

УДК 628.1.03

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА И АММОНИЙНОГО АЗОТА ДЛЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Н. ФИЛИППОВ, М. МАСЛО
(Представлено: Е.С. Велюго)

В статье рассмотрены технологии очистки подземных вод для малых населенных пунктов, содержащих железо, аммонийный азот и органические вещества. Проанализированы две основные схемы: реагентная с гипохлоритом натрия и комбинированная с предварительной аэрацией. Выбор метода обоснован концентрацией загрязнителей, что позволяет оптимизировать капитальные и эксплуатационные расходы.

Введение. Обеспечение качественной питьевой водой территорий малых населенных пунктов Витебской области сопряжено с существенными трудностями. Ключевой проблемой является сложный состав подземных вод, характеризующийся превышением нормативов по нескольким показателям одновременно: общему железу, аммонийному азоту и перманганатной окисляемости. Сочетанное присутствие этих загрязнителей требует применения комплексных технологических решений, адаптированных к условиям ограниченной производительности и финансирования. Особую сложность представляет наличие аммонийного азота, который не только токсичен сам по себе, но и вступает в реакцию с окислителями, значительно усложняя процесс очистки [1].

Основная часть. Для очистки подземных вод с сочетанным загрязнением железом, аммонийным азотом и органическими веществами применяются различные технологические подходы, каждый из которых имеет определенные ограничения при использовании в условиях малых населенных пунктов [2].

Биологическая очистка, основанная на деятельности нитрифицирующих бактерий, обеспечивает эффективное удаление аммонийного азота. Однако данный метод требует поддержания стабильных температурных условий и длительного времени контакта, что затрудняет его применение на малых станциях с неравномерным режимом работы [3].

Ионный обмен на синтетических смолах позволяет одновременно удалять ионы железа и аммония, но его эффективность резко снижается при наличии органических веществ, вызывающих "отравление" матрицы ионообменника. Высокая стоимость регенерации и необходимость утилизации концентратов также ограничивают широкое применение этого метода [4].

Технологии с использованием перманганата калия в качестве окислителя демонстрируют хорошие результаты по удалению марганца и части органических соединений, однако не обеспечивают полного окисления аммонийного азота и требуют точного дозирования во избежание вторичного загрязнения воды [5].

Мембранные методы (нанофильтрация, обратный осмос) теоретически способны решить проблему комплексного загрязнения, но их внедрение сдерживается высокой энергоемкостью, необходимостью предподготовки воды и образованием концентратов, требующих специальной утилизации [6].

В сравнении с перечисленными методами, технологии на основе гипохлорита натрия демонстрируют оптимальное соотношение эффективности, эксплуатационных расходов и технологической простоты, что обуславливает их широкое применение на объектах малой производительности.

Анализ практики эксплуатации малых станций обезжелезивания позволяет выделить две основные технологические схемы, выбор между которыми определяется, в первую очередь, концентрацией аммонийного азота в исходной воде. Эффективность каждой схемы оценивается по способности обеспечить не только окисление и удаление железа, но и трансформацию аммонийных соединений в безопасные формы с минимальным образованием побочных продуктов.

1. Реагентная схема на основе гипохлорита натрия. Данная схема находит применение при умеренных концентрациях аммонийного азота (условно до 1,0-1,5 мг/дм³). Ее принцип действия основан на окислительной способности гипохлорита натрия (NaOCl), который вводится в обрабатываемую воду. В результате протекающих химических реакций происходит перевод растворенных форм двухвалентного железа в нерастворимый трехвалентный гидроксид, а также окисление аммонийного азота через стадию образования хлораминов. Согласно исследованиям, для полного окисления 1 мг двухвалентного железа требуется примерно 0,64 мг активного хлора, в то время как окисление аммония является более сложным многостадийным процессом с высоким хлоропотреблением [7]. Образовавшиеся в процессе твердые фазы и хлопья удаляются на последующей стадии фильтрации на скорых фильтрах с песчаной загрузкой.

Преимуществами этого подхода являются технологическая простота, минимальные капитальные вложения и легкость автоматизации процесса дозирования реагента.

К ограничениям можно отнести резкий рост расходов на реагент при увеличении концентрации аммония, а также риск формирования нежелательных побочных продуктов хлорирования, таких как хлорамины и хлорорганические соединения, что требует строгого контроля за дозированием [8].

2. Комбинированная схема: аэрация с гипохлоритом натрия. Для обработки вод с повышенным содержанием аммонийного азота (более 1,5-2,0 мг/дм³) и органических веществ более эффективной признана комбинированная схема, включающая стадию предварительной аэрации. На первом этапе вода насыщается кислородом воздуха, что инициирует процессы окисления двухвалентного железа и части органических веществ. Это позволяет снизить окисляемую нагрузку на последующей стадии хлорирования. Последующее дозирование гипохлорита натрия происходит в обогащенную кислородом среду, что создает синергетический эффект и способствует более глубокому разрушению образовавшихся хлораминов. Практика показывает, что такое комбинирование позволяет снизить расход гипохлорита на 20-30% по сравнению с реагентной схемой при аналогичном качестве очистки [9].

Ключевые преимущества комбинированного метода заключаются в существенном снижении потребления дорогостоящего реагента (гипохлорита), повышении общей эффективности очистки и снижении потенциала образования токсичных хлорорганических соединений за счет более полного окисления загрязнителей.

Недостатком является усложнение технологической цепочки и рост капитальных затрат, связанных с установкой и эксплуатацией аэрационного оборудования.

Заключение. Проведенный анализ демонстрирует отсутствие универсального решения для очистки подземных вод сложного состава. Для малых населенных пунктов оптимальная технология должна выбираться на основе тщательного гидрохимического мониторинга. Упрощенная реагентная схема целесообразна при умеренном загрязнении аммонием, в то время как комбинированная технология становится экономически и экологически оправданной при работе с водами, характеризующимися высокими концентрациями аммонийного азота. Такой дифференцированный подход позволяет рационально распределять ресурсы и обеспечивать устойчивое водоснабжение децентрализованных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Велюго Е.С. Влияние аммонийного азота на состав и очистку подземных вод // Актуальные вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., приуроченной ко Всемирному дню водных ресурсов / г. Минск (22–24 марта 2023 г.) / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды, РУП «ЦНИИКИВР»; отв. ред. О.В. Ковзунова. – Минск: Нац. библиот. Беларуси, 2023. – С. 96–100.
2. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. – К.: Наукова думка, 1986. – 512 с.
3. Журба М.Г. Водоснабжение малых населенных мест. - М.: АСВ, 2010. - 288 с.
4. Degrémont. Water Treatment Handbook. 7th ed. - Paris: Lavoisier, 2007.
5. Велюго Е.С. Анализ фильтрующих материалов для обработки подземных вод сложного состава // Устойчивое развитие: региональные аспекты: сб. ст. XI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых / г. Брест (24–26 апр. 2019 г.). – С. 211–213. URL: <https://rep.bstu.by/discoverBasheer>.
6. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. - М.: Изд-во АСВ, 2006.
7. Гусев Б.В., Левина Н.В. Реагентные методы удаления аммония из природной воды // Экология и промышленность России. – 2020. – № 3. – С. 34–39.
8. Yushchenko, V. / Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. / Environmental Technology (United Kingdom). – 2023. <https://doi.org/10.1080/09593330.2023.2185820>
9. 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. – Vol. 22. DOI: 10.1016/j.gsd.2023.100943.