

2. Шуть В.Н. Тестовый контроль электрического монтажа. "Вопросы радиоэлектроники", серия ЭВТ, №14, 1981.
3. Райzman А.В., Гинзбург М.М., Батыршин И.З., Хасанов Ф.Э., Биглов Ю.Р. Контроль печатного и проводного монтажа групповым методом. "Вопросы радиоэлектроники", серия ЭВТ, №12, 1982.
4. Райzman А.В., Гинзбург М.М., Лобанов Ю.А., Даньшин В.Н. Контроль электрической прочности изоляции печатных плат. "Вопросы радиоэлектроники", серия ЭВТ, №10, 1977.
5. И. Гроссман, В. Магнус Группы и их графы. М: Мир, 1971.
6. Шуть В.Н. Диагностика электрического монтажа. "Вопросы радиоэлектроники", серия ЭВТ, №12, 1982.

УДК 628.16

**Строкач П.П., Гулевич А.А., Яловая Н.П.**

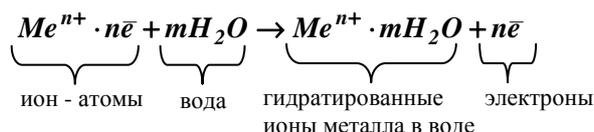
## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. БРЕСТА

Очищенная на станциях водоподготовки вода считается стабильной, если при транспортировании по водопроводной сети она не приобретает окраску, не выделяет и не растворяет осадок карбоната кальция  $CaCO_3$ .

Вода, не отвечающая этим требованиям (нестабильная вода), вызывает коррозию труб, запорно-регулирующей арматуры, оборудования и загрязняется продуктами их коррозии, чаще соединениями железа [1,2].

К нарушению стабильности воды приводит наличие растворенных в ней угольной кислоты, кислорода, сероводорода, гидросульфидов, низкое значение  $pH$ , перенасыщенность её карбонатом кальция [3].

В результате неоднородности материалов (различный химический состав и плотность на отдельных участках металла, его деформация, химические отложения и т.д.), с которыми контактирует вода, на внутренней поверхности труб и оборудования образуется большое количество коррозионных элементов и гидратированных ионов железа. При турбулентном режиме движения эти ионы поступают в воду, в результате чего их общее содержание увеличивается. Процесс идет по реакции:



С целью выяснения влияния ряда физико-химических факторов на стабилизационные процессы, на протяжении девяти месяцев 1999 г. нами непрерывно велись лабораторно-производственные исследования качества хозяйственно-питьевой воды, транспортируемой по водопроводной сети от водозабора «Граевский» до центра г. Бреста. В качестве точек для отбора проб были выбраны действующие водоразборные

колонки, установленные на улицах города и находящиеся примерно на одинаковых расстояниях друг от друга.

Отбираемые пробы воды закупоривались в полиэтиленовые бутылки, доставлялись в лабораторию физико-химического анализа воды кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета и анализировались.

На исследуемом участке водопроводной сети изучалось изменение в воде величины  $pH$ , общего содержания железа, угольной кислоты (свободной  $CO_2$ , полусвязанной  $HCO_3^-$  и связанной  $CO_3^{2-}$ ), солей жесткости, щелочности и перманганатной окисляемости.

Качество воды исследовалось химическими и фотоэлектроколориметрическими методами анализа.

Для получения достоверных данных отбиралось и анализировалось не менее трех проб при изучении каждого показателя в отдельных точках отбора проб.

Результаты исследований подвергнуты компьютерной обработке и представлены в таблицах 1-7.

Исследования  $pH$  воды представлены в таблице 1.

Они показали, что изменения  $pH$  находятся в пределах 7.0-7.6. Отклонения от этих значений замечены в декабре месяце -  $pH$  6.85 и в некоторых точках отбора проб в весенне-летне-осенний периоды -  $pH$  поднималась до значений 7.7-7.9.

Прослеживается тенденция повышения величины  $pH$  воды при ее движении по водопроводной сети от водозабора к конечной точке отбора проб, находившейся на центральном рынке. Эти изменения особенно заметны после фильтров и связаны, на наш взгляд, с процессами окисления железа (II) кислородом воздуха при аэрации воды перед фильтрованием, удалением из нее углекислоты и изменением щелочности воды (таблицы 2,4).

**Строкач Петр Павлович.** Член-корреспондент международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, профессор, к.т.н., зав. каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

**Гулевич Алла Леонидовна.** Доцент каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

**Яловая Наталья Петровна.** Старший преподаватель каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская 267.

Изменение величины  $pH$  воды

Точка отбора пробы	Месяцы									
	март	апрель	май	июнь	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
Вода из артскважины	7,0	7,2	7,4	7,4	7,4	7,2	7,4	7,0	7,2	
Из РЧВ	7,1	7,6	7,5	7,5	7,5	7,3	7,74	7,1	7,45	
Водоразборная колонка по ул. Фрунзе	-	-	-	-	7,5	7,5	7,48	7,5	7,45	
Водоразборная колонка по ул. Красно-	-	7,65	7,7	7,7	7,6	7	7,6	7,2	7,35	
Водоразборная колонка по ул. Кирова	-	7,9	7,65	7,7	-	-	-	-	-	
Водоразборная колонка на центр. рынке	7,2	-	-	7,6	7,6	7,5	7,6	7,5	6,85	
Водоразборная колонка д. Плоска	-	7,45	7,5	-	-	-	-	-	-	

Таблица 2

Изменение содержания свободной углекислоты ( $CO_2$ ) в воде, в мг/л

Точка отбора пробы	Месяцы									
	март	апрель	май	июнь	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
Вода из артскважины	33	11	22	-	-	35	34,2	34	36,1	
Из РЧВ	48,4	8,8	15,4	33,7	35,6	30,8	19,8	28,4	30,8	
Водоразборная колонка по ул. Фрунзе	-	-	-	-	15,84	13,2	19,8	25,7	30,8	
Водоразборная колонка по ул. Красногвард.	-	22	17,6	19,8	33,7	22	22	21,6	32,8	
Водоразборная колонка по ул. Кирова	-	13,2	26,4	19,8	-	-	-	-	-	
Водоразборная колонка на центр. рынке	52,4	-	-	-	23,76	30,8	19,8	26	28,2	
Водоразборная колонка д. Плоска	-	13,2	13,2	-	-	-	-	-	-	

Таблица 3

Изменение содержания гидрокарбонат-ионов ( $HCO_3^-$ ) в воде, в мг/л

Точка отбора пробы	Месяцы									
	март	апрель	май	июнь	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
Вода из артскважины	268	259	268,4	270	-	-	-	-	-	
Из РЧВ	293	265	268,8	280	260	298	341,7	277	402	
Водоразборная колонка по ул. Фрунзе	-	-	-	-	266	268	321	272	366	
Водоразборная колонка по ул. Красногвард.	-	280	274,5	263,5	260	274,5	298	290	360	
Водоразборная колонка по ул. Кирова	-	271	268,5	274,5	-	-	-	-	-	
Водоразборная колонка на центр. рынке	300	-	-	-	278	305	311,2	317	396,5	
Водоразборная колонка д. Плоска	-	275	280,6	-	-	-	-	-	-	



Содержание свободной угольной кислоты, поступающей из артезианских скважин на водозабор, в исследуемый период составило в среднем 22-36 мг/л (таблица 2).

В точках отбора проб воды, где замечались отклонения от этих пределов до 48,4-52,4 мг/л, несколько повышалось в воде содержание железа. Можно предположить, что повышению содержания  $CO_2$  в воде способствовало изменение условий аэрации воды перед фильтрами, изменение атмосферного давления, содержания в воде сероводорода. Незначительное увеличение в воде свободной в  $CO_2$  приводило к сдвигу углекислотного равновесия в сторону образования  $HCO_3^-$ -ионов и связыванию железа в его гидрокарбонат  $Fe(HCO_3)_2$ .

В большинстве случаев после аэрирования артезианской воды содержание  $CO_2$  в ней уменьшалось, т.е. происходил

процесс перевода гидрокарбонат-ионов  $HCO_3^-$ , освобождающихся в результате окисления железа (II) в железо (III), в свободную  $CO_2$  и к ее улетучиванию из воды.

Эти выводы подтверждаются контролем содержания в воде полусвязанной угольной кислоты. Ее концентрация в большинстве случаев находилась в пределах 260-300 мг/л (таблица 3).

В отдельных точках наблюдались отклонения до 402 мг/л.

Сравнивая результаты анализов, приведенные в таблицах 3,4, видно, что повышение содержания гидрокарбонат-ионов ведет к некоторому увеличению в воде ионов  $Fe(II)$ .

Так, например, в пробах воды, отобранных по ул. Красногвардейской (таблицы 2,3,4), с повышением содержания  $CO_2$  в воде до 32,8 мг/л (таблица 2), гидрокарбонат-ионов с 290 до 360 мг/л (таблица 3) содержание железа в воде увеличивалось с 0,35 до 0,65 мг/л (таблица 4).

Таблица 4

## Содержание в исследуемой воде железа общего, в мг/л

Точка отбора пробы	Месяцы								
	март	апрель	май	июнь	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Вода из артскважины	1,65	1,6	1,25	1,75	1,6	1,6	1,7	1,6	1,7
Из РЧВ	0,1	0,33	0,5	0,62	0,32	0,35	0,32	0,38	1,2
Водоразборная колонка по ул. Фрунзе	-	-	-	-	0,27	0,26	0,34	0,36	0,52
Водоразборная колонка по ул. Красногвард.	-	0,27	0,4	0,42	0,3	0,3	0,32	0,35	0,65
Водоразборная колонка по ул. Кирова	-	0,25	0,22	0,35	-	-	-	-	-
Водоразборная колонка на центр. рынке	0,5	0,25	-	-	0,2	0,25	0,2	0,4	0,3
Водоразборная колонка д. Плеска	-	0,3	0,35	-	-	-	-	-	-

Таблица 5

## Изменение жесткости воды, в мг-экв/л

Точка отбора пробы	Месяцы						
	апрель	май	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Вода из артскважины	4	4	4,5	4,6	4,9	2,8	4,95
Из РЧВ	4	4	4,5	4,6	4,9	2,8	4,95
Водоразборная колонка по ул. Фрунзе	-	-	4,3	2,35	4,9	2,75	4,8
Водоразборная колонка по ул. Красногвард.	4,25	3,75	4,45	3,25	5	3,75	5
Водоразборная колонка по ул. Кирова	4,2	3,8	-	-	-	-	-
Водоразборная колонка на центр. рынке	-	-	4,8	3,35	4	4,75	4,8
Водоразборная колонка д. Плеска	4,2	4	-	-	-	-	-

Таблица 6

## Изменение щелочности воды, в мг-экв/л

Точка отбора пробы	Месяцы			
	апрель	май	сентябрь	октябрь
Вода из артскважины	4,25	4,4	4,9	5,7
Из РЧВ	4,35	4,4	4,9	5,6
Водоразборная колонка по ул. Фрунзе	-	-	4,4	5,6
Водоразборная колонка по ул. Красногвард.	4,6	4,5	4,5	4,8
Водоразборная колонка по ул. Кирова	4,45	4,4	-	-
Водоразборная колонка на центр. рынке	-	-	5	5
Водоразборная колонка д. Плеска	4,55	4,6	-	-

Таблица 7

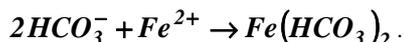
Изменение перманганатной окисляемости, мг  $O_2$ /л

Точка отбора пробы	Месяцы				
	апрель	май	сентябрь	октябрь	ноябрь
Вода из артскважины	6,3	4	4,31	4,35	4,41
Из РЧВ	5	3,68	4,31	4,35	4,41
Водоразборная колонка по ул. Фрунзе	-	-	4,55	5,9	4,39
Водоразборная колонка по ул. Красногвардейской	6	3,8	4,23	5	4,47
Водоразборная колонка по ул. Кирова	6,24	4	-	-	-
Водоразборная колонка на центр. рынке	-	-	5,02	4,86	4,38
Водоразборная колонка д. Плеска	6,15	3,46	-	-	-

Увеличение концентрации  $HCO_3^-$  - ионов в воде на 20% привело к повышению содержанию железа на 47%. Это мож-

но объяснить происходящими на трубопроводах коррозионными процессами, в результате которых избыток  $HCO_3^-$  -

ионов в воде воздействует на поверхность металла труб, в результате чего в обезжелезненной на станции водоподготовки воде появляются дополнительные ионы железа.



Величина общей жесткости воды на всем протяжении водопроводной сети находилась в пределах 4,0 – 4,8 мг-экв/л.

Изменение величины жесткости объясняется взаимодействием гидрокарбонат-ионов с ионами кальция и образованием слаборастворимых в воде гидрокарбоната  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , кремнесиликата  $\text{CaSiO}_3$ , сульфата  $\text{CaSO}_4$  или карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$  (в очень малых количествах, т.к. в существующих пределах  $\text{pH}$  нахождение ионов  $\text{CO}_3^{2-}$  в воде маловероятно). Образование солей магниевой жесткости не происходит, т.к.  $\text{pH}$  воды для этого должна быть значительно выше ( $\text{pH} > 9,0$ ).

Резкого изменения величины щелочности воды, обусловленной в основном гидрокарбонат – ионами  $\text{HCO}_3^-$ , не происходило и ее величина составляла 4,25 - 5,6 мг-экв/л (таблица 6).

В связи с изменением физико-химических показателей качества воды, транспортируемой по водопроводной сети, периодически появляется агрессивная углекислота в виде  $\text{HCO}_3^-$  - ионов. Находясь в некотором избытке против существующего динамического равновесия всех ее форм  $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

$\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$  она оказывает существенное влияние на коррозию труб и оборудования.

Исследуемая вода характеризуется небольшой величиной перманганатной окисляемости (таблица 7), что позволяет отнести ее к воде с минимальным содержанием органических соединений.

Перманганат калия при определении окисляемости расходуется в основном на окисление железа, содержащегося в форме  $\text{Fe(II)}$ .

Как показали выполненные исследования, на участке транспортирования воды по водопроводной сети от водозабора «Граевский» до центра города в район рынка ее нельзя считать стабильной. Это подтверждается определением показателя стабильности воды по величине  $\text{pH}$  [2], который имеет отрицательное значение. Так, в апреле месяце по ул. Кирова

(таблица 1) он составлял:  $C_{\text{pH}} = \frac{7,2}{7,9} = -0,91$ ; в сентябре

– по ул. Фрунзе  $C_{\text{pH}} = \frac{7,2}{7,5} = -0,96$ ; в ноябре – на цен-

тральном рынке  $C_{\text{pH}} = \frac{7,0}{7,5} = -0,93$ .

Отрицательная величина индекса стабильности воды подтверждает ее агрессивность и склонность к коррозии труб и оборудования.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. /учебник для вузов/. – Киев.: Высшая школа, 1986. – 352 с.
2. Строкач П.П. Словарь терминов по химии и технологии воды: Справ. издание. – Брест, Брестский политехнический институт, 1997.-228 с.
3. Алексеев Л.С. Стабилизация коррозионно-активных вод. /Водоснабжение и санитарная техника/. 1988., №10. – с. 6-8.