

## ЗАВИСИМОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОКОМПОНЕНТОВ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ОБЩЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

П. А. УДОДОВ, С. Л. ШВАРЦЕВ, Н. М. ШВАРЦЕВА

Выяснение зависимости содержания микрокомпонентов в подземных водах от величины их общей минерализации имеет большое значение, так как позволяет в первом приближении оценить миграционную способность химических элементов в конкретных условиях, что важно при проведении гидрогеохимических поисков. Выяснение этого вопроса важно и с той точки зрения, что в случае положительного решения мы имели бы ряд очень простых и надежных поисковых гидрогеохимических критериев. Поэтому понятен интерес, который проявляют исследователи к решению этого вопроса, по которому в последнее время высказано ряд противоречивых мнений. Так, А. А. Бродский [2] указывает, что с ростом общей минерализации подземных вод содержание меди в них падает. М. С. Гуревич [5], изучая содержание микрокомпонентов в подземных водах Западно-Сибирского артезианского бассейна, приходит к выводу, что в «глубоких подземных водах с повышением минерализации содержание микрокомпонентов в них не увеличивается». П. А. Удодов, И. П. Онуфриенок и Ю. С. Париллов [10] отмечают, что «закономерного влияния общей минерализации вод на содержание в них металлов не наблюдается», Е. Е. Белякова [1] на основании своих работ, проведенных в районах с аридным климатом, приходит к выводу, что «способность элементов накапливаться в водах в определенном для каждого из них диапазоне рН приводит к прямой или почти прямой связи между степенью минерализации воды и содержанием элемента» и кладет эту прямую связь в основу составления «обзорных прогнозных гидрохимических карт средних масштабов».

Для проверки этого дискуссионного вопроса был использован материал гидрогеохимических исследований в различных районах Сибири, а также некоторые опубликованные данные. При этом нами отдельно рассматривались основные типы вод по химическому составу с определенными величинами рН. Отдельно были выделены также кислые сульфатные воды зон окислений сульфидных месторождений, наиболее полно изученные в Норильском медно-никелевом месторождении и Гайском колчеданном.

Для того, чтобы получить наиболее объективные данные для установления связи, был применен метод математической статистики. Поскольку нас, в первую очередь, интересует сам факт наличия или отсутствия связи, нами использован коэффициент ранговой корреляции  $R$  Ван-дер-Варден [3], который ранее использовался в геологии и дал поло-

жительные результаты [7]. Коэффициент ранговой корреляции рассчитывается по формуле:

$$R = 1 - \frac{6\sum d^2}{n(n-1)(n+1)},$$

где  $d$  — разность порядковых номеров, приписанных коррелируемым элементам в соответствии с убыванием их содержаний,

$n$  — количество анализов.

Для проверки статистической значимости полученных значений  $R$ , т. е. для доказательства, что найденные значения коэффициентов ранговой корреляции не являются случайно отклоняющимися от нуля, использован критерий зависимости  $R_\beta$ , вычисленный по уточненной асимптотической формуле, позволяющей получить лучшее приближение к точным границам, чем нормальное и студентовское:

$$R_\beta = \frac{\psi(1-\beta)}{\sqrt{n-1}} \left\{ 1 - \frac{0,19}{n-1} [\psi^2(1-\beta) - 3] \right\},$$

где  $\psi$  берется из таблицы [3],

$\beta$  — заданный уровень значимости,

$n$  — количество анализов.

Как и обычно, связь между содержанием микрокомпонента в водах и общей минерализацией считалась существующей, если  $R > R_\beta$ . Подсчет производился при  $\beta = 0,005$ .

Полученные величины коэффициента ранговой корреляции приведены в табл. 1, которые, как правило, значительно ниже соответствующих величин  $R_\beta$ , т. е. связь между исследуемыми элементами и общей минерализацией большей частью отсутствует. Рассмотрим эту связь более подробно по типам вод.

Корреляционная связь между некоторыми микрокомпонентами и общей минерализацией для гидрокарбонатного типа вод изучалась на примере Кольвань-Томской складчатой зоны, Кузнецкого Алатау, Западных Саян и северо-западной части Сибирской платформы (надмерзлотные и болотные воды). При подсчете отбирались только те точки, которые не связаны с заведомо известными зонами минерализации. Как видно из приведенной таблицы, из полученных 39 случаев только в 3 существует корреляционная связь, а в остальных 36 — отсутствует, причем почти половина из них (17 случаев) имеет обратную связь (отрицательное значение  $R$ ). Интересно, что все случаи, в которых наблюдается эта связь, можно, по-видимому, объяснить наличием соответствующей минерализации в исследуемых районах, хотя известные месторождения этих элементов в них пока отсутствуют.

Для хлоридного типа вод были использованы материалы Г. М. Рогова по Кузнецкому угольному бассейну и А. Э. Конторовича — по глубоким водам Западно-Сибирского артезианского бассейна. Из 13 изученных случаев только в одном существует исследуемая связь, а именно: у бария в глубоких артезианских водах. Возможно, что это связано с особенностью его миграции в этих условиях. Но нельзя не отметить и тот факт, что некоторые из изученных скважин располагаются в районах нефтяных месторождений. В последних, как известно, часто наблюдаются повышенные концентрации бария в водах.

Сульфатный тип вод нами был изучен только в пределах зон окисления сульфидных месторождений (Норильское и Гайское) с широким диапазоном величины рН. В этих условиях из 11 изученных случаев в 7 наблюдается исследуемая связь, что составляет 63,6%. При этом отмечается факт, что связь наблюдается для основных рудообра-

Коэффициенты ранговой корреляции между величиной общей минерализации и содержанием различных элементов в водах

№ п.п.	Район работ	Тип вод по химическому составу	Кол-во исследованных районов	рН	Минерализация, г/л	Связь между общей минерализацией (M) и соответствующими элементами														Использованные материалы (организация и автор)
						R <sub>Ca-M</sub>	R <sub>Mg-M</sub>	R <sub>Na-M</sub>	R <sub>Cl-M</sub>	R <sub>SO<sub>4</sub>-M</sub>	R <sub>CO<sub>3</sub>-M</sub>	R <sub>HCO<sub>3</sub>-M</sub>	R <sub>NO<sub>3</sub>-M</sub>	R <sub>PO<sub>4</sub>-M</sub>	R <sub>Fe-M</sub>	R <sub>Zn-M</sub>	R <sub>Mn-M</sub>	R <sub>Cu-M</sub>	R <sub>Pb-M</sub>	
1	Колымский-Томская - Складчатая зона	Гидрокарбонатные	185	7,0-7,4	0,03-1,76	-0,2	-0,07	-0,3	0,34	0,06	0,28	0,19	-	-	-	-	-	-	0,28	П. А. Удалов, В. М. Мартусевич, ТПИ Б. А. Воронников, СОАН СССР Н. М. Расказов, ТПИ С. Л. Шарова, СНИИГТИМС * Г. М. Рогов, ТПИ А. Э. Колганович, СНИИГТИМС С. Л. Шарова, СНИИГТИМС А. М. Черняев, Д. С. Чернышев, УФАИ СССР
2	Кузнецкий Алтай	"	136	6,8-7,5	0,05-0,48	-	-0,12	-0,4	-	-	-	-	0,17	-	-	-	-	-	0,219	
3	Западный Саян	"	56	6,8-7,4	0,04-0,35	-0,05	0,19	0,36	-0,34	0,31	-0,12	-0,37	-	-	-	-	-	-	0,34	
4	Северо-Западный край, Сибирский платформ	"	79	7,0-7,6	0,04-0,59	0,06	0,35	0,24	-0,24	-0,32	0,26	0,29	0,10	0,16	0,21	-	-	-	0,291	
5	Курабасс	Гидрокарбонатные (болотные) Хлоридные	24	5,8-6,8	0,05-0,55	-0,05	0,38	0,14	-0,28	-0,12	-	0,46	0,4	-0,46	0,31	-	-	-	0,52	
6	Западно-Сибирский артезианский бассейн	"	28	7,0-7,8	0,88-5,15	-0,06	-0,44	0,39	-	0,42	-	-	0,16	-0,75	-	-	-	-	0,65	
7	Новосибирское мелочинское месторождение	"	40	-	20-59	0,139	0,38	-0,63	-0,138	-0,974	0,646	-	-	-	-	-	-	-	0,41	
8	Гайское месторождение	Сульфатные	41	1,8-7,2	0,16-180	-0,7	0,55	-0,22	0,43	0,45	-	0,01	0,09	0,67	-	-	-	-	0,405	
9	Месторождение	"	24	2,8-8,1	0,5-246,3	-	0,672	0,608	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52	

зующих элементов. Элементы же, находящиеся в значительных количествах в рудах, связи с общей минерализацией не обнаруживают. Это находится в полном соответствии с характером процессов выветривания в зонах окисления: рост общей минерализации подземных вод обусловлен главным образом наличием сульфат-иона — продукта окисления сульфидов, при котором рудообразующие элементы переходят в раствор примерно параллельно сульфат-иону. Зачастую пониженные значения рН вод способствуют удержанию их в растворе.

Связь между некоторыми микрокомпонентами и общей минерализацией подземных вод для аридных районов на примере Центрального Казахстана изучалась Г. Ф. Ларионовым и др. [6]. Ими убедительно показано, что содержания меди, свинца и цинка в водах не зависят от общей минерализации последних и связь между этими величинами отсутствует. Что касается молибдена и урана, то в исследованном интервале минерализаций (0,5—25 г/л), указанных автором, устанавливается некоторую зависимость содержания этих элементов в водах от величины их общей минерализации, хотя математически это не доказано.

Таким образом, можно сделать вывод, что связь между микрокомпонентами и общей минерализацией подземных вод в целом отсутствует, особенно в водах, не связанных непосредственно с рудными телами. Наличие такой связи является частным, а не общим случаем и может наблюдаться только в некоторых определенных условиях, например, в пределах некоторых сульфидных месторождений.

Полученный нами вывод не противоречит общим условиям обогащения подземных вод химическими элементами, а подтверждает факт, что одни химические элементы переходя в раствор из горных пород быстрее и дольше находятся в нем, чем другие. Такое положение связано с действием большого числа природных факторов и находит свое отражение в различной миграционной способности химических элементов в подземных водах. Так, еще в 1934 г., Б. Б. Подынов [9] показал, что содержания химических элементов в горных породах и природных водах, формирующихся в пределах этих же пород, не идентичны. Позже это положение нашло отражение в работах А. И. Перельмана [8] при характеристике геохимии ландшафта. Для рудных месторождений это же было подтверждено работами И. И. Гинзбурга [4], П. А. Удодова, И. П. Онуфриенко, Ю. С. Парилова [10] и др. исследователей, которые показали, что содержания химических элементов в водах есть функции многих переменных: величины рН и  $Eh$  среды, адсорбционной способности горных пород, в которых находятся подземные воды, формы миграции элементов, пределов растворимости солей и гидроокислов этих элементов, соосадируемость их с различными солями, различными внутренними свойствами химических элементов и т. д.

Естественно, что и поведение различных элементов в водах носит сложный характер, обусловленный конкретными природными условиями.

Что касается вывода Е. Е. Беляковой о прямой связи между содержанием микрокомпонентов в подземных водах и общей минерализацией последних, то он получен благодаря применению ошибочной формулы при расчетах, что нами было уже показано в одной из предыдущих работ [11], поэтому на этом вопросе мы здесь не останавливаемся.

Таким образом, поведение каждого элемента в подземных водах, в том числе и его связь с минерализацией, надо рассматривать в совокупности с физико-географическими, геологическими и структурными особенностями района. Только в этом случае можно прийти к правильным выводам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Е. Белякова, А. А. Резников, Л. Е. Крамаренко, Т. Ф. Кронидова. Гидрогеохимический метод поисков рудных месторождений в аридных и полуаридных областях. Госгеолтехиздат, 1962.
  2. А. А. Бродский. Геохимический метод поисков меди. Госгеолтехиздат, 1956.
  3. Б. Л. Ван-дер-Варден. Математическая статистика. ИЛ, 1960.
  4. И. И. Гинзбург. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных и редких металлов. Госгеолтехиздат, 1957.
  5. М. С. Гуревич. Редкие и рассеянные элементы в артезианских водах. Бюллетень ВСЕГЕИ, вып. 2, 1960.
  6. Г. Ф. Ларионов, В. Я. Ривман, Г. Б. Свешников. Об особенностях миграции меди, свинца, цинка, молибдена и урана в подземных водах Казахстана. Доклад на Межвузовской конференции по гидрогеохимическим и палеогидрогеологическим методам исследований, состоявшейся в г. Томске в феврале 1965 года.
  7. В. В. Могаровский. О корреляционной связи таллия с цинком на сульфидном месторождении Дарайсо (Средняя Азия). Геохимия, № 7, 1962.
  8. А. И. Перельман. Геохимия ландшафта. Географгиз, 1961.
  9. Б. Б. Польшов. Кора выветривания. Изд. АН СССР, 1934.
  10. П. А. Удодов, И. П. Онуфриенок, Ю. С. Париков. Опыт гидрогеохимических исследований в Сибири. Изд. Высшая школа, 1962.
  11. П. А. Удодов, Г. М. Рогов, Н. М. Рассказов, С. Л. Шварцев, А. А. Лукин. О статье Е. Е. Беляковой «Принципы и методы составления прогнозных гидрохимических карт на рудные полезные ископаемые». Сов. геол. № 10, 1963
-