

УДК 628.16.081

ПРИМЕНЕНИЕ КОАГУЛЯНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ОБЕСКРЕМНИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

© 2016 г. Г.Б. Браяловский, Е.В. Мигалатий, А.Ф. Никифоров

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

Ключевые слова: обезжелезивание, обескремнивание, снижение окисляемости, коагуляция, окисление, гипохлорит натрия, контактная фильтрация, перманганат калия, полиоксихлорид алюминия, перманганатная окисляемость, г. Нижняя Салда, подземные воды.

Представлены результаты очистки подземной воды с повышенным содержанием железа, кремния и высокой перманганатной окисляемостью. Предложена новая технология обезжелезивания и обескремнивания на основе процессов коагуляции и окисления. В процессе очистки вода обрабатывается одновременно коагулянтom (полиоксихлорид алюминия) и окислителем (перманганатом калия), а затем фильтруется на зернистой загрузке. Установлено, что оптимальное соотношение $Al/KMnO_4$ должно быть равным 10. Одновременная обработка окислителем и коагулянтom позволяет эффективно удалять железо вместе с органикой. Предложенная технология может быть рекомендована для одновременного обезжелезивания и обескремнивания подземных вод с перманганатной окисляемостью свыше 5 mgO_2/l .

Вопросы обезжелезивания и обескремнивания подземных вод в условиях нецентрализованного водоснабжения могут решаться путем разработки, исследования и внедрения современной высокоэффективной технологии водоподготовки с применением малогабаритных и надежных водоочистных установок и устройств. Актуальными направлениями являются разработка и применение дополнительных технологических приемов для интенсификации процесса удаления железа и кремния, поиск оптимальных доз и комбинаций реагентов, а также исследование свойств современных фильтрующих материалов.

Российские санитарные нормы ограничивают общее содержание железа в воде для хозяйственно-питьевых нужд до 0,3 мг/л. В некоторых странах допустимое содержание составляет 0,2 мг/л. Фактически концентрация железа в подземных грунтовых водах находится в пределах от 0,5 до 50 мг/л. Начиная с концентрации 1,0–1,5 мг/л вода имеет неприятный металлический привкус. При уровнях выше 0,3 мг/л железо оставляет пятна на белье

и санитарно-технических изделиях. При концентрации железа ниже 0,3 мг/л запах обычно не ощущается, хотя могут появляться мутность и цветность воды [1].

Анаэробная (не имеющая контакта с воздухом) прозрачная грунтовая вода может содержать соединения двухвалентного железа (Fe^{2+}) до нескольких миллиграммов на литр без ее помутнения при прямой подаче из источника. Однако при контакте с воздухом, а точнее с кислородом, двухвалентное железо окисляется до трехвалентного коллоидного состояния, что придает воде характерный красно-коричневый оттенок. Гидроксид трехвалентного железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ коагулирует и переходит в оксид железа $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, выпадающий в виде бурых хлопьев.

Железо способствует также развитию «железобактерий», которые получают энергию при окислении Fe^{2+} до Fe^{3+} , в результате чего в трубопроводах и на оборудовании образуется скопление слизи. В процессе окисления на 1 мг Fe^{2+} затрачивается 0,143 мг кислорода (O_2), увеличивается содержание свободной углекислоты на 1,6 мг/л, а щелочность снижается на 0,036 мг-экв/л [2]. Присутствие в воде солей меди, а также контакт воды с ранее выпавшим осадком $\text{Fe}(\text{OH})_3$ каталитически ускоряет процесс окисления Fe^{2+} до Fe^{3+} .

В зависимости от условий (значение pH, температура, наличие в воде окислителей или восстановителей, их концентрация) окисление может предшествовать гидролизу, идти параллельно с ним или окислению может подвергаться продукт гидролиза двухвалентного железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$.

Очистка воды от соединений железа является в ряде случаев довольно сложной задачей, которая может быть решена только комплексно. В соответствии с требованиями СНиП [3] метод обезжелезивания воды, расчетные параметры и дозы реагентов следует принимать на основе результатов технологических изысканий, выполненных непосредственно у источника водоснабжения.

Подземные воды Свердловской области характеризуются повышенным содержанием кремния, марганца, железа [4]. Зачастую эти загрязнения встречаются на фоне высокой (свыше 5 мг O_2 /дм³) перманганатной окисляемости, что затрудняет их удаление.

На кафедре водного хозяйства и технологии воды Уральского федерального университета проведены исследования по обезжелезиванию и обескремниванию водопроводной воды г. Нижняя Салда Свердловской области. Содержание железа 0,9 мг/дм³, кремния 11,1 мг/дм³, окисляемость 7,0 мг O_2 /дм³, pH=6,5. Принята реагентная схема очистки, при которой в воду вводили соответствующие реагенты, далее ее сразу фильтровали на легкой зернистой загрузке из дробленых диатомитовых пород со скоростью 10–12 м/ч. Предварительные исследования показали, что смешение дан-

ной воды с кислородом, хлором или перманганатом калия не приводили к удалению железа, а только увеличивали цветность. Очевидно, окислители вступали в реакцию с присутствующими органическими веществами, и реакция окисления железа шла медленно (в присутствии сильных окислителей) или не шла вообще (в присутствии кислорода). Как известно, органические вещества, обуславливающие высокую перманганатную окисляемость, являются ингибиторами процессов обезжелезивания.

Поскольку главным сдерживающим фактором процесса обезжелезивания данной воды является высокая окисляемость, было принято решение вводить вместе с сильным окислителем (перманганатом калия) алюминиевый коагулянт – полиоксихлорид алюминия (ПОХА). Опытным путем установлено, что соотношение $Al/KMnO_4 = 10$ оптимально для исследуемой воды и все последующие опыты проводили в данной пропорции реагентов. Порядок введения реагентов был одновременным. Результаты эксперимента представлены на рис. 1, 2, 3.

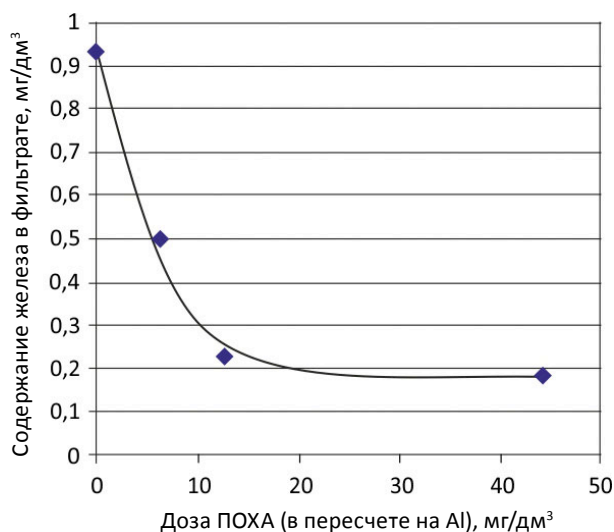


Рис. 1. Зависимость концентрации железа в фильтрате от дозы коагулянта ПОХА (рН = 6,5).

Как следует из рис. 1 и 2, одновременная обработка окислителем и коагулятом позволила эффективно удалить железо вместе с органикой. При дозах ПОХА 10 мг/дм^3 , $KMnO_4$ 1 мг/дм^3 содержание железа, кремния и ПМО в фильтрате становятся соответствующими питьевым нормам [3]: железо – менее $0,3 \text{ мг/дм}^3$; кремний – 8 мг/дм^3 , ПМО – $3,5 \text{ мг/дм}^3$.

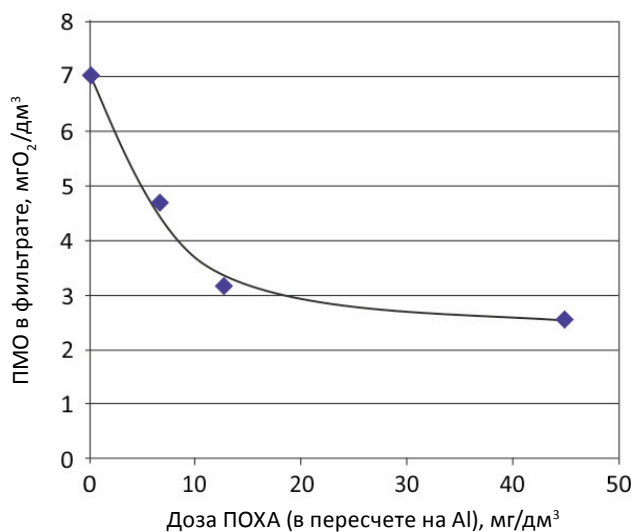


Рис. 2. Зависимость перманганатной окисляемости в фильтрате от дозы коагулянта ПОХА (рН = 6,5).

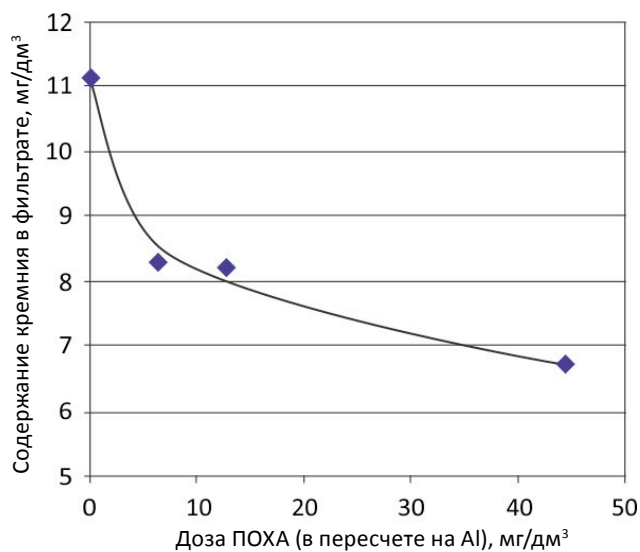


Рис. 3. Зависимость концентрации кремния в фильтрате от дозы коагулянта ПОХА (рН = 6,5).

Механизм удаления загрязнений представляется следующим. Введение перманганата калия в исследуемую воду приводит к мгновенному образованию некоторого количества нерастворимых соединений MnO_2 и $Fe(OH)_2$. Данные нерастворимые соединения становятся центром образования микрохлопьев коагулянта – $Al(OH)_3$, т. е. ускоряют процесс коагуляции. Хлопья коагулянта захватывают органические вещества, мешающие процессу обезжелезивания. Снижается перманганатная окисляемость. Перманганат калия быстро и в полном объеме вступает в реакцию с железом, окисляя его до нерастворимого $Fe(OH)_3$. На рис. 3 представлено, как коагуляцией удалось снизить содержание кремния ниже питьевых норм. В процессе фильтрации обработанной реагентами воды используемая загрузка модифицировалась: ее гранулы покрылись гидроксидами марганца и железа, которые также являются катализаторами реакций обезжелезивания.

В целом предлагаемая технология одновременного введения окислителя и коагулянта с последующей фильтрацией на зернистой загрузке показала положительный результат и может быть рекомендована для одновременного обезжелезивания и обескремнивания подземной воды с повышенной перманганатной окисляемостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. Т. 1. Женева: ВОЗ, 2004. 63 с.
2. Лифшиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. М.: Энергия, 1976. 288 с.
3. СНиП 2.04.02–84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М.: ГП ЦПП, 1996. 128 с.
4. Резолюция регионального съезда водоканалов Свердловской области. Проблемы и пути повышения эффективности предприятий водохозяйственного комплекса. 15-16 октября 2014 года [Электронный ресурс] // er.ru: официальный сайт партии ЕР. URL: <https://er.ru/projects/chistaya-voda/userdata/files/2014/11/28/vodokanal.doc>

Сведения об авторах:

Браяловский Георгий Борисович, канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002 г. Екатеринбург, ул. Мира, 17; e-mail: bgb@rambler.ru

Мигалатий Евгений Васильевич, д-р техн. наук, профессор, кафедра водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002 г. Екатеринбург, ул. Мира, 17; e-mail: emigalatij@yandex.ru

Никифоров Александр Федорович, д-р хим. наук, профессор, кафедра водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002 г. Екатеринбург, ул. Мира, 17; e-mail: vupper@rambler.ru