

МАКРОКОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО БАСЕЙНА В ПРЕДЕЛАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО РЕГИОНА

Представлен химический состав подземных вод Западно-Сибирского гидрологического бассейна в пределах Семипалатинского региона. Установлены тип воды, концентрация макрокомпонентов, их взаимосвязь и зависимость от минерализации. Рассчитаны и оценены кларк концентрации и коэффициент водной миграции катионов и анионов. Дана сравнительная оценка вод исследуемого региона с водами зоны гипергенеза.

Ключевые слова: вода; макрокомпоненты; содержание; зависимость; сравнительная оценка.

Изучение «фоновых» концентраций химических элементов (ХЭ), закономерностей их миграции в природных водах различных регионов позволит регистрировать результаты нежелательных трансформаций химического состава биосферы, вызываемых природными и антропогенными факторами, следить за эффективностью мер, направленных на исправление обнаруженных отклонений от нормы.

Исключительно велика роль химического состава природных вод в плане широкого их использования в качестве питья для человека и животных, для орошения сельскохозяйственных культур и лугов, при гидрохимических методах поисков рудных месторождений.

В настоящей работе представлен химический состав подземных вод краевой части Западно-Сибирского гидрологического бассейна Семипалатинского Прииртышья Республики Казахстан.

Западно-Сибирский бассейн располагается в периферийной части древней Сибирской платформы. В строении фундамента участвуют отдельные блоки древних платформ. Плитный комплекс повсеместно представлен практически всеми типами платформенных формаций мезозоя и кайнозоя. Мощность плитного комплекса в среднем составляет 3,5–4,7 км, изменяясь от 300–500 м севернее Казахского мелкосопочника и предгорий Алтая до 5,2 км в центральной части плиты. На территории Казахстана в пределах Западно-Сибирской плиты выделяется один сложный бассейн. От областей питания в краевых частях бассейна к его центру прослеживается закономерная гидрогеохимическая зональность.

Западно-Сибирский бассейн на территории данного региона занимает Бельгачскую, Коростылевскую степи, Ново-Шульбинские гряды мелкосопочника на правобережье р. Иртыша и предгорья равнины Семейтауских низкогорий на ее левобережье.

Подземные воды этого региона приурочены к рыхлым мезокайнозойским образованиям и скальным породам палеозоя на водораздельных склонах Прииртышья, а также аллювиальными отложениями в долине р. Иртыш. Основные водоносные горизонты бассейна: современные аллювиальные отложения alQ_{IV} , средне-верхнечетвертичные аллювиальные отложения древних долин alQ_{II-III} .

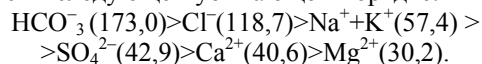
Подземные воды зоны открытой трещиноватости локализованы пермскими (Р) и каменноугольными отложениями (С), палеозойскими интрузиями (γPz) спорадического распространения, среднечетвертичными и современными аллювиально-пролювиальными отложениями ($alPQ_{II-IV}$), водоупорными глинами (рис. 1).

Пробы воды (из 97 скважин) отбирались, консервировались и готовились к анализу в соответствии с ГОСТами (ГОСТИР 51592-2000, 51593-2000) и стандартами (ИСО 566711, 566717).

Определение химического состава подземных вод проводили согласно стандартным методам и ГОСТам (ГОСТ 424572, ИСО 9297, ГОСТ 4389-72, ИСО 9280, ГОСТ 415172, ИСО 9964-3), а также универсальными методами анализа вод [1]. Статистическая обработка полученных данных выполнена по Н.А. Плохинскому [2] с использованием программ STATISTICA и Microsoft Excel.

Химический состав подземных вод исследуемого участка Западно-Сибирского гидрологического бассейна в пределах Семипалатинского региона по результатам наших исследований представлен в табл. 1.

93,8% исследуемых подземных вод, по классификации К.Е. Питьевой [3], относится к пресным (до 1 г/дм³) и 6,2% – к слабоминерализованным (1–10 г/дм³). По значениям pH исследуемые воды относятся к классу нейтральных и слабощелочных. Концентрация ионов в подземных водах исследуемого региона различна. По величине средней концентрации (в мг/дм³) они располагаются в следующем убывающем порядке:



Максимальное варьирование приходится на ионы Cl^- (204,2%), Ca^{2+} (183,4%), ионы $Na^+ + K^+$ (116,3%); минимальное – на ионы HCO_3^- (57,4%), SO_4^{2-} (102,3%), ионы Mg^{2+} (113,4%).

Установлено, что химический состав подземных вод практически не меняется во времени (табл. 2).

Исследована корреляционная зависимость между химическими компонентами подземных вод (табл. 3).

Выявлена высокая прямая корреляционная связь ионов $Na^+ + K^+$, Cl^- и ионов Ca^{2+} с минерализацией ($r = 0,967$; $r = 0,993$; $r = 0,818$ соответственно). Аналогичная связь установлена между ионами Cl^- и ионами $Na^+ + K^+$ ($r = 0,943$), ионами Ca^{2+} ($r = 0,823$) и ионами Mg^{2+} ($r = 0,743$).

Прямая корреляционная зависимость средней силы выявлена между минерализацией, ионами Mg^{2+} ($r = 0,683$) и ионами SO_4^{2-} ($r = 0,533$), между ионами Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- и ионами $Na^+ + K^+$ ($r = 0,670$; $r = 0,488$; $r = 0,493$; $r = 0,501$ соответственно), а также между SO_4^{2-} и Cl^- ($r = 0,467$).

Проведенный химический анализ подземных вод позволил определить их квалификационный тип исследуемого региона, изучить влияние его на концентрацию макрокомпонентов, рассчитать формулу солевого состава каждой скважины и в итоге всей совокупности подземных вод исследуемой части Западно-Сибирского гидрологического бассейна в пределах Семипалатинского региона.

Средний состав подземных вод бассейна может быть представлен в виде следующей формулы М.Г. Курлова:

$$M_{0,39} \frac{Cl_{47,3} HCO_3^-}{(Na^+ + K^+)} \frac{SO_4^{2-}}{35,7} \frac{Mg_{35,4}^{2+} Ca_{28,9}^{2+}}{28,9}.$$

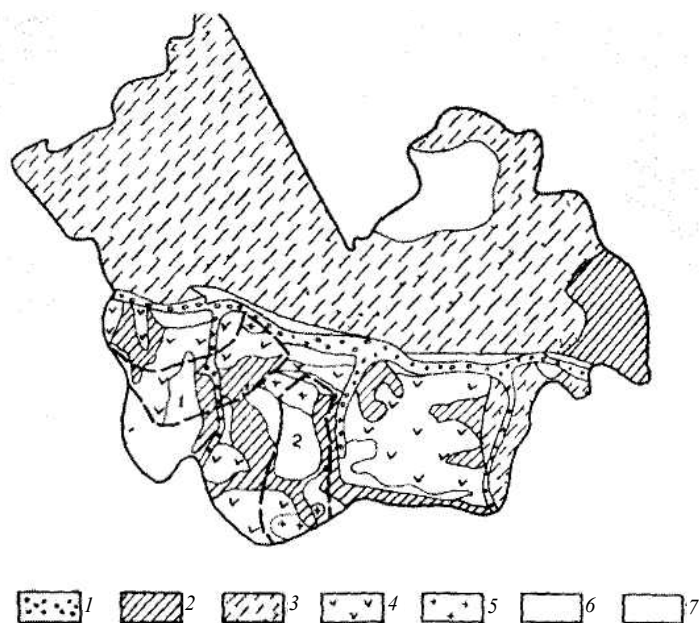


Рис. 1. Схема распространения основных водоносных горизонтов Западно-Сибирского гидрогеологического бассейна в пределах Семипалатинского региона. Водоносные горизонты: 1 – современные аллювиальные отложения alQ_{IV} ; 2 – средне-верхнечетвертичные аллювиальные отложения древних долин; 3 – подземные воды зоны открытой трещиноватости; 4 – пермские отложения (P) и каменноугольные отложения (C); 5 – палеозойские интрузии (γPz); 6 – воды споровидного распространения среднечетвертичных и современных аллювиально-пролювиальных отложений ($dlpQ_{nIV}$); 7 – водоупорные глины

Таблица 1

Химический состав подземных вод Западно-Сибирского бассейна, mg/dm^3 ($n = 97$)

Компоненты	lim	$\bar{X} \pm S \bar{x}$	σ	Cv, %	Mo	Me	Э	A
Сухой остаток	101,2–268,7	387,9±44,6	439,6	113,3	278,1	241,4	13,7	3,4
Жесткость	0,45–39,0	4,51±0,7	6,4	142,2	1,3	2,4	17,3	4,0
$Na^+ + K^+$	0,7–386,0	57,4±6,8	66,8	116,3	23,4	35,6	7,1	2,4
Ca^{2+}	4,4–264,1	40,6±4,7	46,0	183,4	14,2	24,5	8,3	2,7
Mg^{2+}	2,5–353,8	30,2±5,6	55,3	113,4	14,3	14,3	23,7	4,7
Cl^-	6,2–1485,0	118,7±24,6	242,4	204,2	8,4	28,1	18,5	4,0
SO_4^{2-}	4,6–266,3	42,9±4,5	43,9	102,3	29,0	30,4	7,9	2,5
HCO_3^-	69,3–683,2	173,0±10,1	99,3	57,4	106,7	147,3	8,2	2,5

Примечание. lim – предел колебаний, $\bar{X} \pm S \bar{x}$ – среднее арифметическое и его ошибка, σ – среднее квадратичное отклонение, Cv – коэффициент вариации, Mo – мода; Me – медиана; Э – эксцесс; A – асимметричность.

Таблица 2

Динамика химического состава подземных вод, mg/dm^3

№ скважины, пост	Дата отбора	Сухой остаток	$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	pH	Жесткость общая
108, Семиярский	6 октября 2005 г.	253,1	42,1	21,2	16,3	39,4	66,5	103,7	7,4	2,4
	13 апреля 2006 г.	264,1	41,6	22,4	17,2	42,4	67,6	104,2	7,6	1,8
	28 августа 2006 г.	236,7	34,3	22,1	16,1	38,7	56,4	98,6	7,5	2,5
	13 мая 2007 г.	223,4	33,1	21,6	14,3	37,1	52,6	95,4	7,3	2,26
	3 сентября 2007 г.	244,5	29,7	24,8	19,6	41,4	61,6	102,6	7,4	2,85
13, Ново-Шульбинский	28 июля 2006 г.	208,4	27,8	26,3	12,4	22,4	28,6	147,3	7,4	2,32
	8 ноября 2006 г.	227,3	30,3	28,9	14,6	26,1	33,6	154,3	7,3	2,64
	24 июня 2007 г.	214,5	34,0	24,8	12,5	24,8	26,7	151,7	7,2	2,27
	29 октября 2007 г.	249,4	47,1	27,2	12,4	41,2	36,4	151,6	7,3	2,38

Таблица 3

Корреляционная зависимость между химическими компонентами подземных вод

Показатели	Сухой остаток	Жесткость	$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
Сухой остаток	1							
Жесткость	0,221	1						
$Na^+ + K^+$	0,967	0,353	1					
Ca^{2+}	0,818	-0,060	0,670	1				
Mg^{2+}	0,683	-0,184	0,488	0,793	1			
Cl^-	0,993	0,168	0,943	0,823	0,743	1		
SO_4^{2-}	0,533	-0,162	0,493	0,641	0,244	0,467	1	
HCO_3^-	0,366	0,927	0,501	0,039	-0,120	0,297	0,015	1

Из формулы следует, что исследуемые воды являются пресными, хлоридно-гидрокарбонатно-натрий-магний-кальциевыми.

Данная формула позволяет полно отразить все важнейшие характеристики исследуемой воды и в случае необходимости рассчитать эквивалентное и весовое содержание выявленных ионов.

Выявлено, что содержание минерализации исследуемых вод в 1,2 раза ниже ее содержания в общей совокупности в подземных водах зоны гипергенеза и в 3,5 раза ниже наличия минерализации в подземных водах провинции континентального засоления, к которой относится и исследуемая территория (табл. 4). 93,8% проб воды исследуемых скважин могут быть

использованы в качестве питьевых, т.к. минерализация воды в них соответствует нормативным показателям и предельно допустимым концентрациям (ПДК).

В подземных водах исследуемого региона содержание $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ в 1,3 раза, SO_4^{2-} – в 7,1, HCO_3^- – в 1,1, а Cl^- – в 1,99, Mg^{2+} – в 1,7 раза выше, а содержание Ca^{2+} практически равно их концентрации в общей совокупности подземных вод зоны гипергенеза.

Концентрация минерализации в 3,5 раза, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – в 2,4, Ca^{2+} – в 2,1, Mg^{2+} – в 1,5, Cl^- – в 2,2, SO_4^{2-} – в 1,6 и HCO_3^- – в 2,0 раза ниже их содержания в подземных водах провинции континентального засоления.

Концентрация исследованных катионов и анионов в исследуемых водах не превышает их ПДК.

Т а б л и ц а 4

Сравнительная оценка среднего химического состава подземных вод Западно-Сибирского гидрологического бассейна в пределах Семипалатинского региона, мг/дм³

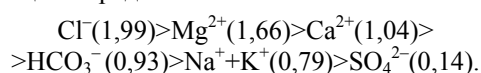
Компоненты	Наши данные	Воды зоны гипергенеза [4]	Воды провинции континентального засоления [4]	Речные воды [4]	ПДК
Общая минерализация (сухой остаток)	387,9	469	1360	110	1000
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	57,4	72,8	139,2	3,7	
Ca^{2+}	40,6	39,2	86,4	14,2	
Mg^{2+}	30,2	18,2	46,2	3,7	
Cl^-	118,7	59,7	258	13,6	350
SO_4^{2-}	42,9	304	70,7	13,9	500
HCO_3^-	173,0	187	349	55,2	

Рассчитаны кларк концентрации (Кк – отношение среднего содержания ионов в водах региона к кларку их в подземных водах зоны гипергенеза [4] и коэффициент водной миграции

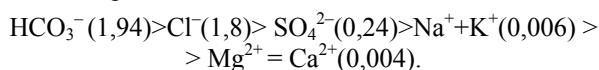
$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x},$$

где m_x – значение содержания ионов, г/дм³; a – минерализация, n_x – содержание ионов в литосфере, %) для ионов в воде.

Расчеты показали, что по величине кларка концентрации исследуемые ионы располагаются в следующем убывающем порядке:



По величине коэффициента водной миграции исследуемые ионы располагаются в следующем убывающем порядке:



Согласно рядам водной миграции (по А.И. Перельману), ионы Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} относятся к сильным мигрантам, а ионы HCO_3^- , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, SO_4^{2-} – к средним.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Исследован химический состав подземных вод Западно-Сибирского гидрологического бассейна в пределах Семипалатинского региона. По классификации они являются пресными, хлоридно-гидрокарбонатно-натрий-магний-кальциевыми. Химический состав воды практически не меняется во времени.

2. По величине средней концентрации (в мг/дм³) ионы располагаются в следующем убывающем порядке: $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$.

3. Содержание минерализации, ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, SO_4^{2-} , HCO_3^- ниже, а концентрация Cl^- , Mg^{2+} выше их концентрации в общей совокупности подземных вод зоны гипергенеза. Концентрация минерализации и макрокомпонентов в воде не превышает ПДК.

4. Корреляционная связь между катионно-анионным составом воды и минерализацией проявляется по-разному, что зависит от химических свойств элементов и их соотношения в подземных водах, а также от ряда других факторов.

5. Установлено, что ионы Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} относятся к сильным водным мигрантам, а ионы HCO_3^- , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, SO_4^{2-} – к средним.

ЛИТЕРАТУРА

1. Универсальные методы анализа вод. М.: Химия, 1997. 375 с.
2. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 367 с.
3. Питьева К.Е. Гидрогеохимия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. 393 с.
4. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 21 сентября 2009 г.