 600 мг/дм^3 . В то же время сложившиеся в 70–80-х гг. представления о водоносном комплексе четвертичных аллювиальных отложений как о весьма однородном по химическому составу подземных вод и, с этих позиций, всегда благоприятном для эксплуатации в хозяйственно-бытовых целях требуют ревизии. Естественным исключением являются участки их техногенного загрязнения. Сравнительно однороден состав подземных вод аллювиальных отложений лишь в прибрежных участках долин крупных поверхностных водотоков. Минерализация подземных вод в этих условиях редко достигает средней величины. Непосредственно в береговой полосе на участках расположения крупных инфильтрационных водозаборов (города Абакан, Саяногорск, Абаза) минерализация зачастую составляет $110\text{--}130 \text{ мг/дм}^3$, но в этих случаях вода лишь по формальному признаку относится к водоносному комплексу четвертичных отложений. Фактически –

это речные воды, доля которых в отбираемом водозабором расходе может достигать 80–90% и более.

В долинах же малых рек и на участках, удаленных от поверхностных водотоков, иногда встречаются подземные воды с повышенными содержаниями сульфатов, хлоридов, а в катионном составе – магния и натрия. Нередко встречаются воды, имеющие высокие (более 1000 мг/дм^3) значения минерализации и повышенные до $7,3\text{--}8 \text{ мг-экв/дм}^3$ значения общей жесткости (пос. Кирба, Зеленое, Расцвет). Такие аномалии химического состава, вероятно, связаны с очагами разгрузки подземных вод из подстилающих коренных отложений. Положение может усугубляться работой водозаборных сооружений, вызывающей ухудшение качества подземных вод продуктивной толщи за счет подтягивания некондиционных вод смежных водоносных горизонтов. На долю таких загрязнений в России приходится около 50% от общего числа случаев загрязнения воды действующих водозаборов из подземных источников [7]. Подобные факты отмечены и в Республике Хакасия, в частности на участке шахтного водозабора ж/д станции Копьево в долине р. Чулым, где минерализация подземных вод, отбираемых из пойменных галечников, превышает

1 000 мг/дм³, а жесткость достигает 16 мг-экв/дм³. Показателем и примером Моховского месторождения, расположенного в долине р. Енисей на берегу Красноярского водохранилища (эксплуатируется для водоснабжения пгт Пригорск) (рис. 1). При отборе подземных вод из четвертичных аллювиальных отложений эксплуатационными скважинами водозабора минерализация в зависимости от положения уровня воды в водохранилище колеблется от 0,2 г/дм³ при высоком его стоянии до 1,3, а иногда и 2,0 г/дм³ при отступлении береговой линии от водозабора. Состав вод при этом меняется с гидрокарбонатного натриевого на сульфатный магниевый, сульфатный натриевый, характерные для вод девонских отложений, подстилающих продуктивный водоносный горизонт. Общая жесткость достигает иногда 10 и даже 14,6 мг-экв/дм³.

За пределами долин рек источниками водоснабжения населения, в основном сельского, являются подземные воды нижнекаменноугольных, девонских, кембрийских отложений, а также интрузивных образований. Химический состав подземных вод зависит от геолого-структурных и ландшафтно-климатических условий, определяющих интенсивность водообмена, и состава водовмещающих пород.

В пределах гипсометрически приподнятых и дренированных гидрогеологических массивов, в условиях избыточного увлажнения формируются и, соответственно, используются для водоснабжения преимущественно гидрокарбонатные воды. В гранитоидных интрузиях они магниевые-кальциевые, в кембрийских и протерозойских породах – такие же гидрокарбонатные, но более сложные по катионному составу. В породах девонского возраста формируются подземные воды, в анионной части химического состава которых появляется «оттенок» сульфатности, а среди катионов, наряду с кальцием, присутствует натрий. Величина общей минерализации подземных вод горной и предгорной частей изменяется от 125 до 917 мг/дм³, составляя в среднем 550 мг/дм³ (табл. 1). Минимальная минерализация характерна для вод из гранитоидов и кембрийских известняков, а максимальная – для вод девонских отложений. Концентрации нормируемых макрокомпонентов, за исключением железа, общей жесткости и, редко, нитрат-иона, в водах отдельных

населенных пунктов не превышают значений, предусмотренных требованиями СанПиН. Встречаемость вод с некондиционными показателями по железу достигает 52% (табл. 3). Содержания ионов железа в воде в отдельных случаях составляют десятки норм ПДК.

По величине общей жесткости подземные воды горной части преимущественно умеренно жесткие, реже мягкие (средние суммарные содержания кальция и магния 5,37 мг-экв/дм³). Повышенные ее значения характерны для девонских, кембрийских и рифейских отложений, где доля водозаборов с некондиционными водами составляет 14–25%. Из микрокомпонентов в воде иногда наблюдаются превышения норм ПДК по содержаниям марганца (табл. 2).

Подземные воды степной части значительно более минерализованы (в среднем в 2,1 раза) и, конечно, в большей степени обогащены как макро-, так и микрокомпонентами. По средним значениям содержания гидрокарбонат-иона в 1,1, кальция в 1,2, магния – в 1,9, натрия – в 2,9, хлор- и сульфат-ионов – в 3,9–4 раза выше, нежели в водах горной части. В водах из нижнекаменноугольных отложений среди катионов ведущую роль приобретает натрий (содовые воды). Характерно повышение содержания и ряда других компонентов (табл. 1, 2). Следует отметить, что рост содержания отдельных компонентов в химическом составе далеко не всегда пропорционален росту каждого из них и минерализации в целом (рис. 2).

В региональном плане в условиях естественного режима минерализация подземных вод увеличивается от 0,2–1,0 г/дм³ в предгорных районах до 3,8–8,0 г/дм³ в пониженных участках Северо-Минусинской котловины (в интервале глубин до 200 м), а гидрокарбонатный состав меняется на хлоридный и сульфатный.

Пространственно эти изменения весьма контрастны. Так, например, по данным мониторинговых работ Минусинской гидрогеологической партии, на залеженных участках западнее оз. Черного подземные воды из нижнекаменноугольных отложений имеют гидрокарбонатный натриевый состав и минерализацию 0,5–1,0 г/дм³. Всего в двух километрах от озера, где лесной ландшафт сменяется на степной, их минерализация увеличивается до 1,5–2,8 г/дм³, а ведущее место в составе приобретают анионы хлора и сульфата.

Таблица 3

Встречаемость некондиционных подземных вод, %

Подземные воды	Доля водозаборов с водами, некондиционными по показателям, %					
	Минерализация	Жесткость общая	Cl	SO ₄	NO ₃	Fe
Подтаежный, горно-таежный пояса						
Каменноугольных отложений	0	0	0	0	0	67
Девонских отложений	0	19	0	0	8	47
Кембрийских отложений	0	14	0	0	14	50
Рифейских отложений	0	25	0	0	0	0
Интрузивных образований	0	0	0	0	0	0
ПОДТАЕЖНОГО, ГОРНО-ТАЕЖНОГО ПОЯСОВ	0	17	0	0	6	52
Степной, лесостепной пояса						
Четвертичных отложений	11	19	0	0	19	
Каменноугольных отложений	38	44	13	19	16	0
Девонских отложений	33	57	10	10	17	50
Кембрийских отложений	0	43	0	0	14	33
Рифейских отложений	0	80	0	0	0	
Интрузивных образований	0	14	0	0	0	
СТЕПНОГО, ЛЕСОСТЕПНОГО ПОЯСОВ	23	42	6	7	17	31
<i>Республики в целом</i>	18	37	5	6	14	41

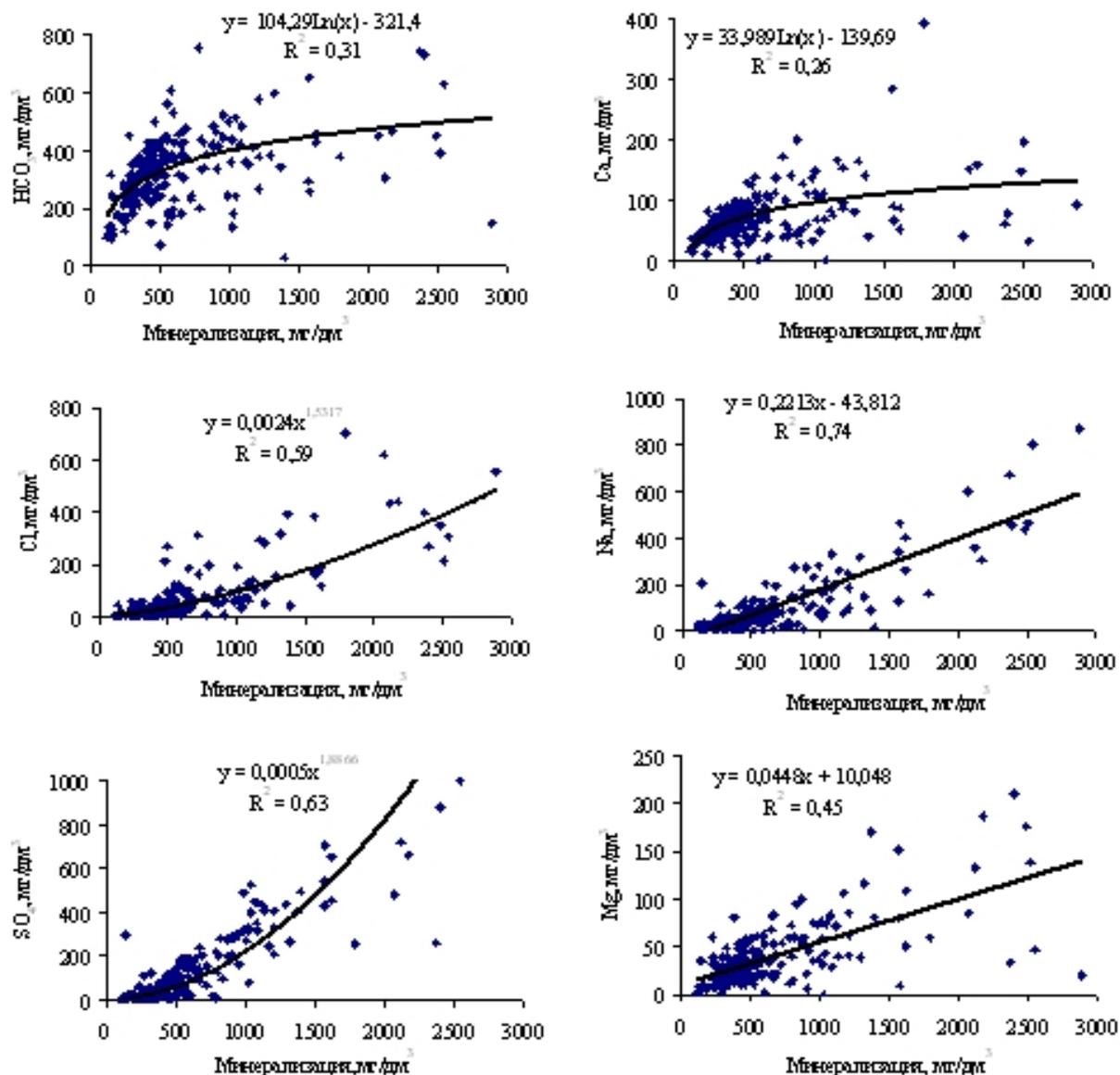


Рис. 2. Зависимость ионного состава подземных вод Хакасии от степени их минерализации

Для подземных вод из нижнекаменноугольных отложений, являющихся основой водоснабжения многих населенных пунктов в степной части республики, характерны пестрота химического состава и сравнительно высокая степень изменчивости общей минерализации. Химический состав и минерализация их изменяются в широких пределах – от пресных гидрокарбонатных до солоноватых сульфатных с минерализацией до 2,9 г/дм³ при средней величине около 1 г/дм³. Характерной чертой является достаточно высокая встречаемость вод, некондиционных по ряду нормируемых показателей (табл. 3). Подобный состав при несколько более высоком верхнем значении минерализации (до 5 г/дм³) характерен и для подземных вод пермского терригенного комплекса, воды которого для водоснабжения населения практически не используются.

В пределах комплекса девонских образований состав подземных вод при сохранении общего облика достаточно неоднороден. В верхней части разреза

(верхне- и среднедевонские отложения) в сероцветных карбонатно-терригенных разностях пород обычно содержатся пресные гидрокарбонатные воды с различным катионным составом и минерализацией до 1 г/дм³. Наряду с гидрокарбонатными здесь часто присутствуют сульфатно-гидрокарбонатные и даже гидрокарбонатно-сульфатные воды. В катионном составе последних ведущую роль приобретает натрий, а минерализация становится выше 1 г/дм³ (сёла Лукьяновка, Власьево, Ворота, Старый Борец, Московское, Троицкое и др.). В зоне затрудненного водообмена и в красноцветных разностях пород отмечаются сульфатный и хлоридный состав подземных вод и их наиболее высокая минерализация. Нередко величина общей минерализации здесь увеличивается до 5 г/дм³ и более. Подземные воды нижней части геологического разреза (слабоводоносной зоны ниже- и среднедевонских терригенно-вулканогенных отложений), в основном пресные гидрокарбонатные, из катионов в них преобладают кальций, реже магний и натрий. Ве-

личина минерализации изменяется в пределах от 0,2 до 1,0 г/дм³. Вместе с тем на отдельных участках встречаются воды повышенной минерализации (до 1,5–2 г/дм³), что может быть объяснено наличием и здесь прослоев сульфатных и, возможно, галоидных пород.

В отличие от вод нижнекаменноугольного и девонского комплексов, воды из кембрийских и рифейских отложений, а также воды зоны трещиноватости из палеозойских интрузивных пород характеризуются значительно более высоким качеством. Все они пресные гидрокарбонатные кальциевые, иногда натриевые и магниевые. Сухой остаток изменяется от 0,15 до 0,7 г/дм³ при средних значениях 0,43–0,45 г/дм³.

В степной части региона воды практически всех водовмещающих пород, за исключением гранитоидов и четвертичных аллювиальных отложений, часто имеют показатели, превышающие нормативные по общей жесткости и минерализации, бром, литию, а

иногда и содержаниям сульфатов, хлоридов, бору, стронцию, барий (табл. 3, 4).

Основные проблемы создает жесткость, являющаяся важным органолептическим показателем качества питьевой воды. Кроме того, известно, что жесткая вода может приводить к появлению ряда заболеваний [8]. Это обстоятельство следует учитывать при организации водоснабжения населения степной части региона. Природные подземные воды здесь по этому показателю в основном относятся к жестким и даже очень жестким. Средние суммарные содержания кальция и магния превышают нормативные значения и достигают 7,57 мг-экв/дм³. Во многих населенных пунктах имеются водоисточники и с более высокими показателями жесткости, а население таких населенных пунктов, как Власьево, Старый Борец, Соленоозерное, Фыркал, в основном потребляет воду, которая характеризуется как очень жесткая (до 10,4–13,0 мг-экв/дм³).

Таблица 4

Характеристика химического состава подземных вод хозяйственно-питьевого назначения степной части в пределах Ширинского района [3, 4]

Компоненты	Единицы измерения	Минимальное	Максимальное	Среднее	Доля скважин с водами, некондиционными по показателям, %
pH		6,99	8,16	7,56	
Минерализация		311	13610	921	33
HCO ₃	мг/дм ³	204,35	713,70	361,31	
Cl		0,84	2968	43,94	4
SO ₄		15,1	6248	130,72	29
NO ₃		<0,05	189	16,64	29
F		<0,05	17,6	0,31	4
Mg		11,2	1138	45,81	
Ca		16,8	384	78,23	
Na		6,4	2235	58,01	29
K		<0,5	8,99	1,60	
Si		3,4	8,1	5,49	
Br		<100	14300	81,20	50
P		<100	155	16,79	
B		34,5	1000	128,74	21
As		1,1	87,9	5,38	4
Li		0,3	1810	30,32	50
Sc	1,9	4,8	3,74		
V	1,8	63,5	6,17		
Cr	0,9	3,9	1,47		
Mn	0,9	1977	10,50	13	
Co	0,1	1,5	0,22		
Ni	<0,5	4,9	0,14		
Cu	0,8	14,1	3,92		
Zn	1,7	16,2	4,37		
Ga	0,01	1,09	0,13		
Rb	0,05	9,74	0,55		
Sr	709	13558	2515	21	
Y	<0,03	0,45	0,005		
Zr	<0,03	9,06	0,03		
Mo	1,45	26,6	7,35		
Cd	<0,05	0,32	0,01		
Sb	<0,05	0,59	0,04		
Cs	<0,05	0,36	0,01		
Ba	0,003	116	25,60	8	
U	3,23	27,9	8,15		
Число проб			24		

Отдельно следует остановиться на содержании брома в питьевой воде. Хотя этот ингредиент не входит в перечень показателей, обязательно контролируемых при оценке качества потребляемой воды, опре-

деляемые концентрации брома обращают на себя внимание. Приведенные в [3] содержания брома (мг/дм³) в питьевых водах отдельных водоисточников Ширинского района (Власьево – 0,897, Старый Бо-

рец – 1,49, Ворота – 0,47, Джирим – 0,53) существенно превышают установленный норматив. Допустимая концентрация брома составляет 0,2 мг/дм³. Бром обладает специфическими свойствами. Это галоген с резким неприятным запахом, нормируемый по санитарно-токсикологическому показателю вредности и относящийся к веществам второго класса опасности. При выборе способов водоподготовки это следует учитывать.

Характер накопления элементов в водах и равновесие вод с минералами. Для понимания характера и масштабов накопления элементов определен интерес представляет изучение равновесия вод как с минералами горных пород, являющимися источниками элементов, так и с минералами, формирующимися из раствора и, следовательно, препятствующими накоплению соответствующих элементов в водной

среде. Такой подход разрабатывался и успешно использовался многими авторами, занимающимися изучением гидрогеохимических процессов зоны гипергенеза [9–12 и др.]. Применительно к условиям Хакасии нами изучались равновесия различных подземных вод относительно широкого спектра алюмосиликатов, силикатов, карбонатов, сульфатов, хлоридов, фторидов, окислов и гидроокислов. Оценка равновесности вод с минералами производилась путем нанесения данных состава вод, контролируемых то или иное минеральное равновесие, на диаграммы полей устойчивости конкретных минералов, построенные по методике Р.М. Гаррелса и Ч.Л. Крайста, и расчетами показателей состояния системы «вода – порода» (индексов неравновесности), выполненными с использованием программного комплекса HydroGeo, разработанного М.Б. Букаты [13].

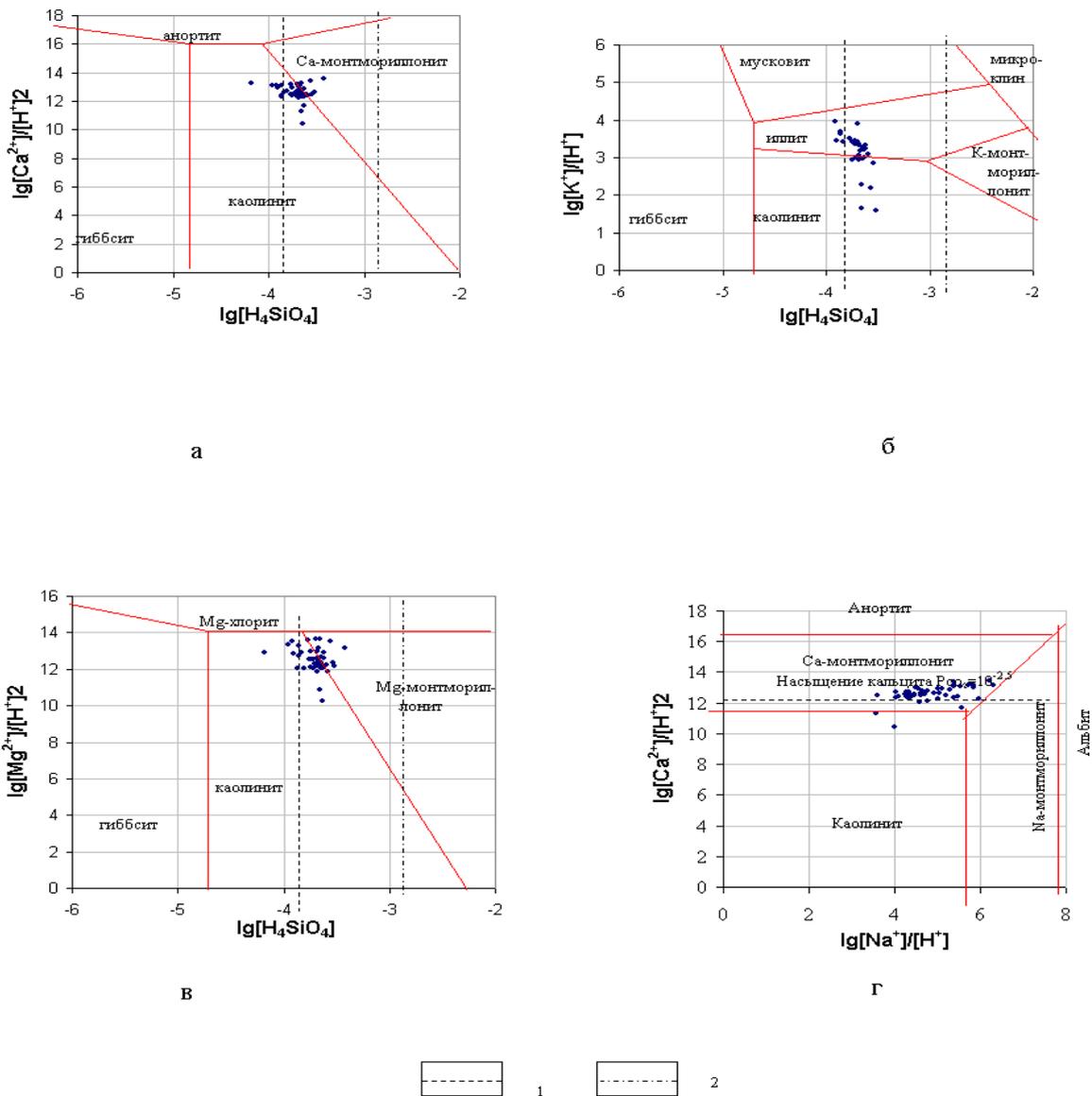


Рис. 3. Диаграммы равновесия в системе вода–алюмосиликаты при стандартных условиях с нанесением данных по составу вод хозяйственно-питьевого назначения Республики Хакасия: а – система HCl – H₂O – Al₂O₃ – CO₂ – CaO – SiO₂; б – система HCl – H₂O – Al₂O₃ – CO₂ – K₂O – SiO₂; в – система HCl – H₂O – Al₂O₃ – CO₂ – MgO – SiO₂; г – система HCl – H₂O – Al₂O₃ – CO₂ – Na₂O – CaO – SiO₂ при lg[H₄SiO₄] = –3,5.
1–2 границы растворимости: 1 – кварца; 2 – аморфного кремнезема

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 3 и в табл. 5. Напомним, что полученные расчетом положительные значения индексов неравновесности свидетельствуют о способности системы к образованию тех или иных минералов, а отрицательные – о способности системы к их разрушению. Анализ результатов выполненных исследований позволяет заключить следующее.

Все изученные воды региона, независимо от ландшафтно-климатических условий, типа источников водоснабжения и характера водовмещающих отложений, недонасыщены относительно первичных алюмосиликатов (микроклина, анортита, альбита, мусковита), хлоридов (сильвина, карналлита, хлормагнезита), большинства сульфатов (ангидрита, меркаллита, кизерита, тенардита, мирабилита), ряда вторичных алюмосиликатных минералов (хлорита, Na-, K-монтмориллонитов) и карбонатов (витерита, калицинита, магнезита, несквегонита, родохрозита, термонаритита, натроны, троны, нахколита, смитсонита), некоторых окислов, гидроокислов (аморфного кремнезема, брусита).

Многие из этих минералов являются порообразующими среды миграции подземных вод и, соответственно, служат источниками их обогащения элементами на протяжении всего времени движения, от областей питания до областей разгрузки. Эти же минералы, присутствуя в обломочном материале донных осадков в руслах рек, являются поставщиком химических элементов для поверхностных вод.

Различные типы вод региона равновесны с гибситом, гетитом, каолинитом, иллитом, Са- и Mg-монтмориллонитами, кварцем, достаточно широкой группой карбонатов (с кальцитом, арагонитом, доломитом, сидеритом, стронцианитом, церусситом, малахитом) и даже сульфатами (с баритом и целестином). Подземные воды горно-таежного и подтаежного поясов, как правило, равновесны с каолинитом и кварцем, кроме того, значительная часть из них – с Са- и Mg-монтмориллонитами, иллитом, кальцитом, церусситом и стронцианитом. Иногда в условиях подтаежного пояса встречаются и воды, равновесные с арагонитом, доломитом, сидеритом, малахитом и баритом (табл. 5).

Таблица 5

Степень насыщения подземных вод Республики Хакасия к минералам (значения индексов неравновесности минералов)

Группы минералов	Минералы	Подземные воды									
		подтаежного, горно-таежного поясов					степного, лесостепного поясов				
		Минимальная	Максимальная	Средняя	Число расчетов	Доля положительных значений индекса, %	Минимальная	Максимальная	Средняя	Число расчетов	Доля положительных значений индекса, %
Гидроокислы	Al(OH) ₃ – гибсит	9,2	23,7	16,1	11	100	13,6	20,3	16,4	11	100
	FeOOH – гетит	-5,8	1,5	-3,3	9	11	-6,3	2,3	-1,6	12	33
	Mg(OH) ₂ – брусит	-20,9	-13,0	-16,1	20	0	-16,5	-13,0	-15,0	12	0
Силикаты	SiO ₂ – кварц	-0,2	2,0	1,5	17	94	1,3	2,1	1,7	12	100
	SiO ₂ *nH ₂ O – аморфн. SiO ²	-3,5	-1,4	-1,8	17	0	-2,1	-1,2	-1,7	12	0
Карбонаты	BaCO ₃ – витерит	-13,6	-7,6	-9,3	12	0	-11,5	-7,2	-8,7	11	0
	CaCO ₃ а – арагонит	-5,6	2,0	-0,8	21	29	-0,8	0,6	-0,1	12	33
	CaCO ₃ к – кальцит	-5,1	2,4	-0,5	21	52	-0,5	1,0	0,2	12	58
	CaMg(CO ₃) ₂ – доломит	-11,4	1,2	-2,8	20	15	-2,4	0,8	-0,8	12	42
	FeCO ₃ – сидерит	-7,7	0,3	-5,0	9	11	-7,7	-0,9	-4,1	12	0
	KHCO ₃ – калицинит	-19,1	-13,9	-16,4	12	0	-19,1	-14,1	-15,9	11	0
	MgCO ₃ – магнезит	-13,4	-6,6	-9,2	20	0	-8,9	-6,8	-7,9	12	0
	MgCO ₃ (H ₂ O) ₃ – несквегонит	-13,8	-6,7	-9,5	20	0	-9,3	-7,1	-8,3	12	0
	MnCO ₃ – родохрозит	-7,3	-0,4	-4,2	20	0	-6,7	-0,9	-4,2	12	0
	Na ₂ CO ₃ (H ₂ O) – термонарит	-33,0	-18,4	-25,5	21	0	-25,4	-17,0	-22,3	12	0
	Na ₂ CO ₃ (H ₂ O) ₁₀ – натрон	-31,1	-16,4	-23,6	21	0	-23,5	-15,1	-20,4	12	0
	Na ₃ H(CO ₃) ₂ (H ₂ O) ₂ – трона	-46,2	-25,2	-35,3	21	0	-34,7	-21,8	-30,4	12	0
	NaHCO ₃ – нахколит	-15,0	-8,4	-11,5	21	0	-11,0	-6,4	-9,9	12	0
	SrCO ₃ – стронцианит	-3,1	1,3	0,2	10	80	0,5	3,0	1,8	11	100
	ZnCO ₃ – смитсонит	-9,2	-4,4	-6,6	21	0	-8,9	-4,7	-6,9	12	0
	PbCO ₃ – церуссит	-3,0	5,8	1,6	21	81	-0,1	4,1	1,8	12	92
Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂ – малахит	-11,7	7,9	-3,2	21	14	-6,4	0,6	-3,3	12	8	
Сульфаты	BaSO ₄ – барит	-4,7	1,4	-0,6	12	42	-0,4	1,5	1,0	11	91
	CaSO ₄ – ангидрит	-10,9	-2,6	-6,2	21	0	-6,0	-1,4	-4,3	12	0
	CaSO ₄ (H ₂ O) ₂ – гипс	-9,2	-0,9	-4,5	21	0	-4,2	0,3	-2,5	12	8
	KHSO ₄ – меркаллит	-45,4	-35,7	-38,7	12	0	-43,6	-32,6	-37,2	11	0
	MgSO ₄ (H ₂ O) – кизерит	-21,7	-13,6	-18,3	20	0	-17,2	-11,0	-15,6	12	0
	Na ₂ SO ₄ – тенардит	-29,9	-15,4	-22,9	21	0	-22,7	-9,3	-18,4	12	0
	Na ₂ SO ₄ (H ₂ O) ₁₀ – мирабилит	-25,0	-11,0	-18,3	21	0	-17,8	-4,9	-13,7	12	0
SrSO ₄ – целестин	-6,0	-1,1	-2,2	10	0	-2,0	3,0	0,5	11	55	
Хлориды	KCl – сильвин	-23,9	-15,4	-20,1	12	0	-24,1	-12,9	-18,0	11	0
	KMgCl ₃ (H ₂ O) ₆ – карналлит	-56,7	-37,6	-49,1	12	0	-54,1	-28,0	-42,5	11	0
	MgCl ₂ – хлоромгнезит	-84,4	-68,6	-77,7	20	0	-79,5	-64,2	-74,1	12	0
Фториды	CaF ₂ – флюорит	-17,0	-3,4	-6,8	16	0	-13,9	1,8	-6,1	12	8

Подземные воды лесостепного и степного поясов равновесны примерно с тем же спектром минералов, что и воды таежных поясов, но встречаемость вод, равновесных с арагонитом, доломитом, церусситом, стронцианитом и баритом, здесь значительно выше. Кроме того, отмечаются воды, равновесные с целестином, а в единичном случае – даже с флюоритом и гипсом. Все упомянутые минералы способны к новообразованию из подземных вод и выводят из них соответствующие элементы. Интересно, что некоторые рассеянные элементы, такие, например, как Pb, Ba, Sr, способны к более раннему по времени переходу из вод в минералогические формы, чем широко распространенные элементы, такие как Ca, Mg. Так, частота встречи вод, равновесных с карбонатными минералами церусситом и стронцианитом, значительно выше, чем вод, равновесных с кальцитом или доломитом. То же характерно и для сульфатов – воды, равновесные с баритом, встречаются гораздо чаще, чем воды, равновесные с гипсом.

Выполненные расчеты позволяют объяснить, почему кратность изменения содержаний отдельных элементов при смене геохимических обстановок, например, в подземных водах таежных и степных ландшафтов, различна.

Для подвижных компонентов, слабо связывающихся вторичными минералами (Cl, SO₄, Na, Br, Li), она значительно выше, чем для компонентов, формирующих вторичные минералы (Ca, HCO₃, Ba, Sr, Mn, Fe), такие как кальцит, сидерит, доломит. Отсюда, у элементов первой группы, по сравнению с элементами, связываемыми вторичными минералами, открываются существенно большие возможности для накопления, в том числе до величин, превышающих нормативы. Именно это обстоятельство в значительной мере объясняет, почему среди некондиционных вод частота встречаемости вод, некондиционных по подвижным компонентам, значительно выше, чем по компонентам малоподвижным (табл. 4).

Основные выводы:

1. В Республике Хакасия существуют условия для формирования широкого спектра геохимических типов подземных вод с разнообразным набором и концентрацией химических элементов. В пределах гипсометрически приподнятых и дренированных гидрогеологических массивов, в условиях избыточного

увлажнения формируются и, соответственно, используются для водоснабжения пресные, преимущественно гидрокарбонатные, воды. Воды степной части значительно более минерализованы (в среднем в 2,1 раза больше, чем таежной) и сложны по ионно-солевому составу и, конечно, в большей степени обогащены как макро-, так и микрокомпонентами.

2. В горной части региона особых проблем с качеством питьевых вод нет, а некондиционные воды при соответствующей водоподготовке сравнительно несложными методами легко могут быть доведены до требований СанПиН. Степная часть региона, где проживает большинство населения, качественными водами для питьевого водоснабжения не обеспечена. Воды практически всех водовмещающих пород, за исключением гранитоидов и четвертичных аллювиальных отложений, часто имеют здесь показатели, превышающие нормативные по общей жесткости и минерализации, бром, литию, а иногда и содержаниям сульфатов, хлоридов, бору, стронцию, барию, железу, NO₃. Для доведения таких вод до нормативного качества требуются весьма сложные и дорогостоящие технологии водоподготовки.

3. Расчет равновесия подземных вод с горными породами показал, что все они неравновесны с первичными алюмосиликатными минералами, но равновесны с вторичными алюмосиликатными и некоторыми карбонатными и сульфатными минералами. Подземные воды горно-таежного и подтаежного поясов, как правило, равновесны с каолинитом и кварцем, кроме того, значительная часть из них с Са- и Mg-монтмориллонитами, иллитом, карбонатными минералами, а иногда баритом. Подземные воды лесостепного и степного поясов наряду с упомянутыми минералами зачастую равновесны с баритом, с целестином, а в единичных случаях даже с флюоритом и гипсом. Все эти минералы выводят из подземных вод соответствующие элементы, лимитируя их уровень накопления. Результаты расчетов, позволяющие прогнозировать состав вторичных минералов, потенциально способных к выпадению из подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов, могут быть использованы при обосновании выбора технологий водоподготовки и способов борьбы с зарастанием фильтров и водоподъемного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обеспечение населения Республики Хакасия питьевой водой. Комплексная целевая программа / Д.С. Покровский, Е.М. Дутова, К.И. Кузеванов и др. Абакан, 1999. 118 с.
2. Покровский Д.С., Дутова Е.М., Булатов А.А., Кузеванов К.И. Подземные воды Республики Хакасия и водоснабжение населения / под ред. Д.С. Покровского. Томск : Изд-во НТЛ, 2001. 300 с.
3. Водные ресурсы Ширинского района Республики Хакасия / В.П. Парначев, И.И. Вишневецкий, Е.М. Дутова, Д.С. Покровский и др. Томск : Изд-во ТГУ, 1999. 171 с.
4. Banks D., Parnachev V.P., Frengstad B., Holden W., Karnachuk O.V., Vedernikov A.A. The evolution of alkaline, saline ground- and surface waters in the southern siberian steppes // Applied Geochemistry. 2004. Т. 19, № 12. P. 1905–1926.
5. Parnachev V.P., Berezovsky A.Y., Banks D., Garbe-Schönberg D. Hydrochemical evolution Na-SO₄-Cl groundwaters in a cold, semi-arid region of southern Siberia // Hydrogeology Journal. 1999. Т. 7, № 6. P. 0546–0560.
6. Покровский Д.С., Дутова Е.М., Балобаненко А.А., Покровский В.Д., Рехтин А.Ф. Гидрогеоэкологические условия водоснабжения населения юга Сибирского региона // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 384. С. 189–197.
7. Соболев В.И. Состояние и пути совершенствования нормативной базы гидрогеохимических исследований при разведке месторождений подземных вод // Гидрогеология, инженерная геология. Обзор. М. : Геоинформмарк, 2000. 24 с.

8. Poliyenko A.K., Dutova E.M. Urinary stones investigation and influence of the water factor to their formation in a human organism / Proceedings KORUS 2000 // The 4th Korea-Russia International Symposium Science and Technology at the University of Ulsan, Republic of Korea, 2000. P. 278–283.
9. Шварцев С.Л., Рыженко Б.Н., Алексеев В.А., Дутова Е.М., Кондратьева И.А., Копылова Ю.Г., Лепокурова О.Е. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода в 5 томах. Том 2: Система вода-порода в условиях зоны гипергенеза. Новосибирск : СО РАН, 2007. 389 с.
10. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М. : Наука, 2004. 677 с.
11. Зверев В.П. Гидрогеохимия осадочного процесса. М. : Наука, 1993. 184 с.
12. Мищенко М.В., Букаты М.Б., Дутова Е.М. Моделирование изменения температур подземных вод Южно-Черемшанской площади Томской области // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319, №. 1. С. 167–172.
13. Букаты М.Б. Рекламно-техническое описание программного комплекса HydroGeo. М. : ВНИИЦ, 1999. 5 с. Гос. регистрация алгоритмов и программ во ВНИИЦ № 50980000051 ПК.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 03 марта 2015 г.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF GROUNDWATER FOR DOMESTIC AND DRINKING PURPOSES IN THE REPUBLIC OF KHAKASSIA

Tomsk State University Journal, 2015, 394, 239-249. DOI 10.17223/15617793/393/38

Dutova Ekaterina M. Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: dutova@sibmail.com

Pokrovsky Dmitry S. Tomsk State University of Architecture and Building (Tomsk, Russian Federation). E-mail: dsp@sibmail.com

Parnachev Valeriy P. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: dingeo@ggf.tsu.ru

Pokrovsky Vitaly D. Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: vdp@sibmail.com

Keywords: ground water; domestic water; chemical composition; quality; geochemistry; groundwater balance with minerals; Republic of Khakassia.

The territory of the Republic of Khakassia can be divided in terms of geomorphology: about a third of the most inhabited area is located on the plain of the Minusinsk Basin and two-thirds of the territory in the mountain areas of the Kuznets Alatau and the Western Sayan. The middle-mountain relief with mountain-taiga landscapes dominates in the mountain areas, and the high-mounted one in the most elevated parts of the mountain ranges. The Minusinsk Basin (including the South-Minusinsk, Sydo-Erbinskaya and North Minusinsk basins) is characterized by steppe and forest-steppe landscapes. When estimating the water resources provision of the population of the Republic, it is necessary to note that the average-annual specific provision by local resources formed in its own territory is 38000 m³ and reaches 193000 m³ per capita, taking into account the flow of transit rivers. These values are significantly higher than the corresponding all-Russian parameters. However, resources are unevenly distributed, and the problem of reliable water supply of individual settlements remains quite acute in the region. At the same time, the main source of water supply in the Republic is groundwater, whose share is 96.7 % in total water consumption. Within the mountain structures of the Kuznetsk Alatau and the West Sayan, groundwater is localized in the Paleozoic deposits and is confined mainly to areas of exogenous fractures having regional distribution. Within the Minusinsk depression stratum-crack and crack waters in mid-Upper Paleozoic (Middle Devonian – Permian) sediments are common. At the same time, the main sources of the water supply for the cities of Abakan, Chernogorsk, Sayanogorsk and a number of other, smaller, settlements are the aquifers of alluvial deposits of large rivers. A variety of natural landscape-climatic, geological-structural and hydrogeological conditions determines the characteristics of the composition and quality of water in the region. It is noted that the variability of ion-salt composition, the amount of total salinity, water quality is defined by the altitudinal zonation. Mainly bicarbonate fresh water is formed within hypsometrically raised and drained hydrogeological massifs, in conditions of excess moisture and, accordingly, it is used for the water supply. Waters of the steppe part area are much more mineralized (on average, 2.1 times more than the taigawaters) and complex by their ion-salt composition, and, of course, are more enriched with both macro- and microcomponents. There are no particular problems with the quality of drinking water in the mountainous part of the region, and substandard water, appropriately treated, can relatively easily meet the requirements of SanPiN (Sanitary Regulations and Standards). The steppe part of the region does not have good drinking water. Here, the waters of almost all water-bearing rocks, with the exception of granitoids and Quaternary alluvial deposits, often have indices above regulations on the total hardness and salinity, bromine, lithium, and sometimes on the content of sulfate, chloride, boron, strontium and barium. Bringing these waters up to a standard quality requires quite complex and expensive water treatment technologies. Calculation of equilibrium of groundwater with rocks showed that they are not in equilibrium with the primary aluminosilicate minerals, but are in equilibrium with secondary aluminosilicate and some carbonate and sulfate minerals. Groundwater of mountain-taiga and sub-taiga zones is generally in equilibrium with kaolinite and quartz, in addition, a significant portion of them with Ca- and Mg-montmorillonite, illite, carbonate minerals, and sometimes barite. Groundwater of forest-steppe and steppe zones is often in equilibrium with barite, celestite, along with the mentioned minerals and, in rare cases, even with fluorite and gypsum. All these minerals limit the level of accumulation of corresponding elements in groundwaters.

REFERENCES

1. Pokrovskiy D.S., Dutova E.M., Kuzevanov K.I. et al. *Obespechenie naseleniya Respubliki Khakasiya pit'evoy vodoy. Kompleksnaya tselevaya programma* [Provision of the population of the Republic of Khakassia with drinking water. Integrated Target Program]. Abakan, 1999. 118 p.
2. Pokrovskiy D.S., Dutova E.M., Bulatov A.A., Kuzevanov K.I. *Podzemnye vody Respubliki Khakasiya i vodosnabzhenie naseleniya* [Groundwater in the Republic of Khakassia and water supply for the population]. Tomsk: NTL Publ., 2001. 300 p.
3. Parnachev V.P., Vishnevetskiy I.I., Dutova E.M., Pokrovskiy D.S. et al. *Vodnye resursy Shirinskogo rayona Respubliki Khakasiya* [Water resources of the Shirinsky District of the Republic of Khakassia]. Tomsk: Tomsk State University Publ., 1999. 171 p.

4. Banks D., Parnachev V.P., Frenstad B., Holden W., Karnachuk O.V., Vedernikov A.A. The evolution of alkaline, saline ground- and surface waters in the southern Siberian steppes. *Applied Geochemistry*, 2004, v. 19, no. 12, pp. 1905–1926. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2004.05.009
5. Parnachev V.P., Berezovsky A.Y., Banks D., Garbe-Schönberg D. Hydrochemical evolution Na-SO₄-Cl groundwaters in a cold, semi-arid region of southern Siberia. *Hydrogeology Journal*, 1999, v. 7, no. 6, pp. 0546–0560.
6. Pokrovskiy D.S., Dutova E.M., Balobanenko A.A., Pokrovskiy V.D., Rekhtin A.F. Hydrogeoecological condition of the water supply of the population of the south of Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*, 2014, no. 384, pp. 189–197. (In Russian).
7. Sobolev V.I. *Sostoyanie i puti sovershenstvovaniya normativnoy bazy gidrogeokhimicheskikh issledovaniy pri razvedke mestorozhdeniy podzemnykh vod* [Condition and ways to improve the regulatory framework in the hydrogeochemical studies of groundwater exploration]. In: *Gidrogeologiya, inzhenernaya geologiya. Obzor* [Hydrogeology, engineering geology. A review]. Moscow: Geoinformmark Publ., 2000. 24 p.
8. Poliyenko A.K., Dutova E.M. Urinary stones investigation and influence of the water factor to their formation in a human organism. *Proceedings KORUS 2000. The 4th Korea-Russia International Symposium Science and Technology at the University of Ulsan, Republic of Korea*, 2000, pp. 278–283.
9. Shvartsev S.L., Ryzhenko B.N., Alekseev V.A., Dutova E.M., Kondrat'eva I.A., Kopylova Yu.G., Lepokurova O.E. *Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda-poroda v 5 tomakh* [Geological evolution and self-organization of water – rock system: in 5 volumes]. Novosibirsk: SO RAN Publ., 2007. V. 2, 389 p.
10. Kraynov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. *Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty* [Geochemistry of groundwater. Theoretical, applied and environmental aspects]. Moscow: Nauka Publ., 2004. 677 p.
11. Zverev V.P. *Gidrogeokhimiya osadochnogo protsessa* [Hydrogeochemistry of sedimentary process]. Moscow: Nauka Publ., 1993. 184 p.
12. Mishchenko M.V., Bukaty M.B., Dutova E.M. Modelirovanie izmeneniya temperatur podzemnykh vod Yuzhno-Cheremshanskoy ploshchadi Tomskoy oblasti [Simulation of temperature changes of groundwater in the South Cheremshanskaya area of Tomsk Oblast]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, v. 319, no. 1, pp. 167–172.
13. Bukaty M.B. *Reklamno-tekhnicheskoe opisaniye programmnoy kompleksa HydroGeo* [Advertising and technical description of the program set HydroGeo]. Moscow: VNTITs Publ., 1999. 5 p. State registration of algorithms and programs in VNTITs no. 50980000051 PK.

Received: 03 March 2015