

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

УДК628.3.16

ИННОВАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЛОЖНОГО СОСТАВА

*канд. техн. наук, доц. В.Д. ЮЩЕНКО; Е.С. ВЕЛЮГО
(Полоцкий государственный университет);
Т.В. КОЗИЦИН
(Аквапром, Полоцк)*

Рассматривается проблема превышения нормативного содержания железа в фильтрате систем водоснабжения, оказывающего негативное влияние на организм человека. Изучены процессы удаления железа из подземных вод. Проанализирована работа фильтров обезжелезивания воды. Показано влияние растворенного кислорода на процесс обработки воды.

Ключевые слова: фильтрующие загрузки; подземные воды, их состав, свойства; механизм фильтрации; растворенный кислород.

Водоснабжение населенных мест в Республике Беларусь практически на 100% осуществляется из подземных источников, причем для малых населенных пунктов вода очищается в напорных фильтровальных установках. В большинстве случаев эти установки не обеспечивают нормативное содержание железа в фильтрате, составляющее 0,3 мг/л по СанПиН 10-124-99 РБ.

Преимущественно в подземных водах железо находится в истинно растворенном состоянии в виде бикарбоната двухвалентного железа, которое находится в агрегативно-устойчивом состоянии при наличии большого количества углекислоты в отсутствие растворенного кислорода. Независимо от того, в какой последовательности протекают реакции окисления и гидролиза солей, конечным их продуктом всегда является гидроксид железа.

Представляется важным знать условия перехода закисного железа в окисное, из растворенного состояния в осадок с образованием соответственно гидрата закиси и гидрата окиси железа.

Процесс удаления железа из подземных источников значительно усложняется при наличии других сопутствующих загрязнителей, влияние которых на процесс обезжелезивания установить достаточно сложно, а в отдельных случаях невозможно. Чаще всего этими загрязнителями являются марганец и растворенные газы в виде азотных соединений, но могут быть и другие минеральные и органические вещества, такие как сульфаты, хлориды, микробиологические загрязнения и др.

Установлено, что сложный состав воды наблюдается в местности, где располагаются болотные массивы. Это характерно для Полесья, Полоцкой низины и других заболоченных территорий [1]. В этом случае вода нестабильного состава может привести к коррозии либо отложению в трубах, непосредственно или косвенно создавая условия, благоприятные для роста специфических бактерий. Кроме того, изменяются ее органолептические свойства. Показатели воды для хозяйственно-питьевых нужд также при ее использовании не соответствуют нормативным значениям СанПиН 10.124-99 РБ.

В настоящее время применяются различные *методы обработки воды сложного состава*: биологический; химическое окисление с использованием озона, хлора, перманганата калия и последующим фильтрованием или отстаиванием [2]. Для обезжелезивания подземных вод известны конструкции установок, работающих в режиме объемного фильтрования, в состав которых входит оборудование для аэрации воды и скорые фильтры, загруженные песчаной, керамзитовой или гравийной загрузкой [1].

Рассмотрим процесс обработки воды сложного состава при ее *аэрировании с последующим фильтрованием*.

Объект исследований – напорные фильтры типа ФОВ (фильтры осветлительные вертикальные) существующих установок обезжелезивания в Витебской области.

Для проведения экспериментов выбраны две установки обезжелезивания с загрузкой напорных фильтров кварцевым песком.

Первая установка работает в условиях забора подземных вод в бассейне заболоченной местности. Для обработки воды использован бактериологический метод, заключающийся в прохождении воды через слой биологически активной загрузки, расположенной над кварцевым песком. Двухвалентное железо под воздействием бактерий превращается в нерастворимые соединения трехвалентного железа, которые совместно с отмирающими бактериями выпадают в осадок или задерживаются как на поверхности, так и в верхних слоях фильтрующей загрузки. У типичных представителей железобактерий *Leptothrix*,

Metallogenium, *Siderocapsa* и др., развивающихся в пресных водах с нейтральной или слабощелочной средой, окисление железа и марганца происходит в результате взаимодействия выделяющейся перекиси водорода с ионами металлов (перекисный механизм). Активная реакция воды *pH* и окислительно-восстановительный потенциал *Eh* могут оказывать существенное влияние на развитие железобактерий, поэтому при использовании биотехнологий необходимо контролировать стабильность воды, что обычно не предусмотрено на станциях обезжелезивания. В данном случае, при условии низкой концентрации аммонийного азота, можно предположить, что в обработанной воде были бы достигнуты нормативные значения по железу с протеканием в основном биохимических процессов. Однако в процессе эксплуатации установлено отсутствие растворенного кислорода в фильтрате, а при вскрытии фильтров в фильтрующей загрузке обнаружены комки с колониями анаэробных железобактерий. Таким образом, наличие в воде аммонийного азота не позволяет достигнуть необходимого эффекта удаления железа.

Исследования по совместному снижению концентраций железа и аммонийного азота были выполнены с изменением интенсивности аэрации напорных скорых фильтров, оставляя неизменными параметры их работы по скорости фильтрования и условиям промывки песка (таблица 1). Предварительно была выполнена замена кварцевого песка и очистка нижней дренажной системы от отложений с заменой поврежденных дренажных колпачков.

Опыт № 1. Скорые фильтры после ремонта были выведены на расчетный режим эксплуатации с упрощенной аэрацией. В фильтрате растворенный кислород отсутствовал.

Опыт № 2. Произведена замена водоструйных насосов с удельной подачей воздуха до $0,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$ (до замены – $0,1 \text{ м}^3/\text{м}^3$). Содержание растворенного кислорода в фильтрате холодного периода составило $0,5 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$; теплого – до $3,5 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$.

Опыт № 3. В фильтры произведено добавление в загрузку с действующих скорых фильтров города Витебска биологически активной загрузки, состоящей из железобактерий.

Опыт № 4. Проведен эксперимент с дозированием извести перед фильтрами. Известь дозировалась в течение суток непосредственно в камеру смешения эжектора с одновременным контролем величины *pH*, равной 8. В результате было достигнуто содержание железа в фильтрате $0,23 \text{ мг/л}$, аммонийного азота – $2,0 \text{ мг/л}$. Однако значительный объем дополнительных затрат по организации реагентного хозяйства и приобретению извести не позволил реализовать это решение.

Опыт 5. Учитывая сравнительно положительные результаты опыта № 2, проведен эксперимент по дальнейшему увеличению подачи воздуха перед фильтрами. Для этого к эжектору был подключен воздушный компрессор. В результате установлено, что при достижении удельной подачи воздуха до $0,4 \text{ мгO}_2/\text{л}$ на 1 м^3 воды происходит снижение содержания железа до $0,22 \text{ мг/л}$, аммонийного азота – до $1,8 \text{ мг/л}$ при концентрации растворенного кислорода в фильтрате $1,5...2,0 \text{ мгO}_2/\text{л}$.

Таблица 1. – Показатели качества воды из скважины на различных стадиях ее обработки биологическим методом

Наименование показателей воды	Значения показателей качества воды							
	по НТПА	исходной воды	до опытов после фильтров	опыт № 1	опыт № 2	опыт № 3	опыт № 4	опыт № 5
Водородный показатель, ед. <i>pH</i>	6,5...8,5	7,4...7,7	7,4...7,7	7,5	7,7	7,6	8,2	7,5
Цветность, градусы	20	30	11...20	15	15	15	15	15
Мутность, мг/дм ³	2,6	2,9... 9,0	2,3... 5,7	2,8	3,0	2,6	1,5	1,5
Запах, привкус, баллы	2	3	2... 3	2	2	2	2	2
Жесткость, мг-экв/дм ³	7,0	6,0...7,0	6,0...7,0	–	–	–	–	–
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³	5,0	6,5	4,3... 6,4	5,5	5,0	6,0	4,5	4,8
Железо общее, мг/дм ³ , в том числе двухвалентное	0,3	3,44 3,1	1...1,6	0,7 –	0,3... 0,7 –	0,6 –	0,23 –	0,2 –
Азот аммонийный, мг/дм ³	2	2,5...3,5	2,5...3,0	2,6	2,5...3,5	2,5	2,0	1,5...1,8
Нитриты, мг/дм ³	3,0	–	0,03	–	–	–	–	–
Нитраты, мг/дм ³	45	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5

Таким образом, применение интенсивной аэрации воды при биологическом методе, кроме удаления общего железа, привело к следующим положительным результатам:

- более эффективное действие кислорода воздуха в воде;
- увеличение скорости химических реакций по переходу аммонийного азота в нитриты и нитраты;
- образование газообразного азота при окислении аммонийного азота кислородом с последующей отдувкой воздухом.

На другой из выбранных установок исследованы способы ввода сжатого воздуха с увеличением его интенсивности в толще фильтрующей загрузки (таблица 2).

Таблица 2. – Показатели качества воды из скважины на различных стадиях ее обработки

Наименование показателей воды	Значения показателей качества воды			
	по НТПА	исходной воды	после фильтра	
			до реконструкции	после реконструкции
Водородный показатель, ед. рН	6,5...8,5	7,4...7,7	7,4...7,7	7,7
Цветность, градусы	20	30	20	15
Запах, привкус, баллы	2	3	2... 3	2
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³	5,0	6,5	4,3... 6,4	5,0
Железо общее, мг/дм ³ , в том числе двухвалентное	0,3	3,44 3,1	1,0...1,6 –	0,3 –
Азот аммонийный, мг/дм ³	2	2,5...3,5	2,5...3,0	2,5...3,0
Нитраты, мг/дм ³	45	0,6	0,5	0,6

Для окисления ионов железа (переход двухвалентной формы в трехвалентную) часто применяется обогащение воды кислородом воздуха. Упрощенная аэрация воды в открытых фильтрах производится путем ее свободного излива с высоты 0,5...0,6 м. В напорных фильтрах аэрацию проводят в баке-аэраторе либо путем подачи сжатого воздуха компрессором или водоструйным насосом в трубопровод, по которому вода подается в фильтр [3]. Обычно концентрации растворенного кислорода 2...4 мг/л достаточно для ведения процесса обезжелезивания воды. Однако при обработке подземной воды сложного состава, когда требуется ее насыщение кислородом воздуха в концентрации 10 мг/л и более, удаление соединений двухвалентного железа становится невозможным вследствие того, что весь растворенный в воде кислород может быть израсходован еще в толще загрузки. В результате процессы окисления и задержания железа прекращаются. В некоторых случаях может происходить обратная реакция – задержанное железо в трехвалентной форме начинает восстанавливаться в двухвалентную форму и растворяться обратно в воду.

В процессе работы традиционного фильтра установлена малая эффективность снижения концентрации общего железа (1,0...1,6 мг/л) из-за расходования кислорода воздуха на удаление, прежде всего аммонийного азота. Определено, что недостатком известной конструкции является сбор и отвод избыточного воздуха, осуществляемый в верхней части корпуса фильтра. Это позволяет растворить в воде не более 2...4 мг/л кислорода (на каждые 0,1 МПа давления воздуха), что в данном случае будет недостаточным для полного окисления двухвалентного железа в трехвалентное и его осаждения на зернах загрузочного слоя в присутствии аммонийного азота.

Для решения данной проблемы были рассмотрены варианты увеличения концентрации растворенного кислорода в воде. Реализация поставленной задачи достигнута путем переоборудования фильтра обезжелезивания воды, в частности системы удаления избыточного воздуха, которая в известной конструкции выполнена в виде перфорированного трубопровода, располагаемого в нижней половине зернистого фильтрующего слоя, соединенного с верхним патрубком [4].

Отличительным признаком переоборудованного фильтра является иная форма выполнения системы выпуска избыточного воздуха и ее расположение в конструкции фильтра – организация потока воздуха производится сверху вниз через большую часть зернистого фильтрующего слоя, что сопровождается принудительной вентиляцией загрузки, полным окислением двухвалентного железа в трехвалентное и его дальнейшим задержанием на зернистой фильтрующей загрузке, обеспечивая тем самым содержание железа в фильтрате в пределах нормы.

Вода, насыщенная кислородом воздуха и содержащая двухвалентное железо, равномерно распределяется по поверхности зернистого фильтрующего слоя. По мере продвижения воды в толще зернистого фильтрующего слоя растворенный в воде кислород расходуется на окисление двухвалентного железа и других веществ, содержащихся в воде. То есть, с одной стороны, происходит расходование растворенного кислорода воды на окисление содержащихся в воде веществ, а с другой – происходит восстановление концентрации растворенного в воде кислорода за счет непрерывного перехода кислорода в воду из параллельно двигающегося потока воздуха. Избыточный воздух отводится в нижней половине зернистого фильтрующего слоя.

Таким образом, за счет того, что подача воздуха осуществляется в верхнюю часть фильтра, а отвод воздуха – в нижней части фильтра, организовывается принудительный поток воздуха снизу-вверх через

зернистый фильтрующий слой. Использование инновационной конструкции фильтра позволит повысить степень очистки воды от соединений двухвалентного железа с потребностью в кислороде более 10 мг/л путем увеличения количества растворенного кислорода в воде. Установка отличается простотой в конструкционном решении, также проста и в эксплуатации. Следует отметить, что место отвода воздуха зависит от качества исходной воды и в каждом конкретном случае определяется индивидуально.

В заключение проведенного исследования можно сделать следующие **общие выводы:**

- обработка подземных вод сложного состава от железистых соединений зависит от концентраций сопутствующих загрязнений, условий забора воды из скважин, причем влияние этих факторов установить достаточно сложно, а в некоторых случаях невозможно;

- выбор метода обработки воды должен осуществляться непосредственно у источника водоснабжения на основании произведенных опытов;

- при отсутствии положительных результатов работы существующих напорных установок обезжелезивания необходима их реконструкция. В случае применения кварцевой загрузки это возможно, применяя интенсивную аэрацию либо используя воздушные компрессоры, либо изменения системы отвода избыточного воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ющенко, В.Д. Анализ применения фильтрующих материалов для удаления загрязнений из подземных вод сложного состава / В.Д. Ющенко, Е.С. Велюго, С.И. Пивоварова // Вестник Полоц. гос. ун-та. Серия Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2018. – № 16. – С. 116–119.
2. Николадзе, Г.И. Улучшение качества подземных вод / Г.И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1987. – 240 с.
3. Особенности совместного удаления железа и аммонийного азота из подземных водоисточников в сооружениях напорного типа / В.Д. Ющенко [и др.] // Развитие инженерно-технических методов природообустройства и водопользования : сб. науч. трудов. – Калининград, 2018. – С. 98–108.
4. Фильтр обезжелезивания воды : полез. модель ВУ 12086 / Т.В. Козицин, В.Д. Ющенко, Е.С. Велюго. – Опубл. 02.01.2019.

Поступила 20.06.2019

INNOVATIONS IN THE TECHNOLOGY OF CLEANING UNDERGROUND WATERS OF COMPLEX COMPOSITION

V. YUSHCHENKO, E. VELYUGO, T. KOZITSIN

The problem of exceeding the normative iron content in the filtrate of water supply systems, which has a negative effect on the human body, is considered. Studied the processes of removal of iron from groundwater. The operation of water deferrization filters is analyzed. The effect of dissolved oxygen on the process of water treatment is shown.

Keywords: *filter media; groundwater, their composition, properties; filtering mechanism; dissolved oxygen.*