

УДК 663.18

*Василевич В. А., Гизмонт Д. В.*

*Научные руководители: к. т. н., доцент Житенёв Б. Н.,  
ст. преподаватель Рыбак Е. С.*

## **ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ЖЕЛЕЗООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ**

**Введение.** Целью данной работы является разработка усовершенствованной технологии очистки воды от железоорганических соединений. В Водной стратегии Республики Беларусь на период до 2020 года [1] отмечается, что в настоящее время около 2 млн человек используют воду с содержанием железа выше санитарной нормы – 0,3 мг/дм<sup>3</sup>. Одной из причин такого положения является наличие железорганических соединений в воде и отсутствие сооружений очистки воды перед подачей её потребителям. Проблема наиболее актуальна для пользователей систем индивидуального водоснабжения 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. В работе [2] в качестве электродов (анодов и катодов) использовался алюминий АД с химическим составом по ГОСТ 4784, предназначенному 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 %. Присутствие в сплаве алюминия примесей свинца, мышьяка, цинка, бериллия, а также достаточно высокая стоимость явились предпосылкой для поиска других, более доступных и безопасных материалов для проведения электролиза.

При наличии в воде органических примесей процесс обезжелезивания замедляется в результате [3]:

- блокирования поверхности фильтрующей загрузки органической пленкой, при перманганатной окисляемости (ПО) > 3 мг O<sub>2</sub>/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 (Fe<sup>3+</sup>) 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 FeФR(OH)<sub>2</sub> для деструкции которых требуется обработка окислителями, либо подщелачивание.

Для интенсификации обезжелезивания воды в качестве окислителя использовался пероксид водорода. Эффективность H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в реакциях окисления определяется концентрацией активных продуктов его разложения (ионных, радикальных). На механизм разложения H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> наибольшее влияние оказывают рН реакционной среды и присутствие ионов металлов переменной валентности (железо, марганец, медь и др.). Анализ литературных источников показал, что увеличение степени очистки поверхностных вод при введении в нее сульфата железа (II) можно объяснить тем, что присутствующие в воде катионы железа (II)

и образующиеся в результате окисления катионы железа (III) катализируют процесс цепного радикального окисления.

Катионы железа (II и III) оказывают активирующее воздействие на процесс разрушения пероксида водорода с образованием свободных радикалов. **Свободные радикалы** – это любые молекулы или атомы, содержащие один или несколько свободных электронов на внешнем электронном уровне. В силу своей природы свободные радикалы являются очень реакционноспособными (окислительный потенциал 2,87В), способными разрушать многие органические вещества [4].

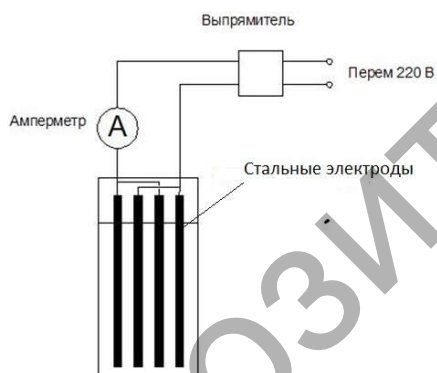
#### Методика проведения исследований

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

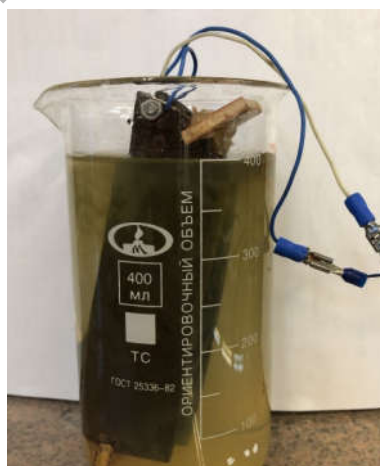
**Таблица 1 – Основные показатели качества исходной воды**

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

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1. Опыты проводились в статических условиях. В качестве электродов использовались железный анод и железный катод.



**Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки**

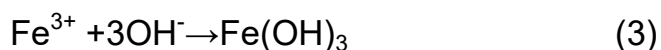


**Рисунок 2 – Общий вид экспериментальной установки**

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:



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. [5]. Побочные явления, протекающие при анодном растворении железа, являются нежелательными, так как на них расходуется определенная часть энергии. В процессе экспериментов исследовалось влияние массовой концентрации пероксида водорода, массовой концентрации ионизированного железа и продолжительности флокуляции на процесс обезжелезивания воды. Массовая концентрация пероксида водорода изменялась дозированием его раствора в реактор и варьировалась в интервале 0–100 мг/л. Масса ионизированного металла регулировалась путем изменения продолжительности электролиза и рассчитывалась в соответствии с 1-м законом Фарадея. Флокуляция осуществлялась при медленном перемешивании в механической мешалке (рис. 3, 4).



**Рисунок 3 – Флокуляция**

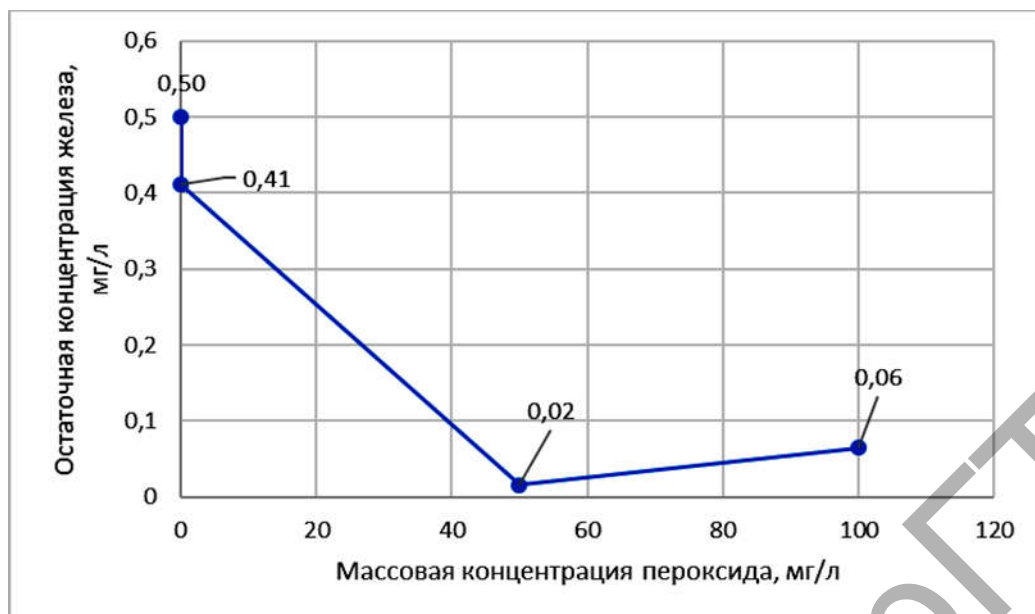


**Рисунок 4 – Завершение хлопьеобразования**

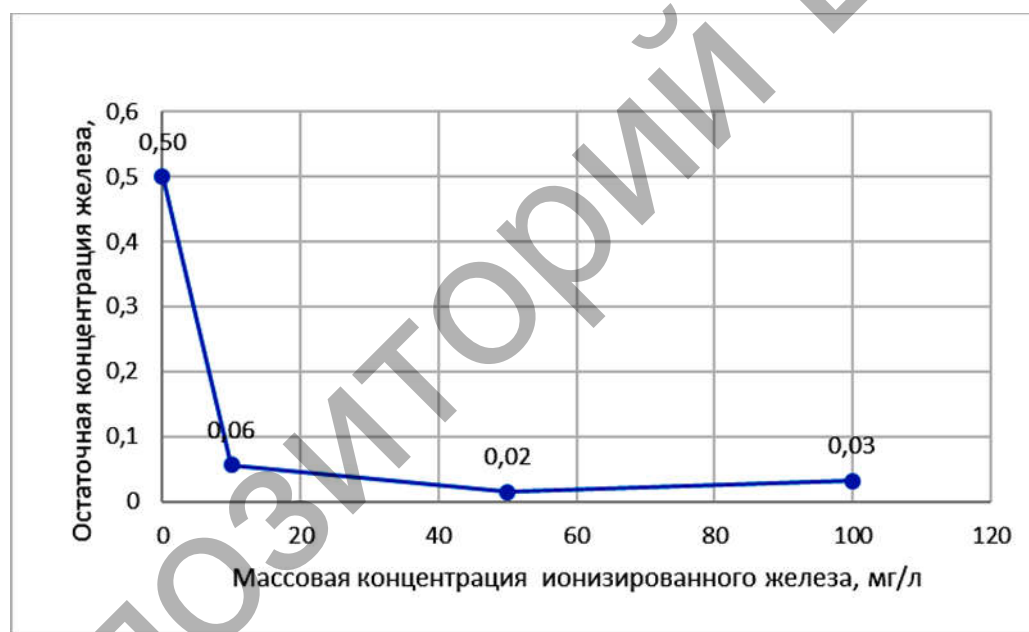
### **Результаты и их обсуждение**

Массовая концентрация пероксида водорода оказывает значительное влияние на очистку воды от железоорганических примесей электрокоагуляцией с железными электродами. Так, при отсутствии пероксида эффект удаления железа составил 18% при остаточной концентрации 0,41 мг/л, введение 50 мг/л.

$H_2O_2$  сопровождалось увеличением эффекта до 96% при остаточной концентрации 0,02 мг/л, что можно объяснить разрушением устойчивых комплексов  $FeFR(OH)_2$  в результате окисления. В результате, система дестабилизировалась и облегчился процесс коагуляции (рис. 5).

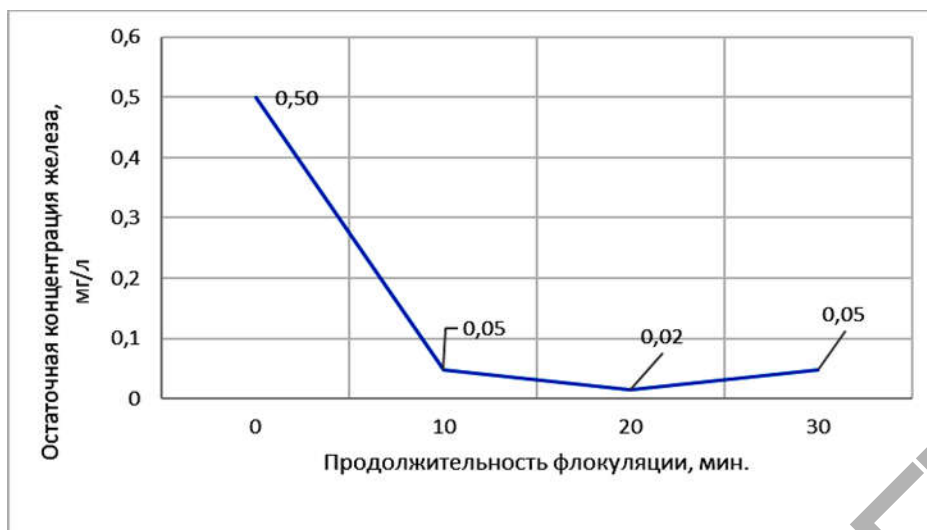


**Рисунок 5 – Влияние массовой концентрации пероксида водорода на очистку воды от железоорганических соединений**



**Рисунок 6 – Влияние массовой концентрации ионизированного металла на очистку воды от железоорганических соединений**

Массовая концентрация ионизированного металла также оказывает преобладающее влияние на очистку воды от железоорганических соединений. Ионы железа принимают участие не только в образовании гидроксида железа, но и являются окислителями в высоких степенях окисления ( $\text{Fe}^{3+}(\text{O}_2\text{H})^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{4+}=\text{O}$ ,  $\text{Fe}^{5+}=\text{O}$ )[6]. При введении 10 мг/л железа эффект очистки составил 88%, при 50 мг/л 96 % (рис. 6).



**Рисунок 7– Влияние продолжительности флокуляции на очистку воды от железоорганических соединений**

Оптимальная продолжительность флокуляции составила 20 минут, при этом эффект очистки равен 96 % (рис. 7).

### **Заключение**

1. Выполненные исследования по очистке воды от железоорганических соединений усовершенствованной электрохимической технологией, включающей обработку пероксидом водорода в присутствии металла с переменной валентностью (железа), показали высокую эффективность данного метода для удаления железоорганических соединений.

2. Установлено, что наибольшее влияние на процесс очистки воды от железоорганических соединений усовершенствованной электрохимической технологией оказывают массовая концентрация пероксида водорода, доза ионизированного железа, продолжительность флокуляции.

3. В результате лабораторных экспериментов установлены оптимальные значения: массовая концентрация пероксида: 40–60 мг/л; массовая концентрация ионизированного железа 10–50 мг/л; продолжительность флокуляции: 15–20 минут.

### **Список цитированных источников**

1. ВОДНАЯ СТРАТЕГИЯ Республики Беларусь на период до 2020 года. УТВЕРЖДЕНО Решение коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 11.08.2011 № 72-Р.

2. Житенёв, Б. Н. Обесцвечивание и обезжелезивание подземных вод, содержащих органические примеси электрохимическим методом / Б. Н. Житенёв, Е. С. Рыбак // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2017. – № 2 (104) : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология.

3. 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.

4. Житенёв, Б. Н. Очистка воды от стойких органических примесей окислительными технологиями : [монография] / Б. Н. Житенёв, А. Д. Гуринович. – Брест : БрГТУ, 2019. – 235 с.

5. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строчак. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. 1986. – 352 с.

6. Photochemical Purification of Water and Air, Advanced Oxidation Processes: Principles, Reaction Mechanisms, Reactor Concepts, T. Oppenländer, Wiley-VCH, Germany, 2003.