

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КУЗБАССА: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ В ПРЕДЕЛАХ РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ОБЛАСТЕЙ

О.Г. Токаренко

Томский политехнический университет

E-mail: tog@tpu.ru

Рассмотрен химический состав подземных вод зоны активного водообмена Кузбасса. Показаны зависимости между содержанием макро- и микрокомпонентов и соленостью вод, а также изменения их содержаний по профилю снижения высотных отметок рельефа при переходе из областей предгорий в степные. Выявлены основные геохимические процессы, характерные для степных ландшафтов, а также причины концентрирования некоторых компонентов в подземных водах.

Ключевые слова:

Химический состав, ландшафтные области, степь, предгорье, распределение компонентов.

Key words:

Chemical composition, landscape regions, steppe, foothills, distribution of components.

Введение

При рассмотрении вопросов формирования состава подземных вод, активно используемых для водоснабжения населения, особое внимание уделяют изучению природных условий района исследований, в частности, климату, геологическому и гидрогеологическому строению, особенностям рельефа. Среди них последний является одним из основных факторов, играющим важную роль при формировании специфики химического состава подземных вод. Многими авторами доказано [1, 2], что именно рельеф влияет на расположение элементарных ландшафтов, на соотношение механической и химической денудации, на интенсивность водообмена, окислительно-восстановительные процессы и многое другое. Крайне важным также является доказательная основа того, что специфика химического состава и типы подземных вод, залегающих в различных ландшафтных областях, имеют определенную особенность и носят закономерный характер при переходе из одной ландшафтной области в другую.

Распространенность химических элементов в природных водах Кузбасса изучалась ранее многими авторами [3–8]. В работе [5] показаны распределения характерных комплексов металлов в зависимости от расположения водоносного комплекса в тех или иных ландшафтных областях. Несмотря на многочисленность научных работ, как по подземным водам Кузбасса, так и по конкретным месторождениям и участкам в частности [6, 7], особенности распределения химических компонентов в подземных водах, залегающих в той или иной ландшафтной области, до настоящего времени не рассматривались с точки зрения современных представлений о геологической эволюции системы вода–порода.

Объект и методы исследований

С целью решения поставленных задач коллективом полевой экспедиции Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики СО

РАН им. А.А. Трофимука в июле-августе 2000 г. было проведено опробование подземных вод из скважин глубиной не более 100 м, расположенных вблизи или на территории населенных пунктов. Большинство из них используется для водоснабжения. Всего отобрано более 60 образцов проб воды. Также для сравнения в работе будут рассмотрены подземные воды зоны активного водообмена территории карьерных выработок угольных месторождений (шахты Полысаевская, Березовская, разрезы Котинский, Талдинский, Новоказанский), данные по которым любезно предоставлены Красноярской гидрогеологической партией и Центром геологических исследований (г. Кемерово).

Анализ химического состава вод выполнен сотрудниками Западно-Сибирского испытательного центра (г. Новокузнецк), ОАО «Плазма» (г. Томск) и Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ТПУ. Для определения химического состава вод применялись традиционные методы анализа: титриметрия, фотоколориметрия, атомная абсорбционная спектрометрия, потенциометрия, инверсионная вольтамперометрия, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой.

Обсуждение результатов

Принадлежность исследуемых подземных вод к зоне активного водообмена, мощность которой, по мнению авторов работ [6, 7], на территории Кузбасса составляет от 30 до 550 м глубиной от дневной поверхности, указывает на их залегание в отложениях верхнепермского возраста. Последние представлены песчаниками, аргиллитами, алевролитами, пластами угля и конгломератами. Реже среди водовмещающих пород встречается пирит, что отмечается в районах угольных карьеров [5]. Особенности гидрогеологического строения территории, которые проявляются в основном в повышенной трещиноватости пород и наличии дизъюнктивных нарушений, являются благоприятным

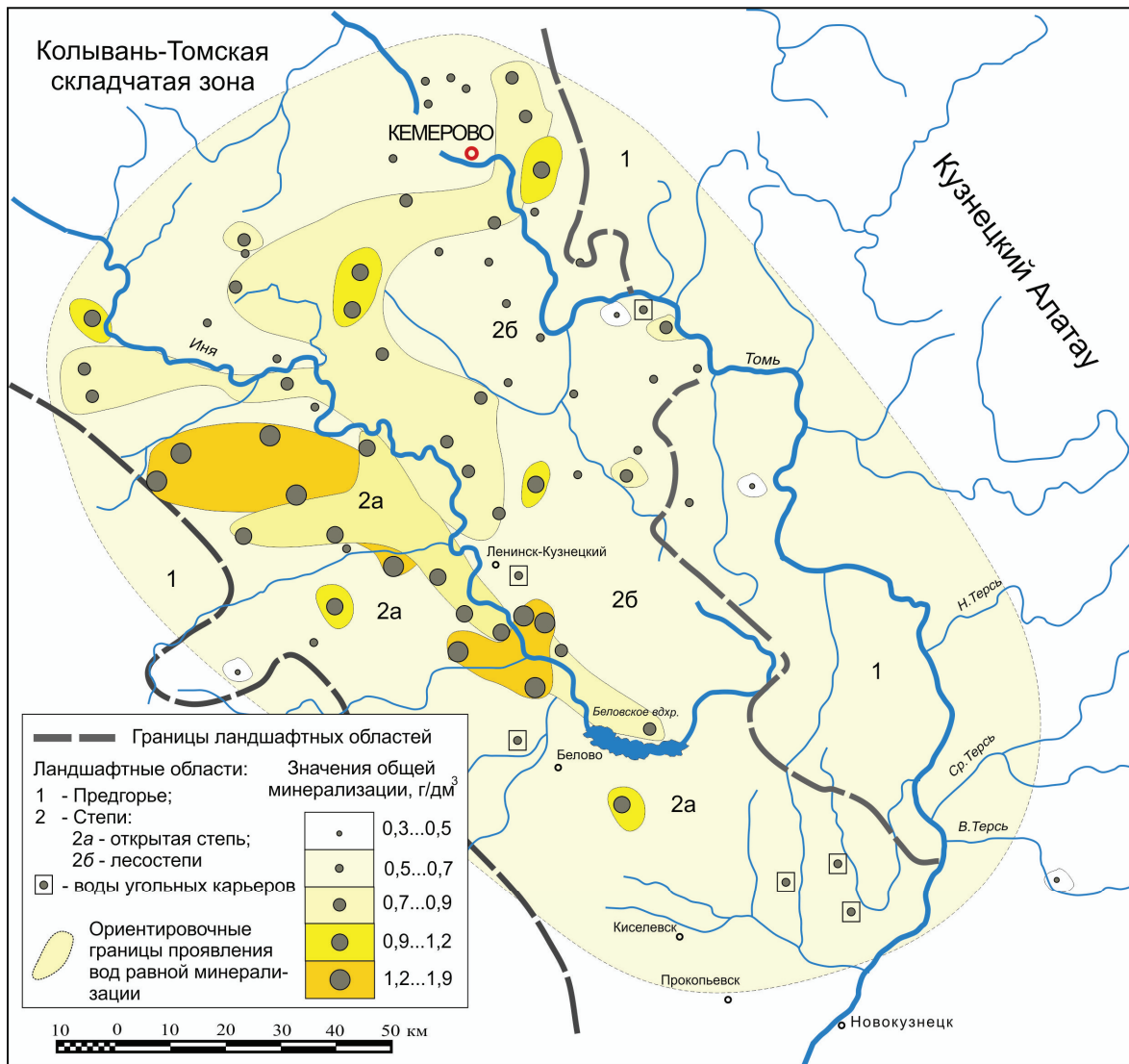


Рис. 1. Распределение значений общей минерализации подземных вод в различных ландшафтных областях центральной части Кузбасса

фактором формирования больших запасов пресных подземных вод высокого качества.

Действительно, при анализе данных химического состава подземных вод (таблица), явных превышений предельно допустимых концентраций по основным макро- и микрокомпонентам выявлено не было. Исключение составляет железо, концентрации которого в воде некоторых точек наблюдения достигают 24 мг/дм³. Это объясняется не только наличием железосодержащих пород, но и высоких концентраций СО₂ (до 3 г/дм³), как, например, в точке № 2, расположенной вблизи Терсинского месторождения углекислых минеральных вод [3]. Повышенные концентрации природной углекислоты здесь способствует более активному выщелачиванию железа из горных пород, а слабокислые условия вод являются благоприятной средой для его накопления. Поэтому при определении средних значений содержания компонентов в подземных водах различных ландшафтов аномально высокие значения Fe_{общ} не учитывались.

С позиции особенностей ландшафта на территории центральной части Кузбасса наблюдаются три основных его типа: горно-таежный (предгорье), лесостепной и степной (рис. 1). Каждый из них характеризуется определенным, свойственным только ему, типом растительности. Так, например, для горно-таежного и лесостепного ландшафта (высотные отметки до 600 м и 250...300 м соответственно) характерно наличие светлохвойных и березовых лесов на серых лесных или дерново-подзолистых почвах, а также черневой тайги предгорий на горно-таежных псевдоподзолистых почвах. Для степных ландшафтов с более спокойным рельефом (200...250 м) свойственно произрастание березовых колков на серых лесных почвах и оподзоленных или выщелоченных черноземных аккумулятивно-эрозионных равнинах, а также разнотравная степная растительность на черноземных почвах аккумулятивной равнины [8]. Наличие открытых участков в степных и практически полное

их отсутствие в горно-таежных ландшафтах в значительной мере определяет особенности химического состава подземных вод.

Выявлено, что в исследуемых водах наблюдается увеличение их солёности по мере понижения высотных отметок, т. е. при переходе из ландшафтных областей предгорий в степные (рис. 1). Так, например, средняя минерализация вод в области предгорья составляет около 430 мг/дм^3 при значениях ее экстремумов 330 и 575 мг/дм^3 (таблица). В степях усредненная минерализация вод заметно выше – около 950 мг/дм^3 при максимальном значении 1800 мг/дм^3 . При этом кислотно-щелочные условия этих вод примерно одинаковы: от нейтральных до слабощелочных (рН $7,0 \dots 8,0$). По химическому типу подземные воды довольно пестрые, в большинстве своем $\text{HCO}_3\text{--Ca--Mg}$ и $\text{HCO}_3\text{--Mg--Ca}$ (81 % точек опробования), реже $\text{HCO}_3\text{--Ca--Na}$ (10 %), $\text{HCO}_3\text{--Na--Ca}$ и $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Ca--Na--Mg}$ и др.

Средние значения рН и минерализации (таблица), а также общая закономерность поведения содержаний основных ионов в исследуемых водах по мере перехода из зоны тайги к зоне степи в целом сопоставимы с таковыми в водах зоны активного водообмена Кузнецкой котловины, приведенных в работе [9]. Так, усредненные значения солёности вод котловины составляют 660 мг/дм^3 , а по результатам последних исследований для центральной ее части – 800 мг/дм^3 . Залегание исследуемых вод в пределах Кузнецкой котловины, в центральной части которой отмечается крупная депрессия рельефа (Чусовитино-Бунгаралская), приводит к формированию вод с более высокой минерализацией, чем в целом для вод зоны гипергенеза (470 мг/дм^3).

В поведении компонентов обращает на себя внимание активный рост содержаний иона SO_4^{2-} в подземных водах по мере уменьшения высоты рельефа. Темпы его накопления в водах во многом превосходят темпы накопления иона Cl^- (рис. 2, а).

Постепенное преобладание первого над вторым в совокупности с ростом солёности подземных вод в степных ландшафтах указывает на дополнительный источник серы, которым может являться пирит. На наличие высоких концентраций сульфат-иона, достигающих 595 мг/дм^3 , могут влиять и процессы испарительного концентрирования.

Кроме того, в подземных водах наблюдается четкая корреляционная зависимость между отношением Ca/Na и солёностью вод (рис. 2, а), по которой видно постепенное доминирование иона Na^+ и накопление его в подземных водах. Особенно четко это прослеживается при снижении высотных отметок, – при переходе из областей предгорья к степным ландшафтам. Такое поведение компонентов является закономерным для данного региона, где характерна нормальная гидрогеохимическая зональность [5]. Здесь повсеместно уже на глубине 120 м , а в степных районах и менее, распространены содовые воды, механизм формирования которых рассматривался многими учеными.

Согласно современным представлениям [9], образование содовых вод происходит с момента насыщения вод кальцитом. Такое насыщение обычно наступает при минерализации вод более $0,6 \text{ г/дм}^3$ и при рН более $7,4$. Выявлено [7, 9], что подземные воды активного водообмена уже на небольшой глубине достигают равновесия со многими минералами (кальцитом, доломитом, Са-монтмориллонитом и др.) и по мере достижения водами состояния насыщенности могут образовывать новые карбонатные и алюмосиликатные минералы. С момента появления в составе вод вторичного CaCO_3 рост иона Ca^{2+} в водном растворе затрудняется. Таким образом, предпочтение для концентрирования получает ион Na^+ , содержания которого в водах непрерывно растут. Наиболее благоприятным для формирования таковых является область открытых степей с замедленным водообменом и минимальными высотными отметками рельефа.

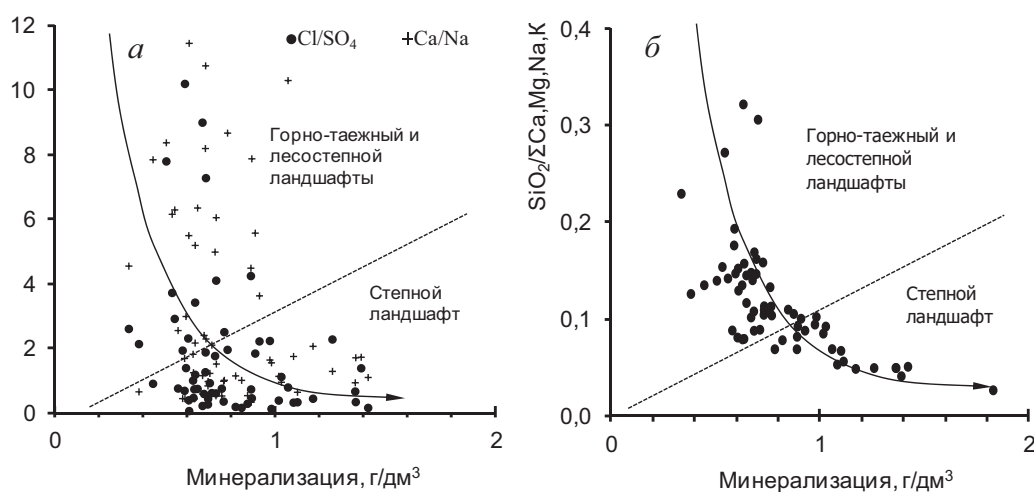


Рис. 2. График зависимости отношений Cl/SO_4 и Ca/Na (а) и $\text{SiO}_2/\Sigma\text{Ca, Mg, Na, K}$ (б) от солёности подземных вод зоны активного водообмена центральной части Кузбасса

Таблица. Химический состав подземных вод центральной части Кузбасса (концентрация ионов – мг/дм³)

Номер точки	Сумма ионов	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Fe _{общ}	SiO ₂
Горно-таежный ландшафт (предгорье)											
168	331	7,0	3,1	9,8	45,1	15,2	232	4,9	12,8	0,5	16,8
237	441	7,3	0,6	9,5	75,0	18,5	317	7,0	6,4	0,1	14,0
232	575	7,3	1,4	80,0	40,0	22,2	415	3,5	6,8	0,2	12,7
2	377	6,7	4,0	52,3	37,1	19,7	284	4,9	10,5	24,0	13,9
Среднее	431	7,1	1,6	37,9	49,3	18,9	312	5,1	9,1	0,2	14,6
Лесостепной ландшафт											
151	756	7,7	1,1	61,7	99,2	24,3	535	20,6	2,8	0,4	24,8
153	643	7,3	0,7	44,4	75,2	30,4	476	2,5	5,6	0,1	17,6
170	977	7,6	2,4	90,5	93,2	40,5	681	40,3	18,0	0,7	23,2
206	970	7,3	1,3	56,7	139	48,1	577	85,4	51,2	0,3	23,2
208	690	7,4	1,6	31,3	95,2	32,2	512	2,0	2,8	0,6	26,0
210	672	7,6	1,8	12,0	95,1	42,2	491	13,3	6,2	0,6	21,2
211	590	8,0	1,1	10,7	88,2	30,4	397	23,8	30,3	0,3	19,2
212	888	7,2	1,6	20,2	129	60,5	526	80,7	60,9	0,1	19,6
213	678	7,2	1,3	15,8	100	51,1	357	36,6	107	0,7	18,2
214	643	7,4	1,2	19,5	98,2	40,8	366	38,3	67,9	0,1	23,2
215	539	7,7	0,7	11,4	64,1	34,1	409	2,0	3,7	0,4	30,0
217	722	7,4	1,4	21,2	96,2	40,1	540	2,0	8,5	0,8	25,2
218	904	8,2	4,0	95,5	122	24,9	439	107	99,5	0,4	24,8
223	884	8,1	2,3	156	60,1	24,9	482	86,8	64,2	0,3	16,8
233	698	7,3	0,6	21,4	112	29,2	464	21,8	26,0	0,1	50,0
234	885	7,7	2,3	138	59,1	22,5	641	4,1	9,5	0,3	18,2
235	632	7,4	0,4	13,8	116	17,0	455	2,0	15,6	1,5	23,2
236	600	7,3	2,5	30,0	78,2	29,8	439	8,6	6,6	0,1	11,4
238	501	7,5	0,6	8,0	92	14,6	366	11,5	0,8	0,1	16,1
239	554	7,7	0,5	10,0	87,2	30,4	409	2,9	5,7	0,1	18,2
241	605	7,6	1,2	10,2	110	18,9	409	15,6	29,4	2,0	18,2
242	779	8,3	1,3	106	68	24,9	552	2,0	18,0	0,2	13,8
249	679	7,3	2,2	102	50,1	23,1	442	30,0	22,3	0,3	15,6
250	665	7,4	6,0	84,5	42,1	32,3	470	2,0	20,4	0,3	16,8
305	628	7,2	2,8	37,6	88,2	26,8	384	7,8	56,8	0,2	50,0
306	585	7,2	1,3	12,6	78,2	41,3	409	6,6	24,6	0,1	25,8
307	681	7,3	1,1	13,8	84,2	49,9	500	3,7	15,2	0,8	25,2
308	528	7,6	0,7	14,1	78,2	30,4	375	14,1	5,7	0,1	19,0
309	727	7,3	0,7	12,4	128	32,2	500	19,0	15,2	0,2	19,0
Среднее	668	7,5	1,6	43,5	90,6	32,7	469	23,9	27,6	0,4	22,5
Степной ландшафт											
154	603	7,7	0,7	40,3	70,2	30,6	445	3,3	2,3	0,08	21,6
164	1053	7,6	2,0	99,3	120	55,9	396	302	68,8	0,2	19,2
165	1107	7,4	1,7	74,9	166	48,0	610	44,9	154	0,05	16,4
166	1824	7,5	2,8	279	165	76,9	521	596	176	0,7	14,0
167	584	7,8	1,4	53,8	54,1	29,2	412	10,3	11,6	0,2	24,4
169	665	7,5	1,3	51,7	91,2	20,7	424	48,1	16,7	0,1	24,4
209	632	7,0	0,8	25,0	92,0	40,2	379	27,4	61,0	0,05	12,6
219	869	7,7	0,9	89,2	95,2	34,6	586	14,8	37,2	0,5	23,2
220	1022	7,3	1,4	97,8	113	38,9	638	105	17,7	0,3	23,2
221	1359	7,5	2,6	208	122	55,8	458	311	192	1,1	19,3
222	923	7,4	2,5	55,3	119	45,2	581	67,5	42,3	1,2	19,6
224	764	7,7	0,7	51,4	96,2	36,5	537	16,5	16,7	0,05	19,2
225	1416	7,4	1,9	185	165	71,3	631	275	75,3	0,7	21,6
226	726	7,1	1,4	54,2	85,1	35,2	431	2,0	107	1,4	18,4
227	707	7,2	1,8	50,0	90,2	32,9	455	52,3	17,3	0,1	15,6
229	622	7,8	2,0	45,5	61,1	36,5	451	4,9	11,2	0,4	19,6
231	690	8,0	0,6	62,4	74,2	29,1	494	11,9	4,7	1,2	24,4
240	728	7,3	1,7	48,4	86,2	36,5	522	9,9	13,8	0,7	19,6
243	1077	7,8	2,0	158	92,2	40,6	534	138	105	0,4	15,6
245	1254	7,3	1,7	166	115	55,7	571	250	85,6	0,7	16,8
246	1011	7,3	1,5	95,8	102	49,5	610	121	20,5	0,3	21,2
247	1384	7,3	2,5	154	152	69,6	526	276	186	11,2	15,6
251	752	7,3	1,3	71,5	74,2	30,4	516	36,6	13,3	0,9	19,0

Окончание таблицы

Номер точки	Сумма ионов	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Fe _{общ}	SiO ₂
252	1095	7,7	0,7	107	139	43,8	525	183	87,4	0,3	19,6
253	842	7,4	3,4	61,7	74,2	49,9	598	37,4	7,4	0,7	20,8
259	1357	7,4	2,0	85,0	180	70,5	721	195	88,1	8,0	16,8
261	761	7,2	1,1	30,3	116	25,0	567	6,4	4,5	0,9	19,5
264	624	7,9	1,5	62,0	56,0	25,6	433	34,2	6,0	0,5	11,5
266	815	7,2	1,6	21,6	120	40,5	539	65,3	19,9	0,2	14,4
267	1166	7,8	1,3	78,0	131	62,3	682	180	24,3	0,5	13,3
Среднее	948	7,5	1,6	88,7	107	43,9	526	114	55,8	1,1	18,7
Среднее по центральной части Кузбасса	0,8	7,5	1,6	64,7	96	37,2	486	65,7	39,8	0,9	20,2

Изучение поведения водорастворенного Si по отношению к основным катионам подземных вод, — Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ и K⁺, показало явное преобладание последних в составе вод зоны открытых степей на фоне постепенного снижения первого (рис. 2, б). Это связано с тем, что при наличии соответствующей геохимической обстановки и пониженной скорости водообмена подвижность кремния постепенно уменьшается, т. к. он в значительной мере связывается вторичными мине-

ральными фазами, такими как каолинит, гидрослюда, монтмориллониты различного состава. В то же время для основных катионов геохимическая среда вод является благоприятной для их накопления.

По мере понижения высоты рельефа происходит увеличение концентраций многих микрокомпонентов, таких как Li, B, Al, Ti, Br, I, Sr, Se, Mn, As, Zr, Mo, Rb, U, некоторые из которых в этих водах идентифицированы впервые (рис. 3).

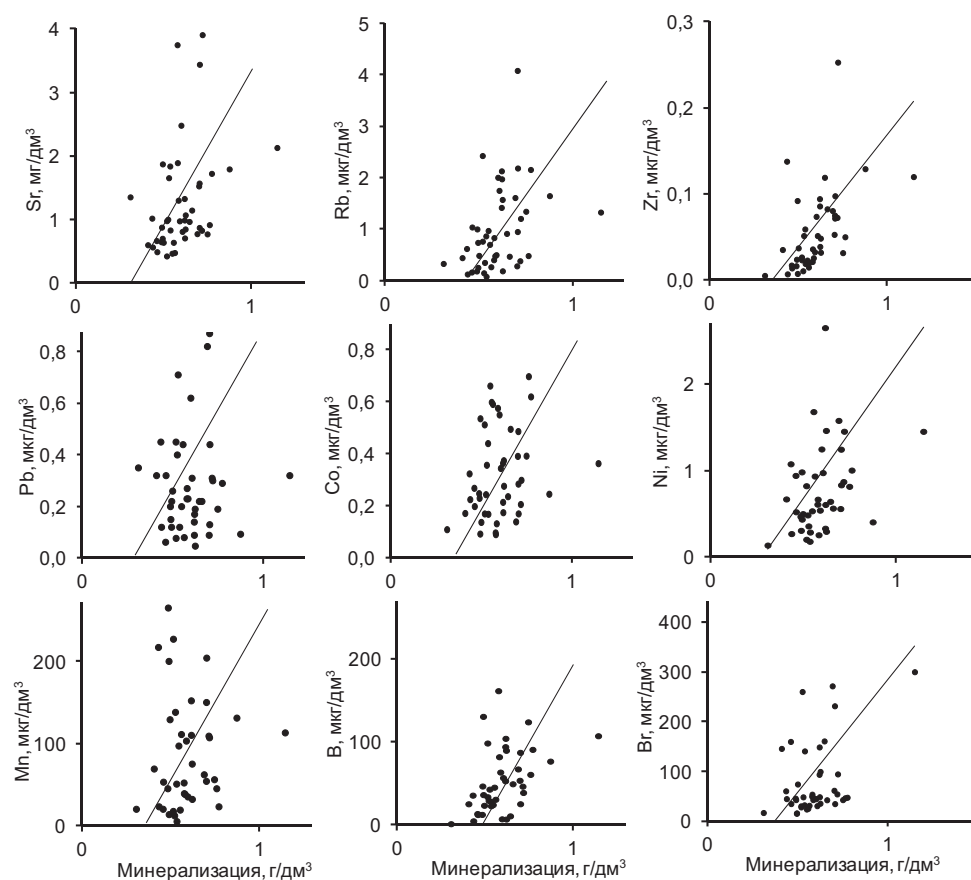


Рис. 3. Изменение концентраций некоторых микрокомпонентов с ростом солёности подземных вод Кузбасса

Являясь геохимическим аналогом кальция, стронций так же как кальций, накапливается в воде с ростом минерализации. В природе концентрации Sr^{2+} , как правило, в несколько раз превышают концентрации Ba^{2+} [9]. В подземных водах Кузбасса эта закономерность так же соблюдается: максимальная концентрация Sr^{2+} в водах степных ландшафтов составляет 4 мг/дм^3 , тогда как $\text{Ba}^{2+} - 2,5 \text{ мг/дм}^3$.

Выводы

По мере перехода из областей горно-таежного и лесостепного ландшафтов в степной в подземных водах активного водообмена центральной части Кузбасса возрастает роль ионной составляющей в формировании химического состава вод. Накопление в подземных водах ионов Cl^- и SO_4^{2-} с постепенным преобладанием последнего свидетельствует, прежде всего, о дополнительном источнике серы в водах, которым выступает пирит. Вялотекущее накопление в водах ионов кремния по сравнению с основными катионами подземных вод указывает на низкую способность к его кон-

центрированию в данных геохимических условиях в пределах зоны активного водообмена, что связано с процессами образования вторичных алюмосиликатных минералов. В пределах степных ландшафтов в условиях затрудненного водообмена и более длительного времени взаимодействия с водовмещающими породами подземные воды накапливают многие элементы. В результате этого формируются более минерализованные воды (выше 1 г/дм^3), которые требуют особого внимания при рассмотрении их в качестве источника водоснабжения.

Автор выражает благодарность Евгению Витальевне Домрочевой, к.г.-м.н., старшему научному сотруднику Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, начальнику полевой экспедиции, в предоставлении результатов проведенных работ и данных химического состава подземных вод.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы» (№ 16.740.11.0627) и Государственного задания «Наука» (№ 5.4573.2011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа, 1975. – 341 с.
2. Shvartsev S.L. Geochemistry of Fresh Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth // *Geochem. Int.* – 2008. – V. 46. – № 13. – P. 1–114.
3. Копылова Ю.Г., Лепокурова О.Е., Токаренко О.Г. Условия формирования химического состава Терсинских углекислых минеральных вод // *Водные ресурсы.* – 2009. – Т. 36. – № 5. – С. 606–614.
4. Рассказов Н.М. Исследования сотрудников кафедры ГИГЭ ТПУ в бассейне р. Томи, включая Кузбасс // *Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIV Междунар. симп. им. акад. М.А. Усова, в 2-х томах.* – г. Томск, ТПУ, 5–9 апр. 2010. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010 – Т. 1. – С. 205–206.
5. Рогов Г.М. Гидрогеология и геоэкология Кузнецкого угольного бассейна. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2000. – 167 с.
6. Аникин А.И., Людвиг В.М., Шварцев С.Л. Геохимия подземных вод давсонитоносных пород Березовоярского участка (Кузбасс) // *Обской вестник.* – 2001. – № 1. – С. 65–69.
7. Шварцев С.Л., Домрочева Е.В., Отнетова М.П. Мощность и состав подземных вод зоны активного водообмена юга Кузбасса // *Матер. VI Сибир. совещ. по климатологическому мониторингу.* – Томск, 2005. – С. 534–537.
8. Атлас Кемеровской области / под ред. В.Н. Гнатишина и С.Д. Тивякова. – М.: Роскартография, 1998. – 32 с.
9. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366 с.

Поступила 08.02.2012 г.