

# 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 (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Br<sup>-</sup>, J, радиоактивность и др.). После дроби указывают температуру воды (*t*, °C) и дебит источника или скважины *D* в м<sup>3</sup>/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  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ . 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  $\text{H}^+$  должно быть равно количеству ионов  $\text{OH}^-$ :

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

Это выражение показывает, что при  $22^\circ\text{C}$  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  $\text{pH} < 7$  – реакция воды кислая;

Если  $\text{pH} > 7$  – реакция воды щелочная;

$\text{pH} < 4,5$  – 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/ $\text{м}^3$ ). Числовое значение жесткости, выраженное в моль/ $\text{м}^3$ , равно числовому значению жесткости, выраженному в  $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$ . 1  $\text{мг/л}$  жесткости воды отвечает содержанию ионов кальция ( $1/2 \text{Ca}^{2+}$ ) 20,04  $\text{мг/л}$  и ионов магния ( $1/2 \text{Mg}^{2+}$ ) 12,153  $\text{мг/л}$ .

### *Виды жесткости воды*

Различают жесткость воды: **общую** – общее количество содержащихся в воде ионов кальция и магния; **устранимую** – жесткость воды, обусловленная наличием в воде карбонатных ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) и гидрокарбонатных ( $\text{HCO}_3^-$ ) ионов солей кальция и магния, удаляемая при кипячении и определяемая экспериментально; **неустранимую** – разность между общей жесткостью и устранимой жесткостью; **карбонатную** – сумма карбонатных ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) и гидрокарбонатных ( $\text{HCO}_3^-$ ) 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 $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$ ;  |
| – Мягкие           | 1,5 – 3 $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$ ; |
| – Умеренно-жесткие | 3 – 6 $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$ ;   |
| – Жесткие          | 6 – 9 $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$ ;   |
| – Очень жесткие    | > 9 $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$ .     |

## 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:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ .

### *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  $\text{Ca}^{2+}$  – 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
$\text{Ca}^{2+}$	20,04	40,08	кальций-ион
$\text{Mg}^{2+}$	12,15	24,30	магний-ион
$\text{CO}_3^{2-}$	30,01	60,02	карбонат-ион
$\text{SO}_4^{2-}$	48,03	96,06	сульфат-ион
$\text{HCO}_3^-$	61,02		гидрокарбонат-ион
$\text{Cl}^-$	35,453		хлор-ион
$\text{NO}_3^-$	62,0		нитрат-ион
$\text{Na}^+$	22,99		натрий-ион
$\text{K}^+$	39,102		калий-ион
$\text{NH}_4^+$	18,04		аммоний-ион

3. Для вычисления процент-эквивалентов (% · экв) принимаем сумму мг · экв анионов ( $\sum A$ ), 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:

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

где  $\sum A$  – сумма мг · экв/л анионов;

$\sum K$  – 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			$\Sigma K$	Анионы					$\Sigma A$	Ед. изм.
	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
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  $\geq 25$  % 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  $\Sigma \text{Cl} + \text{SO}_4 \geq 450$  мг/л.

Таблица 1.3. Химические анализы природных вод, мг/л

Номер варианта	pH	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>
<b>1</b>	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.
<b>2</b>	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.
<b>3</b>	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.
<b>4</b>	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.
<b>5</b>	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
<b>6</b>	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.

<b>7</b>	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
<b>8</b>	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.
<b>9</b>	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.
<b>10</b>	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.
<b>11</b>	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.
<b>12</b>	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?