

10 Постоянное совершенствование. Цифровизация – это непрерывный процесс. Должна производиться установка новых и улучшение уже существующих средств вывода и мониторинга информации (планшетов), модернизация информационных систем, постепенное внедрение беспроводных систем, работающих в общей сети *Wi-Fi*, вместо громоздких проводных *Ethernet*-систем, разработка нового программного обеспечения. Следование этой последовательности позволяет создать устойчивую и эффективную современную систему цифровизации водоканалов, что способствует улучшению управления ресурсами, повышению качества обслуживания и устойчивости инфраструктуры.

Выводы. Современные методы цифровизации позволяют произвести оптимизацию технологических процессов и снижение издержек, а также снизить риски и уменьшить количество аварийных ситуаций. Оцифровка позволяет осуществлять заблаговременное решение технических проблем и формировать качественный подход к регулированию режимов работы водоканалов.

Список литературы

1 «Цифровой водоканал»: потенциал, достоинства и недостатки // Элдис. – URL: <https://eldis24.ru/news/articles/ tsifrovoy-vodokanal-potentsial-dostoinstva-i-nedostatki/> (дата обращения: 6.03.2025).

УДК 628.16

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕОЛИТОВЫХ ЗАГРУЗОК ДЛЯ ОЧИСТКИ ИСХОДНОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ ВИТЕБСКОГО РЕГИОНА

Е. С. ВЕЛЮГО, В. Д. ЮЩЕНКО

*Полоцкий государственный университет им. Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь
e.velugo@psu.by*

Введение. Подземные воды Витебского региона нередко содержат в своем составе железо в комплексной форме, а также могут быть значительные концентрации органических соединений, прежде всего аммонийных солей и перманганатной окисляемости.

Как показывают наши исследования [1, 2], использование окислителей (кислорода воздуха и гипохлорита натрия, совместно или раздельно) с последующей обработкой на фильтрах с каталитическими и сорбционными загрузками для удаления загрязнителей до нормативных значений не всегда является эффективным. Особенно это проявляется в напорных фильтрах водоподготовки малых населенных пунктов, где очень часто проблема качества питьевой воды сложного состава остается все еще актуальной.

В последнее время благодаря своим адсорбционным, каталитическим и ионообменным свойствам в качестве загрузки напорных фильтров стали широко применяться цеолитовые материалы с общей химической формулой $\text{Me}_n\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot x\text{SiO}_2\cdot y\text{H}_2\text{O}$. Эффективность удаления микроэлементов типа железа и марганца, а также снижения органических соединений в подземных водах цеолитами прежде всего зависит от доли алюмосиликатной и натриевой группы в их составе, которая определяет размер пор данного материала, позволяющих в конечном итоге селективно удалять различные ионы и вещества размером 2 нм и менее [3].

На первом этапе [4] были проведены исследования для двух объектов по удалению комплексных соединений железа аэрацией и с использованием цеолитовых загрузок марки *Экоферокс* и *Цеол*, отличающихся между собой минеральным составом и долей клиноптилолита.

Установлено, что при содержании в подземной воде трудно окисляемой (комплексной) формы железа, ее обработке аэрацией с воздушно-водяным соотношением до 2 : 1 и последующим фильтрованием на песчаной загрузке или с применением сорбентов *AC* и *ОДМ-2ф* не происходило его удаление до нормирующего значения. В данном случае концентрация аммонийного азота в подземных водах рассматриваемых объектов составляла менее нормируемой величины (1,5 мг/дм³), а окисляемость до 5 мг $\text{O}_2/\text{дм}^3$, то есть удаление комплексных форм железа явилось основной задачей при использовании цеолитов этих марок [4]. Были сделаны следующие выводы:

- цеолитовые загрузки *Ecoferox* и *Цеол* могут рассматриваться в качестве загрузок для обезжелезивания воды, работающих даже с длительными простоями в течение суток;
- процесс удаления комплексного железа из природных вод на материалах на основе цеолитов для фильтров обезжелезивания воды осуществляется за счет сорбционных каталитических процессов;
- цеолитовые загрузки отличаются примерно в 30–35 % более низкой скоростью для обратной промывки фильтров, чем на песчаной загрузке, что сокращает потери воды и мощность промывных насосов;
- по сравнению с *Цеолом* исследуемый материал *Экоферокс* проявил малую способность к окислению аммонийного азота и снижению перманганатной окисляемости.

Цель работы – провести исследования по рассмотрению способности применения цеолита марки *Цеол* для возможного удаления загрязнений из воды сложного состава.

Методология исследований. Исследования были проведены на пилотной (полупроизводственной) установке, загруженной цеолитом на подземной воде исходного состава двух объектов Витебской области, которая отличается повышенными концентрациями по железу, марганцу, аммиаку (по азоту) и перманганатной окисляемости.

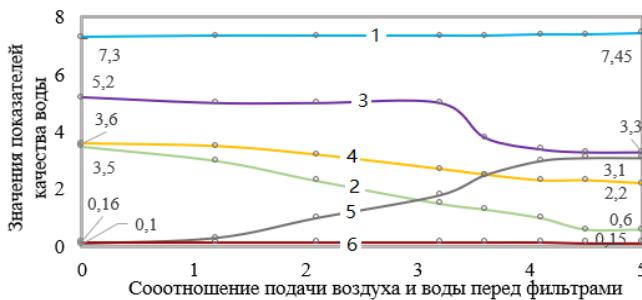
Состав исходной воды объекта № 1 соответствовал следующим параметрам: железо – 3,5 мг/дм³, аммонийный азот – 3,6 мг/дм³, перманганатная

окисляемость – 5,2 мг/дм³, марганец – 0,12 мг/дм³, величина pH 7,2–7,3 ед. Состав исходной воды объекта № 2 соответствовал следующим параметрам: железо – 3,6 мг/дм³, аммонийный азот – 4,53 мг/дм³, перманганатная окисляемость – 5,6 мг/дм³, марганец – 0,16 мг/дм³, величина pH 7,2–7,3 ед.

Пилотная установка состоит из аэрационной колонны и стекловолокнистого фильтра диаметром 250 мм. Объем цеолита в фильтре составил 25 л. Скорость фильтрования воды составила 8 м/ч, расход – 0,4 м³/ч. Сжатый воздух в аэрационную колонну подавался компрессором, позволяющим устанавливать воздушно-водяное соотношение в 5 : 1. Пробы воды отбирались в начальный момент фильтрования воды и через каждые четыре часа непрерывной работы фильтра. Один раз в сутки проводилась промывка фильтра обратным током воды со скоростью 36 м/ч, продолжительностью 8 мин.

Результаты опытов представлены на рисунке 1.

а)



б)



Рисунок 1 – Результаты опытов по аэрации воды исходного состава с последующим фильтрованием с цеолитовой загрузкой:

а – объект № 1; б – объект № 2:

1 – величина pH, ед.; 2 – железо общее, мг/дм³; 3 – перманганатная окисляемость, мг/дм³;

4 – азот аммонийный, мг/дм³; 5 – растворенный кислород, мг/дм³;

6 – марганец, мг/дм³

Результаты проведенных экспериментов:

- 1) для обработки воды сложного состава цеолит показал большую эффективность ее очистки по сравнению с загрузками из песка и сорбентов;
- 2) с увеличением воздушно-водяного соотношения цеолит прежде всего снижает концентрацию железа и марганца соответственно до 0,5–0,6 и 0,1–0,11 мг/дм³, а затем, после его значения (3–3,5) : 1, – перманганатную окисляемость и азот аммонийный на 30–40 %;
- 3) перманганатная окисляемость стабилизируется ниже 5 мг/дм³, что соответствует нормативному значению, но не достигнуто по железу, марганцу и аммонийному азоту;
- 4) в данном случае для всех рассматриваемых видов загрязнений их снижение происходит, прежде всего, за счет сорбционных и катализических процессов, может быть частично ионным обменом.

Вывод. Полученные результаты являются предпосылкой к дальнейшим исследованиям цеолитовых материалов и доработкой технологической схемы по очистке подземной воды сложного состава. Например, предусматривать аэрацию с двухступенчатым фильтрованием и повышением роли ионного обмена путем проведения реагентной регенерации цеолита.

Список литературы

1 Велюго, Е. С. К вопросу обработки подземных вод сложного состава в Республике Беларусь / Е. С. Велюго // Environment Protection : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. онлайн-конф., посвященной Междунар. дню охраны окружающей среды. Выпуск 1, Киев, 5 июня 2020 г. / Киевский национальный университет строительства и архитектуры ; под ред. П. М. Куликова [и др.]. – Киев, 2020. – С. 18–21.

2 Основные пути и решения проектирования систем водоподготовки малых населенных пунктов в Республике Беларусь / В. Д. Ющенко, Е. С. Велюго, С. В. Седлуха [и др.]. // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 16. – С. 124–130.

3 Study of Using Natural Sorbent to Reduce Iron Cations from Aqueous Solutions / I. Pandová, M. Rimár, A. Panda // Int J Environ Res Public Health. – 2020. – № 17 (10). – DOI: 10.3390/ijerph17103686. PMID: 32456216; PMCID: PMC7277563.

4 Велюго, Е. С. Исследование фильтрующих свойств цеолитовых загрузок для обезжелезивания воды на территории г. Полоцка / Е. С. Велюго, Т. В. Козицин, В. Д. Ющенко // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : сб. науч. тр. Междунар. науч. конф., Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфенова [и др.]. – Новополоцк, 2019. – С. 533–538.