

целей воду с повышенным содержанием примесей в виде соединений азота.

2. На основании данных литературы показано, что употребление воды, содержащей примеси в виде соединений азота в концентрациях выше ПДК = 45 мг/л, может привести к тяжелейшим заболеваниям.

3. Выполненные исследования показали высокую эффективность очистки воды методом ионного обмена с использованием сильноосновных анионитов: «Purolite NRW-600(OH)», «Lewatit MonoPlus® SR 7», «AB-17-8чС» для питьевых целей.

4. Разработана методика расчета ресурса ионообменного фильтра для удаления примесей в виде соединений азота.

5. Приведены технологические схемы очистки подземных вод от нитратов и железа для систем индивидуального водоснабжения.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 года: решение коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 11.08.2011 № 72.

2. Иванова, Э. Химические вещества в окружении человека / Э. Иванова, П. Бондарева – Минск : МОО «Эко-фера», 2006. – 34 с.

3. Строительство. Водоснабжение питьевое: термины и определения: СТБ 1884-2008 – Минск: Госстандарт, 2008.

4. Житенев, Б.Н. Современное состояние проблемы загрязнения подземных вод Беларуси соединениями азота и пути ее решения / Б.Н. Житенёв, С.В. Андreyuk // Вестник БрГТУ. Водоочистка, Водоподготовка, Водоснабжение. – 2016. – № 4 (100). – С. 52–57.

5. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Санитарные правила и нормы. – Минск: Минздрав Республики Беларусь, 1999.

6. Андreyuk, С.В. Исследование методов физико-химической очистки природных вод от нитратов / С.В. Андreyuk // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Брест, 6–8 апреля 2016 г.: в 2-х ч. / УО «Брестский гос. технический ун-т.»; под ред. А.А. Волчека [и др.]. – Брест, 2016. – Ч. II. – С. 159–163.

7. Водозаборный шахтный колодец: пат. 11081 ВУ, МПК E03B3/08 / Б.Н. Житенёв, С.В. Андreyuk; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. №u20150330; заявл. 25.09.2015; опубл. 30.06.2016 / Гос. реестр полезн. моделей.

8. Требования к физиологической полноценности питьевой воды: санитарные нормы и правила // постановление Минздрава Республики Беларусь №166 от 25.10.2012 г.

Материал поступил в редакцию 05.09.17

ZHITENEV B.N., ANDREYUK S.V. Technological solutions in water treatment, with impurities of nitrogen compounds and iron for drinking water

The article contains proposals on the technological solution of water treatment problems containing impurities in the form of nitrogen and iron compounds for individual drinking water supply systems. The reasons for the discrepancy between the quality of consumed water and normative documents are analyzed.

On the basis of the studies performed, variants of technological solutions for the purification of groundwater from nitrates and iron for the systems of individual drinking water supply.

УДК 663.18

Б.Н. Житенев, Е.С. Рыбак

ОБЕСЦВЕЧИВАНИЕ И ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Введение. В водной стратегии Республики Беларусь на период до 2020 года, утвержденной решением коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 11.08.2011 № 72-Р [1], отмечается, что около 2 млн человек в республике используют воду с содержанием железа выше санитарной нормы 0,3 мг/л.

Основными причинами такого состояния являются:

- недостаточный уровень обеспеченности централизованным водоснабжением, особенно сельского населения;
- недостаточный уровень обеспечения населения качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения.

Решение первой проблемы связано со строительством систем централизованного водоснабжения, что требует дополнительных инвестиций.

Вторая связана с неудовлетворительным состоянием систем централизованного водоснабжения, а именно это:

- отсутствие сооружений очистки воды перед подачей её потребителям;
- недостаточное качество очистки воды в действующих системах централизованного водоснабжения.

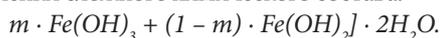
Последняя проблема связана с неудовлетворительным проектированием сооружений подготовки воды, принятием неверных технологических решений, что впоследствии сказывается на их работоспособности. В Республике Беларусь наиболее распространенным методом удаления железа из воды, предназначенной для питьевого водоснабжения, является упрощенная аэрация с фильтрованием.

По данным работ [1–7], при обезжелезивании методом упрощенной аэрации с фильтрованием сначала происходит

Рыбак Екатерина Сергеевна, ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267

адсорбция ионов железа (II) и молекулярного кислорода на поверхности «чистых» зерен фильтрующей загрузки с образованием пленки сложного химического состава:



С течением времени в результате адсорбции электрокинетический потенциал зерен загрузки понижается. Это влечет за собой затухание адсорбционной способности поверхности фильтрующей загрузки. Под действием имеющегося в воде растворенного кислорода адсорбированные ионы железа (II) окисляются и гидролизуются, что приводит к появлению на поверхности загрузки «пленки», в основном состоящей из гидроксида железа (III). Затем начинается процесс сорбции на активной поверхности пленки и окисления железа (II) кислородом до трехвалентного железа, которое подвергается гидролизу. Начиная с момента образования «пленки», сорбция ионов железа (II) протекает параллельно на оставшейся еще свободной поверхности зерен фильтрующей загрузки и на поверхности гидроксида железа (III). Первый процесс затухает по мере уменьшения свободной поверхности загрузки и ее электрокинетического потенциала, а второй усиливается вследствие накопления активной поверхности гидроксида железа. При наличии в воде органических примесей процесс обезжелезивания замедляется в результате [8]:

— блокирования поверхности фильтрующей загрузки органической пленкой, при перманганатной окисляемости (ПО) > 3 мг O₂/л;

— при проникновении гуминовых кислот (ГК), фульвокислот (ФК) в подземные воды снижается окислительно-восстановительный потенциал вследствие того, что растворимость кислорода ниже, чем растворимость диоксида углерода;

— при снижении окислительно-восстановительного потенциала железо окисленное (Fe³⁺) присутствует в растворимой форме, что затрудняет его извлечение;

— окисленное железо легко образует железоорганические комплексы: гуматы, фульваты;

— при увеличении концентрации фульвокислот в воде образуются устойчивые комплексы FeFR(OH)₂, для деструкции которых требуется обработка окислителями либо подщелачивание.

Ramune Albrektiene, Mindaugas Rimeika, Ernesta Lubyte исследовали процесс удаления железоорганических примесей из подземных вод реагентным методом. В качестве коагулянта использовался полиалюминий гидрохлорид: (Al₂(OH)₅Cl), авторы отмечают, что дозой (в пересчете на Al³⁺) 10-15 мг/л удаляются 98-99% железоорганических примесей [8]. Проблема наличия железоорганических соединений в воде наиболее актуальна для потребителей систем индивидуального водопользования

с забором воды из шахтных колодцев и скважин небольшой глубины. Применение реагентных методов очистки в этом случае затруднено, поскольку требуются: реагентное хозяйство, устройства дозирования реагентов отстойники или фильтры. Наиболее приемлемым является электрохимическая очистка с использованием растворимых алюминиевых электродов.

Методика проведения исследований. Объектом исследования в настоящей работе являлась вода, отобранная из водозаборной скважины глубиной 13 метров. Основные показатели качества исходной воды приведены в таблице 1.

Эксперименты по обесцвечиванию и обезжелезиванию подземных вод, содержащих органические примеси проводились в два этапа, на первом исследовалась возможность использования традиционных методов:

- упрощенной аэрацией с последующим фильтрованием;
- глубокой аэрацией с последующим фильтрованием.

На первом этапе вода подвергалась аэрированию путем многократного излива в течение времени до 12 минут, периодически выполнялись анализы после фильтрования на цветность и содержание железа. Результаты экспериментов приведены на рис. 1, 2.

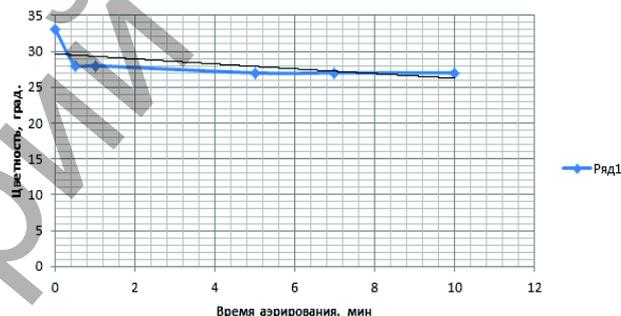


Рисунок 1. Динамика снижения цветности подземной воды в процессе глубокой аэрации

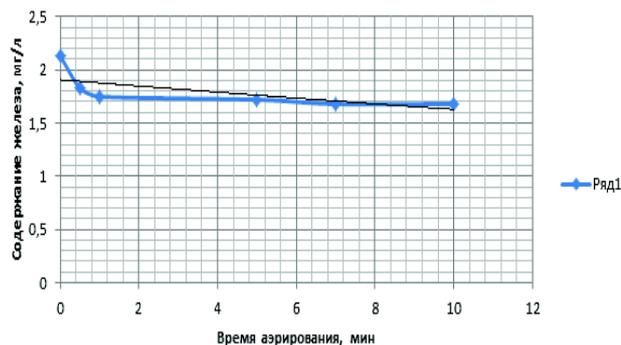


Рисунок 2. Динамика обезжелезивания подземных вод, содержащих органические примеси методом глубокой аэрации

Таблица 1. Основные показатели качества исходной воды

№ п/п	Показатель качества	Единицы измерения	Величина показателя
1	Цветность	градусы	35–40
2	Содержание железа, общ.	мг/л	0,6–0,7
3	pH	единицы pH	6,5–6,8
4	Температура	град. по Цельсию	10–12
5	Содержание нитратов	мг/л	0,5–1,0

На втором этапе были проведены эксперименты по реагентной обработке воды с использованием в качестве реагента гидроксида алюминия, $Al(OH)_3$, полученного электрохимическим методом. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 3. Опыты проводились в статических условиях. В качестве электродов (анодов и катодов) использовался алюминий АД с химическим составом по ГОСТ 4784, предназначенный для изготовления изделий пищевого назначения с массовой долей свинца не более 0,15%, мышьяка — не более 0,015%, цинка — не более 0,3%, бериллия — не более 0,0005%.

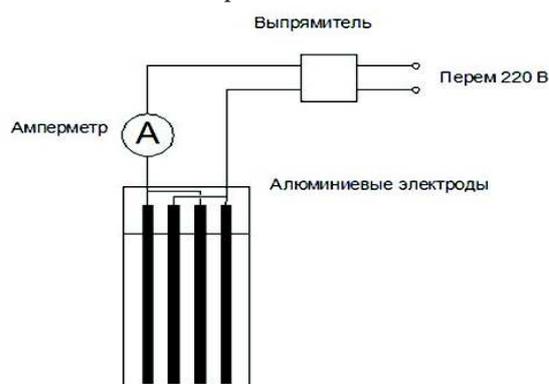


Рисунок 3. Схема экспериментальной установки

Процесс электролиза, при котором осуществляется очистка воды от загрязнений, можно представить в виде двух фаз: ионизация металла (переход ионов металла в раствор) и образование нерастворимых гидроксидов или гидроксокомплексов, сорбирующих загрязнения. Метод очистки воды в электролизере с растворимым анодом известен в литературе под названием «электрокоагуляция». При электрокоагуляции основная часть затрачиваемой энергии расходуется на первую фазу, которая в сложных электролитах, какими являются природные воды, сопровождается рядом побочных процессов: электрофлотация, электрофорез, электроокисление, выделение газов, образование пассивирующих пленок и т. д. [9]. Побочные явления, протекающие при анодном растворении алюминия, являются нежелательными, так как на них расходуется определенная часть энергии. При неблагоприятно выбранных электрических параметрах алюминиевый электрод способен переходить в пассивное состояние, и тогда большая часть затрачиваемого электричества может расходоваться на образование пассивирующей пленки и выделение газов, а процесс ионизации затормаживается или совсем прекращается. И, наоборот, при благоприятных параметрах электролиза на аноде будет превалировать процесс растворения металла, т. е. такой режим электролиза позволит получать гидроксид при минимальных затратах электроэнергии. Следовательно, основным путем для снижения электрических затрат при электрокоагуляции является оптимизация электрических параметров. В данной серии опытов плотность тока на электродах составляла до 3 mA/cm^2 [9, 10]. Доза алюминия регулировалась путем изменения продолжительности обработки. После электрохимической обработки вода фильтровалась через бумажный фильтр и анализировалась на цветность и массовое содержание железа общего.

Результаты исследований и обсуждение. Как видно из рисунка 1, в результате упрощенной аэрации в течении 25 секунд цветность снизилась с 34 до 28 градусов или на

18%, в процессе аэрации продолжительностью до 5 минут цветность обрабатываемой воды составила 27 градусов, дальнейшая аэрация не дала положительных результатов. Снижение цветности в начале эксперимента можно объяснить тем, что органические примеси подземных вод полидисперсные по фазово-дисперсному состоянию, представлены взвешями, коллоидными и молекулярными растворами [5], при фильтровании удаляются наиболее крупные частицы. Таким образом, в результате продолжительной аэрации удалось достичь цветности воды 27 градусов, что не соответствует требованиям [11].

Аналогичные результаты были получены при исследовании динамики обезжелезивания подземных вод глубокой аэрацией (рисунок 2). После аэрирования воды в течение 10 минут остаточная массовая концентрация железа составила 1,7 мг/л, при норме 0,3 мг/л [11].

Таким образом, безреагентная обработка подземных вод, содержащих органические примеси, не позволяет достичь качества в соответствии с требованиями [11].

На втором этапе были проведены эксперименты по реагентной обработке воды с использованием в качестве реагента гидроксида алюминия, $Al(OH)_3$, полученного электрохимическим методом. Как видно из рисунка 3, дозой алюминия 3 мг/л цветность воды снижается с 38 градусов до 20, а при введении металла в количестве 15 мг/л остаточная цветность составила всего 3 градуса.

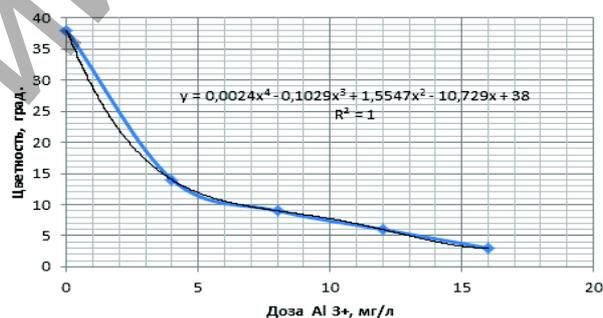


Рисунок 4. Динамика обезцвечивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции

Динамика обезцвечивания подземных вод, содержащих органические примеси, методом электрокоагуляции описывается полиномом:

$$Y = 0,0024x^4 - 0,1029x^3 + 1,5547x^2 - 10,729x + 38,$$

где Y — остаточная цветность воды; x — доза введенного алюминия Al^{3+} , мг/л.

Электрокоагуляцией эффективно удаляются железоорганические комплексы: гуматы и фульваты (рис. 4). Так, введение дозы 3 мг/л позволяет снизить массовую концентрацию железа с 0,65 до 0,3 мг/л. Дозой 12 мг/л извлекается 97% соединений железа — остаточная массовая концентрация 0,02 мг/л. Динамика обезжелезивания подземных вод, содержащих органические примеси, методом электрокоагуляции описывается полиномом:

$$Y = 3E - 05x^4 - 0,0015x^3 + 0,0247x^2 - 0,1936x + 0,645,$$

где Y — остаточная массовая концентрация железа, мг/л; x — доза введенного алюминия Al^{3+} , мг/л.

На основании выполненных исследований предлагается технология очистки воды для систем индивидуального водоснабжения (рис. 5). В качестве источников водоснабжения могут быть шахтный колодец или скважина. Если от-

метка статического уровня воды в колодце или скважине ниже отметки насоса не более чем на 8 метров, то в качестве водоподъемника целесообразно использовать насос с пневмобаком. Подача воды на хозяйственные нужды (полив зеленых насаждений, мойка тротуарной плитки, автомобилей и т. п.) осуществляется без очистки. Для питьевых целей предусматривается двухступенчатая очистка: на первой ступени электрокоагуляция с последующим фильтрованием на веревочном картридже, на второй — сорбционная очистка на активированном угле. В качестве электродов следует использовать «пищевой» алюминий АД, растворение алюминиевого анода происходит под действием постоянного электрического тока от выпрямителя. Напряжение подается только при открытии крана для разбора питьевой воды в результате срабатывания микровключателя. Гидроксид алюминия задерживается на веревочном фильтре, который периодически подлежит замене. Доочистка воды от органических примесей осуществляется на фильтре с угольным картриджем. При необходимости можно осуществлять отбор предварительно очищенной воды на первой ступени для хозяйственных нужд (стирка белья, посудомоечная машина, душевые нужды, пользование туалетом и т. п.) для этого после веревочного фильтра следует предусмотреть кран с микровключателем, обеспечивающим подачу напряжения на электроды при разборе воды.

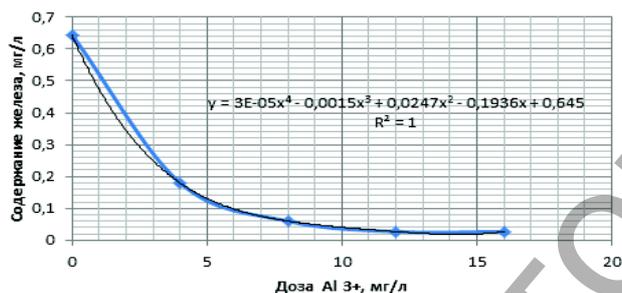


Рисунок 5. Динамика обезжелезивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции

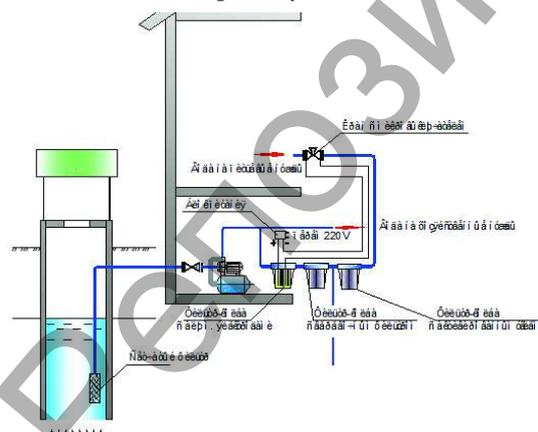


Рисунок 6. Технологическая схема обесцвечивания и обезжелезивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции для питьевого водоснабжения.

ZHITENEV N.B., RYBAK E.S. Discoloration and the removal of iron from groundwater containing organic impurities by electrochemical method

The work deals with the development of technology of bleaching and deferrization of water containing organic impurities. It is shown that the presence of organic contaminants in groundwater complicates the processes of bleaching and iron removal from their traditional methods. On the basis of experimental researches the technology of electrochemical bleaching and iron removal water systems for individual use.

Заключение:

1. В Беларуси около 2 млн человек используют воду с содержанием железа выше санитарной нормы 0,3 мг/л.
2. Установлены основные причины неэффективности традиционных методов обезжелезивания воды, которая содержит органические примеси.
3. Экспериментально показано, что методы упрощенной и глубокой аэрации не эффективны для обесцвечивания и обезжелезивания воды с органическими примесями.
4. В результате экспериментов установлена высокая эффективность электрокоагуляции для обесцвечивания воды с органическими примесями. Дозой алюминия 3 мг/л цветность воды снижается с 38 градусов до 20 градусов.
5. Электрокоагуляцией эффективно удаляются железоорганические соединения, дозой алюминия 3 мг/л массовая концентрация железа снижается с 0,65 до 0,3 мг/л.
6. Предложена двухступенчатая технология подготовки воды для систем индивидуального пользования, установлены основные технологические параметры электрокоагуляции.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ВОДНАЯ СТРАТЕГИЯ Республики Беларусь на период до 2020 года. УТВЕРЖДЕНО решением коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 11.08.2011 №72-Р.
2. Николадзе, Г.И. Улучшение качества подземных вод: дис. в виде научного доклада ... д-ра технических наук: 05.23.04 / Г.И. Николадзе. – Москва, 1996. – 54 с.
3. Станкявичюс, В.И. Обезжелезивание воды фильтрованием (основы теории и расчет установок) / В.И. Станкявичюс. – Вильнюс.: Мокслас, 1978. – 120 с.
4. Николадзе, Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г.И. Николадзе. – М.: Стройиздат, 1978. – 160 с.
5. Кульский, Л.А. Технология очистки природных вод / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. 1986. – 352 с.
6. Николадзе, Г.И. Технология очистки природных вод / Г.И. Николадзе: учеб. для вузов. – М.: Высш. шк. 1987. – 497 с.
7. Мамонтов, К.А. Обезжелезивание воды в напорных установках / К.А. Мамонтов. – М., 1964. – 94 с.
8. Ramune Albrektiene, Mindaugas Rimeika, Ernesta Lubyte. The removal of iron-organic complexes from drinking water using coagulation process. The 8th International Conference May 19–20, 2011, Vilnius, Lithuania.
9. Кульский, Л.А. Поведение алюминиевых анодов при обесцвечивании природных вод. Химия и технология воды / Л.А. Кульский, П.П. Строкач, Б.Н. Житенёв. – 1984.– Т. 6, №4.
10. Кульский, Л.А. Влияние солевого состава воды на анодное окисление алюминия. Химия и технология воды / Л.А. Кульский, П.П. Строкач, Б.Н. Житенёв.-1984.– Т. 6, №3.
11. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 10-124 РБ 99.

Материал поступил в редакцию 14.05.17