

УДК 608.16

П.П. СТРОКАЧ, Н.П. ЯЛОВАЯ

Беларусь, Брест, БрГТУ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕАГЕНТОВ-ОКИСЛИТЕЛЕЙ
ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД**

До настоящего времени многие небольшие города, поселки, автономные объекты Республики Беларусь испытывают трудности в обеспечении доброкачественной питьевой водой. Хотя большинство коммунальных водопроводов страны используют подземные воды, которые характеризуются высокими физико-химическими и бактериологическими показателями, повышенное содержание в них железа и марганца (таких вод около 70 %) не дает возможности без предварительного обезжелезивания использовать их для питья и технологических нужд производства.

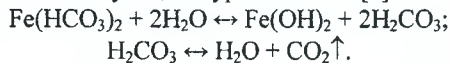
Согласно существующим требованиям Санитарных правил и норм Республики Беларусь (СанПиН РБ) [1] допускается использование воды для хозяйственно-питьевых целей, в которой содержание железа (суммарно) не превышает $0,3 \text{ мг/дм}^3$. Для конкретной системы водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки по постановлению главного государственного санитарного врача соответствующей территории допускается содержание железа (суммарно) до $1,0 \text{ мг/дм}^3$ [1].

Известно [2], что железо в природных водах может присутствовать в виде соединений:

- ионов железа (II);
- истинно-растворенных органических соединений железа (II) и (III);
- коллоидных органических и неорганических соединений.

В подземных горизонтах с затрудненным водообменом или при его отсутствии, когда преобладает восстановительная среда, железо обычно содержится в виде гидрокарбоната железа (II). Это хорошо растворимая в воде соль, которая, гидролизуясь, увеличивает в воде содержание ионов железа (II).

Такая форма железа устойчива при наличии свободной углекислоты и отсутствии окислителей. При контакте воды с воздухом она обогащается кислородом, и железо (II) окисляется в железо (III). Процесс окисления железа (II) и гидролиз железа (III) в присутствии гидрокарбонат-ионов может быть представлен следующими уравнениями [2]:



В общем виде процессы гидролиза и окисления железа можно записать уравнением:



Таким образом, из воды удаляется угольная кислота, происходит окисление железа (II) в железо (III) и его гидролиз.

В результате этого процесса снижаются органолептические свойства воды, происходит образование отложений, зарастание труб, оборудования и водопроводной аппаратуры соединениями железа и продуктами жизнедеятельности железобактерий. Отмершие бактерии образуют плотные наросты на стенках труб и сооружений. Кроме того, в результате их жизнедеятельности вода приобретает железистый привкус, увеличивается ее цветность и мутность. Бактерии *Gallionella* и *Leptothrix* образуют на стенках трубопроводов плотные пленки, под которыми начинаются коррозионные процессы. Такая вода с повышенным содержанием железа непригодна для ряда производств.

Т.к. в подземных водах, добываемых на водозаборных сооружениях большинства населенных пунктов, концентрация железа составляет 2–7 мг/дм³, перед подачей воды потребителю она должна обезжелезиваться.

Обезжелезивание подземных вод на современных станциях водоподготовки может осуществляться аэрированием, аэрированием с последующим окислением соединений железа, подщелачиванием, коагулированием, фильтрованием и др.

В таблице 1 приведены данные основных показателей качества природной подземной воды, поступающей из артезианских скважин на очистные сооружения г. Дрогичина.

Таблица 1 – Показатели качества природной подземной воды (г. Дрогичин)

№ п/п	Физико-химические показатели	Единицы измерения	Значения
1	Активная реакция среды, pH	-	7,75
2	Железо общее	мг/дм ³	3,2-3,5
3	Железо (II), Fe ²⁺	мг/дм ³	2,2-2,4
4	Гидрокарбонаты, HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	384
5	Щелочность	мг-экв/дм ³	6,3
6	Карбонаты, CO ₃ ²⁻	мг/дм ³	отсутствуют
7	Кальций, Ca ²⁺	мг/дм ³	92,2
8	Оксид углерода (IV), CO ₂	мг/дм ³	59,4
9	Солесодержание	мг/дм ³	450
10	Дихроматная окисляемость	мг-О ₂ /дм ³	400
11	Температура	°С	10
12	Мутность	мг/дм ³	7
13	Цветность	град.	45

Из приведенных в таблице данных видно, что вода по большинству показателей соответствует требованиям, предъявляемым к воде при ее обезжелезивании методом упрощенной аэрации, применяемым на станции водоподготовки г. Дрогичина:

- содержание железа общего до 10 мг/дм^3 (в т.ч. железа (II) $\approx 70 \%$);
- $\text{pH} > 6,8$;
- щелочность $> (1 + \text{Fe}^{2+}/28)$.

Остаточное содержание железа в очищенной методом упрощенной аэрации воде г. Дрогичина составляет $0,6\text{--}0,7 \text{ мг/дм}^3$. Поскольку в воде присутствует значительное количество оксида углерода (IV), который является основной причиной агрессивности воды, нами проанализированы формы, в которых находится углекислота.

В природной воде все формы угольной кислоты находятся в основном в динамическом равновесии:



При наличии ионов кальция углекислотное равновесие смещается в сторону образования гидрокарбоната кальция:



Гидрокарбонат-ионы существуют в растворе только при наличии свободной углекислоты. Часть ее, находящаяся в равновесии с гидрокарбонатами, является равновесной, как бы связанной, и не вступает в химические реакции. Избыточная углекислота, в отличие от равновесной, очень активна и называется агрессивной. Однако не вся избыточная углекислота агрессивна, поскольку часть ее расходуется на растворение карбоната кальция с образованием гидрокарбонатов, а другая – на удержание в растворе вновь образованных гидрокарбонатов. Поскольку в воде, подаваемой на станцию обезжелезивания, содержится 384 мг/дм^3 гидрокарбонатов, то при:

- концентрации кальция – $92,2 \text{ мг/дм}^3$;
- щелочности воды – $6,3 \text{ мг-экв/дм}^3$;
- солесодержании – 450 мг/дм^3 ;
- температуре воды – 10°C ,

концентрация свободной углекислоты составит $12,0 \text{ мг/дм}^3$, остальная ее часть будет связана с гидрокарбонатами.

Индекс стабильности [3] рассчитывается по формуле:

$$J = \text{pH}_0 - \text{pH}_s,$$

где pH_0 – фактическое значение активной реакции среды (таблица 1); pH_s – значение активной реакции среды в условиях насыщения воды карбонатом кальция.

В соответствии с рисунком 1 приложения 5 [4] для исследуемой воды pH_s равно $7,25$. Следовательно, индекс стабильности для исследуемой воды: $J = \text{pH}_0 - \text{pH}_s = 7,75 - 7,25 = +0,5$ – т.е. вода стабильна.

Вместе с тем вода характеризуется высокой дихроматной окисляемостью воды ($400 \text{ мг-O}_2/\text{дм}^3$), что свидетельствует о наличии в воде органических соединений железа.

Поскольку вода, очищенная на станции водоподготовки г. Дрогичина, содержит $0,6\text{--}0,7 \text{ мг}/\text{дм}^3$ железа и методом упрощенного аэрирования не достигаются требования СанПиН РБ по содержанию общего железа, необходимо использование при обезжелезивании воды окислителей (хлора и перманганата калия). Для сокращения количества опытов и получения более полных данных использовался метод ротатбельного центрального композиционного планирования (ЦКП), позволяющий при минимальном количестве опытов получить экспериментально-статистическую модель исследуемого процесса в виде многочлена второго порядка.

В качестве основных факторов на стадии лабораторных исследований были приняты: доза хлора и продолжительность контакта хлора с обрабатываемой водой. Доза хлора изменялась в процессе опытов с 1 до $5 \text{ мг}/\text{дм}^3$, а время контакта – от 5 до 25 с. В качестве хлорсодержащего реагента использовалась хлорная известь с содержанием активного хлора 57,6 %.

Остаточное содержание общего железа определялось в отфильтрованной воде, в которую предварительно вводили расчетную дозу хлора, выдержав расчетное время. Было выполнено 5 серий по 13 опытов. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследований по обезжелезиванию воды с использованием окислителя (хлора)

№ опыта	Доза хлора, $\text{мг}/\text{дм}^3$	Время, с	Остаточное содержание общего железа, $\text{мг}/\text{дм}^3$					Среднее значение
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	
1	5,00	25,00	0,31	0,26	0,36	0,22	0,18	0,27
2	1,00	25,00	0,70	0,83	0,70	0,40	0,85	0,70
3	5,00	5,00	0,68	0,65	1,00	0,48	0,20	0,60
4	1,00	5,00	1,10	1,35	0,52	0,68	0,65	0,86
5	5,83	15,00	0,24	0,20	0,21	0,25	0,20	0,22
6	0,17	15,00	0,47	0,58	0,81	0,78	1,02	0,73
7	3,00	29,14	0,57	0,60	0,59	0,55	0,65	0,59
8	3,00	0,86	0,60	0,80	1,18	0,41	1,05	0,81
9	3,00	15,00	0,36	0,38	0,32	0,35	0,31	0,34
10	3,00	15,00	0,38	0,29	0,39	0,35	0,38	0,36
11	3,00	15,00	0,32	0,41	0,25	0,34	0,32	0,33
12	3,00	15,00	0,29	0,40	0,35	0,30	0,30	0,33
13	3,00	15,00	0,38	0,35	0,38	0,33	0,32	0,35

В результате проведенных исследований установлено, что около 80 % соединений железа удаляется без введения окислителя, т.е. методом

упрощенной аэрации. При пропускании аэрированной воды через бумажный фильтр содержание железа устойчиво снижалось с 3,2–3,5 до 0,6–0,7 мг/дм³, т.е. из воды фильтрованием удаляется железо (II), находящееся в воде в ионной форме. Оставшаяся часть железа находится в виде железоорганических соединений и не извлекается из воды безреагентными методами. Для более полного обезжелезивания в экспериментах использовалась хлорная известь.

В ходе проведения исследований по обезжелезиванию было получено уравнение регрессии, адекватно описывающее процесс обезжелезивания в лабораторных условиях:

$$Y_{\text{расч}} = 0,34 - 0,18 \cdot X_1 - 0,1 \cdot X_2 - 0,04 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,07 \cdot X_1^2 + 0,18 \cdot X_2^2,$$

где $Y_{\text{расч}}$ – остаточное содержание общего железа в обработанной воде, мг/дм³; X_1 – доза хлора в кодированных переменных; X_2 – продолжительность контакта в кодированных переменных.

Для определения оптимальных значений исследованных факторов была решена задача условной оптимизации с граничными условиями:

$$Y_{\text{расч}} \rightarrow \min, -1 \leq X_1 \leq 1, -1 \leq X_2 \leq 1.$$

Решение системы позволило выявить оптимальные значения факторов, при которых достиглось наименьшее содержание остаточного железа: при дозе хлора 5,0 мг/дм³ и продолжительности контакта 19–20 с остаточное содержание железа составило 0,2 мг/дм³.

Таким образом, исследования по использованию реагентов-окислителей на процесс обезжелезивания природных подземных вод показали, что при использовании окислительного метода можно достигнуть снижения содержания железа в артезианской воде до нормативных требований СанПиНа РБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сборник санитарных правил и норм по питьевому водоснабжению. СанПиН 10 – 124 РБ 99, СанПиН 10 – 113 РБ 99, СанПиН 8 – 83 – 98 РБ 99. – Мн., 2000. – 152 с.
2. Яловая, Н.П. Инженерная гидроэкология : пособие / Н.П. Яловая, П.П. Строкач, О.П. Бурко. – Брест : Изд-во БрГТУ, 2010. – 296 с.
3. Яловая, Н.П. Экология гидросферы : пособие / П.П. Строкач, Н.П. Яловая. – Брест : БрГТУ, 2004. – 324 с.
4. СНиП 2.04.02.–84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1985. – 136 с.