

УДК 628.16

ОПЫТ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ВЫСОКОЙ ЦВЕТНОСТЬЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОРГАНОСЕЛЕКТИВНЫХ АНИОНИТОВ

Е.С. Велуго¹, Т.В. Козицин², М.Л. Дементьев¹

¹Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Республика Беларусь
e-mail: e.velugo@psu.by

²Частное унитарное предприятие «АкваПром», Полоцк, Республика Беларусь
e-mail: aquaprom@tut.by

В статье приводятся сведения по разработке технологической схемы, которая позволит удалить из воды как ионы железа, так и органические соединения гумусового ряда за счет применения ионообменного материала-анионита в начале «очистной цепочки».

Ключевые слова: обезжелезивание, анионит, органические соединения, сложный состав воды, цветность воды.

EXPERIENCE OF DEFERRIZATION OF GROUNDWATER WITH HIGH COLOR WITH THE USE OF ORGANOSELECTIVE ANIONITES

E. Velyugo¹, T. Kozitsin², M.L. Dementiev¹

¹Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Republic of Belarus
e-mail: e.velugo@psu.by

²Private unitary enterprise "AkvaProm", Polotsk, Republic of Belarus
e-mail: aquaprom@tut.by

The article provides information on the development of a technological scheme that allows you to remove both iron ions and organic compounds of the humus series from water through the use of an ion-exchange material-anion exchanger at the beginning of the "purification chain".

Keywords: deferrization, anion exchange resin, organic compounds, complex composition of water, water color.

Введение. Обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из основных задач, которая приобрела особую актуальность в связи с наблюдаемым ухудшением общей экологической обстановки и чрезмерным загрязнением источников водоснабжения. Эта задача особенно актуальна для подземных вод регионов с изначально высокими концентрациями загрязняющих веществ природного происхождения, например, Полесье в Беларуси. Именно поэтому для некоторых объектов водоснабжения обезжелезивание воды является не только не единственной, но и даже не основной стадией обработки воды.

Недостатком известных методов обезжелезивания [1] является неэффективность очистки подземных вод, имеющих сложный состав по ее обработке, в частности с содержанием комплексных соединений железа с гуматами и фульвокислотами, которые обуславливают окисляемость и цветность воды. Процесс разрушения комплексных органических соединений кислородом воздуха происходит относительно медленно и требует большого количества кислорода, которое не всегда может быть обеспечено методом упрощенной аэрации.

Известны способы очистки воды от органических соединений, такие как коагуляция [2], комбинированный метод ультрафильтрации и коагуляции [3], адсорбционные способы очистки с применением углей [4], ионитов [5; 6] и сорбентов, модифицированных соединением магния [7], применение сильных окислителей и др. Перечисленные методы являются дорогостоящими, сложными в эксплуатации и не эффективными для удаления органики, вызванной гумусовыми веществами.

Данная работа направлена на повышение эффективности очистки воды сложного состава за счет предварительного удаления из воды загрязнений, которые затрудняют процесс обезжелезивания воды.

Для достижения данной цели были решены следующие **задачи**: 1) изучение эффективности удаления из природной воды органического железа, присутствующего в воде; 2) изучение возможных альтернативных решений по удалению органических соединений; 3) проведение исследования на установках напорного типа с разработкой технологической схемы очистки воды от органического железа.

Методология исследований. Для проведения эксперимента был выбран объект водоснабжения в Брестской области (Беларусь), артезианские воды которого содержали в своем составе повышенное содержание железа ($0,82-1,09$ мг/дм³) и цветности (46 градусов). Учитывая сложность состава воды, технологическая схема формировалась в процессе выполнения работ исходя из получаемых результатов при пробных испытаниях по очистке воды.

Основные пилотные испытания состояли из следующих этапов:

- применение одноступенчатой технологической схемы с аэрацией при помощи эжектора и аэрационной колонны с последующей фильтрацией на смеси загрузок МФУ и Сорбента МС (этап 1);
- применение двухступенчатой технологической схемы с фильтрами, загруженным смесью загрузок МФУ и Сорбентом МС в соотношении 8:2 на первой ступени и загрузкой МЖФ на второй ступени. Фракция МФУ составляла 0,7-1,5мм, сорбента МС – 0,3-0,7 мм, МЖФ – 0,5-1,5 мм. Высота загрузок была равна 900 мм (этап 2);
- опробование реагентного метода обработки воды с применением гипохлорита натрия и дополнительного ввода в исходную воду коагулянта полиоксихлорида алюминия;
- фильтрование воды через анионит, предназначенный для удаления органики (этап 4).

Перед каждым изменением схемы фильтры промывались в течение 10 мин. Аэрация осуществлялась при помощи эжектора (соотношение вода воздух 2:1) и аэрационной колонной со временем аэрации 2 мин. Остаточная концентрация кислорода на выходе из установки составляла 5 мг/л.

Измерения массовой концентрации общего железа выполнялись согласно ГОСТ 4011-72 фотометрическим методом сульфосалициловой кислотой. Работы выполнялись на Колориметре КФК-2. Цветность исследуемой воды определяется качественно по дихромат-кобальтовой шкале, сравнивая цвет исследуемой воды с растворами, приготовленными на дистиллированной воде.

Порядок проведенных экспериментов представлена на рисунке 1.

Результаты и обсуждения. На первом этапе пилотных испытаний очистка воды с помощью упрощенной аэрации на смеси загрузок МФУ и Сорбента МС имеет не достаточную эффективность (железо $0,82-1,09$ мг/дм³, цветность более 20 градусов). Очистка воды на двухступенчатой схеме с фильтрами из смеси загрузок МФУ, Сорбента МС (на первой ступени) и МЖФ (на второй ступени) также не приводит к нормативным значениям в фильтрате по железу ($0,56$ мг/дм³) и цветности (более 20 градусов). Изменение скорости фильтрования не значительно отражается на изменении цветности воды.

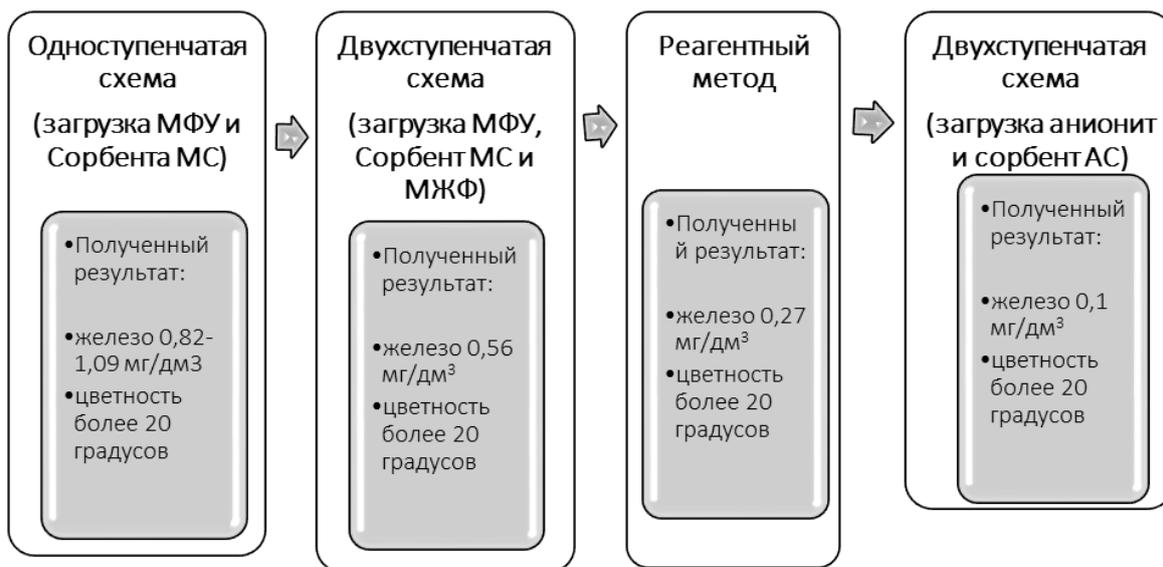
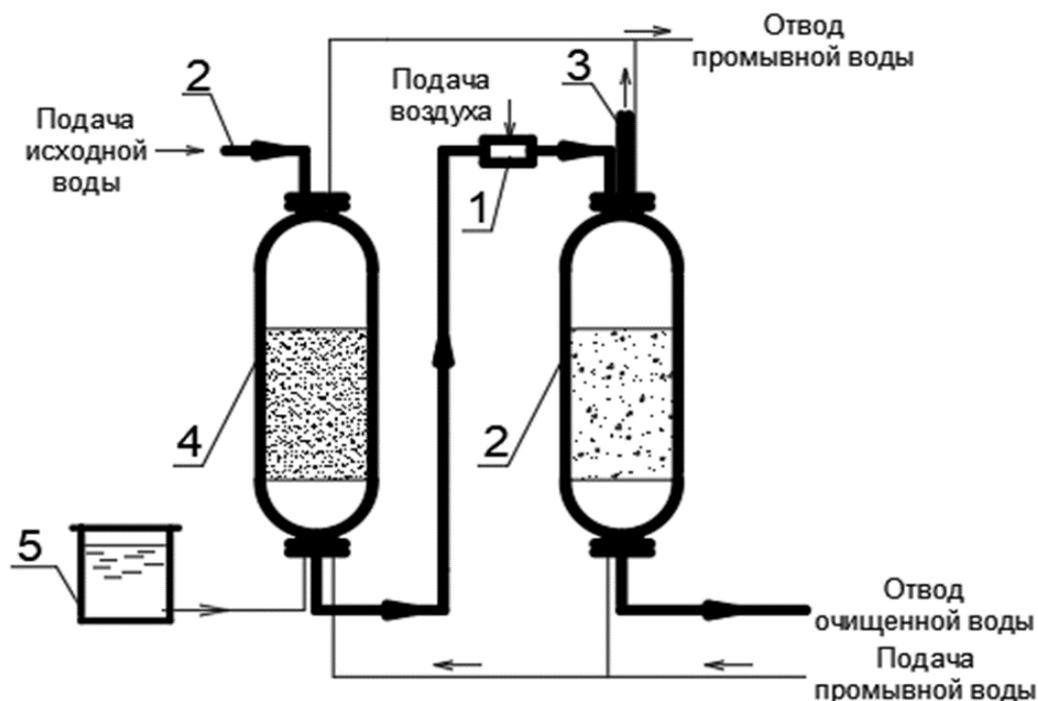


Рисунок 1. – Порядок проведенных исследований

Третий шаг с очисткой воды при помощи гипохлорита натрия и полиоксихлорида алюминия позволяет достигнуть положительного результата по железу (0,27 мг/дм³), но не снижает цветность ниже 20 градусов. Цветность снижается только при очень высоких дозах остаточного гипохлорита натрия (при добавлении небольшого количества гипохлорита снижение цветности не происходит даже за 12 ч).

На четвертом этапе было получено снижение цветности фильтрованием через анионит, предназначенный для удаления органики. В эксперименте применялся анионит, основная функция которого – извлечение из воды органических соединений, которые затрудняют процессы окисления железа кислородом воздуха. К таким органическим соединениям прежде всего относятся фульвиновые и гуминовые кислоты. Отличительной особенностью данного эксперимента является то, что органоселективный анионит использован на первой ступени для подготовки воды к процессу обезжелезивания на второй ступени (в традиционной практике водоподготовки аниониты используются в качестве доочистки на последней ступени технологической схемы).

На данном этапе были выполнены ряд экспериментов с фильтрованием воды через анионит, однако наилучший вариант по очистке воды был получен с использованием анионита на первой ступени и Сорбента АС фракции 0,7-1 мм на последней ступени [8]. Таким образом, предложена новая схема обработки воды с известными методами и материалами, но в иной последовательности (рисунок 2). Исходная вода по трубопроводу поступает на дополнительный фильтр 4 с анионитовой загрузкой, на котором происходит удаление органических соединений гумусового ряда. После чего вода поступает в узел насыщения 1 воды кислородом воздуха, необходимым для окисления присутствующего в воде двухвалентного железа. Насыщенная кислородом вода поступает в напорный фильтр обезжелезивания 2, в толще загрузки которого происходит одновременно процессы окисления и задержания железа. Загрузка напорного фильтра обезжелезивания 2 состоит из традиционных (песчаной или антрацитовой, или гравийной) или каталитической загрузки. Для улучшения свойств воды допустимо применять сорбенты, например, сорбент АС. Очищенная вода по трубопроводу отвода очищенной воды подается потребителю. На станции водоподготовки следует предусмотреть установку для приготовления и хранения регенерационного раствора 5 для фильтров с анионитом.



- 1 – узел насыщения воды кислородом воздуха; 2 – напорный фильтр обезжелезивания с зернистой загрузкой;
3 – узел отвода избыточного воздуха; 4 – дополнительный фильтр с анионитовой загрузкой;
5 – бак для хранения регенерационного раствора

Рисунок 2. – Технологическая схема очистки воды.

Эффективность работы данной установки обезжелезивания была доказана проводимыми на станциях водоподготовки промышленно-лабораторными испытаниями, в результате которых были получены концентрации по железу ($0,1 \text{ мг/дм}^3$) и цветности (3-5 градусов) ниже нормативных (0,3 и 20 градусов соответственно).

Поставленная задача достигается за счет ионообменных свойств загрузки фильтра первой ступени, который предназначен для удаления органических соединений гумусового ряда, что позволяет проводить дальнейшую обработку на напорном фильтре обезжелезивания путем окисления соединений двухвалентного железа за счет кислорода воздуха.

Данная технологическая схема была испробована еще на нескольких станциях обезжелезивания с присутствием в исходной воде иона-аммония. Положительного результата на данных станциях получено не было, вероятнее всего, данный метод не работает в случаях, если в воде есть загрязнитель, не задерживаемый анионитом, и со значительным потреблением кислорода.

Стоит отметить, что практического использования синтетических анионитов для извлечения гумусовых кислот в Республике Беларусь и в мире недостаточно, ведь процесс взаимодействия с гумусовыми веществами весьма сложный процесс, который в настоящее время не изучен. Предстоит сформулировать принципы выбора анионитов и выявить оптимальные режимы их эксплуатации.

Заключение. Использование представленной технологической схемы позволит за счет применения дополнительного фильтра с загрузкой из органоселетивного анионита в начале «очистой цепочки» подготовить воду сложного состава до требований метода упрощенной аэрации. Далее процесс обезжелезивания протекает на самых обычных загрузках, на высоких скоростях и с высокой эффективностью [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Yushchenko V. Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water. *Environmental Technology* / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // *Environmental Technology (UK)* – 2023. <https://doi.org/10.1080/09593330.2023.2185820>.
3. Панченко В.В., Панченко А.В., Веселова А.П. Глубокая очистка воды коагуляцией от органо-железокомплексных соединений // *Энергосбережение и водоподготовка*. – 2007. – Т. 47, № 3. – С. 15–17.
4. Ruing B., Yoshimasa W., Genro O., Norihito T. Purification of water from natural organic compounds, iron and manganese by combined method of ultrafiltration and coagulation // *Suidokyokaizasshi = J. Jap. WaterWorksAssoc.* – 1997. – V. 66, № 4. – С. 24–33.
5. Вебер В. и др. Влияние различных факторов на адсорбцию гуминовых веществ активными углями // *Реферативный журнал «Химия», реф.12 № 232, 1984.*
6. Маличенко А.В. Сорбция гумусовых соединений ионитами // *Химия и технол. Воды*. – 1993. – Т. 15, № 4. – С. 270–294.
7. Бондаренко В.И., Невская В.Н. Удаление органических веществ из природных вод ионным обменом (опыт практического использования) // *Энергосбережение и водоподготовка*. – 2006. – Т. 40, № 2. – С. 27–30.
8. Петров Е.Г. Современные методы очистки природных вод фильтрованием // *ЦНИИ инф., техн.-экон. иссл. и проп. Ж.-д. трансп. Обз. Инф. Сер. Проект. Строит.* – 1989. – № 1. – С. 16–25.
9. Полезная модель. 13334 Республика Беларусь, Установка обезжелезивания подземных воды / Козицин Т.В., Велюго Е.С.; заявитель и патентообладатель Частное проектное унитарное предприятие «АкваПром». – № ; заявл. 2022.12.22; опубл. 2023.10.30, Бюл. № 5/2023. – 145 с. 9.