

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ В КАЧЕСТВЕ ПИТЬЕВОЙ ПО ФОРМУЛЕ М.Г. КУРЛОВА

Цель: представить анализ природной воды по формуле М.Г. Курлова и оценить ее пригодность в качестве питьевой.

Описание природной воды по формуле М.Г. Курлова

Для удобства сопоставления анализов воды существуют различные способы сокращенного изображения состава. Наиболее часто применяется формула М.Г. Курлова – это наглядное изображение химического состава природной воды. В этой формуле, выражаемой в виде псевдодробы, в числителе пишут в процент-эквивалентах в убывающем порядке анионы, а в знаменателе – в таком же порядке катионы. Ионы, присутствующие в количестве менее 10 % экв, в формулу не вносят. К символу иона приписывают его содержание в процент-эквивалентах в целых числах. Впереди дроби указывают рН, жесткость (*Ж*) в мг · экв/л, величину минерализации (*М*) в г/л и компоненты, специфичные для данного анализа (CO₂, H₂S, Br⁻, J, радиоактивность и др.). После дроби указывают температуру воды (*t*, °С) и дебит источника или скважины *D* в м³/сут.

Например:

pH 6,7 ж 2,1 M 5,0 $\frac{\text{Cl } 40 \text{ HCO}_3 36 \text{ SO}_4 20}{\text{Na } 64 \text{ Ca } 28}$ t 45 D 5.

Водородный показатель – рН

В воде часть молекул всегда находится в диссоциированном состоянии в виде ионов H^+ и OH^- . Концентрация недиссоциированной воды считается постоянной, поэтому количество ионов водорода и ионов гидроксила при данной температуре будет тоже величиной постоянной. При $t = 22^\circ\text{C}$ эта величина равна 10^{-14} . Чистая вода имеет нейтральную реакцию, и количество ионов H^+ должно быть равно количеству ионов OH^- :

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$$

Это выражение показывает, что при 22°C в 1 л чистой воды содержится 10^{-7} грамм-молекул воды в ионизированном виде, т. е. 10^{-7} грамм-ионов водорода и 10^{-7} грамм-ионов гидроксила.

Если $[\text{H}^+] = 10^{-7}$, то $\lg[\text{H}^+] = -7$, а $-\lg[\text{H}^+] = 7$.

Выражение $\lg[\text{H}^+]$ означает, что рН – отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов.

Если рН < 7 – реакция воды кислая;

Если рН > 7 – реакция воды щелочная;

рН $< 4,5$ – сильнокислая;

4,5 – 5,5 – кислая;

5,5 – 6,5 – слабокислая;

6,5 – 7,5 – близкая к нейтральной;

7,5 – 8,5 – слабощелочная;

8,5 – 9,5 – щелочная;

$> 9,5$ – сильнощелочная.

Жесткость воды

Жесткостью воды называется свойство воды, обусловленное содержанием в ней ионов кальция ($1/2 \text{Ca}^{2+}$) и магния ($1/2 \text{Mg}^{2+}$). Единицей жесткости воды является моль на кубический метр (моль/ м^3). Числовое значение жесткости, выраженное в моль/ м^3 , равно числовому значению жесткости, выраженному в $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$. 1 мг/л жесткости воды отвечает содержанию ионов кальция ($1/2 \text{Ca}^{2+}$) 20,04 мг/л и ионов магния ($1/2 \text{Mg}^{2+}$) 12,153 мг/л.

Виды жесткости воды

Различают жесткость воды: **общую** – общее количество содержащихся в воде ионов кальция и магния; **устранимую** – жесткость воды, обусловленная наличием в воде карбонатных (CO_3^{2-}) и гидрокарбонатных (HCO_3^-) ионов солей кальция и магния, удаляемая при кипячении и определяемая экспериментально; **неустранимую** – разность между общей жесткостью и устранимой жесткостью; **карбонатную** – сумма карбонатных (CO_3^{2-}) и гидрокарбонатных (HCO_3^-) ионов в воде; **некарбонатную** – разность между общей жесткостью и карбонатной.

По величине общей жесткости (по А.О. Алекину) различают следующие природные воды:

- | | |
|--------------------|---------------------|
| – Очень мягкие | до 1,5 мг · экв/л; |
| – Мягкие | 1,5 – 3 мг · экв/л; |
| – Умеренно-жесткие | 3 – 6 мг · экв/л; |
| – Жесткие | 6 – 9 мг · экв/л; |
| – Очень жесткие | > 9 мг · экв/л. |

Минерализация воды

Минерализация воды (M) – концентрация растворенных в воде неорганических веществ. Различают характер и степень минерализации. *Характер минерализации* обусловлен химическим типом воды. По О.А. Алекину воды делятся на три класса по преобладающему аниону – гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные. Каждый класс подразделяется на три группы по преобладающему катиону: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} .

Степень минерализации

Степень минерализации выражают в мг/л или г/л (иногда г/кг) и определяют:

1. По сухому остатку, который получают путем выпаривания природной воды. Если количество воды выражено в миллилитрах (мл), концентрацию солей в воде называют *минерализацией* – M (г/л, мг/л). Если количество воды взято в граммах (г), то концентрацию солей в воде называют *соленостью* – S (г/кг, ‰).

Знак ‰ – промилле – одна тысячная часть числа, десятая часть процента;

2. По химическому составу природной воды. Определяют как арифметическую сумму весовых количеств всех ионов в 1 л воды:

$$M = \frac{\sum \text{ионов, мг/л}}{1000} = \text{г/л}.$$

По степени минерализации (по В.И. Вернадскому, И.К. Зайцеву) природные воды подразделяются на следующие типы:

- Пресные до 1 г/л;
- Соленоватые 1 – 10 г/л;
- Соленые 10 – 50 г/л;
- Рассолы > 50 г/л.

Псевдодробь

1. Из лаборатории получаем результаты химических анализов воды в мг/л.

2. Полученные исходные данные пересчитываем в мг · экв путем деления результатов анализа в мг/л на *эквивалентную* массу соответствующего иона (табл. 1.1).

Например: концентрация Ca^{2+} – 79 мг/л (результат химического анализа представлен в табл. 1.2. Чтобы получить эквивалентную массу кальция, нужно его атомную массу 40,08 разделить на валентность, т. е. 2. Получим эквивалентную массу 20,04, затем $79 : 20,04 = 3,95$ мг · экв/л. Пересчитать в мг · экв форму можно другим способом. Для этого исходные данные в мг/л умножить на соответствующие пересчетные коэффициенты. Величину пересчетного коэффициента получим путем деления *единицы* на эквивалентную массу. Пересчетный коэффициент для кальция: $1 : 20,04 = 0,0499$. Для одновалентных ионов эквивалентной массой будет атомная масса.

Таблица 1.1

Ион	Эквивалентная масса	Атомная масса	Название иона
Ca^{2+}	20,04	40,08	кальций-ион
Mg^{2+}	12,15	24,30	магний-ион
CO_3^{2-}	30,01	60,02	карбонат-ион
SO_4^{2-}	48,03	96,06	сульфат-ион
HCO_3^-	61,02		гидрокарбонат-ион
Cl^-	35,453		хлор-ион
NO_3^-	62,0		нитрат-ион
Na^+	22,99		натрий-ион
K^+	39,102		калий-ион
NH_4^+	18,04		аммоний-ион

3. Для вычисления процент-эквивалентов (% · экв) принимаем сумму мг · экв анионов (ΣA), содержащихся в 1 л воды за 100 % и вычисляем процент содержания каждого аниона в мг · экв по отношению к этой сумме. Аналогично вычисляем % экв катионов.

Например, сумма катионов равна 8,51 (табл. 1.2):

8,51 – 100 %;

1,52 – x ; $x = 17,9$ % · экв (Na).

Суммы катионов и анионов, выраженные в мг · экв/л, должны быть равны между собой. Часто точного совпадения цифр ввиду погрешностей анализа не бывает. Допустимая неточность анализа (x) определяется по формуле:

$$X = \frac{\Sigma A - \Sigma K}{\Sigma A + \Sigma K} \cdot 100 \leq 5 \%,$$

где ΣA – сумма мг · экв/л анионов;

ΣK – сумма мг · экв/л катионов.

Образец выполнения задания

В табл. 1.2 записываем результаты химических анализов воды, выраженные в трех формах:

1) мг/л; 2) мг · экв/л; 3) % экв.

Таблица 1.2

рН	Катионы			$\sum K$	Анионы					$\sum A$	Ед. изм.
	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Cl	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻		
6,9	35	79	37		12	66	н.о.*	418	н.о.		мг/л
	1,52	3,95	3,04	8,51	0,34	1,38	-	6,85	-	8,57	мг · экв/л
	17,9	46,4	35,7	100	4	16,1	-	79,9	-	100	% экв

* н.о. – не обнаружено.

$$ж = 3,95 + 3,04 = 6,99;$$

$$M = \frac{(35 + 79 + 37 + 12 + 66 + 418) \text{ мг/л}}{1000} = 0,6 \text{ г/л};$$

$$\text{рН } 6,9 \text{ ж } 7,0 \text{ } M 0,6 \frac{\text{HCO}_3 \text{ } 80 \text{ SO}_4 \text{ } 16}{\text{Ca } 46 \text{ Mg } 36 \text{ Na } 18} \text{ (см. табл. 1.2).}$$

Вода близкая к нейтральной, жесткая, пресная, гидрокарбонатно-магниево-кальциевая. В название химического состава воды входят ионы, содержание которых ≥ 25 % экв, и называют воду, начиная с анионов от 25 % экв в возрастающем порядке, затем катионы в таком же порядке.

Вывод: вода пригодна в качестве питьевой.

Вода непригодна в качестве питьевой:

1. С рН $> 8,5$ и $< 6,5$;
2. С ж > 7 мг · экв/л;
3. С М > 1 г/л;
4. Если хлоридов > 350 мг/л;
5. Если сульфатов > 500 мг/л;
6. Если $\sum \text{Cl} + \text{SO}_4 \geq 450$ мг/л.

Таблица 1.3. Химические анализы природных вод, мг/л

Номер варианта	pH	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	NO ₃
1	7,4	92	60	28	9	98	12	403	н.о.
	8,15	99	72	50	37	118	12	500	н.о.
	7,2	320	237	н.о.	709	357	н.о.	49	н.о.
2	7,9	26	210	31	17	302	н.о.	427	6
	7,8	38	254	70	303	131	н.о.	525	13
	7,0	150	36	146	348	247	н.о.	287	н.о.
3	8,6	117	113	105	215	108	34	494	113
	8,3	372	295	112	313	694	н.о.	488	550
	7,2	50	28	11	35	13	н.о.	195	н.о.
4	8,2	61	612	147	556	491	н.о.	555	640
	8,25	202	129	57	86	349	12	555	46
	7,5	41,9	2,5	2,15	56	5,69	н.о.	30,31	н.о.
5	8,15	778	234	298	813	849	12	720	1070
	6,8	8	2,5	3,67	20,5	0,27	н.о.	10,4	н.о.
	8,0	240	106	58	155	200	н.о.	515	220
6	8,4	75	174	30	114	96	6	537	12
	8,25	586	129	163	370	605	24	830	490
	7,1	92	19	117	202,9	151	н.о.	322	н.о.

7	6,4	75	118	5	50	57	Н.О.	427	Н.О.
	7,0	936	434	191	597	2496	Н.О.	549	15
	7,53	906	512	262	945	2489	Н.О.	488	4
8	7,3	74	56	30	16	10	Н.О.	476	2
	7,6	63	65	69	86	88	6	439	Н.О.
	7,5	60	122	11	142	153	Н.О.	159	Н.О.
9	7,55	234	22	11	5	10	12	695	2
	7,25	181	44	28	9	26	Н.О.	705	Н.О.
	8,6	10,4	1,19	2,38	0,37	Н.О.	1,6	42	Н.О.
10	7,4	231	146	97	136	690	12	409	Н.О.
	7,55	216	87	84	196	362	6	366	85
	6,4	2,5	2,0	3,27	13	0,77	Н.О.	7	Н.О.
11	8,55	117	87	36	109	164	36	287	СЛ.
	7,8	73	59	26	54	114	Н.О.	262	3
	7,5	77	48	48	17	57	Н.О.	443	Н.О.
12	8,0	63	45	79	19	26	Н.О.	634	СЛ.
	8,05	150	84	86	167	296	10	403	Н.О.
	7,5	462	64	68	398	453	Н.О.	503	Н.О.

Контрольные вопросы по практической работе

1. Дать определение «минерализация воды» и «соленость воды».
2. Чем обусловлена жесткость воды, и в каких единицах выражается?
3. В каких формах можно выразить результаты химического анализа воды?
4. Что отражает формула М.Г. Курлова и как она записывается?
5. Как читается формула М.Г. Курлова?
6. Каким требованиям отвечает вода для использования в качестве питьевой?