

Е. Ф. Золотова

**Очистка воды от железа,
марганца, фтора и
сероводорода**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 504
ББК 20.1
Е11

Е11 **Е. Ф. Золотова**
Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода / Е. Ф. Золотова –
М.: Книга по Требованию, 2012. – 176 с.

ISBN 978-5-458-25701-5

ISBN 978-5-458-25701-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2012

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2012

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

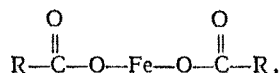
Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

сульфатов в воде образуется ассоциат FeSO_4 , который характеризуется константой нестойкости [5]:

$$\text{FeSO}_4 = \text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}; K = \frac{f_{\text{II}} [\text{Fe}^{2+}] f_{\text{II}} [\text{SO}_4^{2-}]}{f_0 [\text{FeSO}_4]} = 5 \cdot 10^{-3}, \quad (1.1)$$

где f — коэффициент активности.

При наличии в воде сульфидов железо может находиться в виде тонкодисперсной взвеси FeS . Произведение растворимости $\text{FeS} = 5 \cdot 10^{-18}$ [5]. Комплексные соединения двухвалентного железа образуются также при наличии в воде гуминовых кислот и некоторых других органических соединений. При наличии гуминовых кислот $\text{C}_6\text{H}_{52}\text{O}_{24}(\text{COOH})_4$ атом железа вытесняет в молекуле кислоты атом водорода и образуется комплексное растворимое соединение



где $\text{R} - \text{COOH}$ — молекула гуминовой кислоты.

Комплексное соединение двухвалентного железа с оксалатами образуется в соответствии с реакцией [5]

$$\begin{aligned} [\text{Fe} (\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{4-} &= \text{Fe}^{2+} + 3\text{C}_2\text{O}_4^{2-}; \\ K &= \frac{f_{\text{II}} [\text{Fe}^{2+}] f_{\text{II}}^3 [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]^3}{f_{\text{IV}} [\text{Fe} (\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{4-}} = 8 \cdot 10^{-9}. \end{aligned} \quad (1.2)$$

В случае обогащения воды растворенным кислородом двухвалентное железо окисляется до трехвалентного, гидролизуются и образует малорастворимый осадок гидроокиси железа, который находится в воде в виде коллоидного раствора. Трехвалентное железо находится в воде в виде ионов Fe^{3+} и продуктов их гидролиза.

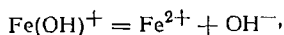
Как известно, во все уравнения, составленные на основе закона действия масс, подставляются концентрации иона в растворе в г-ионах (обозначаются концентрацией соответствующего иона, заключенной в квадратные скобки).

Численные значения констант равновесия K приняты нами по данным проф. Ю. Ю. Лурье [5].

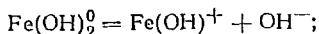
2. РАСЧЕТ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ В РАСТВОРЕ ИОНОВ, ПРОДУКТОВ ГИДРОЛИЗА И КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА

Для выбора метода обезжелезивания необходимо установить, при каких условиях железо не может быть выделено отстаиванием и фильтрованием из водного раствора; важно знать также условия перехода закисного и окисного железа из растворенного состояния в осадок.

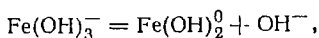
Для определения растворимости соединений железа необходимо количественно учитывать процесс гидролиза, который значительно увеличивает растворимость соединений железа, так как помимо ионов железа в растворе находятся продукты их гидролиза. Ионы двухвалентного железа в результате взаимодействия с водой гидролизуются, и продукты гидролиза диссоциируют в соответствии со следующими реакциями:



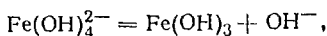
$$K_1 = \frac{f_{II} [\text{Fe}^{2+}] f_I [\text{OH}^-]}{f_I [\text{Fe}(\text{OH})^+]} = 10^{-5,56}; \quad (I.3)$$



$$K_2 = \frac{f_I [\text{Fe}(\text{OH})^+] f_I [\text{OH}^-]}{f_0 [\text{Fe}(\text{OH})_2^0]} = 10^{-4,21}; \quad (I.4)$$



$$K_3 = \frac{f_0 [\text{Fe}(\text{OH})_2^0] f_I [\text{OH}^-]}{f_I [\text{Fe}(\text{OH})_3^-]} = 10^{0,10}; \quad (I.5)$$



$$K_4 = \frac{f_I [\text{Fe}(\text{OH})_3^-] f_I [\text{OH}^-]}{[\text{Fe}(\text{OH})_4^{2-}] f_{II}} = 10^{1,11}. \quad (I.6)$$

Общее содержание ионов двухвалентного железа и продуктов его гидролиза в водном растворе

$$\begin{aligned} C_{\text{Fe(II)}}^{\text{общ}} = & [\text{Fe}^{2+}] + [\text{Fe}(\text{OH})^+] + [\text{Fe}(\text{OH})_2^0] + \\ & + [\text{Fe}(\text{OH})_3^-] + [\text{Fe}(\text{OH})_4^{2-}]. \end{aligned} \quad (I.7)$$

Из формул (I.3) — (I.7) следует:

$$[\text{Fe}(\text{OH})^+] = \frac{f_{\text{II}} [\text{Fe}^{2+}] f_{\text{I}} [\text{OH}^-]}{f_{\text{I}} \cdot 10^{-5,56}}; \quad (\text{I.8})$$

$$[\text{Fe}(\text{OH})_2^0] = \frac{f_{\text{II}} [\text{Fe}^{2+}] f_{\text{I}}^2 [\text{OH}^-]^2}{f_0 \cdot 10^{-9,77}}; \quad (\text{I.9})$$

$$[\text{Fe}(\text{OH})_3^-] = \frac{f_{\text{II}} [\text{Fe}^{2+}] f_{\text{I}}^3 [\text{OH}^-]^3}{f_{\text{I}} \cdot 10^{-9,67}}; \quad (\text{I.10})$$

$$[\text{Fe}(\text{OH})_4^{2-}] = \frac{f_{\text{II}} [\text{Fe}^{2+}] f_{\text{I}}^4 [\text{OH}^-]^4}{f_{\text{II}} \cdot 10^{-8,56}}; \quad (\text{I.11})$$

$$\begin{aligned} C_{\text{Fe(II)}}^{\text{св}} = & [\text{Fe}^{2+}] + \frac{f_{\text{II}} [\text{Fe}^{2+}] f_{\text{I}} [\text{OH}^-]}{f_{\text{I}} \cdot 10^{-5,56}} + \\ & + \frac{f_{\text{II}} [\text{Fe}^{2+}] f_{\text{I}}^2 [\text{OH}^-]^2}{f_0 \cdot 10^{-9,77}} + \frac{f_{\text{II}} [\text{Fe}^{2+}] f_{\text{I}}^3 [\text{OH}^-]^3}{f_{\text{I}} \cdot 10^{-9,67}} + \\ & + \frac{f_{\text{II}} [\text{Fe}^{2+}] f_{\text{I}}^4 [\text{OH}^-]^4}{f_{\text{II}} \cdot 10^{-8,56}}. \end{aligned} \quad (\text{I.12})$$

При расчетах, связанных с процессами очистки пресной воды для ионной силы раствора $\mu < 0,01$, пользуются сокращенным вариантом формулы Дебая — Гюккеля [4]:

$$\lg f_i = -0,5 Z_i \sqrt{\mu}, \quad (\text{I.13})$$

где f_i — коэффициент активности иона i ; Z_i — валентность иона i ; μ — ионная сила.

При $\mu > 0,01$ применяют формулу

$$\lg f_i = - \frac{0,5 Z_i^2 \sqrt{\mu}}{1 + 1,5 \sqrt{\mu}}. \quad (\text{I.14})$$

Для ориентировочных расчетов $\mu = 0,000022 P$, где P — общее содержание воды.

Для условий равновесного насыщения воды гидратом закиси железа содержание ионов двухвалентного железа

в воде может быть вычислено по формуле И. Э. Апелъцина:

$$\lg [\text{Fe}^{2+}] = -2\text{pH}_s + 2\text{pK}_w + \lg \text{PP}_{\text{Fe}(\text{OH})_2} + 2\sqrt{\mu}, \quad (\text{I.15})$$

где pH_s — pH равновесного насыщения воды гидратом окиси железа; $\text{PP}_{\text{Fe}(\text{OH})_2}$ — произведение растворимости гидрата закиси железа;

$$\text{PP}_{\text{Fe}(\text{OH})_2} = f_{\text{II}} [\text{Fe}^{2+}] f_1^2 [\text{OH}^-]^2; \quad (\text{I.16})$$

$$K_w = f_1 [\text{OH}^-] f_1 [\text{H}^+]; \quad (\text{I.17})$$

$$\lg f_{\text{II}} = -2\sqrt{\mu}. \quad (\text{I.18})$$

При обезжелезивании воды двухвалентное железо может выдселяться также в осадок в виде карбоната железа.

Значение pH равновесного насыщения воды карбонатом железа $\text{pH}_s(\text{FeCO}_3)$ может быть подсчитано по следующей формуле:

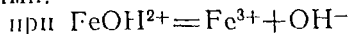
$$\text{pH}_s(\text{FeCO}_3) = \text{pK}_2 + \lg \text{PP}_{\text{FeCO}_3} - \lg [\text{Fe}^{2+}] - \lg \text{Щ} + 2,5\sqrt{\mu}, \quad (\text{I.19})$$

где Щ — щелочность воды.

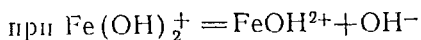
Из формул (I.12) и (I.15) следует, что чем выше pH воды, тем меньше содержание ионов двухвалентного железа в растворе и соответственно общее содержание растворенного двухвалентного железа.

Расчет по формулам (I.12) и (I.15) показывает, что при общем солесодержании в воде 500 мг/л и $\text{pH}=9,5$ в растворе останется менее 0,1 мг/л ионов закисного железа. Однако общее содержание ионов двухвалентного железа и продуктов его гидролиза в растворе будет составлять 0,85 мг/л.

Диссоциация продуктов гидролиза трехвалентного железа происходит в соответствии со следующими реакциями:



$$K_1 = \frac{f_{\text{III}} [\text{Fe}^{3+}] f_1 [\text{OH}^-]}{f_{\text{II}} [\text{FeOH}^{2+}]}; \quad (\text{I.20})$$



$$K_2 = \frac{f_{\text{II}} [\text{FeOH}^{2+}] f_1 [\text{OH}^-]}{f_1 [\text{Fe}(\text{OH})_2^+]}; \quad (\text{I.21})$$

при $\text{Fe}(\text{OH})_3^0 = \text{Fe}(\text{OH})_2^+ + \text{OH}^-$

$$K_3 = \frac{f_1 [\text{Fe}(\text{OH})_2^+] f_1 [\text{OH}^-]}{f_0 [\text{Fe}(\text{OH})_3^0]} ; \quad (1.22)$$

при $\text{Fe}(\text{OH})_4^- = \text{Fe}(\text{OH})_3^0 + \text{OH}^-$

$$K_4 = \frac{f_0 [\text{Fe}(\text{OH})_3^0] f_1 [\text{OH}^-]}{f_1 [\text{Fe}(\text{OH})_4^-]} ; \quad (1.23)$$

$$\Delta G_p = 9,24 \text{ кДж/моль } (2,21 \text{ ккал/моль}).$$

Общее содержание ионов трехвалентного железа и продуктов его гидролиза в водном растворе $C_{\text{Fe(III)}}^{\text{общ}}$ равно:

$$C_{\text{Fe(III)}}^{\text{общ}} = [\text{Fe}^{3+}] + [\text{FeOH}^{2+}] + [\text{Fe}(\text{OH})_2^+] + \\ + [\text{Fe}(\text{OH})_3^0] + [\text{Fe}(\text{OH})_4^-]. \quad (1.24)$$

Ниже приведены отрицательные логарифмы констант K_1, K_2, K_3 по данным Ю. Ю. Лурье [5], которые подтверждаются расчетом, выполненным нами по термодинамическим данным [7]. В связи с отсутствием значения константы равновесия K_4 в работе [5], численная величина pK_4 определена расчетом:

$$\text{FeOH}^{2+} \dots \dots \dots pK_1 = 11,87$$

$$\text{Fe}(\text{OH})_2^+ \dots \dots \dots pK_2 = 9,30$$

$$\text{Fe}(\text{OH})_3^0 \dots \dots \dots pK_3 = 9,50$$

$$\text{Fe}(\text{OH})_4^- \dots \dots \dots pK_4 = 1,62.$$

Термодинамические константы равновесия подсчитываются по формуле

$$\ln K = -\frac{\Delta G_p}{RT} \text{ или } \lg K = 0,175 \Delta G_p^0. \quad (1.25)$$

Здесь ΔG_p^0 — стандартная свободная энергия соответствующей реакции, кДж/моль; согласно закону Гесса,

$$\Delta G_p^0 = \Sigma G_{\text{продуктов}} - \Sigma G_{\text{исх.в}}, \quad (1.26)$$

где R — газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Из формул (I.20) — (I.23) можно вывести выражения для вычисления концентраций продуктов гидролиза:

$$[\text{Fe OH}^{2+}] = \frac{f_{\text{III}} [\text{Fe}^{3+}] f_1 [\text{OH}^-]}{f_{\text{II}} K_1}; \quad (\text{I.27})$$

$$[\text{Fe (OH)}_2^+] = \frac{f_{\text{III}} [\text{Fe}^{3+}] f_1^2 [\text{OH}^-]^2}{f_{\text{I}} K_2}; \quad (\text{I.28})$$

$$[\text{Fe (OH)}_3^0] = \frac{f_{\text{III}} [\text{Fe}^{3+}] f_1^3 [\text{OH}^-]^3}{f_0 K_3}; \quad (\text{I.29})$$

$$[\text{Fe (OH)}_4^-] = \frac{f_{\text{III}} [\text{Fe}^{3+}] f_1^4 [\text{OH}^-]^4}{f_{\text{I}} K_4}. \quad (\text{I.30})$$

Учитывая, что

$$f_{\text{III}} [\text{Fe}^{3+}] = \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3}}{f_1^3 [\text{OH}^-]^3}, \quad (\text{I.31})$$

общее содержание трехвалентного железа в виде ионов и продуктов гидролиза может быть подсчитано по формуле

$$\begin{aligned} C_{\text{Fe(III)}}^{\text{общ}} = & \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3}}{f_{\text{III}} f_1^3 [\text{OH}^-]^3} + \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3}}{f_1^2 [\text{OH}^-]^2 f_{\text{II}} K_1} + \\ & + \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3}}{f_1 [\text{OH}^-] K_2} + \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3}}{f_0 K_3} + \\ & + \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_4}}{K_4}. \end{aligned} \quad (\text{I.32})$$

Формула (I.32) справедлива для равновесного насыщения воды осадком гидроокиси железа. Анализ этой формулы показывает, что с повышением pH воды общее содержание ионов трехвалентного железа и продуктов гидролиза в растворе уменьшается. Зависимость относительной концентрации ионов трехвалентного железа и продуктов их гидролиза от pH приведена на рис. I.1.

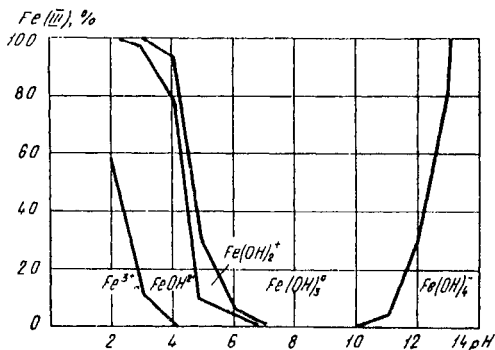
Растворимость трехвалентного железа и продуктов его гидролиза может быть рассчитана на основании следующих значений произведений растворимости [5]:

$$\text{ПР}_{\text{Fe}(\text{OH})_3} = f_{\text{III}} [\text{Fe}^{3+}] f_1^3 [\text{OH}^-]^3 = 3,2 \cdot 10^{-33}; \quad (1.33)$$

$$\text{ПР}_{\text{Fe}(\text{OH})_2} = f_{\text{II}} [\text{FeOH}^{2+}] f_1^2 [\text{OH}^-]^2 = 2 \cdot 10^{-26}; \quad (1.34)$$

$$\text{ПР}_{\text{Fe}(\text{OH})_2} = f_1 [\text{Fe}(\text{OH})_2^+] f_1 [\text{OH}^-] = 4 \cdot 10^{-17}. \quad (1.35)$$

Рис. 1.1. Зависимость относительного количества ионов трехвалентного железа и продуктов гидролиза от pH



Для условий равновесного насыщения воды гидратом окиси железа содержание ионов трехвалентного железа в воде может быть определено по формуле И. Э. Апелъцина [4]:

$$\lg [\text{Fe}^{3+}] = -3\text{pH}_s + 3\text{pK}_w + \lg \text{ПР}_{\text{Fe}(\text{OH})_3} + 4,5 \sqrt{\mu}. \quad (1.36)$$

Эта формула выводится аналогично формуле (1.15).

По формуле (1.36) можно высчитать, что для общего содержания 500 мг/л и $\text{pH}=3,5$ в растворе в ионной форме будет находиться 0,16 мг/л железа. Однако общее содержание растворенного железа, определенное по формуле (1.32), будет около 2 мг/л (см. рис. 1.1).

При $\text{pH}=6$ общее содержание растворенного трехвалентного железа составляет около 0,01 мг/л. Результаты расчетов, приведенные на рис. 1.1, интересно сопоставить с результатами экспериментов Хиртиса и Лерка [14] (рис. 1.2). Из этого сопоставления видно, почему в кислой среде коллоидные частицы железа имеют положительный заряд, а в щелочной — отрицательный.

Методику расчета общего содержания в растворе комплексных органических соединений покажем на примере оксалатов железа. Оксалаты входят в состав растений и поэтому иногда присутствуют в подземной воде.

Ступенчатую диссоциацию комплексов оксалатов

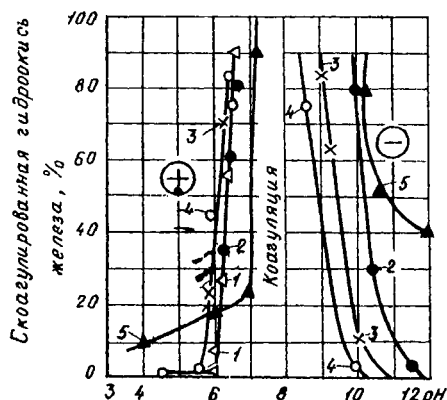


Рис. 1.2. Коагуляция гидроокиси железа при температуре 20°С и разных значениях pH (по данным Хиртиза и Лерка)

1, 2, 3, 4 — для бикарбонатной щелочности раствора, равной соответственно 12; 4; 1,2 и 0,4 мг-экв/л; 5 — для подного раствора FeCl₃. Условные обозначения: «+» — область положительных коллоидов; «-» — область отрицательных коллоидов

трехвалентного железа характеризуют следующие константы нестойкости:

$$K'_1 = \frac{f_I [\text{Fe} (\text{C}_2\text{O}_4)_2^-] f_{II} [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]}{f_{III} [\text{Fe} (\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}]} = 1,1 \cdot 10^{-4}; \quad (1.37)$$

$$K'_2 = \frac{f_I [\text{FeC}_2\text{O}_4^+] f_{II} [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]}{f_I [\text{Fe} (\text{C}_2\text{O}_4)_2^-]} = 1,2 \cdot 10^{-7}; \quad (1.38)$$

$$K'_3 = \frac{f_{III} [\text{Fe}^{3+}] [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] f_{II}}{f_I [\text{FeC}_2\text{O}_4^+]} = 4,7 \cdot 10^{-10}. \quad (1.39)$$

Отсюда

$$f_I [\text{FeC}_2\text{O}_4^+] = \frac{f_{III} [\text{Fe}^{3+}] f_{II} [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]}{K'_3}; \quad (1.40)$$

$$f_I [\text{Fe} (\text{C}_2\text{O}_4)_2^-] = \frac{f_{III} [\text{Fe}^{3+}] f_{II}^2 [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]^2}{K'_3 K'_2}; \quad (1.41)$$

$$f_{III} [\text{Fe} (\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}] = \frac{f_{III} [\text{Fe}^{3+}] [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]^3 f_{II}^3}{K'_3 K'_2 K'_1} \quad (1.42)$$

Общее содержание всех соединений трехвалентного железа в виде ионов трехвалентного железа, продуктов гидролиза и комплексных соединений оксалата железа может быть подсчитано на основании уравнений (I.32) — (I.40) по следующей формуле:

$$C_{\text{Fe(III)}}^{\text{общ}} = \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3}}{f_{\text{III}} f_1^3 [\text{OH}^-]^3} + \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3}}{f_1^2 [\text{OH}^-]^2 f_{\text{II}} K_1} + \\ + \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3}}{f_1 [\text{OH}^-] K_2} + \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3}}{f_0 K_3} + \\ + \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3} [\text{OH}^-]}{K_4} + \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3} f_{\text{II}} [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]}{f_1^3 [\text{OH}^-]^3 K_3'} + \\ + \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3} f_{\text{II}}^2 [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]^2}{f_1^3 [\text{OH}^-]^3 K_3' K_2'} + \frac{\text{ПР}_{\text{Fe(OH)}_3} [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]^3 f_{\text{II}}^3}{f_1^3 [\text{OH}^-]^3 K_3' K_2' K_1'}. \quad (\text{I.43})$$

Анализ формулы (I.43) позволяет сделать важный для технологии обезжелезивания воды вывод.

Общее содержание трехвалентного железа в растворе (в ионной форме, в виде продуктов гидролиза и комплексных соединений) уменьшается при увеличении pH воды. Следовательно, метод обезжелезивания воды аэрацией и подщелачиванием должен являться универсальным методом очистки воды от любых соединений железа, которые присутствуют в природной воде при $\text{pH} = 6 \dots 8$.

3. АЭРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ

Обезжелезивание воды на городских водопроводах применяется с конца прошлого века. Первые станции обезжелезивания воды были построены в Германии в Галле (1868 г.) и Шарлоттенбурге (1874 г.), а в 1910 г. только в Германии и Голландии их было уже около 130.

В настоящее время воду аэрируют на вентиляторной градирне перед фильтрованием, если исходная вода имеет отрицательный индекс стабильности. В этом случае окисление двухвалентного железа может закончиться в уравнительном резервуаре до фильтрования воды. Предварительное окисление двухвалентного железа осуществ-

вляется в случае использования окислительных и щелочных реагентов.

На станции обезжелезивания воды в Брайтоне, построенной несколько лет назад, исходная вода аэрируется с помощью специального аэратора и после отстаивания подается на фильтр, загруженный дробленным антрацитом с зернами крупностью 0,6—0,8 мм при высоте слоя 0,6 м. Скорость фильтрования составляет около 7,5 м/ч.

Попытки отказаться от аэрирования и отстаивания и ограничиться насыщением воды кислородом непосредственно перед фильтрованием оказались неудачными.

В штате Иллинойс (США) на станции обезжелезивания воды, работавшей по схеме аэрация — отстаивание — фильтрование, на зернах загрузки фильтров были обнаружены биологические обрастания. Непосредственными определениями были найдены в составе этих биологических обрастаний нитрифицирующие бактерии, которые окисляют азот аммонийных солей, присутствующих в природной воде, в нитриты и нитраты, а также бактерии других видов. В результате в фильтрующей загрузке создались восстановительные условия, что привело к увеличению содержания железа в фильтрате. В некоторых опытах было отмечено даже увеличение содержания двухвалентного железа в фильтрате по сравнению с его содержанием в исходной воде.

В СССР до 70-х годов строились в основном станции обезжелезивания по методу аэрации, окисления двухвалентного железа в контактном резервуаре и фильтрования. По этому методу окисление двухвалентного железа заканчивается обычно в контактном резервуаре, на фильтрах происходит лишь задержание взвеси гидроксидов железа. В этом случае расчет фильтров выполняется по формулам, выведенным для фильтрования мало-концентрированных суспензий [4, 9].

На основании опыта эксплуатации можно применять следующие технологические параметры фильтров станций обезжелезивания воды: расчетная скорость фильтрования 5—7 м/ч, крупность загрузки $d=0,5 \dots 1,2$ мм, коэффициент неоднородности 2—2,2, высота фильтрующего слоя $h=1200$ мм.

Благодаря работам отечественных исследователей — И. Э. Анельцина, В. А. Клячко, К. А. Мамонтова, Г. И. Николадзе, П. В. Корытина, Ю. С. Сергеева, А. Н. Пер-