

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 *АС* и *ОДМ-2ф* не происходило его удаление до нормируемого значения. В данном случае концентрация аммонийного азота в подземных водах рассматриваемых объектов составляла менее нормируемой величины ( $1,5 \text{ мг/дм}^3$ ), а окисляемость до  $5 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$ , 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 –  $3,5 \text{ мг/дм}^3$ , аммонийный азот –  $3,6 \text{ мг/дм}^3$ , перманганатная

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

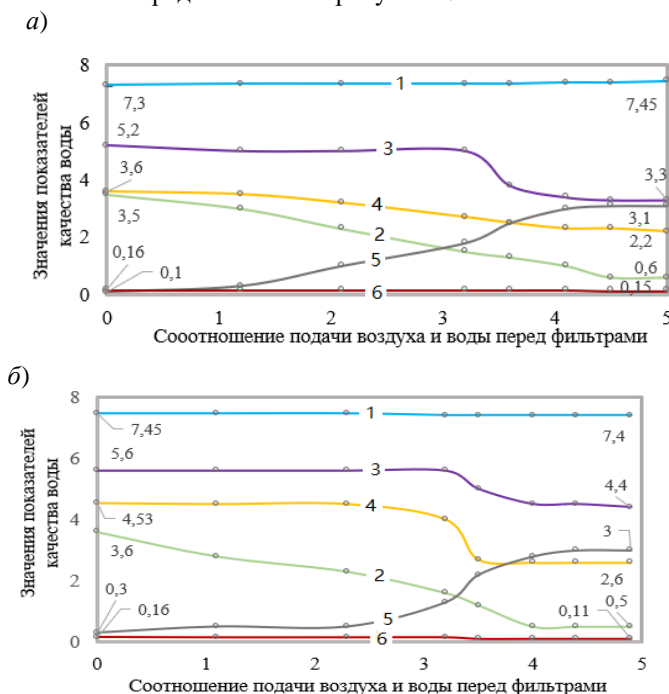


Рисунок 1 – Результаты опытов по аэрации воды исходного состава с последующим фильтрованием с цеолитовой загрузкой:

а – объект № 1; б – объект № 2:

1 – величина рН, ед; 2 – железо общее, мг/дм<sup>3</sup>; 3 – перманганатная окисляемость, мг/дм<sup>3</sup>;

4 – азот аммонийный, мг/дм<sup>3</sup>; 5 – растворенный кислород, мг/дм<sup>3</sup>;

6 – марганец, мг/дм<sup>3</sup>

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/дм<sup>3</sup>, а затем, после его значения (3–3,5) : 1, – перманганатную окисляемость и азот аммонийный на 30–40 %;

3) перманганатная окисляемость стабилизируется ниже 5 мг/дм<sup>3</sup>, 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 каталитических 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.