и определять рациональное размещение конкурентоспособных технологий, фирм при пространственном развитии территорий.

1. Старожилов В.Т. Природопользование: практическая ландшафтная география. / учебник. Школа естественных наук ДВФУ, Тихоокеанского международного ландшафтного центра, Школа естественных наук ДВФУ. Владивосток, 2018. 276с
2. Старожилов В.Т. Ландшафты Приморского края (Объяснительная записка к карте масштаба 1:500 000) / Владивосток, 2009.
3. Старожилов В.Т. Вопросы землеустройства и землеустроительного проектирования. Гераськин М.М., Троицкий В.П., Нестерова О.В., Старожилов В.Т., Пилипушка В.Н. учебное пособие / Владивосток, 2009.
4. Старожилов В. Т. Картирование ландшафтов и геодинамическая эволюция фундамента Дальневосточных территорий/ В. Т. Старожилов // Ноосферные изменения в почвенном покрове: материалы Международной научн. конф. Дальневост. гос. ун-т: Под общей редакцией: А.М. Дербенцева. 2007. С. 174-178.
5. Старожилов В.Т., Дербенцева А.М., Ознобихин В.И., Крупская Л.Т., Степанова А.И. Ландшафтные условия развития эрозионно-денудационных процессов юга Дальнего Востока. Владивосток, 2008.
6. Старожилов В.Т. Эколого-ландшафтный подход к промышленным территориям юга Дальнего Востока // В сборнике: Современные геофизические и географические исследования на Дальнем Востоке России. материалы 9-й научной конференции, Владивосток: конференция приурочена к Всемирным дням воды и метеорологии, а также к 110-летию ДВГУ и 45-летию ГФФ. Дальневосточный государственный университет, Институт окружающей среды ; под редакцией Н. В. Шестакова. Владивосток, 2010. С. 155-158.
7. Старожилов В.Т. Проблемы ресурсопользования, структура и пространственная организация ландшафтов приокеанских Дальневосточных территорий // В сборнике: Науки о Земле и отечественное образование: история и современность. материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти академика РАО А. В. Даринского. Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, факультет географии. 2007. С. 310-312.
8. Старожилов В.Т. Структура и пространственная организация ландшафтов и эколого-ландшафтоведческий анализ приокеанских Дальневосточных территорий (на примере Приморского края). В сборнике: Экологические проблемы использования прибрежных морских акваторий. Международная научно-практическая конференция. Редколлегия: Н. К. Христофорова, Л. С. Бузолева, Ю. А. Галышева. Владивосток, 2006. С. 182-185.
9. Старожилов В.Т. Региональное среднемасштабное картирование, структура и пространственно-временная организация ландшафтных геосистем Приморья. В сборнике: Морское картографирование на Дальнем Востоке: Вторые Муравьевские чтения. Материалы научно-практической конференции, посвященной 150-летию Гидрографической службы ТОФ и 120-летию морского картографического производства в России. Печатается по решению Ученого Совета Общества изучения Амурского края. 2006. С. 50-54.
10. Старожилов В.Т. Ландшафтный мониторинг в обеспечении экологической безопасности районов минерально-сырьевого природопользования (на примере угольного и горнорудного производства Приморья). В сборнике: Совещание географов Сибири и Дальнего Востока. Материалы XIV совещания географов Сибири и Дальнего Востока. Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН. Дальневосточный федеральный университет. Русское географическое общество. 2011. С. 545-549

Темная Ю.А., Завьялова А.А.

Перспективные методы обезжелезивания воды

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/trnio-01-2022-21

Аннотация

В данной статье проводится анализ перспективных методов очистки воды от соединений железа, которые позволяют повысить эффективность классических схем обезжелезивания воды. На основе проведенного анализа были выявлены достоинства и недостатки отдельных методов, а так же потенциальное воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: обезжелезивание воды, очистка воды, соединения железа, сорбция, фильтрация, коагуляция, флокуляция.

Abstract

This article analyzes promising methods of water purification from iron compounds, which make it possible to increase the efficiency of class schemes of water de-ironization. Based on the analysis, the advantages and disadvantages of individual methods were identified, as well as the potential impact on the environment.

Keywords: water degreasing, water purification, iron compounds, sorption, filtration, coagulation, flocculation.

Оценка качества воды занимает важную роль в процессах подготовки воды для питьевых нужд и промышленного использования. Одной из значимых проблем в этом направлении, которой в последние годы уделяют все больше внимания, является очистка воды от железа и его соединений. Это связано с тем, что около тридцати процентов населения нашей страны и предприятий вынуждены использовать воду с повышенным содержанием железа и его соединений. В связи с этим проблема обезжелезивания воды является весьма актуальной в данный момент времени на территории Российской Федерации.

Регулярное употребление воды с высоким содержанием железа повышает опасность различных хронических заболеваний, нарушение работы желудочно-кишечного тракта и внутренних органов, в первую очередь, печени и почек. Кроме того, избыточное количество железа в воде неблагоприятно воздействует на кожу человека, вызывая раздражение и зуд. Также такая вода влияет на морфологический состав крови, может стать причиной возникновения аллергических реакций и дерматитов. В соответствии с этим качество воды имеет важное гигиеническое значение, и ее качество рассматривается как ведущий показатель санитарного благополучия населения.

Кроме того, качество воды влияет на эффективность и надежность работы технологического оборудования предприятий, что особенно актуально в отношении энергетической отрасли. Так, например, использование воды ненадлежащего качества может привести к появлению накипи, коррозии и выпадению твердых осадков в энергетическом оборудовании, что, в свою очередь, приводит к тепловым потерям и дополнительным затратам на ремонт и эксплуатацию оборудования. Следовательно, совершенствование организационных и технических процессов очистки воды из года в год становится все более важной задачей на пути к повышению качества жизни населения и в процессах модернизации функционирования промышленных объектов.

В соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21, содержание железа в воде не должно превышать 0,3 мг/л. Достижение нормируемых показателей осуществляется за счет применения методов обезжелезивания. В свою очередь применение различных способов очистки воды от соединений железа зависит от формы и концентрации данного вещества в воде. Очистка включает целый ряд физико-химических процессов и сводится, прежде всего, к переводу соединений железа в нерастворимые или слаборастворимые формы с последующим извлечением их из воды.

Железо в воде бывает трех разновидностей.

- Двухвалентное железо – хорошо растворяется в воде, поэтому его присутствие незаметно.
- Трехвалентное железо – содержится вместе с двухвалентным и представляет собой окисленное железо.
- Бактериальное железо – появляется в процессе жизнедеятельности бактерий.

Наибольшее внимание уделяется методам по очистке воды от двухвалентного железа, поскольку данный элемент наиболее часто встречается в воде и тяжело удаляется из нее. В связи с этим большинство классических схем обезжелезивания содержат этапы окисления двухвалентного железа (аэрация, применения каталитических загрузок и т.д.) до трехвалентного с последующим удалением последнего (фильтрация).

Высокая потребность в повышении эффективности технологий очистки воды от железа приводит к постоянному усовершенствованию уже существующих методов обезжелезивания, а также к разработке новых перспективных методов, которые далее рассмотрены более подробно.

Очистка воды от ионов железа (II) листовым опадом клёна с его последующей регенерацией. Для осуществления данного метода применяется измельченный и высушенный листовой опад клёна, который выступает в качестве сорбционного материала. Он добавляется в загрязненную ионами железа воду и перемешивается в течение 45 минут. После окончания процесса сорбции, листовой опад отделяют и высушивают. Для регенерации листового опада выдерживается в молярном растворе соляной кислоты при постоянном перемешивании в течение 60 минут.

Электрохимическая очистка воды от соединений железа в нестационарном электрическом поле с последующей коагуляцией. В данном методе для очистки воды от ионов железа применяются нерастворимые электроды и переменный асимметричный ток. Электроды подключаются параллельно к источнику переменного тока, и через воду пропускается электрический ток. Длительность протекания тока – 10 минут. После пропускания переменного электрического тока в воду вводится коагулянт – сернокислородное железо. Далее вода отстаивается, и процесс коагуляции завершается выпадением в осадок хлопьев железа.

Обезжелезивание воды с помощью волновой технологии. Принцип работы волновой технологии заключается в том, что очищаемая вода под давлением подается в рабочую камеру через входные тангенциальные каналы по касательной к внутренней цилиндрической поверхности. При этом поток жидкости закручивается относительно оси камеры и за счет центробежной силы образуется область пониженного давления. Вследствие этого в воде появляется большое количество пузырьков воздуха, что приводит к более активному окислению железа в воде.

Очистка воды от соединений железа электромагнитным полем. В данном методе вода, очищаемая от соединений, железа сначала обрабатывается ультразвуком для повышения степени выделения ионов железа в последующем этапе очистки. На втором этапе вода поступает в рабочие зазоры электромагнитного аппарата, где ферромагнитные частицы под действием магнитного поля выстраиваются в цепочки – флоккулы. На последнем этапе сфлокулированное железо удаляется на механическом фильтре.

Очистка воды от соединений железа при помощи микро-, ультра- и нано-фильтрационных мембран. При прохождении загрязненной воды через данные мембраны происходит удаление коллоидных частиц гидроксида железа (III), а также органического бактериального железа.

Биологическое обезжелезивание воды. В данном методе для очистки воды применяются железобактерии, которые способствуют активному окислению двухвалентного железа до трехвалентного. На последующих этапах осуществляется удаление коллоидов и бактериальных пленок в отстойниках и на фильтрах.

Сравнительный анализ данных перспективных методов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Достоинства и недостатки перспективных методов обезжелезивания

№	Название метода	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4
11	Очистка воды от ионов железа (II) листовым опадом клёна с его последующей регенерацией	<ul style="list-style-type: none"> В качестве сорбентов применяются отходы от переработки природного сырья; Возможность регенерации сорбционного материала 	<ul style="list-style-type: none"> Эффективность сорбционного процесса составляет 50%; Регенерация сорбционного материала снижает эффективность очистки; Требуется постоянное перемешивание воды

22	Электрохимическая очистка воды от соединений железа в нестационарном электрическом поле с последующей коагуляцией	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая степень очистки; 	<ul style="list-style-type: none"> • Требуется отстаивать воду от 1 до 10 дней; • Расходы на электроэнергию
33	Обезжелезивание воды с помощью волновой технологии	<ul style="list-style-type: none"> • Маленький размер диспергированных пузырьков воздуха; • Эффект сонолюминесценции. При захлопывании пузырьков образуются активные окислители, что повышает интенсивность процесса окисления 	<ul style="list-style-type: none"> • Увеличение концентрации воздуха снижает эффективность очистки; • Требуется поддержание стабильного потока воды в рабочую камеру со скоростью около 35 м/с
44	Очистка воды от соединений железа электромагнитным полем	<ul style="list-style-type: none"> • Применение ультразвука увеличивает эффективность очистки в 3 – 4 раза; • Высокая степень очистки при использовании четырехкамерного магнитного аппарата 	<ul style="list-style-type: none"> • Скорость потока очищаемой воды в зазоре электромагнитного аппарата не должна превышать 1 м/с; • Степень очистки зависит от типа применяемых магнитов; • Расходы на электроэнергию
15	Очистка воды от соединений железа при помощи микро-, ультра- и нано-фильтрационных мембран	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая степень очистки воды: удаляется до 98% содержащегося в воде железа; • Возможность применения с процессами обеззараживания воды; 	<ul style="list-style-type: none"> • Содержание железа в очищаемой воде не должно превышать 0,1 – 0,3 мг/л; • Забивание поверхности мембраны нерастворимыми частицами (ржавчиной);
26	Биологическое обезжелезивание воды	<ul style="list-style-type: none"> • Применяется для воды с концентрацией железа >40 мг/л; • Применяется для воды с низким pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Требуется дополнительная очистка воды от продуктов жизнедеятельности бактерий

Технологии по обезжелезиванию воды активно развиваются и за последние годы появились новые перспективные технологии, которые позволяют повысить эффективность очистки воды с разной концентрацией соединений железа. Кроме того разрабатываются методы с применением природных материалов, которые в дальнейшем можно легко утилизировать. Все это позволяет составить более экологичные и технологически эффективные схемы обезжелезивания воды.

1. Силайчева М.В. Очистка воды от ионов железа (II) листовым опадом клёна с его последующей регенерацией / М.В. Силайчева, С.В. Степанова // Журнал экологии и промышленной безопасности. – 2016 г. - № 2 (66). – с. 13-15.
2. Баталов Р.С. Очистка природных вод от железа с использованием волновой технологии / Р.С. Баталов, А.Ю. Курбатов, Н.А. Аснис и др. // Химическая промышленность сегодня. – 2014 г. - № 4. – с. 20-28.
3. Камалдинова О.С. Очистка воды от железа мембранными методами / О.С. Камалдинова, И.Э. Бугранова, Г.М. Биказакова // Научный вестник технологического института - филиала ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – 2013 г. – № 12. – с. 192-197.