

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БЕСКАРАГАЙСКОГО РАЙОНА ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

М.И.Панина

В статье рассмотрен химический состав 32 скважин подземных вод в зависимости от типа воды, водовмещающих пород, их возраста. Рассчитана корреляционная связь между химическими компонентами воды, охарактеризовано эколого-геохимическое состояние вод.

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.

По данным Всемирной организации здравоохранения, более миллиарда людей на Земле пьют непригодную для потребления воду, а 2,4 млрд. (40% населения планеты) живут в городах и других населенных пунктах, не располагающих необходимыми службами очистки питьевой воды. Не случайно 3,4 млн. жителей планеты, главным образом дети, ежегодно умирают от заболеваний, связанных с низким качеством воды.

Проблема прогнозирования качества подземных вод в процессе их эксплуатации приобретает все большее значение в связи с нарастанием техногенной нагрузки на территории водосбора и ограничением хозяйственно-питьевого использования сильно загрязненных поверхностных вод.

Все вышеперечисленное свидетельствует об актуальности изучения химического состава подземных вод конкретных регионов.

В настоящей работе представлен экспериментальный материал по химическому составу подземных вод (ПВ) Бескарагайского района Восточно-Казахстанской области.

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

Статистическая обработка выполнена по Н.А. Плохинскому [1] с использованием программ STATISTICA и Microsoft Excel.

Химический состав подземных вод исследуемого региона по результатам наших исследований представлен в таблице 1.

Все исследуемые подземные воды по классификации К.Е. Питьевой [2] относятся к пресным (до 1 г/дм³) и слабоминерализованным (1-10 г/дм³).

Концентрация ионов в подземных водах региона различна. По величине средней концентрации (в мг/дм³) они располагаются в следующем убывающем порядке: HCO_3^- (137,0) > Cl^- (66,7) > $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (45,3) > SO_4^{2-} (32,9) > Mg^{2+} (20,7) > Ca^{2+} (19,7).

Максимальное варьирование приходится на ионы $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (116,1%), ионы Cl^- (127,5%); минимальное – на ионы HCO_3^- (32,4), ионы Ca^{2+} (59,4).

Содержание минерализации в водах исследуемой территории в 1,7 раза, HCO_3^- – в 1,4, SO_4^{2-} – в 9,2, Ca^{2+} – в 1,9 и ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – в 1,6 раз меньше, а концентрация Cl^- и Mg^{2+} в 1,1 раз больше их содержания в общей совокупности подземных вод зоны гипергенеза [3].

В подземных водах региона содержание минерализации в 4,9 раза, HCO_3^- – в 2,5, SO_4^{2-} – в 2,1, Cl^- – в 3,9, Ca^{2+} – в 4,4, Mg^{2+} – в 2,2 и ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – в 3,1 раз меньше их концентрации в подземных водах провинции континентального засоления [3], к которой относится исследуемый Бескарагайский район. Содержание макрокомпонентов в воде района не превышает ПДК.

Таблица 1

Химический состав подземных вод Бескарагайского района, в мг/дм³

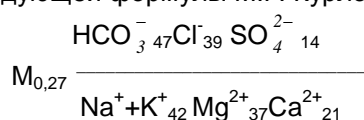
Химический состав	lim	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	σ	Cv, %	Кларк в ПВ [3]
Сухой остаток	101,2-695,3	273,4±29,9	170,2	62,3	469
Ca ²⁺	8,4-56,6	19,7±2,1	11,7	59,4	39,2
Mg ²⁺	6,7-631	20,7±2,6	14,9	72,0	18,2
SO ₄ ²⁻	4,6-119,2	32,9±5,4	31,0	94,1	304
Cl ⁻	6,4-264,5	66,7±14,9	85,1	127,5	59,7
HCO ₃ ⁻	69,3-212,4	137,0±7,8	44,4	32,4	187
Na ⁺ + K ⁺	4,1-214,3	45,3±9,2	52,5	116,1	72,8
Жесткость, мг-экв/л	1,2-7,8	2,7±0,3	1,6	60	

Примечание: lim – предел колебаний, $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ – среднее арифметическое и его ошибка, σ – среднее квадратичное отклонение, Cv – коэффициент вариации.

Проведенный анализ подземных вод на содержание минерализации, катионного и анионного состава позволил определить квалификационный тип воды исследуемого региона, изучить влияние его на концентрацию макрокомпонентов, рассчитать формулу солевого состава каждой скважины и в итоге всей совокупности подземных вод территории.

Установлено, что на долю гидрокарбонатно-магниевого приходится 37,5% всех изученных вод, гидрокарбонатно-натриево-калиевых – 21,9%, гидрокарбонатно-кальциевых – 18%, хлоридно-натриево-калиевых – 15,6% и на долю хлоридно-магниевого – 6,3%.

Средний состав подземных вод Бескарагайского района может быть представлен в виде следующей формулы М.Г. Курлова [4]:



из которой следует, что исследуемые воды являются пресными, гидрокарбонатно-хлоридно-натрий-калиевыми-магниевыми.

Формула, написанная таким образом, позволяет полно отразить все важнейшие характеристики исследуемой воды и в случае необходимости рассчитать эквивалентное и весовое содержание выявленных ионов.

Выявлено, что от типа воды существенно зависит минерализация и макрокомпонентный химический состав исследуемых подземных вод.

Минерализация (в мг/дм³) в хлоридно-натриево-калиевом типе вод составляет 563,3±60,0, в хлоридно-магниевого – 464,1 ± 50,8, в гидрокарбонатно-натриево-калиевом – 267,8±10,7, в гидрокарбонатно-кальциевом – 181,5±41,1 и в гидрокарбонатно-магниевого типе вод – 170,1±27,0.

Влияние типа вод на катионный и анионный состав подземных вод представлено в таблице 2.

Таблица 2

Показатели макрокомпонентного химического состава подземных вод в зависимости от типа вод, мг/дм³

Тип воды	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺ +K ⁺
HCO ₃ ⁻ - Na ⁺ +K ⁺ (n=7)	13,2±1,8	14,6±1,1	42,4±9,1	38,8±2,2	159,8±8,1	62,6±5,8
HCO ₃ ⁻ - Mg ²⁺ (n=12)	18,8±3,6	19,5±3,8	18,2±9,2	17,1±7,4	134,9±10,2	10,7±1,4
HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ (n=6)	26,9±6,5	11,5±2,5	17,9±6,2	24,2±9,5	126,7±23,5	19,5±5,8
Cl ⁻ - Mg ²⁺ (n=2)	25,3±1,2	57,3±5,9	70,3±24,1	209,8±2,7	75,5±3,1	60,9±23,4
Cl ⁻ - Na ⁺ +K ⁺ (n=5)	20,0±4,7	28,3±6,6	148,4±23,8	218,8±24,9	147,0±16,7	148,4±23,8

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БЕСКАРАГАЙСКОГО РАЙОНА ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Как видно из таблицы 2, что концентрация катионов Ca^{2+} в подземных водах изученной территории в зависимости типа воды изменяется в 2 раза, катионов Mg^{2+} – в 4,98, катионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – в 13,87, анионов SO_4^{2-} – в 8,29, анионов Cl^- – в 12,79 и анионов HCO_3^- – в 2,12 раза.

Выявлена высокая корреляционная зависимость ионов Mg^{2+} ($r=0,7$), $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ($r=0,8$), SO_4^{2-} ($r=0,8$) и Cl^- ($r=0,9$) от минерализации (сухого остатка); взаимосвязь ионов Mg^{2+} и ионов SO_4^{2-} ($r=0,7$) и Cl^- ($r=0,7$); ионов SO_4^{2-} и ионов Cl^- ($r=0,7$); ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и ионов Cl^- ($r=0,7$) (табл. 3).

Средней силы корреляционная взаимосвязь установлена между ионами Ca^{2+} и ионами Mg^{2+} ($r=0,5$) и ионами SO_4^{2-} ($r=0,4$); ме-

жду ионами $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и ионами HCO_3^- и SO_4^{2-} ($r=0,4$).

Между другими парами ионов корреляционная взаимосвязь не наблюдается.

Высокая взаимная корреляционная связь выявлена между жесткостью воды и минерализацией ($r=0,6$), ионами Ca^{2+} ($r=0,8$), Mg^{2+} ($r=0,9$), SO_4^{2-} ($r=0,7$) и ионами Cl^- ($r=0,6$). Связь между жесткостью воды и ионами $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ($r=0,04$) и ионами HCO_3^- ($r=0,1$) отсутствует.

Исследованиями выявлено, что водовмещающие породы (гравийно-галечник и песок) на химический состав подземных вод не влияют (табл. 4).

Выявлено влияние возраста водовмещающих пород на химический состав подземных вод (табл. 5).

Таблица 3

Корреляционная матрица для показателей химического состава подземных вод Бескарагайского района

Показатели	Сухой остаток	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
Сухой остаток	-	0,3	0,7	0,8	0,3	0,8	0,9
Ca^{2+}		-	0,5	-0,2	0,2	0,4	0,2
Mg^{2+}			-	0,1	-0,02	0,7	0,7
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$				-	0,4	0,4	0,7
HCO_3^-					-	0,1	0,03
SO_4^{2-}						-	0,7
Cl^-							-

Таблица 4

Химический состав подземных вод в зависимости от водовмещающих пород, мг/дм³

Породы	Сухой остаток	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
Гравийно-галечник n=17	<u>272,6±45,8</u> 101,2-695,3	<u>20,5±3,6</u> 8,4±56,6	<u>18,8±3,1</u> 7,4-60,4	<u>49,7±15,8</u> 4,1-214,3	<u>136,4±9,9</u> 78,6-211,2	<u>34,1±7,9</u> 4,8-119,2	<u>63,4±20,5</u> 6,6-264,5
	коэффициент вариации, %						
	69,0	71,6	68,7	130,2	29,7	94,9	132,5
Песок n=14	<u>287,7±41,6</u> 136,7-585,6	<u>19,2±2,0</u> 10,2-33,4	<u>23,9±4,6</u> 11,6-63,1	<u>49,4±10,6</u> 4,1-111,3	<u>142,3±12,9</u> 72,4-212,4	<u>32,8±8,4</u> 4,6-94,1	<u>75,0±24,5</u> 6,4-248,4
	коэффициент вариации, %						
	53,5	38,4	71,3	79,2	33,5	95,2	120,9

Примечание: в числителе средняя концентрация и её ошибка, в знаменателе – пределы колебаний.

Так, величина сухого остатка (минерализация) в зависимости от возраста водовмещающей породы (гравийно-галечник) изменяется в 4,4 раза, концентрация Ca^{2+} – в 2,2, Mg^{2+} – в 3,2, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – в 9,9, HCO_3^- – в 2,1, SO_4^{2-} – в 10,3 и концентрация ионов Cl^- – в 14,9 раза.

Максимальная величина всех показателей характерна для водоносных горизонтов

верхнеплиоценовых и нижнечетвертичных отложений кулундинской свиты.

Существенные различия компонентов в зависимости от возраста характерны и для подземных вод, где водовмещающей породой является песок.

Максимальная величина практически всех показателей химического состава характерна для воды спорадического распростра-

нения эоцен-олигоценых отложений (см. табл. 5).

Таблица 5
Влияние возраста водовмещающих пород на химический состав подземных вод, мг/дм³

Возраст пород	Сухой остаток	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
гравийно-галечник							
aQ _{II-III} ksm	116,8	13,7	9,3	11,9	93,8	5,4	10,9
P ₂₋₃	279,4	21,7	23,7	43,6	139,8	36,4	66,3
N ₂ – Q _I kl	513,9	30,6	29,3	117,8	200,3	55,5	163,3
aQ _{III}	244,7	14,6	13,9	49,9	111,7	52,3	39,8
K ₂	338,1	29,6	13,8	74,7	153,5	31,8	95,6
песок							
aQ _{II-III} ksm	273,7	12,9	15,8	67,0	194,3	24,0	41,8
P ₂₋₃	412,6	24,2	44,6	60,4	94,6	57,2	169,2
N ₂ – Q _I kl	267,8	18,4	15,7	58,8	154,9	32,7	51,8
Q _{II-III} ksm	157,5	21,4	15,5	7,2	151,1	6,4	10,1
N ₂ – Q _{IV}	168,6	14,2	21,6	13,6	156,7	12,9	10,4
Sa Q _{I-II} krd	106,2	12,3	6,7	11,5	69,3	14,8	7,8

Эколого-геохимическое состояние подземных вод региона может быть охарактеризовано **кларком концентрации** (Kк – отношение среднего содержания ионов в водах региона к кларку их в подземных водах зоны гипергенеза [3]) и **коэффициентом водной миграции**

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

где m_x – значение содержания ионов в г/дм³, а – минерализация, n_x – содержание ионов в литосфере, в %).

Расчеты показали, что **по величине кларка концентрации** исследуемые ионы располагаются в следующем убывающем порядке: Cl⁻ = Mg²⁺(1,1) > HCO₃⁻ (0,7) > Na⁺+K⁺ (0,6) > Ca²⁺ (0,5) > SO₄²⁻ (0,1).

По величине **коэффициента водной миграции** исследуемые ионы располагаются в следующем убывающем порядке: Cl⁻(1450) > Na⁺+K⁺ (6,63) > Mg²⁺(4,06) > Ca²⁺ (1,82).

Выводы

1. Впервые исследован химический состав подземных вод Бескарагайского района Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан. По классификации они относятся к пресным и слабоминерализованным.

2. По величине средней концентрации ионы (в мг/дм³) располагаются в следующем убывающем порядке: HCO₃⁻ > Cl⁻ > Na⁺+K⁺ > SO₄²⁻ > Mg²⁺ > Ca²⁺.

3. Содержание минерализации, ионов HCO₃⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Na⁺+K⁺ меньше, а концентрация ионов Cl⁻ и Mg²⁺ больше их кларка в

подземных водах зоны гипергенеза. Концентрация минерализации и макрокомпонентов в воде не превышает ПДК.

4. Минерализация и катионно-анионный состав воды зависит от типа воды и не зависит от водовмещающих пород, но существенно зависит от их возраста.

5. 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.

6. Рассчитаны кларк концентрации, коэффициент водной миграции, позволяющие охарактеризовать эколого-геохимическое состояние подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плохинский Н.А. Биометрия. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 367 с.
2. Питьева К.Е. Гидрогеохимия. – М. Изд-во Моск. уни-та, 1969. – 393 с.
3. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М., ОАО «Издательство «Недра», 1998, 366 с.
4. Курлов М.Г. Классификация Сибирских целебных минеральных вод. Томск, 1928 г.