

15. Печенина, В. С. Требования к защите почв от водной эрозии на осушаемых склоновых слабопроницаемых почвах в ЦНЗ РФ / В. С. Печенина, Е. В. Носова, А. П. Соломина // Вопросы мелиорации. – 2003. – № 12. – С. 36–44.
16. Патент № 2759221 Российская Федерация. Дождевальная установка турбинного типа / Н. Н. Дубенок, Д. В. Яланский, Ю. А. Мажайский, Ф. Икроми, М. И. Голубенко; опубл. 11.11.2021, Бюл. № 32.

УДК 663.18

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ СТОЙКИЕ ПРИМЕСИ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Б. Н. Житенёв, Е. С. Рыбак

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
gitenev@tut.by

Аннотация

Работа посвящена разработке технологий обесцвечивания и обезжелезивания вод, содержащих стойкие примеси природного происхождения: гуминовых, фульвовых кислот, металорганических соединений: гуматов и фульватов железа. Показано, что присутствие органических примесей в подземных водах затрудняет процессы обесцвечивания и обезжелезивания их традиционными методами. На основании выполненных экспериментальных исследований предлагаются технологии электрохимического обесцвечивания и обезжелезивания воды.

Ключевые слова: стойкие примеси природного происхождения, железо, цветность, гуматы, фульваты железа, электрокоагуляция, вода питьевого качества.

ELECTROCHEMICAL PURIFICATION OF NATURAL WATERS CONTAINING PERSISTENT IMPURITIES OF NATURAL ORIGIN

B. N. Zhitenev, E. S. Rybak

Abstract

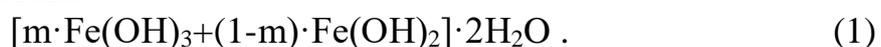
The work is devoted to the development of technologies for bleaching and iron removal of waters containing persistent impurities of natural origin: humic, fulvic acids, organometallic compounds: iron humates and fulvates. It is shown that the presence of organic impurities in groundwater makes it difficult to decolorize and remove iron by traditional methods. On the basis of the performed experimental studies, technologies for electrochemical decolorization and deferrization of water are proposed.

Key words: persistent impurities of natural origin, iron, color, humates, iron fulvates, electrocoagulation, drinking water.

Введение. Обеспечение населения качественной питьевой водой является приоритетной социально-экологической задачей Республики Беларусь. Законом Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении», принятом в 1999 году, на государственном уровне установлены правовые гарантии удовлетворения потребностей физических и юридических лиц в питьевой воде в соответствии с нормативами качества питьевой воды и нормами питьевого водопотребления, а также государственные гарантии надежности и безопасности питьевого водоснабжения.

Доступ к централизованным системам водоснабжения имеет 98,5 % городского и около 65,9 % сельского населения. Остальное население снабжается водой из нецентрализованных источников водоснабжения: шахтных колодцев и мелкотрубчатых скважин.

Нецентрализованными источниками водоснабжения (шахтными колодцами) пользуются 1,5 млн. человек, основную часть которых составляет сельское население. Из находящихся под контролем учреждений госсаннадзора 30,1 тыс. общественных источников нецентрализованного водоснабжения, из них 15,9 % источников не соответствуют санитарным требованиям: 12,5 % исследованных проб по санитарно-химическим и 5,4% по микробиологическим показателям. Несоответствие качества воды в шахтных колодцах (повышенное содержание нитратов в питьевой воде в 9,9% в целом по республике) связано с нарушением санитарно-гигиенических правил при размещении, оборудовании и эксплуатации колодцев. Вместе с тем, несмотря на значительный в последние годы объем работ по развитию централизованного водоснабжения, около 2 млн. человек в республике используют воду с содержанием железа выше санитарной нормы – 0,3 мг/л. Такая ситуация обусловлена, в основном, гидрогеологическими особенностями водоносных горизонтов на территории республики [1]. В Республике Беларусь наиболее распространенным методом удаления железа из воды, предназначенной для питьевого водоснабжения, является упрощенная аэрация с фильтрованием. По данным работ [2–7], при обезжелезивании методом упрощенной аэрации с фильтрованием сначала происходит адсорбция ионов железа (II) и молекулярного кислорода на поверхности “чистых” зерен фильтрующей загрузки с образованием пленки сложного химического состава



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 гидроклорид : $(Al_2(OH)_5Cl)$, авторы отмечают, что дозой (в пересчете на Al^{3+}) 10-15 мг/л удаляются 98-99% железоорганических примесей [8]. Проблема наличия железорганических 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.

Повышенные показатели по перманганатной окисляемости чаще всего характерны для тех территорий страны, где расположено наибольшее количество болотных угодий (бассейны рек Западный Буг, Припять), торфяных отложений и т.д. Эти территории характеризуются повышенным содержанием органических (гуминовых) веществ в поверхностных и подземных водах, которые и приводят к образованию органических соединений железа, которые не удаляются такими методами как упрощенная аэрация, глубокая аэрация.

Материалы и методы. 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	0,6 – 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

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 разлива в течении времени до 12 минут, периодически выполнялись анализы после фильтрования на цветность и содержание железа. Результаты экспериментов приведены на рисунках 1, 2.

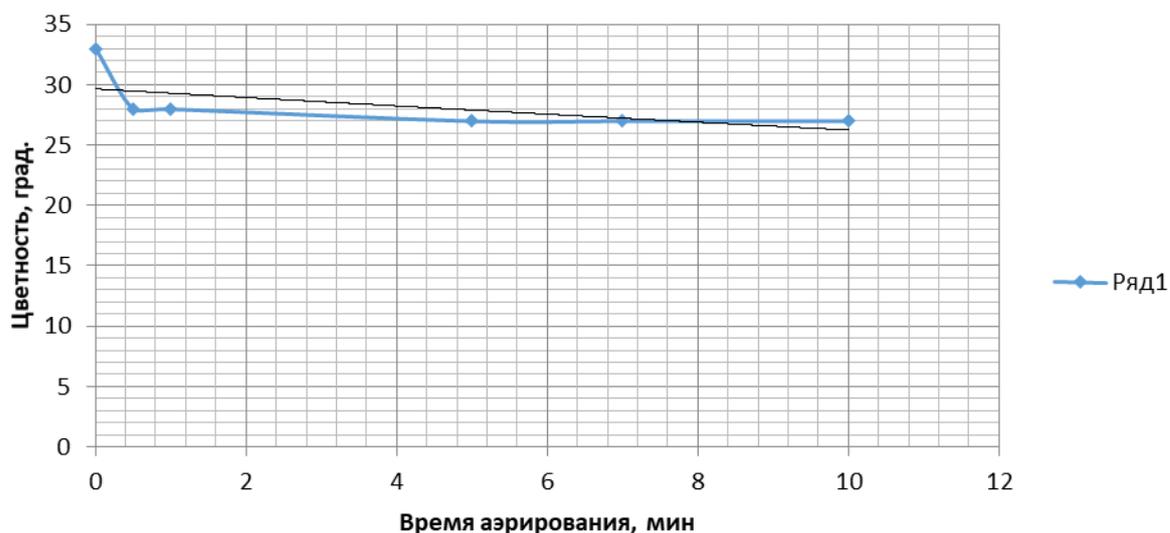


Рисунок 1 – Динамика снижения цветности подземной воды в процессе глубокой аэрации

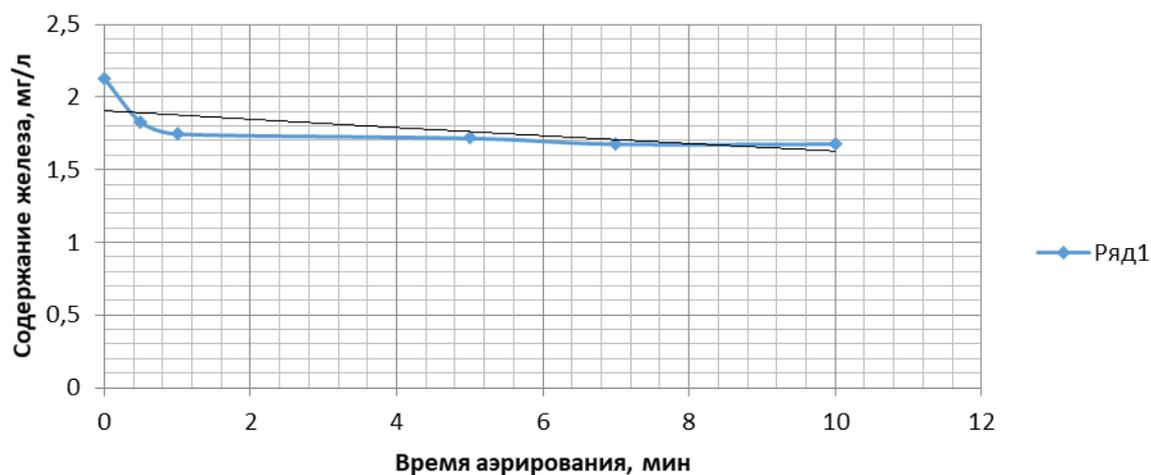


Рисунок 2 – Динамика обезжелезивания подземных вод, содержащих органические примеси методом глубокой аэрации

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, предназначенного для изготовления изделий пищевого назначения с массовой долей свинца не более 0,15 %, мышьяка – не более 0,015 %, цинка более 0,3 %, бериллия – не более 0,0005 %. 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".

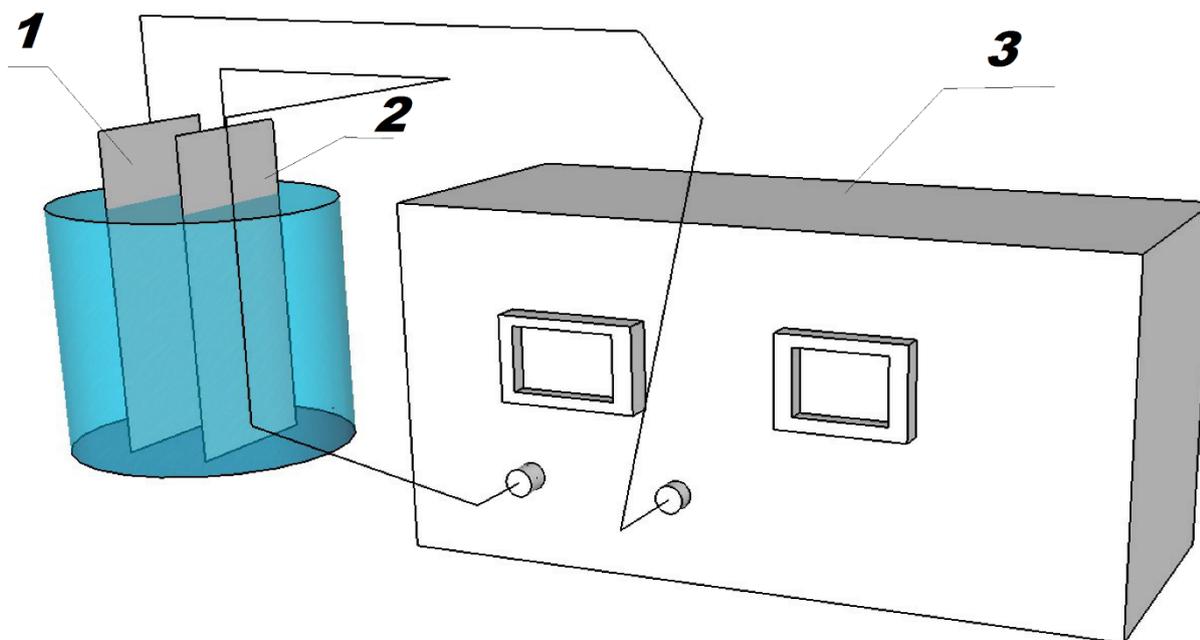


Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки

1 – Анод из алюминия марки АД, 2 – катод из нержавеющей стали, 3 – источник постоянного тока

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 мА/см^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 и обсуждение. Как видно из рисунков 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 взвесями, 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 течении 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 4, 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.

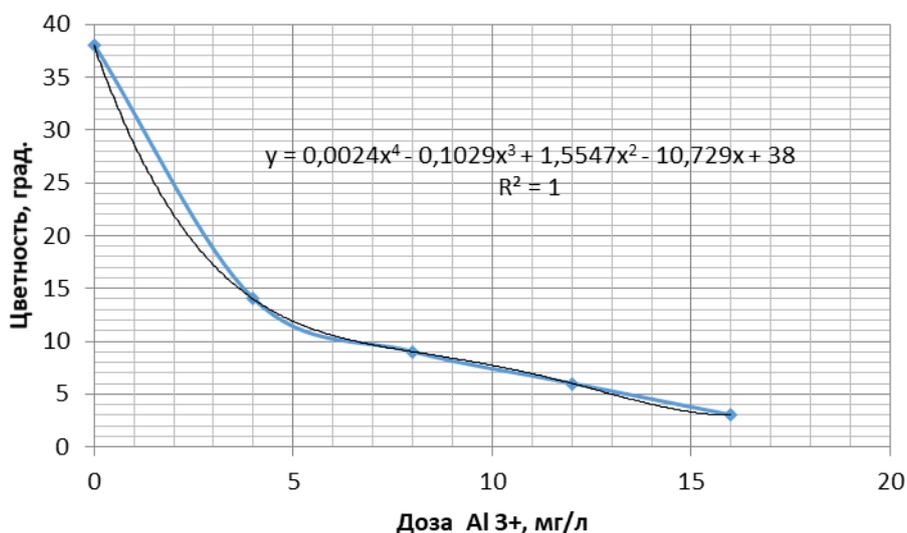


Рисунок 4 – Динамика обесцвечивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции

Динамика обесцвечивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции описывается полиномом

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

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

Электрокоагуляцией эффективно удаляются железоорганические комплексы: гуматы и фульваты (рисунок 5), 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

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

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

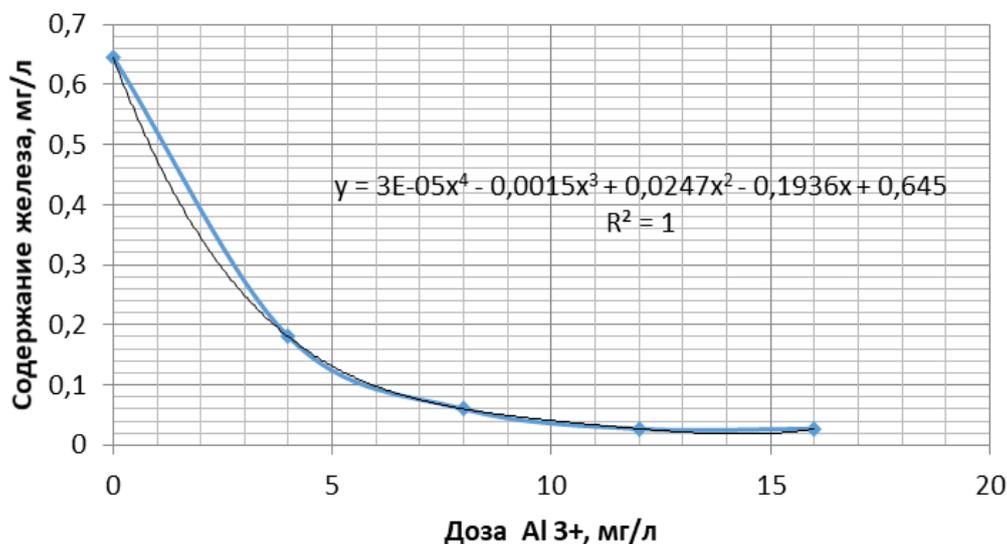


Рисунок 5 – Динамика обезжелезивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции

На основании выполненных исследований предлагается технология очистки воды для систем индивидуального водоснабжения (рисунок 6). В качестве источников водоснабжения могут быть шахтный колодец или скважина. Если отметка 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.

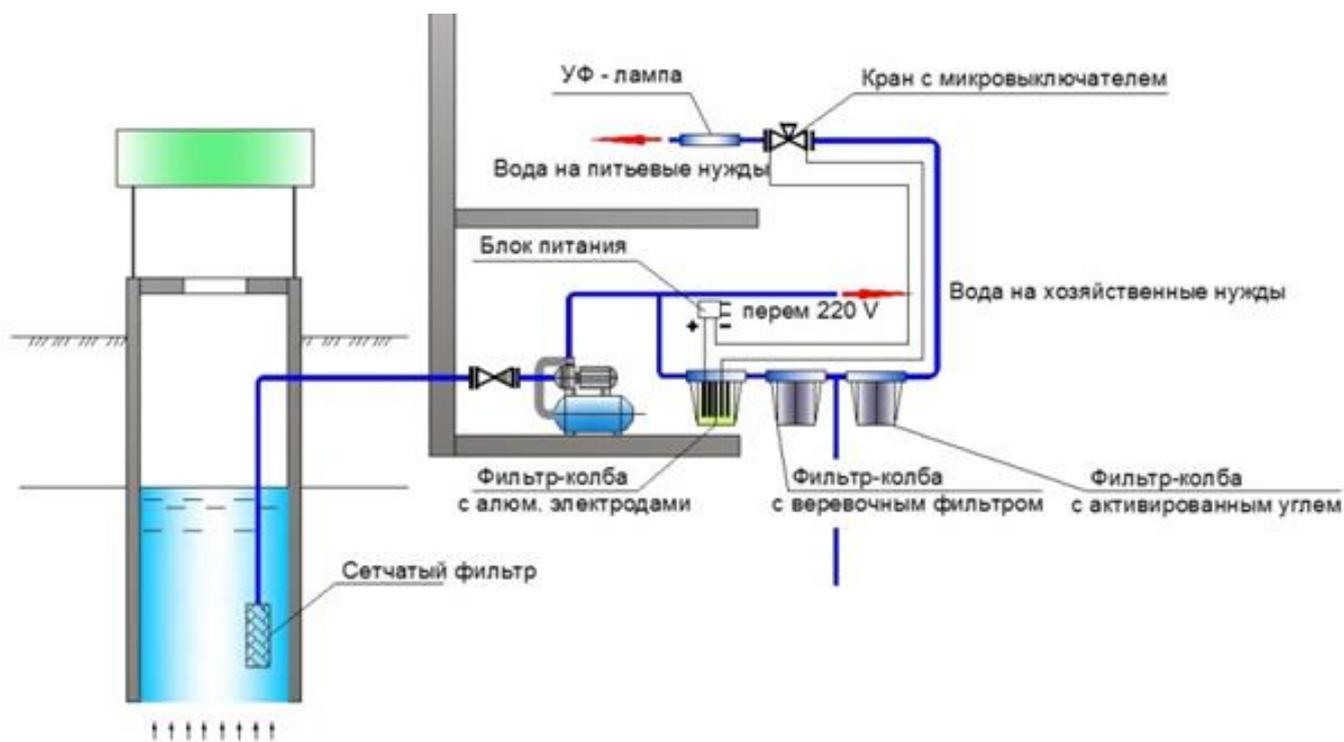


Рисунок 6 – Технологическая схема обесцвечивания и обезжелезивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции для питьевого водоснабжения

Заключение. 1. В настоящее время в Республике Беларусь около 2 млн. человек используют воду с содержанием железа выше санитарной нормы 0,3 мг/л. 2. На основании литературных данных установлены основные причины неэффективности традиционных методов обезжелезивания воды, которая содержит органические примеси. 3. На основании экспериментальных данных показано, что методы упрощенной и глубокой аэрации не эффективны для обесцвечивания и обезжелезивания воды со стойкими органическими примесями. 4. В результате проведенных 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 процесса электрокоагуляции.

Список цитированных источников

1. Стратегия управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года. (проект). Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.
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., Строкач П. П., Житенёв Б. Н. Поведение алюминиевых анодов при обесцвечивании природных вод. Химия и технология воды . – 1984. – Т. 6. – № 4.
10. Кульский Л. А., Строкач П. П., Житенёв Б. Н. Влияние солевого состава воды на анодное окисление алюминия. Химия и технология воды. – 1984. – Т. 6. – № 3.
11. СанПиН 10-124 РБ 99 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.

УДК 631.3:631.672

NEW TREND IN THE IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF PIPELESS WATER LIFTING FROM WELLS WITH SUBMERSIBLE MOTOR PUMP IN THE WATER SUPPLY AND IRRIGATION IN KAZAKHSTAN

N. Ilyasova¹, Zh. Zhakupova¹, O. Meshik², A. Yakovlev¹, Y. Sarkynov¹

¹Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan, nargiz95@list.ru

²Brest State Technical University, Brest, Belarus, omeshyk@gmail.com

Abstract

A brief analytical review of researches and developments in the technology of pipeless water lift from wells by electric submersible pumps, including in Kazakhstan, is given. Researches in KazNAU on improvement of the technology of pipeless water lift to improve the efficiency of groundwater use in the water supply and land reclamation system using in the technological process of water lift a new type – packer hydraulic device with ejector, increasing water withdrawal from the well and increasing the efficiency of submersible electric pump by 20-30% and reducing metal consumption per one pump unit in 2-3 times are presented. A new direction in improving the technology of pipeless water lifting - methodological basis for the development of necessary standard sizes of packer hydraulic devices, allowing to solve the problem of effective use of promising developments in the water supply and land reclamation system of Kazakhstan – has been proposed.