

УДК628.3.16

**АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЛОЖНОГО СОСТАВА**

*канд. техн. наук, доц. В.Д. ЮЩЕНКО; Е.С. ВЕЛЮГО;
канд. техн. наук С.И. ПИВОВАРОВА
(Полоцкий государственный университет)*

Проанализирована проблема системы водоснабжения малых объектов. Рассмотрены процессы удаления железа из подземных вод. Приведена сравнительная оценка различных видов фильтрующих загрузок. Выполнен анализ первоначального периода работы фильтров с песчаной и угольной загрузкой при использовании различных методов обезжелезивания воды. Установлено, что применение угольной загрузки более эффективно, чем песчаной.

Ключевые слова: *фильтрующие загрузки; состав, свойства; механизм фильтрации; подземные воды сложного состава; обработка; песчаная и угольная загрузка.*

Водоснабжение малых населенных мест в Республике Беларусь на 100% осуществляется из подземных источников, причем более чем на 60% территории наблюдается повышенное содержание в воде соединений железа, а также других элементов и соединений.

Железо в подземных водах нередко находится в виде бикарбоната закисного железа, органического или неорганического соединения в коллоидном состоянии, а также тонкодисперсных примесей. При низких значениях рН преобладает двухвалентная форма железа Fe^{2+} и $Fe(OH)_2$. Повышение значения рН более 6,5 приводит к окислению железа (II) в железо (III), которое в виде $Fe(OH)_3$ выпадает в осадок. На окисление 1 мг железа (II) расходуется 0,143 мг растворенного в воде кислорода. Процесс обогащения воды кислородом при контакте ее с воздухом происходит весьма интенсивно.

Однако в некоторых районах Республики Беларусь встречаются подземные воды, содержащие в повышенных концентрациях, кроме общего железа, множество других загрязняющих элементов и соединений, например, марганец, аммонийный азот, сероводород, метан, нефтепродукты, микробиологические загрязнения и т.д. [1–3], т.е. вода может иметь сложный состав с точки зрения ее обработки. В воде могут содержаться вещества и соединения, установить влияние которых на процесс обезжелезивания достаточно сложно, а иногда и трудно выполнимо. Причем удаление железа возможно только после окисления марганца и удаления растворенных газов.

Таким образом, в первую очередь протекают реакции окисления, гидролиза и удаления различных солей и растворенных газов, и только в этом случае конечным продуктом является образование гидроксида железа.

В настоящее время для обработки воды сложного состава малых объемов водопотребления применяются фильтры с различными загрузками, системами аэрации и использования реагентов, но не всегда обеспечивающие необходимый эффект удаления загрязнений [4].

Рассмотрим некоторые фильтрующие загрузки, применяемые для обработки сложного состава воды.

К традиционным загрузкам относят *инертные материалы* (песок, керамзит, доломит, уголь и его производные), которые являются сорбентами без изменения своего состава при контакте с водой, предварительно насыщенной кислородом (в основном из воздуха), концентрации которого достаточно для окисления не только железа, но и других загрязнителей подземных вод, прежде всего марганца, сероводорода и аммонийного азота. Обычно, если в воде содержится только железо, достаточно провести аэрацию объемом 0,1 м³ воздуха на 1,0 м³ воды, но при сложном составе это соотношение должно быть не менее 0,4:1,0 [5]. Скорость фильтрации рекомендуется принимать 7...10 м/ч.

Физико-химические процессы окисления марганца и железа основаны на способности воды, содержащей растворенный кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять эти соединения на поверхности зерен, образуя каталитическую пленку из ионов и окислов. На зернах фильтрующего слоя одновременно происходят реакции окисления и гидролиза. Процесс является гетерогенным автокаталитическим, в результате чего обеспечивается непрерывное обновление пленки как катализатора непосредственно при работе фильтра [6].

К недостаткам следует отнести длительное время (иногда 4–6 месяцев и более) «зарядки» фильтров до получения нормативных концентраций загрязнений в фильтрате при исходной воде сложного состава, большой удельный вес и гидравлическое сопротивление загрузки, что приводит к значительным энергетическим и эксплуатационным затратам.

Следующая группа фильтрующих загрузок представляет собой *материалы, обработанные окислителями, или в виде катионитов*, которые периодически должны восстанавливать свои первоначальные свойства реагентными способами [7]. Отличительной особенностью таких загрузок, в сравнении с традиционными материалами, является быстрое, практически мгновенное, получение воды требуемого качества по марганцу и железу. Они могут работать без предварительной аэрации воды. Скорость фильтрации составляет 15...30 м/ч, удаление задержанных загрязнений происходит обратной промывкой фильтров. Однако при продолжительном фильтровании часто происходит снижение окислительных свойств и повышение концентраций загрязнений, в результате чего требуется их регенерация.

Наиболее характерными материалами в первом случае являются кварцевые пески, обработанные окислителями, часто растворами $KMnO_4$ («черные» или «зеленые» пески, MZ «Greensand»). В последнее время интенсивно рекламируется *фильтрующий материал BIRM* (США). При его использовании необходимо принимать во внимание следующие факторы:

- содержание растворенного кислорода должно быть не менее 15% от содержания железа. Увеличение содержания кислорода приводит к значительному улучшению работы установки. В большинстве случаев уровень содержания кислорода недостаточен даже для выполнения минимальных требований, поэтому необходимо использовать дополнительную аэрацию воды с помощью специальных устройств (воздушный эжектор, компрессор или аэрационная колонна);

- величина рН должна быть не менее 6,8, скорость фильтрации в рабочем режиме – до 12 м/ч. При высоких давлениях и скоростях фильтрации удерживающие на поверхности загрузки агломераты гидроксида железа могут в результате их отрыва перейти в очищенную воду;

- рабочая емкость BIRM по железу принимается не более 1100 мг-экв Fe/dm^3 загрузки. Необходимо, чтобы в воде отсутствовали сероводород, нефтепродукты и полифосфаты, а перманганатная окисляемость не превышала 5 мг/ dm^3 . Окисление железа происходит до тех пор, пока марганцевое покрытие загрузки участвует в этом процессе. Загрузка BIRM может быть использована для снижения содержания марганца. В этом случае необходимы более высокие значения рН, чем для обезжелезивания (оптимально 8...9), к тому же следует учитывать, что при наличии в воде кислорода железо может практически не поддаваться окислению с переходом в коллоидное состояние.

В качестве катионитов представляет интерес использование комплексных материалов типа Ecomix C, FeroSOFT A, SuperFerox и др. (производитель предприятия России, Украины, Беларусь), заряженные ионами натрия. Это многоцелевые ионообменные крупнопористые материалы, состоящие из смеси органических высокомолекулярных катионообменных смол, иногда с дополнительной кварцевой подложкой, подобранных в специальных пропорциях для обеспечения одновременного удаления железа, удаления марганца, содержания аммония и алюминия. Снижения окисляемости и общей жесткости. Для регенерации фильтрующей загрузки используется хлорид натрия из расчета 80...100 мг/ dm^3 катионита, что значительно усложняет процесс обработки воды.

Представленные комплексные материалы отличаются от обычных катионитов своим структурным составом и избирательной способностью по марганцу и железу, прежде всего КУ-1 и КУ-2, зарубежных марок IRC-50, Вофатит С и др., главная цель которых – умягчение воды, однако требуют тщательного предварительного осветления и обесцвечивания.

Общий вывод по этой группе материалов – высокая их стоимость, низкая способность удаления растворенных газов, а применение растворов окислителей или таблетированной соли (хлорид натрия) значительно усложняет процесс обработки воды.

Начиная с 2000-х годов в практике водоподготовки, особенно при малых объемах водопотребления и любого концентрационного состава, стали широко использовать группу сорбентов, имеющих в своем составе как главную составляющую алюмосиликатную группу. Также в состав могут входить пластификаторы, порообразователи, ПАВ и СПАВ [8].

Основой для получения этих материалов служит доломит (тип МЖФ), пиролюзит (сорбенты АС и МС), определенные сорта глины (цеолиты) и т.д.

Каталитические алюмосиликатные сорбенты не обработаны дополнительно химически активными покрытиями на основе марганца или активного металла. Это одно из принципиальных отличий сорбента от загрузок типа BIRM, Greensand, МЖФ, а также черных песков. Активные компоненты входят в структуру гранул сорбента равномерно, что обеспечивает их работу при удалении широкого спектра загрязнений, включая железо, стронций, алюминий, нефтепродукты, фенол, фтор, растворенные газы и др.

Область использования данных материалов чрезвычайно широка – от локальных бытовых систем очистки воды, устанавливаемых в загородных домах и городских квартирах, до муниципальных станций водоподготовки, станций водоподготовки промышленных предприятий, котельных и других объектов хозяйственной деятельности. Если применяются многоступенчатые схемы фильтрования, то фильтры с сорбентами рекомендуют устраивать, как правило, в начале технологической цепочки, которые принимают на себя основной объем загрязнений.

В отдельных случаях применяются совместно различные марки сорбентов (например, АС и МС), в результате чего повышается их активность не только по железу, но и в отношении других загрязнений.

Данные по воздействию сорбентов на дисперсную водную систему из подземных источников противоречивы и окончательно еще не установлены. Эти материалы являются щелочными по своей сути, и во время контакта поверхности гранул и воды происходит локальное увеличение pH воды, которое сдвигает реакции окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} с образованием $Fe(OH)_3$. Их представляют как катализаторы окисления в реакциях взаимодействия растворённого кислорода с соединениями различных катионов, например, железа (II) и (III), в результате чего образуются их гидроксиды, которые переводятся в нерастворимую форму с последующим удалением в фильтрах обратным током воды. Предполагается, что при наличии алюмосиликатной группы на его гранулах формируется каталитическая плёнка гидроксидных катионов, которая ещё больше повышает сорбционные свойства материала уже как инертной загрузки, обуславливая тем самым продолжительность её работы (7–10 лет).

Однако из опыта эксплуатации фильтров ряда установок водоподготовки малых объемов водопотребления в Витебской области, которые загружены подобными сорбентами (АС, ZEOL), установлено, что через 6–12 месяцев их работы показатели воды резко ухудшаются, и требуется их замена. Скорее всего, эти материалы являются адсорберами, и со временем происходит истощение алюмосиликатной составляющей без возможности их регенерации.

Следует отметить довольно высокую стоимость всех рассмотренных материалов по сравнению с традиционными загрузками скорых фильтров при обработке подземных вод сложного состава.

По зарядке фильтров с традиционными загрузками на ряде малых объектах со сложным составом подземных вод были проведены эксперименты с использованием кварцевого песка и коксующего антрацита. Начальные концентрации загрязнений составили: Fe^{2+} – до 3,4; Fe^0 – 4,5; Mn^{2+} – 1,0; H_2S – 1,3 мг/дм³, в малых количествах присутствовали бор и литий. Предварительное азирование производилось по соотношению 0,45 м³ воздуха на обработку 1 м³ воды. Скорость фильтрации для начального периода работы фильтров была принята не более 5 м/ч. Промывка обратным током воды выполнялась через каждые трое суток работы фильтров. Результаты представлены на рисунке 1.

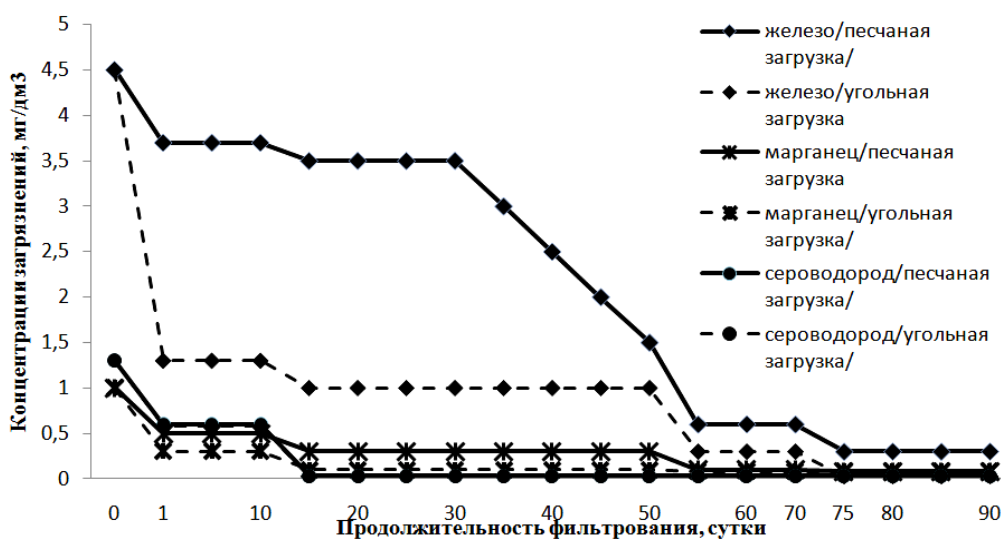


Рисунок 1. – Вывод («зарядки») фильтров с песчаной и угольной загрузкой при обработке подземной воды сложного состава

Заключение. Полученные результаты подтверждают, что продолжительность «зарядки» фильтров имеет длительный период. Скорость фильтрации при этом может быть повышена до 10 м/ч, но при нормальной работе фильтров. Применение угольной загрузки, как было спрогнозировано, более эффективно, чем песчаной. В дальнейшем планируется более тщательное изучение использования модифицирующих загрузок для обработки подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуринович, А.Д. Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения / А.Д. Гуринович. – Минск : Технопринт, 2001. – 304 с.

2. Ющенко, В.Д. К вопросу обезжелезивания воды для малых населенных пунктов / В.Д. Ющенко, Г.А. Подсадник // Труды БГТУ. – 2010. – № 7. – С. 244–249.
3. Ющенко, В.Д. Анализ работы систем водоснабжения малых населенных пунктов / В.Д. Ющенко, Е.С. Велюго // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : материалы IV междунар. науч.-практ. конф. // Сборник материалов БрГТУ. – 2013. – С. 76–79.
4. Водозаборно-очистные сооружения и устройства / М.Г. Журба. – М. : Изд-во Астрель ; Изд-во АСТ, 2003. – 569 с.
5. 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. тр. – Калининград, 2018. – С. 98–108.
6. Николадзе, Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г.И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1978. – 160 с.
7. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения : ТКП 45-4.01-320-2018. – Минск : НПП РУП «Стройтехнорм», 2018. – 65 с.
8. Сорбенты и сменные загрузки [Электронный ресурс] : каталог сорбентов и сменных засыпок для водоподготовки: БелАкваМир. – Дата доступа: 17.12.2018.

Поступила 21.12.2018

ANALYSIS OF THE USE OF FILTER MATERIALS TO REMOVE CONTAMINANTS FROM GROUND WATER COMPLEX COMPOSITION

E. VELYUGO, V. YUSHCHENKO, S. PIVOVAROVA

The article deals with the water supply system of small objects. The processes of iron removal from groundwater are considered. Comparative evaluation of different types of filter media. The analysis of the initial period of operation of filters with sand and coal loading using different methods of de-Ironing water. It is found that the use of coal loading is more effective than sand.

Keywords: *filter media; structure, properties; mechanism of filtration; groundwater complex composition; treatment; sand and coal download.*