

УДК 628.1

DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-1-20-28

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ ПЕРОКСИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА

IMPROVEMENT OF GROUNDWATER DEIRONING METHODS, BASED ON THE USE OF METASTABLE PEROXIDE COMPOUNDS OXYGEN AND HYDROGEN



А. Г. Секисов,
Институт горного
дела ДВО РАН,
г. Хабаровск,
sekisovag@mail.ru



А. А. Петухов,
Забайкальский
государственный
университет,
г. Чита,
petuhovss7469@mail.ru



А. Ю. Лавров,
Забайкальский
государственный
университет,
г. Чита,
lavrov_2002@mail.ru



Д. Н. Горбань,
Забайкальский
государственный
университет,
г. Чита,
gorbandarya@yandex.ru

A. Sekisov,
Institute of Mining, Far
Eastern Branch of the
Russian Academy of
Sciences, Khabarovsk

A. Petukhov,
Transbaikal State
University, Chita

A. Lavrov,
Transbaikal State
University, Chita

D. Gorban,
Transbaikal State
University, Chita

Отмечено, что для реализации предлагаемого способа очистки воды от растворенного железа ее разделяли на два потока: меньший по объему (20 л/ч) проходил электрохимическую, а затем фотохимическую обработку с образованием в нем сначала двухатомного кислорода и водорода, метастабильной перекиси водорода, а затем – гидроксил-ионов, ионов гидроксония, диоксида и перекиси водорода. Далее поток обработанной воды возвращался в начало процесса очистки, т. е. объединялся с входной водой, что обеспечивало окисление этими соединениями двухвалентного железа, содержащегося в основном объеме воды, в порах и на поверхности искусственного катализического материала. Указано, что на поверхности основного наполнителя осуществлялось последующее формирование гидроокиси трехвалентного железа. Показано, что процесс коагуляции, полученной при окислении гидроокиси железа, обеспечивал кремниево-кварцевый наполнитель, обработанный перед помещением в фильтр в фотохимическом реакторе. Свежеобразованная гидроокись железа, осажденная фильтрующим материалом, выполняла роль сорбента для меди, мышьяка и сурьмы. Пробы очищенной воды отбирались после пропускания каждого 10 л. Отмечено, что содержание железа в первых 30 л снизилось после очистки до 0,05 мг/л, меди – до 0,01, мышьяка – менее 0,01, сурьмы не обнаруживалась (меньше бланка). После проскока накопления загрязняющих воду компонентов (закрепленного роста содержания железа, меди и мышьяка соответственно до 0,25; 0,18; 0,05 мг/л) через 100 л пропущенной воды фильтр регенерировался промывкой водопроводной водой.

Экспериментальная проверка предложенного способа водоподготовки осуществлялась на искусственном водном растворе, полученном путем добавления сбросной воды Царасунского хвостохранилища к водопроводной воде из расчета получения pH=6,8 и достижения содержания двухвалентного железа (8,7 мг/л), мышьяка (0,38 мг/л), меди (1,2 мг/л) и сурьмы (0,08 мг/л).

Сделан вывод, что изобретение может быть использовано для очистки и повышения качества подземных вод. Способ обеспечивает повышение биологической ценности воды за счет роста содержания в ней

растворенного кислорода и образования новых активных молекул в ходе фотохимических реакций между электролитическими кислородом и водородом

Ключевые слова: система очистки (водоподготовки); электролиз воды; обезжелезивание; ультрафиолетовое излучение; электрохимический реактор; накопитель очищенной воды; фильтрационная колонна; гидроокись железа; марганец; ионы тяжелых металлов

It is noted that for the implementation of the proposed method of purifying water from dissolved iron, it is divided into two streams: a smaller one (20 l/h) underwent first electrochemical, and then photochemical treatment with the formation of first two-atom oxygen and hydrogen, metastable peroxide hydrogen, and then hydroxyl ions, hydroxonium ions, dioxide and hydrogen peroxide. Then, the treated water flow returned to the beginning of the purification process, that is, it was combined with the input water, which ensured the oxidation of ferrous compounds contained in the main volume of water in the pores and on the surface of the artificial catalytic material. It is indicated that the subsequent formation of ferric hydroxide on the surface of the main filler was carried out. It is shown that the coagulation process, obtained by the oxidation of iron hydroxide, provided silicon-quartz filler, processed before being placed in a filter in a photochemical reactor. Freshly formed iron hydroxide precipitated with filter material served as a sorbent for copper, arsenic and antimony. Samples of purified water were taken after passing every 10 liters. It was noted that the iron content in the first 30 l decreased after purification to 0,05 mg/l, copper to 0,01, arsenic less than 0,01, and antimony was not detected (less blank). After the breakthrough accumulation of water-polluting components (recorded increase in the content of iron, copper and arsenic, respectively, to 0,25, 0,18, 0,05 mg/l) after 100 l of missed water, the filter was regenerated by washing with tap water.

Experimental verification of the proposed method of water treatment was carried out on an artificial water solution obtained by adding the waste water of the Darasun tailing to tap water at the rate of obtaining pH = 6,8 and reaching the content of ferrous iron (8,7 mg/l), arsenic (0,38 mg/l), copper (1,2 mg/l) and antimony (0,08 mg/l). It is concluded that the invention can be used to clean and improve the quality of groundwater. The method provides an increase in the biological value of water due to an increase in the content of dissolved oxygen in it and the formation of new active molecules during photochemical reactions between electrolytic oxygen and hydrogen

Key words: water treatment system (water treatment); water electrolysis; iron removal; ultraviolet radiation; electrochemical reactor; storage of purified water; filtration column; hydroxide of iron; manganese; heavy metal ions

Введение. Прогрессирующее загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и искусственно созданными химическими соединениями, которое затрагивает уже и глубокие водоносные горизонты, особенно в районах действия горнодобывающих и металлургических предприятий, приводит к объективной необходимости использования систем водоподготовки для безопасного и эффективного ведения сельскохозяйственных процессов.

Целью исследования является разработка высокоеффективных систем очистки и доочистки воды от различных загрязнителей, растворенных в ней солей и газов. Вместе с тем процессы, используемые в современных водоподготовительных системах, предполагают использование дорогостоящих наполнителей фильтров и реагентов для их регенерации, наличие многоступен-

чатой обработки воды [1–3; 6; 7]. В связи с этим, такие системы водоподготовки характеризуются высокой стоимостью и не могут широко применяться для небольших сельскохозяйственных производств. Для фермерских хозяйств, ведущих деятельность в зоне техногенного воздействия горнодобывающих и металлургических предприятий, приобретение систем водоподготовки, используемой для полива растений и питьевого водоснабжения животноводческого и птицеводческого комплексов, является насущной необходимостью [4; 5; 8–10]. Приобретение ими водоподготовительных систем, позволяющих очистить воду от ряда природных и техногенных поллютантов, ограничено бюджетными возможностями. Поэтому разработка систем очистки воды от растворенного железа, марганца, тяжелых металлов и металлоидов без ис-

пользования дорогостоящих наполнителей фильтров и реагентов является актуальной научно-технической проблемой.

Использование безреагентных систем водоподготовки, обеспечивающих эффективную очистку воды от растворенного железа, основанных на использовании фильтрующих материалов, катализирующих перевод двухвалентного железа в трехвалентное состояние растворенным кислородом, с последующим его осаждением в форме коагулирующей гидроксида (гидроксида) при pH больше 6,8, широко применяется на практике. Вместе с тем эта технология имеет существенное ограничение по исходному содержанию железа общего (не более 5 мг/л), при целом ряде других ограничивающих параметров (по содержанию марганца, фтора, растворенного кислорода, общей жесткости и др.), что для рассматриваемых условий сужает область ее применения для воды незагрязненных приповерхностных источников.

Задачи исследования. Задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, состоит в повышении эффективности очистки воды от железа, марганца, ионов тяжелых металлов, мышьяка и сурьмы за счет использования электрохимических и фотохимических процессов образования высокоактивных окислителей в отдельных порциях, смешиваемых с ее основным объемом перед фильтрацией.

Объект исследования: подземные воды. *Предмет исследования:* методы очистки воды при реализации установки от различных примесей, растворенных в воде (железо, марганец, ионы тяжелых металлов, мышьяк и сурьма).

Методы и методология исследования. Решение проблемы разработки безреагентной системы очистки воды от растворенного железа, тяжелых металлов и металлоидов авторами предлагается решить путем формирования непосредственно в части обрабатываемой воды высокоактивных, экологически безопасных окислителей – группы пероксидных соединений кислорода и водорода. Формирование в воде таких безопасных, распада-

ющихся с течением небольшого времени на кислород, водород и углекислый газ окислителей осуществляется посредством электролитической генерации кислорода и водорода с последующим облучением полученной при этом водно-газовой эмульсии, источником УФ-излучения и/или источником ультразвуковых упругих волн.

Одним из наиболее эффективных путей повышения активности окислителей, в частности, наиболее безопасного из них – кислорода, является воздействие на них электромагнитным излучением в ультрафиолетовом диапазоне длин его волн (182...252 нм). При этом двухатомарный кислород переходит в атомарную аллотропную форму или трехатомарную – озон, которые обладают более высоким окисительно-восстановительным потенциалом, чем исходная, двухатомарная форма кислорода.

Для каждой фотохимической реакции существует граница частоты света, ниже которой она не реализуется:

$$v > v_0 = \frac{E_c}{h},$$

где v , v_0 – соответственно требуемая и граничная частота;

h – постоянная Планка;

E_c – энергия, необходимая для разрушения или образования межатомной связи.

Такое излучение, в силу высокой энергии квантов, при поглощении его электронными оболочками атомов (молекул) раствора и растворенных компонентов переводит их в возбужденное состояние. Получение активных окислителей путем облучения воздуха или химически чистого двухатомарного кислорода светом в УФ-части спектра или воздействия на них электроразрядом с последующим барботажем воды, как это реализуется в системах водоподготовки, сопровождается значительными их потерями. Существенная часть образуемых атомарных форм кислорода рекомбинирует вследствие в первую очередь их рекомбинации до перехода из газовой фазы в водную (например, $O_2^* = 2O$, $O + O_2 = O_3$, $O_3 = O_2 + O$, $O + O = O_2$).

В случае если облучение УФ-светом этих газов осуществляется в объеме мелких пузырьков, находящихся в воде, то большая часть их активных радикальных и ион-радикальных форм успевает диффундировать в окружающую их пленочную воду и вследствие реакций гидратации сформировать такие активные соединения, как H_2O_2^* , HO^* . Окислительно-восстановительный потенциал гидроксил-радикалов составляет 2300 мВ, что обеспечивает возможность окисления ими атомов и доокисления ионов не только железа, но и многих других металлов.

При электролизе воды, содержащей ионы растворенных компонентов, на аноде выделяются пузырьки кислорода, содержащие также пары воды. При воздействии на воду, содержащую пузырьки этих газов, источником УФ-излучения и/или ультразвуковых колебаний ее молекулы и молекулы электролитического двухатомарного кислорода и водорода распадаются на активные атомы и радикалы или ионизируются, а продукты распада, взаимодействуя с другими возбужденными молекулами воды, производят вторичные активные радикалы, ионы, ион-радикалы или сильные молекулярные окислители.

При коалесценции пузырьков кислорода и водорода, выделяемого на катоде, происходит взаимная диффузия этих газов, что обеспечивает при УФ-облучении такой водно-газовой эмульсии увеличение выхода активных соединений кислорода и водорода. В пузырьках смешанного газового состава будут протекать цепные фотохимические реакции, приводящие к образованию активных промежуточных продуктов, таких как гидроксил-радикал OH^* ($\text{O}_2^* = 2\text{O}$, $\text{O} + \text{H}_2 = \text{OH}^* + \text{H}^*....$).

Поскольку пузырьки электролитических газов окружены водой, то полученные в результате фотохимической и/или ультразвуковой обработки озон, атомарный кислород, гидроксил-радикал и другие активные соединения диффундируют в пленочную воду до рекомбинации, формируя активные гидратные комплексы. Таким образом, комбинированная (электрохимическая и фотохимическая и/или электрохимическая и ультразвуковая) обработка позволяет с высоким выходом получить в растворе такие высокоактивные окислители, как H_2O_2 и OH^* .

Поскольку даже в поверхностной воде содержится растворенный углекислый газ, карбонат и гидрокарбонат-ионы, то в ходе комбинированной обработки в воде образуются и такие окислители, как C_2O_2^* и C_2O_4^* , также безопасные для человека и животных, а для растений (в определенных концентрациях) даже благоприятствующие их росту.

В процессе электролиза, помимо производства на электродах газов, в самой воде синтезируются метастабильные перекись водорода и гидроксил-радикал, поэтому при последующем УФ-облучении и УЗ-обработке в воде формируются относительно устойчивые кластерные гидратные комплексы, содержащие в качестве затравочных центров эти соединения. Кластерные гидратные комплексы за счет передачи энергии от активных затравочных центров соседним молекулам воды обеспечивают сохранение ее активности на время, достаточное для окисления растворенного железа при прохождении ее через фильтрующую среду. Причем часть таких комплексов, содержащих метастабильные перекись водорода и гидроксил-радикалы, не прореагировавшие непосредственно в водном потоке с железом, будут концентрироваться в пленочной и микротрешинной воде минеральных частиц фильтрующей загрузки и взаимодействовать с ним при прохождении через нее следующих порций воды. Изучение физико-химических свойств воды, прошедшей анодную и катодную обработку в мембранным электролизере, позволило установить, что она приобретает свойства окислителя и восстановителя соответственно, причем благодаря не только появлению в ней определенных радикалов и ионов.

Данные исследования выполнены под руководством и непосредственным участии д-ра техн. наук В. М. Бахира, разработчика известного электрохимического аппарата для обеззараживания, очистки и активации воды «Изумруд». По мнению ученого,

сущность электрохимической активации (ЭХА) состоит в том, что вода, подвергнутая электровоздействию, переходит в термодинамически неравновесное состояние и в течение времени возвращения в исходное состояние (релаксации) проявляет аномально высокую химическую активность. Установлено, что кроме ЭХА возможно изменение свойств воды путем одновременного воздействия электролиза с наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ).

Данный способ является разновидностью электрохимической активации, но отличается от предыдущего ее варианта тем, что дополнительно к действию постоянного тока на воду добавляются однополярные (+ или -) наносекундные импульсы, которые имеют длительность 10^{-9} с, амплитуду – более 8 кВ, частоту повторения – 1000 Гц (10). Импульсы действуют на зарженные частицы, усиливая процесс электрохимической активации воды, что увеличивает эффект ее обработки. При пропускании постоянного электрического тока через воду на поверхности, находящейся под напряжением (12...220 В) токопроводящих (металлических, графитовых или угольных) электродов, на аноде («положительно» заряженном электроде) осуществляется диссоциация (разложение) воды на ионы ($\text{H}_2\text{O}^0 \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$), ионы OH^- электронейтрализуются положительным зарядом ионов металла или углерода в приповерхностном слое анода, образуя нейтральные радикалы $\text{OH}^- - \text{OH}^0$, которые, объединяясь, производят неустойчивую (метастабильную) перекись водорода H_2O_2^* (4). В условиях избыточной насыщенности окколоанодного пространства «положительными» зарядами происходит образование из такой перекиси молекул кислорода (O_2) и ионов водорода (H^+): $\text{H}_2\text{O}_2^* \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{O}_2$. У катода происходит обратный процесс – образование неустойчивой перекиси за счет объединения двух атомов водорода из соседних молекул воды: $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2^{**} + \text{H}_2$; катодная перекись распадается (диссоциирует) на гидроксил-ионы $\text{H}_2\text{O}_2^{**} \rightarrow 2\text{OH}^-$. При своевременном объединении

анолита и католита, особенно в соответствующей минеральной среде, образуются кластеры, содержащие как положительные, так и отрицательные электрические заряды. Соответственно, в таких кластерах вода частично будет находиться в активном плазмообразном состоянии. Как отмечалось ранее, относительно стабильные активные гидратированные кластеризованные пероксидные соединения могут быть получены при облучении электролизной воды источником УФ-излучения и ультразвуковых упругих волн. Растворенное железо после окисления такими соединениями при РН более 6,8 переходит гидроокисную форму и начинает коагулировать. Причем для интенсификации этого процесса могут быть использованы окислы кремния, обладающие по отношению к гидроокиси железа сорбционными свойствами (9). При пропускании воды с некоагулированной гидроокисью железа через минеральную смесь, содержащую кварц и кремень, происходит образование обобществленных гидроксидных комплексов между кремниево-кислородной матрицей и окисленным железом-3. Проведенные в МГРИ-РГГРУ исследования изменения электрофизических и электрохимических параметров воды при статическом и динамическом контакте с минералами позволили установить, что наибольшей поглощающей способностью по отношению к гидроокиси железа из кремней обладает разновидность халцедона – сердолик. В промышленных целях целесообразно использовать более доступный и дешевый аналогичный наполнитель – дробленый кремень в смеси с кварцем.

Результаты исследования и их обсуждение. Технический результат, который может быть получен при реализации изобретения, состоит в повышении степени очистки воды от железа, марганца, ионов тяжелых металлов, мышьяка и сурьмы.

Для реализации предлагаемого способа очистки воды от растворенного железа ее разделяют на два потока: меньший по объему (20 л/ч) проходил сначала электрохимическую, а затем фотохимическую обработку с образованием в нем, соответ-

ственno, сначала двухатомарного кислорода и водорода, метастабильной перекиси водорода, а затем гидроксил-ионов, ионов гидроксония, диоксида и перекиси водорода. После чего поток обработанной воды возвращался в начало процесса очистки, т. е. объединялся с входной водой, что обеспечивало окисление этими соединениями двухвалентного железа, содержащегося в основном объеме воды, в порах и на поверхности искусственного каталитического материала. На поверхности основного наполнителя осуществлялось последующее формирование гидроокиси трехвалентного железа. Процесс коагуляции, полученной при окислении гидроокиси железа, обеспечивал кремниево-кварцевый наполнитель, обработанный перед помещением в фильтр в фотохимическом реакторе. Свежеобразованная гидроокись железа, осажденная фильтрующим материалом, выполняла роль сорбента для меди, мышьяка и сурьмы. Пробы очищенной воды отбирались после пропускания каждого 10 л. Содержание железа в первых 30 л снизилось после очистки до 0,05 мг/л, меди – до 0,01, мышьяка – менее 0,01, сурьма не обнаруживалась (меньше бланка). После проскока накопления загрязняющих воду компонентов (записанного роста содержания железа, меди и мышьяка соответственно до 0,25, 0,18, 0,05 мг/л) через 100 л пропущенной воды фильтр регенерировался промывкой водопроводной водой.

Экспериментальная проверка предложенного способа водоподготовки осуществлялась на искусственном водном растворе, полученном путем добавления сбросной воды Дарасунского хвостохранилища к водопроводной воде из расчета получения pH=6,8 и достижения содержания двухвалентного железа (8,7 мг/л), мышьяка (0,38 мг/л), меди (1,2 мг/л) и сурьмы (0,08 мг/л).

Полученная водная смесь пропускалась через установку, представленную на рис. 1.

На втором этапе лабораторных исследований вместо лампы ультрафиолетового

излучения поставлен источник ультразвуковых волн. Эксперимент повторен с такой же исходной водой. На выходе после пропускания 100 л искусственного водного раствора относительно фотохимической обработки увеличено только содержание железа до 0,28 мг/л.

Таким образом, при лабораторных испытаниях доказана эффективность предлагаемого способа очистки воды от растворенного железа и сопутствующих тяжелых металлов и металлоидов.

Для испытаний предлагаемой системы водоподготовки на больших объемах очищаемой воды (более 1 м³/ч) разработан стенд (рис. 2), включающий фильтр механической очистки с фильтрующей кремниевой крошкой (верхняя вертикальная колонка), каталитический фильтр с фильтрующим материалом *Birm* (вторая сверху вертикальная колонна), реактор для обработки части потока (верхняя наклонная короткая колонна), фильтрационные колонны (две нижние трубы).

Главным элементом стендса является реактор, оснащенный двумя внутренними электрохимическими блоками и источником ультразвуковых волн или легко заменяющей его погружной УФ-лампой, установленной внутри корпуса реактора.

С помощью регулирующих кранов осуществляется разделение воды на два потока после ее механической очистки и каталитического окисления части растворенного железа. Один из потоков направляется в реактор и проходит электрохимическую, а затем ультразвуковую или фотохимическую обработку для образования в ней дополнительных окислителей: гидроксил-ионов и перекиси водорода. Поток с окислителями направляется в отдельную колонну с фильтрующим наполнителем (дробленым кварцем и кремнем, поверхность гранул которого содержит поликремниевые кислоты), где осуществляется коагуляция гидроокиси железа и фильтрование коагуланта.

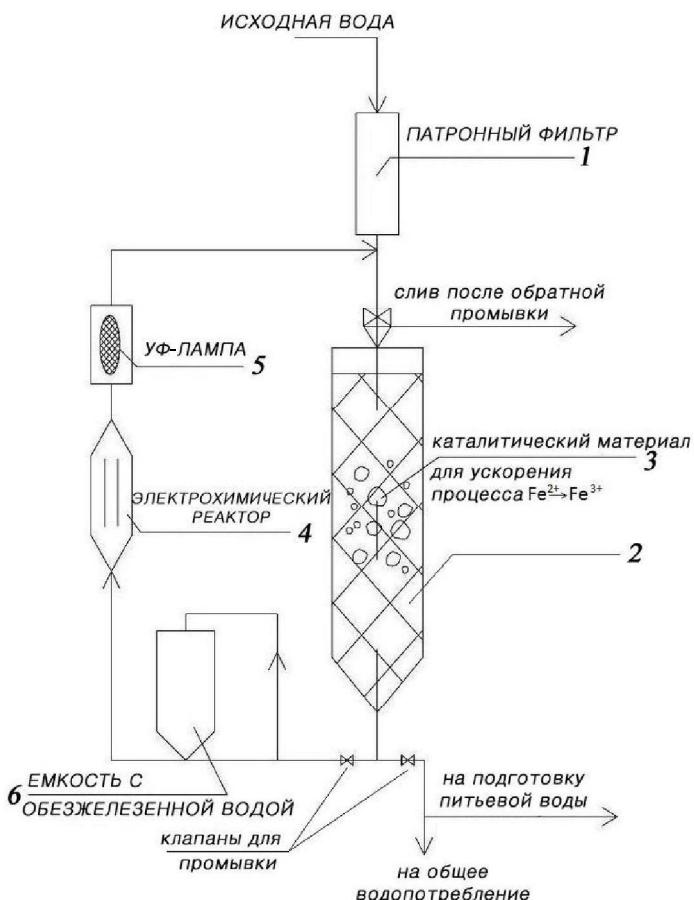


Рис. 1 . Схема водоподготовительной установки: 1 – патронный фильтр для очистки от взвешенных частиц; 2 – корпус фильтра со сложным наполнителем (3), включающим катализитический гранулированный материал Бирм (0,5 л) в его верхней части и смесь дробленого до фракции – 5 мм кремния (1 л) и кварца (2 л); 4 – электрохимический реактор; 5 – фотохимический реактор;

Fig. 1. Scheme of water treatment plant:
 1 – cartridge filter for the removal of suspended particles; 2 – filter housing with a complex filler (3), including a catalytic granular material of Birm (0,5 l) in its upper part and a mixture of crushed to a fraction of 5 mm silicon (1 l) and quartz (2 l);
 4 – electro-chemical reactor;
 5 – photochemical reactor; 6 – purified water storage



Рис. 2. Стенд с установками водоочистки /
 Fig. 2. Stand of the water treatment plant

Свежеобразованная гидроокись железа задерживается фильтрующим материалом. Далее она работает как сорбент для ионов тяжелых металлов, мышьяка и сурьмы. После исчерпания емкости наполнителя, т. е. предельного накопления в нем загрязняющих воду компонентов, фильтр регенерируют обратной промывкой для подготовки к следующему циклу очистки (3). Для сравнения контрольный поток воды после механической очистки и каталитического окисления части растворенного железа направляется без дополнительной обработки в реакторе в нижнюю фильтрационную колонну, загруженную таким же наполнителем, как и экспериментальная.

На первом этапе проведены испытания стенда для проверки его технической готовности.

Заключение. При лабораторных испытаниях доказана эффективность предлагаемого способа очистки воды от растворен-

ного железа и сопутствующих ему тяжелых металлов и металлоидов.

Электрохимическая обработка воды обладает рядом преимуществ по сравнению с альтернативными механическими, химическими и биологическими методами водообработки и водоочистки. Эти преимущества заключаются в эффективности,

устойчивости, контролируемости и удобном автоматическом регулировании процессов, а также простоте конструкции аппаратуры.

Установки для электрохимической очистки воды компактны, имеют высокий уровень безотказности, требуют простой эксплуатации и могут быть полностью автоматизированы.

Список литературы

1. Вилков К. В., Григорьев А. Л., Нагель Ю. А., Уварова И. В. Обеззараживание воды импульсными электрическими разрядами // Водоснабжение и канализация. 2008. С. 7–12.
2. Кульский Л. А. Обработка воды на водопроводах пылевидным активированным углем. Киев: Наукова думка, 1965. 195 с.
3. Максименко П. Ю., Скурлатов Ю. И., Козлов Ю. П., Фрог Б. Н., Штамм Е. В., Козлова Н. Б. Вероятная роль серосодержащих соединений в формировании токсических свойств сточных вод целлюлозно-бумажного производства // Вестник Российской университета дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2000. № 4. С. 63–70.
4. Патент на полезную модель № 101701. Установка электрореагентной очистки природной питьевой воды / А. П. Матвеенко, А. Е. Гаврикова; № 2010131296; заявл. 27.07.2010. 8 с.
5. Семашко А. Г. Роль водоочищения и водоподготовки в обеспечении населения России экологически безопасной питьевой водой // Молодой ученый. 2017. № 2. С. 193–197.
6. Фрог Н. П., Фрог Б. Н., Фрог Д. Б. Обеспечение населения России физиологически полноценной питьевой водой (проект «Третий кран») // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2009. № 1. С. 56–61.
7. Фрог Б. Н., Фрог Д. Б., Скурлатов Ю. И. Эколого-химические аспекты процессов водоочистки и водоподготовки // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2008. № 2. С. 35–47.
8. Фрог Б. Н., Скурлатов Ю. И., Штамм Е. В., Вичутинская Е. В. Влияние водорастворимых соединений восстановленной серы на токсические свойства природных и сточных вод // Вестник МГСУ. 2012. № 6. С. 105–113.
9. Nuck P. M., Block J. C. Introduction to the measurement of biodegradability in drinking water // Advances in Water Analysis and Treatment: AWWA Technology Conference Proceedings. San Diego, Calif., 1990. P. 11–15.
10. Schkurlhof P. European experience the use of activated carbon treatment deau Potable de Choisyle Roi // Eau. Ind., Nuisances. 1987. № 11.

References

1. Vilkov K. V., Grigoriev A. L., Nagel Yu. A., Uvarova I. V. Vodosnabzhenie i kanalizatsiya (Water supply and sewerage), 2008, pp. 7–12.
2. Kulsky L. A. Obrabotka vody na vodoprovodah pylevidnym aktivirovannym uglem (Water treatment in water pipelines with pulverized activated charcoal). Kiev: Naukova Dumka, 1965. 195 p.
3. Maksimenko P. Yu., Skurlatov Yu. I., Kozlov Yu. P., Frog B. N., Strain E. V., Kozlova N. B. Vestnik Rossiskogo universiteta druzhby narodov. Ser. Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatelnosti (Bulletin of the Russian University of Peoples Friendship. Ser. Ecology and life safety), 2000, no. 4, pp. 63–70.
4. Patent na poleznuyu model № 101701. Ustanovka elektroreagentnoy ochistki prirodnoy pitievoj vody (Patent for utility model No. 101701. Installation of electro-reagent purification of natural drinking water); A. P. Matveenko, A. E. Gavrikova; No. 2010131296; declare 07.27.2010. 8 p.
5. Semashko A. G. Molodoy uchenyy (Young Scientist), 2017, no. 2, pp. 193–197.
6. Frog N. P., Frog B. N., Frog D. B. Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie (Water treatment. Water treatment. Water supply), 2009, no. 1, pp. 56–61.
7. Frog B. N., Frog D. B., Skurlatov Yu. I. Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie (Water treatment. Water treatment. Water supply), 2008, no. 2, pp. 35–47.

8. Frog B. N., Skurlatov Yu. I., Strain E. V., Vichutinskaya E. V. *Vestnik MGSU* (Bulletin of the MSCU), 2012, no. 6, pp. 105–113.
9. Nuck P. M., Block J. C. *Advances in Water Analysis and Treatment: AWWA Technology Conference Proceedings* (Advances in Water Analysis and Treatment: AWWA Technology Conference Proceedings). San Diego, Calif., 1990, pp. 11–15.
10. Schkulhof P. *Eau. Ind., Nuisances* (Eau. Ind., Nuisances), 1987, no. 11.

Коротко об авторах

Секисов Артур Геннадиевич, д-р техн. наук, зав. лабораторией, Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, г Хабаровск; профессор кафедры менеджмента, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: физико-химические геотехнологии, менеджмент в горном деле
sekisovag@mail.ru

Петухов Александр Александрович, научный сотрудник лаборатории геотехнологии, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, физико-химические технологии
petuhovss7469@mail.ru

Лавров Александр Юрьевич, канд. техн. наук, профессор кафедры менеджмента, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, физико-химические геотехнологии
lavrov_2002@mail.ru

Горбань Дафья Николаевна, аспирант, эколог-природопользователь, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: оценка качества вод, разработка технологий очистки воды, моделирование и оптимизация систем водоотведения в условиях неопределенности
gorbandarya@yandex.ru

Briefly about the authors

Artur Sekisov, doctor of technical sciences, head of the laboratory, Institute of Mining, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; Khabarovsk; professor, Management department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: physical and chemical geo-technologies, management in mining

Alexander Petukhov, researcher, Geotechnology laboratory, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mineral processing, physico-chemical technologies

Alexander Lavrov, candidate of technical sciences, professor, Management department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mineral processing, physical and chemical geo-technologies

Darya Gorban, postgraduate, environmental ecologist, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: water quality assessment, development of water purification technologies, modeling and optimization of wastewater systems under uncertainty

Образец цитирования

Секисов А. Г., Петухов А. А., Лавров А. Ю., Горбань Д. Н. Совершенствование методов обезжелезивания подземных вод на основе использования метастабильных пероксидных соединений кислорода и водорода // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2019. Т. 25. № 1. С. 20–28. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-1-20-28.

Sekisov A., Petukhov A., Lavrov A., Gorban D. Improvement of groundwater deironing methods, based on the use of metastable peroxide compounds oxygen and hydrogen // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 1, pp. 20–28. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-1-20-28.

Статья поступила в редакцию: 17.04.2018 г.
Статья принята к публикации: 10.01.2019 г.