

ГИДРОГЕОХИМИЯ

УДК 556.3; 540.4

А. К. Матевосян

Дополнительные информативные параметры к формуле Курлова

(Представлено чл.-кор. НАН РА С. М. Оганесяном 8/VI 2021)

Ключевые слова: *природная вода, химический состав, формула Курлова, критерий, классификация.*

В основу классификации химического состава природной воды – сложной многокомпонентной системы заложены основные ионные макрокомпоненты: три аниона (HCO_3 , SO_4 , Cl) и три\четыре катиона ($\text{Na}+\text{K}$, Ca , Mg), тем самым вода рассматривается как шестикомпонентная ионная (HCO_3 , SO_4 , Cl , $\text{Na}+\text{K}$, Ca , Mg) система [1-3]. Такое представление основано на допущении, что катионы и анионы находятся в воде в химическом равновесии. Однако при изучении химического состава природных вод, особенно минеральных, формируемых в сложных нестабильных динамических термобарических условиях, это не всегда наблюдается, что приводит к нарушению ионного электрохимического равновесия в подземном водном растворе [4-10].

Цель статьи – рассмотрение с физико-математических позиций гидрогеохимической типовой классификации природных вод.

В формуле М. Г. Курлова, предложенной ровно 100 лет назад в работе «Опыт классификации сибирских целебных минеральных вод» (1921), псевдодробь состоит из двух (анионной и катионной) трехкомпонентных систем, которые по концентрациям ионных макрокомпонентов в водном растворе представлены нормированными (относительными) значениями (в %-экв) и количественно взаимосвязаны по величине общей минерализации (M , мг) природной воды [1, 2]. Несмотря на свою уникальность, такая ограниченная информация, приводимая в псевдодробь, не позволяет получить однозначное и целостное представление о химическом составе пробы природной воды – количественном ионном содержании макрокомпонентов (в мг/дм³), полученном в результате лабораторных аналитических исследований. Покажем это на следующих примерах.

Таблица 1

**Теоретические примеры расчетов основных характеристик
химического состава природных вод**

	Номер пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<i>min÷max</i>
1	HCO ₃	240	480	360	720	120	80	200	320	660	80÷720
2	SO ₄	35	70	52	105	18	12	30	42	96	12÷105
3	Cl	60	120	90	180	30	20	50	80	165	20÷180
4	Ca	240	240	240	240	240	240	280	160	60	160÷280
5	Na + K	60	60	60	60	60	60	70	40	35	40÷70
6	Mg	35	35	35	35	35	35	40	24	240	24÷40
7	M	680	1050	850	1380	520	450	680	680	1270	450÷1380
8	HCO ₃	62	62	62	62	62	62	62	63	62	62÷63
9	SO ₄	11	11	11	11	11	11	12	10	11	10÷12
10	Cl	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
11	Na + K	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
12	Ca	69	69	69	69	69	69	69	68	69	68÷69
13	Mg	16	16	16	16	16	16	16	17	16	16÷17
14	<i>m</i> ⁻	49.3	63.8	59.1	72.8	32.3	24.9	41.2	65.0	72.5	24.9÷72.8
15	<i>m</i> ⁺	49.3	31.9	39.4	24.3	64.4	74.4	57.4	32.9	26.4	24.3÷74.4
16	Δm	1.5	4.3	1.5	2.9	3.3	0.7	1.5	2.1	1.1	-
17	<i>m</i> ⁻ / <i>m</i> ⁺	1.00	2.00	1.50	3.00	0.50	0.33	0.72	1.97	2.75	0.3÷3.0
18	ΔM	10	45	13	40	17	3	10	14	14	-
19	μ^0	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
20	$\Delta\mu$	1.75	0.75	1.25	-0.25	2.25	2.41	2.03	0.78	0.00	-0.25÷2.41
21	Δq	11.11	4.75	7.94	-1.61	14.27	15.34	14.99	3.32	-0.01	-1.61÷15.3

В табл. 1 приведены результаты математических расчетов ионных содержаний в единицах %-экв (*строки 8-13*) при исходных данных в мг/дм³ (*строки 1-7*) по общепринятой методике [1, 2]. Обобщенная формула химического состава имеет следующий вид:

$$M_{450-1380} = \frac{HCO_3^-(62-63) + Cl^-(27) + SO_4^{2-}(10-12)}{Ca^{2+}(68-69) + Mg^{2+}(16-17) + (Na + K)^+(15)}$$

Нетрудно заметить (табл. 1 – *последний столбец с указанием интервала изменения каждого параметра*), что при имитации водных растворов с разными концентрациями ионов, заданными в мг/дм³ (*строки 1-6*), получены одинаковые анион-катионовые величины в %-экв (*строки 8-13*) (несущественные отклонения возникли в процессе численных расчетов при округлении данных). Это обстоятельство наглядно свидетельствует о неоднозначной характеристике гидрохимизма природной воды псевдо-дробью формулы Курлова, что несомненно является ее весомым недостатком, поскольку она лежит в основе типовой классификации природной воды по химическому составу. С целью устранения указанного недостатка предлагается добавить в числитель и знаменатель псевдо-

дробь значения суммарного количества анионов и катионов (в мг/дм³) соответствующих макрокомпонентов, нормированных по величине общей минерализации (строка 7) и выраженных в процентах (m^- и m^+) (строки 14-15).

Величины концентраций макрокомпонентов a^-, b^-, c^- и a^+, b^+, c^+ (в мг/дм³) двух трехкомпонентных систем, полученных в результате разложения шестикомпонентной системы, с использованием значений соответствующих макрокомпонентов A, B, C (основных анионов или катионов, в %-экв) однозначно определяются по выражению (две системы линейных уравнений с тремя неизвестными):

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} k_{A^-}(A^- - 100) & k_{B^-}A^- & k_{C^-}A^- \\ k_{A^-}B^- & k_{B^-}(B^- - 100) & k_{C^-}B^- \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a^- \\ b^- \\ c^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ Mm^-/100 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} k_{A^+}(A^+ - 100) & k_{B^+}A^+ & k_{C^+}A^+ \\ k_{A^+}B^+ & k_{B^+}(B^+ - 100) & k_{C^+}B^+ \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a^+ \\ b^+ \\ c^+ \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ Mm^+/100 \end{pmatrix} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь k_A, k_B, k_C – пересчетные коэффициенты соответствующих макрокомпонентов (индексы «-» и «+» – соответственно для анионов и катионов) [1, 2]; m – суммарная концентрация ионных компонентов ($a+b+c$), нормированная по величине M , в %:

$$m = \frac{a + b + c}{M} 100\% . \quad (2)$$

Очевидно, что такое минимальное добавление в псевдодробь определяющим образом повышает также информативность всей формулы Курлова. Имея значения m^- и m^+ , легко сосчитать содержание не только основных ионных макрокомпонентов, но и суммарное содержание остальных составляющих в % и\или мг/дм³.

Например, проба № 3 (табл.1) представляется в виде

$$M_{680} \frac{m^- 59.1 = \text{HCO}_3 62_ \text{Cl} 27_ \text{SO}_4 11}{m^+ 39.4 = \text{Ca} 69_ \text{Mg} 16_ (\text{Na} + \text{K}) 15},$$

и с использованием выражения (1) можно вычислить содержания макрокомпонентов ($\text{HCO}_3, \text{Cl}, \text{SO}_4$ и $\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Na}+\text{K}$, в мг/дм³) (строки 1-6). В данном случае отношение m^-/m^+ равно 1.5 (строка 16), а суммарная концентрация других компонентов: $\Delta m M = [100 - (m^- + m^+)] M = 13$ мг/дм³ (строка 18).

Как заложено в основу формулы Курлова, две трехкомпонентные (анионная и катионная) системы химического состава пробы природной воды, слагающие целостную закрытую шести-макрокомпонентную основную ионную систему, характеризуют химически электронейтральное

состояние водного раствора. Однако в зависимости от величины соотношения суммарного содержания анионов и катионов на практике не исключается **дисбаланс электронейтральности** по концентрациям шести основных ионных макрокомпонентов химического состава природной воды. Это может быть охарактеризовано двумя **частными** (только по основным шести макрокомпонентам) **критериями электрохимического равновесия (электронейтральности)** с использованием значений концентраций основных ионных макрокомпонентов (в %-экв и мг/дм³) и пересчетных коэффициентов.

Критерий 1 – по массе ионов с учетом их валентности:

$$\Delta\mu = \mu^0 - \frac{m^-}{m^+} = \frac{\frac{A^-}{k_{A^-}} + \frac{B^-}{k_{B^-}} + \frac{C^-}{k_{C^-}}}{\frac{A^+}{k_{A^+}} + \frac{B^+}{k_{B^+}} + \frac{C^+}{k_{C^+}}} - \frac{a^- + b^- + c^-}{a^+ + b^+ + c^+}, \quad (3)$$

где μ^0 – нормированный ($A^- + B^- + C^- = 100\%$ -экв и $A^+ + B^+ + C^+ = 100\%$ -экв) теоретический показатель электронейтральности химического состава конкретной пробы природной воды, вычисляемый по концентрации ионов с учетом их валентности; m^-/m^+ – отношение суммарных концентраций, полученное в результате химико-аналитических работ.

Таблица 2

Средние (по центральным значениям каждого сектора графика-треугольника) величины μ^0 при 100-типовой классификации

100 типов			Катионы									
			Na A ⁺			Ca B ⁺			Mg C ⁺			Z ⁺
				Ca	Mg		Na	Mg		Na	Ca	
Анионы	HCO ₃ A ⁻		2.64	2.75	2.95	2.92	2.86	3.17	4.07	3.49	3.61	3.10
		SO ₄	2.50	2.60	2.79	2.76	2.70	3.00	3.85	3.30	3.41	2.93
		Cl	2.40	2.49	2.67	2.65	2.59	2.87	3.69	3.17	3.27	2.81
	SO ₄ B ⁻		2.23	2.31	2.48	2.46	2.41	2.67	3.43	2.94	3.04	2.61
		HCO ₃	2.33	2.42	2.60	2.58	2.52	2.80	3.59	3.08	3.19	2.73
		Cl	2.12	2.20	2.36	2.35	2.29	2.54	3.27	2.80	2.90	2.49
	Cl C ⁻		1.82	1.89	2.03	2.01	1.97	2.18	2.80	2.40	2.48	2.13
		HCO ₃	2.07	2.15	2.30	2.28	2.23	2.48	3.18	2.73	2.82	2.42
		SO ₄	1.96	2.03	2.18	2.16	2.12	2.35	3.01	2.59	2.67	2.29
	Z ⁻		2.23	2.32	2.49	2.47	2.42	2.68	3.44	2.95	3.05	2.62

Таблица 3

Максимальные и минимальные значения μ^0 и нормированный по средней величине интервал изменения (в %) в пределах конкретного типа при 100-типовой классификации

100 типов			Катионы											
			Na A ⁺		Ca B ⁺		Mg C ⁺		Z ⁺					
			Ca	Mg	Na	Mg	Na	Ca						
Анионы	HCO ₃ A ⁻		2.32	3.01			2.58	3.30			3.35	5.01		
			26.3%				24.6%				40.8%			
		SO ₄												
		Cl												
	SO ₄ B ⁻		1.98	2.50			2.21	2.74			2.86	4.16		
			23.4%				21.7%				37.9%			
		HCO ₃												
		Cl												
	Cl C ⁻		1.54	2.13			1.72	2.33			2.23	3.54		
			32.3%				30.6%				46.9%			
		HCO ₃												
		SO ₄												
	Z ⁻											2.30	3.05	
												28.6%		

В табл. 2 и 3 приведены средние (по центральным точкам каждого сектора графика-треугольника) и экстремальные (максимальные и минимальные в пределах конкретного типа) значения отношения μ^0 , приведенные в формуле (3), при 100-типовой классификации [11]. Минимальное значение $\mu^0 = 1.54$ наблюдается при C⁻A⁺ (хлоридные натриевые воды), максимальное – 5.01 при A⁻C⁺ (гидрокарбонатные магниевые); при этом диапазон изменения μ^0 в пределах одного типа достаточно велик: 21.7÷46.9%. Такой характер изменения параметра μ^0 диктует необходимость его определения для каждой конкретной пробы с достаточно высокой точностью, не меньшей, чем точность химико-аналитических определений.

Критерий 2 – по зарядам ионов на основе их валентности:

$$\Delta q = (a^+k_{A^+} + b^+k_{B^+} + c^+k_{C^+}) - (a^-k_{A^-} + b^-k_{B^-} + c^-k_{C^-}). \quad (4)$$

Значения $\Delta\mu$ и Δq являются условными частными электрохимическими показателями кислотности (при $\Delta\mu > 0$ и $\Delta q > 0$) или щелочности

(при $\Delta\mu < 0$ и $\Delta q < 0$), характеризующими дисбаланс электронейтральности химического состава пробы природной воды по концентрациям шести основных ионных макрокомпонентов (табл.1). В общем случае, при рассмотрении всех анионов и катионов в исследуемой пробе воды, аналогичным образом (путем добавления соответствующих слагаемых в формулы (3)-(4)) представляются расширенные варианты вышеприведенных критериев, которые по характеру своей информативности в зависимости от поставленной цели могут быть вполне эффективными. Например, приведенная в [3] формула химического состава специфической углекисло-сероводородной пробы № 369 имеет вид

$$M_{0.4} \frac{SO^4_{100}}{Fe_{34} Al_{22} Ca_{19} (Na + K)_{16} Mg_6 Mn_3},$$

с дополнительным табличным представлением содержаний различных компонентов и параметров. Здесь в псевдодробь вписаны дополнительно три катиона – Fe, Al, Mn, и естественно в таком представлении условно (поскольку основные катионные макрокомпоненты составляют всего 41%-экв) данная проба может быть отнесена к конкретному типу согласно принятой структуре типовой классификации природных минеральных вод (к тому же невозможно изобразить результаты химического анализа на графике-треугольнике). Предлагаемый способ представления расширенной формулы этой пробы с добавлением температуры и дебита источника природной воды:

$$Fe_{50} Al^3_{10} Mn^2_4 H^2 SiO^3_{25} M_{382} \frac{m^- 65.4 = SO^4_{100}}{m^+ 11.4 = Ca_{46} (Na + K)_{40} Mg_{14}} T 8C^\circ - D 0.12 \delta m^3 / c,$$

тип – сульфатный кальциево-натриевый ($B^-(BA)^+$); параметры $m^-/m^+=5.74$, $\mu^0=2.39$; критерии электронейтральности $\Delta\mu=-3.35$ и $\Delta q=-3.05$; определяются также содержания других компонентов: $\Delta m=23.2\%$, $\Delta M=88.6$ мг/дм³ (кроме шести основных ионных макрокомпонентов по выражению (1)). К сожалению, в первоисточнике нет данных о газовом составе (H_2S , CO_2) и рН этого источника природной минеральной воды Армении. Судя по значению частного критерия Δq можно сказать о достаточно высокой щелочной реакции водной пробы. Однако в данном случае, с привлечением содержаний всех шести определенных катионов (в данной пробе отсутствует K^+ , а содержание катионов Fe^{+2} и Fe^{+3} приведено суммарной величиной), т.е. при расчете расширенного критерия 2 по формуле

$$\Delta Q = (a^+k_{A^+} + b^+k_{B^+} + c^+k_{C^+} + d^+k_{D^+} + e^+k_{E^+} + f^+k_{F^+}) - (a^-k_{A^-} + b^-k_{B^-} + c^-k_{C^-}), (5)$$

получим интервал изменения $\Delta Q=0.0 \div 0.9$ – сравнительно близкие к электронейтральным значения в зависимости от величины соотношения Fe^{+2}/Fe^{+3} . Напомним [1, 2], что при вычислении пересчетных коэффи-

циентов определяющее значение имеет валентность иона, и здесь вносится определенная неоднозначность (большой интервал изменения ΔQ) в конечные результаты вычислений ввиду суммарного определения ионов железа.

Приведенные критерии совместно с электрическими (электрохимическими) параметрами водного раствора pH, Eh и электропроводностью (удельным электрическим сопротивлением) [5] позволят многосторонне охарактеризовать исследуемый гидрогеологический объект не только в лабораторных, но и полевых условиях с применением электроразведочных геоэлектрохимических методов [6, 7, 9, 12].

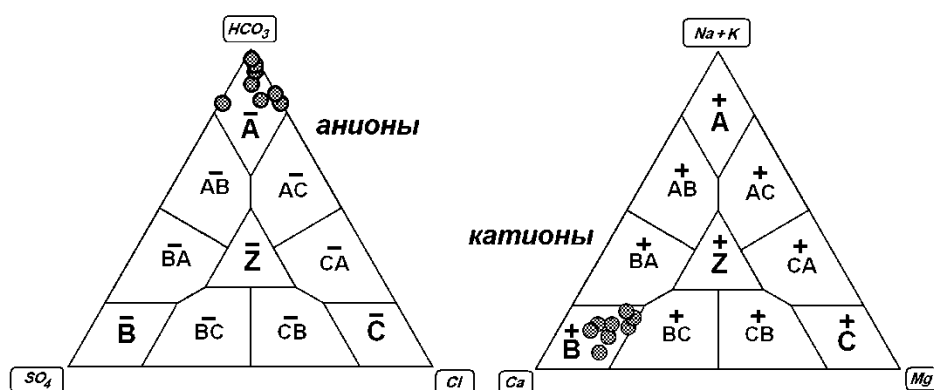


Рис. 1. Графики-треугольники результатов исследований основного анион-катионного состава некоторых минеральных вод Армении [3].

Покажем справедливость вышеприведенных теоретических формулировок на некоторых конкретных примерах химических анализов минеральных вод, принадлежащих к гидрокарбонатному кальциевому классификационному типу. На рис. 1 приведены графики-треугольники результатов исследований основного анион-катионного состава минеральных вод из разных регионов Армении, заимствованные из [3], с применением 100-типовой классификации (10-секторная градация графика-треугольника согласно [11]), по представленным в табл. 4 данным. Здесь приведены результаты лабораторных аналитических исследований ионных содержаний в %-экв (строки 1-6) при исходных данных в мг/дм³ (строки 7-12). Обобщенная формула химического состава данных проб:

$$M_{243-2357} \frac{HCO^3(83-97)_{SO^4(0-16)}_{Cl(1-17)}}{Ca(64-80)_{Mg(9-19)}_{(Na+K)(5-18)}}$$

при 20%-экв градации согласно 225-типовой [3] и 100-типовой [11] классификации природных минеральных вод. В табл. 4 (строка 20) приведены значения m^-/m^+ , судя по которым очевидно, что такой большой диапазон изменения этого соотношения (0.13÷3.19), непосредственно характери-

зующего электронейтральность водной пробы, однозначно свидетельствует о существенном нарушении электрохимического равновесия природной минеральной воды.

Таблица 4

**Химический состав некоторых минеральных вод Армении [3]
гидрокарбонатного кальциевого типа и предлагаемые
дополнительные параметры**

Номер пробы		33	99	185	201	467	509	574	603
1	HCO ₃	89	83	93	95	97	83	86	84
2	SO ₄	5	0	2	1	1	16	0	5
3	Cl	6	17	5	4	2	1	15	11
4	Na + K	14	10	5	14	13	16	18	12
5	Ca	76	75	80	72	68	65	64	79
6	Mg	10	15	15	14	19	19	14	9
7	Na + K	24.8	60.0	2.3	116.0	86.5	92.0	11.3	78.2
8	Mg	8.8	4.8	3.6	62.0	68.3	68.1	4.9	31.2
9	Ca	119	40	328	519	396	381	36	450
10	Cl	17.8	16.3	3.6	59.0	28.4	14.2	14.2	111.8
11	SO ₄	20.0	0.0	2.0	10.0	10.5	225.0	0.0	60.0
12	HCO ₃	415	134	115	21	1718	1470	146	1470
13	Fe	-	-	-	-	3.0	10.0	2.0	4.0
14	H ₂ SiO ₃	20.0	-	84.5	-	45.6	94.1	27.6	-
15	CO ₂	-	-	1760	-	1790	1496	704	1725
16	<i>M</i>	625	255	540	787	2357	2354	243	2205
17	<i>m</i> ⁻	72.4	59.0	22.3	11.4	74.6	72.6	66.2	74.4
18	<i>m</i> ⁺	24.4	41.0	61.8	88.6	23.4	23.0	21.6	25.4
19	Δm	3.2	0.0	15.8	0.0	2.1	4.4	12.2	0.2
20	<i>m</i> ⁻ / <i>m</i> ⁺	2.97	1.44	0.36	0.13	3.19	3.16	3.07	2.93
21	ΔM	20	0	85	0	49	104	30	4
22	μ^0	2.99	2.96	3.13	3.09	3.19	3.08	3.08	2.92
23	$\Delta \mu$	0.02	1.52	2.77	2.96	0.00	-0.08	0.00	-0.01
24	Δq	0.0	2.3	14.7	33.8	0.0	-0.6	-0.1	-0.1

К примеру, предлагаемый способ представления расширенной формулы пробы № 509:

$$CO^2_{1496_Fe_{10_}H^2SiO^3_{94.1_}M_{2354} \frac{m^-72.6 = HCO^3_83_SO^4_{16_}Cl}{m^+23.0 = Ca65_Mg19_ (Na + K)16} pH5.8_T29^\circ C_D2.0$$

с добавлением в начале числителя и знаменателя псевдодробей значений *m*⁻ и *m*⁺ (с точностью не менее десятых долей процента), отделенных от величин содержаний основных ионных макрокомпонентов знаком равенства; дебит (*D*) в дм³/с. Определяются также содержания других

компонентов: $\Delta m=4.4\%$, $\Delta M=104\text{мг/дм}^3$ и параметры $m^-/m=3.16$, $\mu^0=3.08$, $\Delta\mu=-0.08$ и $\Delta q=-0.59$ (по формулам (3)-(4)). Тем самым отпадает необходимость представления данных анализов и в виде таблицы.

Приведенная в [3] формула химического состава пробы № 574 имеет вид

$$M_{0.2} \frac{\text{HCO}^3 86_ \text{Cl}14}{\text{Ca}64_ (\text{Na} + \text{K})18_ \text{Mg}14_ \text{Fe}4}$$

с дополнительным табличным представлением содержаний различных компонентов и параметров. Следует обратить внимание, что в псевдодробь включен четвертый катион – Fe, который нарушает принятую здесь же структуру типовой классификации природных минеральных вод. Предлагаемый способ представления расширенной формулы этой пробы:

$$\text{CO}^2_{704_} \text{Fe}_{2.0_} \text{H}^2 \text{SiO}^3_{27.6_} \text{M}_{243} \frac{m^- 66.2 = \text{HCO}^3 86_ \text{Cl}14}{m^+ 21.6 = \text{Ca}67_ (\text{Na} + \text{K})18_ \text{Mg} 15} \text{pH}5.4,$$

по которой (при необходимости по выражению (1)) легко вычисляются концентрации $\text{HCO}_3=146.7$, $\text{Cl}=13.9$, $\text{SO}_4=0.0$, $\text{Ca}=36.3$, $(\text{Na}+\text{K})=11.2$, $\text{Mg}=4.9$ мг/дм³ с погрешностью определений, не превышающей 1÷2%; определяются содержание других компонентов: $\Delta m=12.2\%$, $\Delta M=29.6$ мг/дм³ и параметры $m^-/m^+=3.07$, $\mu^0=3.08$, $\Delta\mu=-0.00$ и $\Delta q=-0.11$ (по формулам (3)-(4)). Такие специфические пробы источников природной воды рекомендуется отмечать соответствующим образом на графике-треугольнике, карте или в типовой классификационной таблице, но не вносить дополнительный ион\ионы в псевдодробь.

Следует также отметить, что зачастую неопределенность наблюдается при вычислении содержаний катионов (знаменатель псевдодроби), поскольку последние представляются четырьмя ионами (суммой Na+K), что в псевдодроби не учитывается. Однако проведенные оценочные расчеты показали, что указанное расхождение не превышает нескольких процентов, и то при повышенном содержании калия, соизмеримым с натрием, и в подавляющем большинстве случаев с учетом полной погрешности гидрогеохимических исследований этим можно пренебречь.

Заключение. Приведенные в статье данные наглядно свидетельствуют о существенной неоднозначности при представлении результатов химических анализов основных ионных макрокомпонентов только в %-экв с использованием формулы Курлова. Предлагаемое дополнение в псевдодробь параметров m^- и m^+ (внесение «изюминки») в формулу Курлова) позволяет с использованием несложных математических расчетов однозначно определять не только концентрации каждого из шести основных ионных макрокомпонентов в водном растворе (в мг/дм³), но и суммарное количество остального вещества (в мг/дм³ и %), что также особенно важно для представления целостной картины исследуемой пробы природной воды. Рассмотрены два частных критерия электрохимического равновесия

(электронейтральности) по концентрациям шести основных ионных макрокомпонентов. Поскольку предлагаемые параметры и критерии принципиально важны и достаточно информативны, то рекомендуется их также привлечь при типовой классификации природной воды по химическому составу, в частности, в виде отношения m^-/m^+ .

Приведенные критерии, совместно с электрическими параметрами водного раствора рН, Eh и электропроводностью (удельным электрическим сопротивлением), позволят многосторонне охарактеризовать исследуемый объект не только в лабораторных, но и полевых условиях с применением электроразведочных геоэлектрохимических методов. Представляется интересным проведение дальнейших целенаправленных комплексных геолого-геофизических исследований по изучению многофакторных корреляционных зависимостей и выявлению закономерностей между этими параметрами, особенно при изучении достаточно сложных динамических геологических объектов, каковыми являются воды рудных месторождений и природные минеральные воды, а также подземные воды при непредсказуемо всевозрастающем антропогенном вмешательстве.

Институт геологических наук НАН РА
e-mail: arshak.matevosyan@yandex.com

А. К. Матевосян

Дополнительные информативные параметры к формуле Курлова

Обосновывается необходимость дополнения псевдодробь в общепринятой и широко используемой формуле Курлова нормированными показателями суммарного массового содержания основных ионных макрокомпонентов. Предлагаются частные критерии по оценке дисбаланса химической электронейтральности природной воды. Это позволит совершенствовать ныне используемую типовую классификацию природных вод с применением электроразведочных геоэлектрохимических методов.

Ա. Կ. Մաթևոսյան

Կուրլովի բանաձևի լրացուցիչ տեղեկատվական պարամետրեր

Հիմնավորվում է Կուրլովի ընդունված և լայնորեն կիրառվող բանաձևում կեղծ-կոտորակը լրացման անհրաժեշտությունը հիմնական իրնային մակրոկոմպոնենտների գումարային զանգվածային պարունակության նորմավորված ցուցիչներով: Առա-

ջարկվում են բնական ջրի քիմիական էլեկտրաչեզոքության անհավասարակշռության խախտման գնահատման մասնակի չափանիշներ: Դա նաև թույլ կտա կատարելագործել բնական ջրերի ներկայումս օգտագործվող դասային դասակարգումը՝ էլեկտրահետախուզական երկրաէլեկտրաքիմիական մեթոդների կիրառմամբ:

A. K. Matevosyan

Additional Informative Parameters to the Kurlov Formula

The article substantiates the need to supplement the pseudo-fraction (in the generally accepted and widely used Kurlov formula) with normalized indicators of the total mass content of the main ionic macrocomponents, and also proposes particular criteria for assessing the imbalance of the chemical electroneutrality of natural water. This will make it possible to improve the currently used standard classification of the chemical composition of the natural waters using electrical prospecting by geoelectrochemical methods.

Литература

1. *Ланге О. К.* Гидрогеология. М. Высшая школа. 1969. 368 с.
2. *Богомолов Г. В.* Гидрогеология с основами инженерной геологии. М. Высшая школа. 1975. 319 с.
3. Геология Армянской ССР. Т. IX. Минеральные воды. Ереван. Изд-во АН АрмССР. 1969. 524 с.
4. *Семенов А. С.* Электроразведка методом естественного электрического поля. Л. Недра. 1980. 446 с.
5. Справочник по электрохимии. Л. Химия. 488 с.
6. *Рысс Ю. С.* Геоэлектрохимические методы разведки. Л. Недра. 1983. 255 с.
7. Электроразведка. Справочник геофизика. В 2-х книгах. М. Недра. 1989. 438 с.; 378 с.
8. *Баласаян С. Ю.* Динамическая геоэлектрика. Новосибирск. Наука. 1990. 232 с.
9. *Комаров В. А.* Геоэлектрохимия. Изд-во СПб ун-та. 1994. 136 с.
10. *Белюсова А. П., Гавич И. К., Лисенков А. Б. и др.* Экологическая гидрогеология. М. ИКЦ «Академкнига». 2006. 397 с.
11. *Матевосян А. К.* – Изв. НАН Армении. Науки о Земле. 2020. Т. 73. № 2. С. 44-56.
12. *Матевосян А. К.* – ДНАН Армении. 2014. 114. №1. С. 33-43.