

Новицкая А. В.

Научный руководитель Пропольский Д. Э.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Необходимым условием обеспечения жизнедеятельности человека является использование питьевой воды надлежащего качества. В ряде стран основным источником питьевого водоснабжения являются подземные воды. Это обусловлено микробиологической безопасностью и стабильностью состава анаэробных подземных вод. Водоподготовка до требования стандартов является важным аспектом безопасного водопользования. В Республике Беларусь таким нормирующим документом является Постановление Совета министров 25 января 2021 г. № 37 [1]. Для выбора эффективного метода водоподготовки необходимо учитывать особенности конкретно взятого источника водоснабжения. Кроме того, антропогенное воздействие на почву вблизи зон санитарной охраны может привести к загрязнению подземных вод тяжёлыми металлами.

В Республике Беларусь и ряде других стран актуальным вопросом водоподготовки является снижение содержания железа (II) и марганца (II) в питьевой воде до предельно допустимых концентраций (0,3 мг/л и 0,1 мг/л соответственно) [1]. В данном материале представлен сравнительный анализ мониторинга подземных вод бассейнов рек Беларуси, количества станций обезжелезивания, а также анализ методов обезжелезивания и деманганации.

Характерной геохимической особенностью подземных вод Республики Беларусь является повышенное содержание железа. Для мониторинга состояния подземных вод производится регулярное исследование гидрохимических показателей ряда наблюдательных скважин. Согласно результатам мониторинга за 2019 – 2022 года [2-6] наблюдается тенденция увеличения содержания Fe в подземных водах по всей территории Беларуси. Так превышение предельно-допустимой концентрации (ПДК) $Fe_{\text{общ}}$ в подземных водах бассейнов рек Днепр, Нёман и Припять за 2022 составило в 23, 25 и 74 раза соответственно. Для питьевого водоснабжения ПДК $Fe_{\text{общ}}$ составляет 0,3 мг/дм³ [1]. Между тем анализ мониторинга затруднён в связи с изменениями выбранных для исследования гидрохимических скважин и их количества. Кроме того, наличие хотя бы одной скважины с многократным превышением концентрации железа

существенно изменяет общий показатель по всему бассейну реки. Регулярный мониторинг одинакового количества одних и тех же скважин в течение длительного периода позволит проводить анализ более корректно.

Согласно отчётам о реализации Государственной программы «Комфортное жильё и благоприятная среда» (подпрограмма «Чистая вода») за периоды 2016–2020 года [7], а также 2021–2022 [8,9] года в Республике Беларусь введено в эксплуатацию 1012 станций обезжелезивания. Задачей подпрограммы «Чистая вода» на период 2021–2025 года [10] является введение в эксплуатацию 864 станций обезжелезивания по всей территории страны. Таким образом к 2022 год процент выполнения составляет 42,4%. Это подчёркивает актуальность удаления железа для всех бассейнов рек Республики Беларусь.

Следует отметить, что железо в подземных водах обычно встречаются в паре с марганцем [11]. Это связано с парагенетической связью элементов. Процессы удаления Fe и Mn из природных вод идентичны, но условия для одновременного и эффективного удаления данных металлов различны. Повышенная концентрация Fe и Mn в анаэробных подземных водах формируется в результате растворения Fe-, Mn-содержащих пород и природных минералов во время фильтрации осадков. Источниками железа в подземных водах служат минеральные оксиды, силикаты, карбонаты, бикарбонаты, сульфиды и сульфаты. Основными источниками марганца в подземных водах являются бикарбонаты.

Разнообразие возникающих с Fe и Mn реакций обширно. Например: при контакте Fe и Mn с наземными и погребёнными торфяниками происходит обогащение подземных вод гуминовыми соединениями. Это становится причиной образования Fe- и Mn-органических комплексов и усложняет процессы обезжелезивания и деманганации. Это актуально для заторфованных территорий Полесья Беларуси в бассейнах рек Припять и Западный Буг. Кроме того, поступление нитратов в водоносные горизонты влияет на соотношение железа-марганца в подземных водах (Fe в 20-60 раз больше Mn).

Для достижения эффективного удаления железа и марганца обязательным является исследование источника подземных вод на пилотных установках. Параметры качества питьевой воды, влияющие на процессы удаления Fe и Mn, будут являться основными критериями выбора метода обезжелезивания и деманганации. К таким параметрам можно отнести концентрации и формы Fe(II), Mn(II), pH, температура, жёсткость, щёлочность, содержание CO₂, O₂, наличие контакта с органическими веществами. Например: высокое значение pH свидетельствует о низкой концентрации растворенных форм Fe(II) и Mn(II) в подземных водах. Кроме того, при наличии в обрабатываемой воде растворённого кислорода,

высоких значениях окислительно-восстановительного потенциала и pH позволяет увеличить эффективность обезжелезивания до 70%.

Удаление железа и марганца осуществляется с помощью химических и биологических процессов. Традиционными методами обезжелезивания и деманганации являются метод упрощённой аэрации с последующим фильтрованием, метод «сухого» фильтрования [12, 13], обезжелезивание на каркасных фильтрах, добавление реагентов-коагулянтов, окислителей (хлор и гипохлоритом натрия, перманганат калия (KMnO_4), озонирование, подщелачивание воды путём добавления извести, а также окисление на основе каталитической загрузки. Могут использоваться методы обезжелезивания в пласте [14]. Также обоснованное использование комплекса представленных методов позволит существенно увеличить эффективность удаления Fe и Mn. Между тем данные методы обладают некоторыми недостатками и ограничениями в использовании. Сюда относят малые допустимые исходные концентрации Fe и Mn, наличие в воде форм Fe- и Mn-бактерий, сложность эксплуатации и высокие эксплуатационные затраты, необходимость хранения и регулярного подбора доз реагентов, образование осадков.

Следует отметить, что существующие методы обезжелезивания и деманганации требуют наличия этапа фильтрации. Это обусловлено наличием выпавших форм железа и марганца после этапа окисления, осадков коагуляции и т.д. Выбор фильтрующего материала будет зависеть от химической стойкости и механической прочности фильтрующего материала, его удельной поверхности и удельной массы, эффективности отделения твёрдых частиц от жидкой фазы. Наиболее распространёнными фильтрующими материалами на станциях обезжелезивания являются кварцевый песок, антрацит, керамзит, цеолит, пиролюзит, активированный уголь. Основными факторами, влияющими на эффективность процесса удаления Fe и Mn будут являться физико-химические характеристики исходной воды, фильтрующей загрузки и их химико-биологического взаимодействия. Важно, что фильтрация через каталитические материалы неэффективна в отношении органического железа и марганца. Решением этого вопроса является нанесение на поверхность каталитического материала слоя, который будет способствовать инактивации микроорганизмов. В качестве каталитического слоя могут использоваться модифицированные материалы с полифункциональными покрытиями [15–18]. В зависимости от разновидности наносимых на поверхности материала оксидов металлов можно решить несколько задач водоподготовки. Например: инактивация микроорганизмов, удаление нитратов, фосфатов и тяжёлых металлов. Это достигается с помощью различных температур, времени обработки и используемых во время модификации реагентов.

Параллельно с изменением химического состава поверхности также можно улучшить либо изменить физико-химические характеристики исходного материала. Сюда можно отнести текстуру, механическую прочность, шероховатость материала и т.д. Между тем, в качестве исходного материала модификации могут использоваться дешёвые фильтрующие загрузки либо переработанные отходы производства. Всё это позволит снизить стоимость очищенной подземной воды и затраты станции водоподготовки.

Литература

1. Об утверждении гигиенических нормативов [Электронный ресурс] постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 25 янв. 2021 г., № 37 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа:

<https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037&p1=1&p5=0> – Дата доступа: 12.05.2024.

2. Об утверждении положений о порядке проведения в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь мониторинга поверхностных вод, подземных вод, атмосферного воздуха, локального мониторинга окружающей среды и использования данных этих мониторингов [Электронный ресурс] постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 янв. 2004 г., № 482 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: [https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2004-70/2004-70\(005-035\).pdf&oldDocPage=17](https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2004-70/2004-70(005-035).pdf&oldDocPage=17) – Дата доступа: 12.05.2024.

3. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды. Мониторинг подземных вод за 2019 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/sites/default/files/2023-08/3%20GROUND%20WATER%20Monitoring%202019.pdf> – Дата доступа: 12.05.2024.

4. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды. Мониторинг подземных вод за 2020 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/sites/default/files/2023-08/3%20GROUND%20WATER%20Monitoring%202020.pdf> – Дата доступа: 12.05.2024.

5. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды. Мониторинг подземных вод за 2021 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/sites/default/files/2023->

08/3%20GROUND%20WATER%20Monitoring%202021.pdf – Дата доступа: 12.05.2024.

6. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды. Мониторинг подземных вод за 2022 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/sites/default/files/2023-08/3%20GROUND%20WATER%20Monitoring%202022.pdf> – Дата доступа: 12.05.2024.

7. Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь. О реализации в 2016-2020 году Государственной программы "Комфортное жилье и благоприятная среда" на 2016-2020 годы [Электронный ресурс]. – <https://mjcx.gov.by/docs/spravochnaya-informatsiya/gp-komfortnoe-zhil-e/othchet-2016-2020.pdf> – Дата доступа: 12.05.2024.

8. Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь. Отчет о реализации Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021 - 2025 годы» в 2021 году [Электронный ресурс]. – https://mjcx.gov.by/docs/spravochnaya-informatsiya/gp-komfortnoe-zhil-e/otchet_2021.pdf – Дата доступа: 12.05.2024.

9. Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь. Отчет о реализации Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2020 – 2025 годы в 2022 году [Электронный ресурс]. – <https://mjcx.gov.by/docs/gp-komfortnoe-zhile-i-blagopriyatnaya-sreda/otchet.pdf> – Дата доступа: 12.05.2024.

10. О Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 янв. 2021 г., № 50 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871 &p0=C22100050> – Дата доступа: 12.05.2024.

11. Романовский, В.И. Анализ загрязнений источников питьевого водоснабжения в Республике Беларусь / В.И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – №2. – С. 65–67.

12. Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations //Groundwater for Sustainable Development. – 2023. – Т. 22. – С. 100943.

13. Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water //Environmental Technology. – 2023. – С. 1-8.

14. Hurynovich A., Ramanouski V. Artificial replenishment of the deep aquifers //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 45. – С. 00025.

15. Propolsky, D. Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky, E. Romanovskaia, W. Kwapinski, V. Romanovski // Environmental Research. – 2020. – Vol. 182. – P. 108996. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108996>

16. 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.

17. Пропольский, Д. Э. Эффективность обезжелезивания подземных вод с использованием модифицированных каталитических материалов / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский // Технологія-2019 : матеріали XXII Міжнар.наук.-техн. конф., 26-27 квіт. 2019 р., м. Сєверодонецьк : в 2 ч. - Сєверодонецьк : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2019. - Ч. 1 - С. 85-86.

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

УДК 628.31

Анализ технологических схем биологической очистки сточных вод

Павич Е. С., Мякина М. А.

Научный руководитель Грузинова В. Л., к.т.н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При анализе технологических схем биологической очистки сточных вод рассмотрены 3 типа очистных сооружений, которые применяются для устранения негативных влияний сточных вод на экологическую ситуацию.

С целью устранения негативного влияния состава сточных вод на экологическую ситуацию в районе их сброса в поверхностный водный объект требуется их качественная биологическая очистка от загрязнителей и патогенов.

В настоящее время для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод применяются следующие типы очистных сооружений: