

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

*Д. Э. ПРОПОЛЬСКИЙ, А. В. СИНЯВСКАЯ*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
d.propolsky@gmail.com*

**Актуальность.** Важным аспектом жизнедеятельности человека является использование чистой питьевой воды. Документом, нормирующим показатели качества питьевого водоснабжения в Республике Беларусь, является постановление Совета Министров от 25 января 2021 г. № 37. Для большинства стран подземные воды являются основным источником питьевого водоснабжения. Это вызвано стабильностью состава и микробиологической безопасностью анаэробных подземных вод.

Каждый источник водоснабжения характеризуется рядом загрязнений [1]. Например, загрязнение подземных вод тяжёлыми металлами может быть вызвано антропогенным воздействием на почву. Для Республики Беларусь актуальным является вопрос повышенной концентрации железа Fe (II) и марганца Mn (II) в подземных водах. Предельно допустимая концентрация (ПДК) Fe (II) и Mn (II) в питьевой воде составляет 0,3 мг/л и 0,1 мг/л соответственно. Эффективность водоподготовки в соответствии с требованиями стандарта будет зависеть от выбора надлежащего метода обезжелезивания и деманганации.

**Цель работы** – описать существующие методы обезжелезивания и деманганации, провести их сравнительный анализ и рассмотреть перспективные направления удаления железа и марганца.

**Основные результаты.** Железо и марганец в подземных водах обычно встречаются в паре. Повышенная концентрация данных металлов обусловлена растворением природных минералов и Fe-, Mn-содержащих пород в анаэробных условиях в процессе фильтрации осадков. Соотношение Fe/Mn в подземных водах будет зависеть от поступления нитратов в неглубокие водоносные горизонты. Обычно концентрация железа Fe в 20–60 раз выше, чем марганца Mn. Между тем окисление Mn<sup>2+</sup> более проблематично, чем Fe<sup>2+</sup> из-за более высокого окислительно-восстановительного потенциала марганца. Источниками железа в подземных водах являются минеральные оксиды (гематит, магнетит и лимонит), сульфиды FeS<sub>2</sub> (пирит), сульфаты Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, силикаты (пироксин, амфиболы), карбонаты FeCO<sub>3</sub> (сидерит) и бикарбонаты Fe(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Марганец в подземных водах встречается преимущественно в форме бикарбоната Mn(HCO<sub>3</sub>).

Для улучшения процессов удаления железа и марганца обязательно проведение исследования источника водоснабжения на пилотных установках.

Разнообразие реакций, которые могут возникать с этими металлами, обширно. Поэтому выбор метода будет зависеть от параметров качества питьевой воды, влияющих на процессы удаления железа и марганца. Сюда относятся концентрации и формы Fe(II) и Mn(II) в исходной воде, pH, щелочность, жёсткость, температура, мутность, наличие контакта железа и марганца с органическими веществами и кислотами, содержание углекислого газа (CO<sub>2</sub>) и растворенного кислорода и т. д. Например, высокое значение pH, окислительно-восстановительного потенциала и наличие растворённого кислорода в обрабатываемой воде способствует увеличению эффективности удаления железа до 70 %. Кроме того, высокое значение pH может указывать на более низкую концентрацию растворенных форм Fe(II) и Mn(II) в подземных водах.

Обработка подземных вод может осуществляться физическими, химическими, биологическими методами. Обезжелезивание и деманганация осуществляется при сочетании химических и биологических процессов. Наиболее распространёнными методами удаления Fe и Mn из подземных вод являются метод упрощённой аэрации с последующим фильтрованием [2], метод «сухого» фильтрования [2], вакуумно-эжекционный метод, обезжелезивание на каркасных фильтрах, добавление реагентов-коагулянтов, окислителей (хлор и гипохлоритом натрия, перманганат калия), озонирование, подщелачивание воды путём добавления извести, а также окисление на основе каталитической загрузки. К нетрадиционным методам удаления железа и марганца относятся ионообменный метод, обезжелезивание в пласте (метод «Vyredox»), мембранная или биологическая фильтрация.

Применение нетрадиционных методов рационально при необходимости комплексной очистки подземных вод от нескольких загрязняющих веществ. Кроме того, для увеличения эффективности удаления железа и марганца возможно использование комплексных методов. Например, технологическая схема, состоящая из последовательных этапов аэрации, марганцево-песчаного фильтра и ультрафильтрации. Это позволяет увеличить эффективность удаления ионов Fe<sup>2+</sup> и Mn<sup>2+</sup> из подземных вод после марганцево-песчаного фильтра до 100 % и 90 % соответственно. Окисление железа в основном происходило в процессе аэрации, тогда как окисление марганца в основном происходило на марганцево-песчаном фильтре.

Важным замечанием проведенного анализа является то, что все представленные методы либо включают в себя, либо предполагают этап последующей фильтрации. Это связано с необходимостью полного удаления образованных после окисления нерастворимых форм железа и марганца (Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup>), хлопьев после этапа коагуляции и т.д. Несмотря на эффективность представленных методов удаления железа и марганца, они имеют ряд ограничений. К ним можно отнести:

– сложность эксплуатации установки и чрезмерно высокие эксплуатационные затраты метода (вакуумно-эжекционный метод и озонирование).

Также применение таких методов потребует высокой квалификации рабочего персонала;

- добавление вторичных химических соединений в воду (коагуляция, флотация, добавление извести, введение реагентов-окислителей) приводит к увеличению производительности. В то же время возникает необходимость регулярного подбора оптимальной дозы реагента, площадей для хранения реагентов, утилизации образованного химического осадка. Использование хлора также является повышено опасным. Всё это влечёт за собой увеличение эксплуатационных расходов станции водоподготовки;

- малые исходные концентрации Fe и Mn (мембранный метод и фильтрация через каркасные фильтры). Нарушение этих ограничений приводит к быстрой закупорке фильтрующего элемента и к его частой замене;

- применение биологических методов (биологическая фильтрация) является экологически чистым и менее дорогостоящим, но для жизнедеятельности бактерий требуется создание особых благоприятных условий. Это также затрудняет эксплуатацию установки;

- упрощённая азрация с последующим фильтрованием и метод сухого фильтрования просты в применении. Сложности возникают при наличии в обрабатываемой воде органических соединений. Контакт железа и марганца с такими соединениями приводит к образованию форм Fe- и Mn-бактерий. Это затрудняет образование адсорбционно-каталитической оксидной плёнки и для очистки обрабатываемой воды потребуется этап обеззараживания;

- фильтрация через каталитическую загрузку также неэффективно в отношении органического Fe и Mn. При этом наличие на поверхности каталитического материала слоя, способствующего инактивации микроорганизмов, позволит избежать недостатков метода. В качестве каталитической загрузки также могут применяться полифункциональные модифицированные фильтрующие материалы [3, 4].

Модификация материала позволяет изменять и улучшать характеристики исходного материала, использовать для модификации дешёвые исходные материалы либо переработанные отходы производства. Это позволит снизить затраты станции водоподготовки и стоимость очищенной подземной воды.

**Выводы.** Обезжелезивание и деманганация являются актуальными вопросами водоподготовки. Применение эффективных и доступных методов позволит упростить процесс водоподготовки, но существует ряд ограничений. Рассмотренные методы удаления железа и марганца либо включают, либо требуют этапа последующей фильтрации. Наиболее перспективным и доступным является применение фильтрации через каталитическую загрузку. Нанесение на поверхность фильтрующего материала сразу нескольких окислителей во время модификации позволит устранить существующие недостатки метода. Перспективным направлением является разработка полифункциональных каталитических фильтрующих материалов [5].

## Список литературы

1 **Yushchenko, V.** Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // Groundwater for Sustainable Development. – 2023. – № 22. – P. 100943. – DOI : 10.1016/j.gsd.2023.100943.

2 **Yushchenko, V.** Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // Environmental Technology. – 2023. – P. 1–8. – DOI : 10.1080/09593330.2023.2185820.

3 **Пропольский, Д. Э.** Модифицированный активированный уголь для обезжелезивания подземных вод / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 47–50.

4 **Пропольский, Д. Э.** Полифункциональный модифицированный уголь для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2020. – № 4. – С. 103–111. – DOI : 10.35567/1999-4508-2020-4-7.

5 Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky, [et. al.] // Environmental Research. – 2020. – Vol. 182. – P. 108996. – DOI : 10.1016/j.envres.2019.108996.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF DE-IRONING AND DEMANGANATION METHODS OF UNDERGROUND WATER

*D. E. PRAPOLSKI, A. V. SINYAVSKAYA*

*Belarusian National Technical University, Minsk*

УДК 628.196

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ДЕМАНГАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

*Д. Э. ПРОПОЛЬСКИЙ, К. С. ЮРКЕВИЧ*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
d.propolsky@gmail.com*

**Актуальность.** В ряде стран основным источником питьевого водоснабжения являются подземные воды. Для безопасного водопользования необходимо, чтобы очищенная вода соответствовала требованиям стандартов. Для Республики Беларусь документом, нормирующим показатели качества питьевого воды, является постановление Совета Министров от 25 января 2021 г. № 37.

Важным ограничением использования того или иного метода водоподготовки являются особенности конкретно взятого источника водоснабжения. Для Республики Беларусь актуальным вопросом является удаление железа Fe (II) и марганца Mn (II) в подземных водах. Для надлежащей очистки воды