

Анализ эффективности методов очистки сточных вод угольной промышленности от ионов железа и марганца*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-11-81-87>

В природе загрязнению тяжелыми металлами в большинстве случаев подвергаются карьерные и шахтные воды. Эти воды поступают в рабочую зону подземных шахт из водоносных горизонтов, поверхностных резервуаров и дренажных выработок. Сточные воды угольных предприятий обладают высокой степенью минерализации, низкой концентрацией ионов водорода, повышенным содержанием солей магния и кальция, а также сульфатов, железа, марганца и других соединений. Многообразие качественного и количественного состава сточных вод на угледобывающих предприятиях обусловлено многими причинами, а именно: геологическими и гидрологическими условиями, насыщением солями в результате фильтрации воды через различные горные породы, а также смешением природных пластовых вод различных горизонтов в результате их вскрытия. В статье приводится анализ эффективности существующей системы очистки сточных вод угольных разрезов от ионов железа и марганца. Рассматриваются основные методы доочистки сточных вод от этих ионов, их достоинства и недостатки. Предлагается технологическая схема доочистки сточных вод перед выбросом в реки, которая включает прием и усреднение сточных вод; отстаивание; последующий забор и подачу осветленной воды в очистную установку для дальнейшей ее доочистки; реагентную обработку; напорную флотацию; фильтрацию через песчаный фильтр; доочистку воды на сорбционных фильтрах.

Ключевые слова: адсорбция, сточные воды, тяжелые металлы, железо, марганец, методы очистки, предельно допустимая концентрация, седиментация, механическое фильтрование, гальванокоагуляция.

Для цитирования: Анализ эффективности методов очистки сточных вод угольной промышленности от ионов железа и марганца / Л.А. Иванова, О.В. Беляева, Н.В. Гора и др. // Уголь. 2023. № 11. С. 81-87. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-81-87.

ИВАНОВА Л.А.

Канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: lyuda_ivan@mail.ru

БЕЛЯЕВА О.В.

Канд. хим. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия

ГОРА Н.В.

Канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия

УГАРОВА И.М.

Аспирант ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия

ГОЛУБЕВА Н.С.

Канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия



**НОЦ
КУЗБАСС**

Научно-образовательный
центр «Кузбасс»

* Работа выполнена в рамках КНТП полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в области разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», распоряжение Правительства РФ от 11.05.2022, № 1144-р, № соглашения 075-15-2022-1201 от 30.09.2022 г.

ВВЕДЕНИЕ

Вода выступает одним из основных видов сырья для многих отраслей промышленности, агропромышленных комплексов и коммунальных хозяйств. Существенный вклад в загрязнение подземных и поверхностных вод вносит добывающая промышленность.

На территории Кузнецкого угольного бассейна располагаются основные центры по добыче и переработке каменного угля, которые находятся в Кемеровском, Ленинск-Кузнецком, Беловском, Прокопьевско-Киселевском, Бунгуро-Чумышском, Ерунаковском, Байдаевском, Осиновском, Мрасском, Новокузнецком, Промышленновском, Кондомском и Томь-Усинском районах. Основная техногенная нагрузка на гидрологическую сеть Кемеровской области создается за счет организованного сброса недостаточно очищенных сточных вод.

Загрязненные тяжелыми металлами сточные воды попадают в окружающую среду, угрожая здоровью человека и экосистеме [1, 2].

Приоритетными загрязнителями карьерных сточных вод при угледобыче являются ионы железа и марганца. Наличие данных поллютантов в карьерных стоках препятствует их использованию в замкнутом цикле, например для подачи на технологические процессы обогатительных фабрик. Избыточное присутствие ионов марганца и железа в воде может привести к поломке оборудования на обогатительной фабрике, кроме того, сброс такой воды в водоемы оказывает негативное влияние на их микрофлору.

Цель данной работы – предложить технологию комплексной очистки карьерных сточных вод угледобывающей промышленности от приоритетных загрязнителей, в том числе от ионов железа и марганца.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение загрязняющих компонентов в сбрасываемых сточных водах проводилось сотрудниками кафедр «Техносферная безопасность» и «Общая и неорганическая химия» ФГБОУ ВО КемГУ. Определение ионов железа и марганца проводилось методом спектрофотометрии с использованием аттестованных методик [3, 4]. Калибровочная кривая при поглощении комплекса железа и марганца линейна в диапазоне концентраций 0,05-2,00 мг/л, коэффициент корреляции $R^2 = 0,9956$.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Большинство угольных разрезов, расположенных в Кемеровской области – Кузбассе, имеют систему очистки сточных вод, соответствующую базовой очистке, регламентируемой в НДТ № 15 ИТС-37 – 2017 «Добыча и обогащение угля» (рис. 1).

Как показывают мониторинговые исследования гидрохимических проб воды малых рек, – основных приемников сточных вод угледобывающих

предприятий, содержание ионов железа и марганца в них превышает нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Например, в реке Аба в разовых пробах максимальная концентрация железа общего составила 8,3-9,5 ПДК, марганца – 7 ПДК, в р. Ускат среднегодовые концентрации превысили ПДК для марганца в 1,5 раза, железа общего в 1,2 раза. Среднегодовые концентрации в р. Кондома составили: марганца – 1,4-2,3 ПДК; железа общего – 4,4-6 ПДК, а в притоках р. Томь (Уса, Мрас-су, Мундыбаш) – железа общего – от 1,0 до 5,9 ПДК, марганца – от 1,1 до 1,6 ПДК.

Таким образом, если рассматривать очистку сточных вод предприятий на соответствие качеству сбрасываемых сточных вод, соответствующему нормативам рыбохозяйственного назначения, то применяемая система недостаточна. Поэтому необходимо внедрить на очистных сооружениях новые технологии комплексной очистки карьерных сточных вод.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА

Наиболее эффективными для доочистки карьерных сточных вод от ионов железа и марганца являются следующие методы:

Реагентный метод – направлен на химическое превращение высокотоксичных растворов в нетоксичные соединения. Считается, что наиболее эффективным способом деферризации воды является принцип окисления: Fe^{+2} окисляется до состояния Fe^{+3} , а затем удаляется механическим путем. Примером реагентной очистки может служить обработка сточных вод едким натром, затем хлорсодержащими неорганическими соединениями кальция, причем в качестве хлорсодержащих неорганических соединений кальция используют хлорид кальция и гипохлорит кальция, а молярное соотношение реагентов $NaOH:CaCl_2:Ca(ClO)_2$ составляет 1:(0,20-0,26):(0,10-0,13),

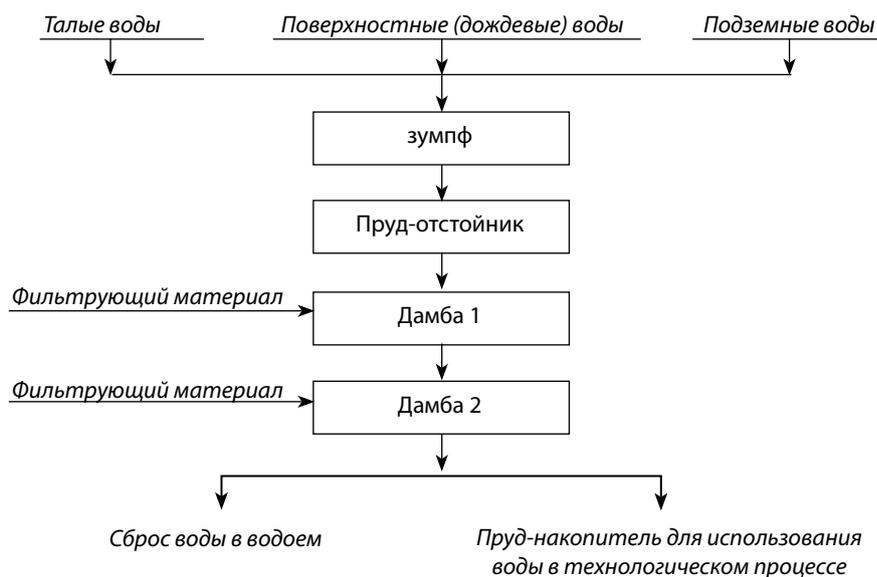


Рис. 1. Действующая система очистки карьерных сточных вод
Fig. 1. Existing system of quarry wastewater treatment

при этом едкий натр берут в количестве 0,04-0,29 мас.%. Способ обеспечивает повышение эффективности очистки сточных вод, повышение экономии реагентов и тепла, предотвращает образование отходящих газов и загрязнение атмосферного воздуха [5].

При введении перманганата калия в пробу сточной воды растворенный марганец переходит в малорастворимый оксид марганца, а растворенное железо – в $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Осажденный оксид в виде хлопьев имеет значительную удельную поверхность – около 300 м^2 на 1 г осадка. Осадок – отличный катализатор, который позволяет проводить деманганацию при pH около 8,5. Таким образом, перманганат калия способствует удалению из воды соединений марганца и железа в любых формах, также удаляются неприятные запахи. Для удаления продуктов окисления и взвешенных веществ вводят коагулянт. Затем вода фильтруется на установке песчаной загрузки. При очистке подземных вод от соединений марганца (II) параллельно с перманганатом калия вводят активированную кремниевую кислоту либо флокулянты. Это позволяет увеличить хлопья оксида марганца в размерах.

Основное преимущество данного метода заключается в том, что не требуется разделения промывочной воды и концентратов. Также стоит отметить, что данный метод применим при достаточно широком диапазоне изменения концентрации ионов тяжелых металлов. Большой расход химических реактивов и невозможность возврата очищенной воды в оборотный цикл являются главными недостатками реагентного метода. Кроме того, предельно допустимая концентрация тяжелых металлов в очищенной воде не достигает нормативного значения [6].

Аэрация. Для аэрации воды в промышленных масштабах используется метод обрыва струи воды. Капли воды, распыленные из форсунок, в процессе полета насыщаются растворенным в воздухе кислородом. Вода разбрызгивается небольшими, мелкими каплями, практически «водяной пылью» затем сливается в резервуар, где поднимается с помощью насоса и подается дальше на очистку. Данный метод аэрации считается безнапорным, который позволяет насыщать воду в любом количестве и приостанавливать работу при необходимости, чтобы прекратить потребление воды. Если в воде содержится большое количество растворенного железа, то жидкость перед аэрацией необходимо поместить в резервуар, добавив гипохлорит натрия (NaClO), который является сильным окислителем. Также при малой производительности используются аэраторы (сатураторы), которые представляют собой закрытые напорные емкости. Через них обрабатываемая вода проходит под высоким давлением (до 10-15 атм). В целях обогащения воды кислородом через эжектор с помощью высокого давления за счет компрессора подается сжатый воздух [7].

Метод ионного обмена представляет собой обратимую химическую реакцию, используемую для замены нежелательных ионов металлов безвредными и экологически безопасными. Ион тяжелого металла удаляется из раствора сточных вод путем присоединения его к неподвижной твердой частице в качестве замены катиону твердой частицы. Материал твердых ионообменных частиц может

быть как природным, например неорганические цеолиты, так и синтетическим, например органические смолы.

Существенным недостатком применения ионообмена является необходимость регенерации ионообменной смолы (катионитов и анионитов). В целях восстановления используются соляная кислота и щелочь. В конечном итоге возникает почти неразрешимая проблема, связанная с утилизацией концентрированных регенерационных растворов ионообменных установок. Также данная проблема сопровождается жесткими нормативами по сульфатам и хлоридам [8].

Инновационным методом очистки сточной воды является **наночистка**, при которой используются мембраны с отверстиями в несколько нанометров. Для таких мембран применяются следующие пористые материалы: синтетические полимеры, в частности, ароматические полиамиды, керамика, ацетилцеллюлоза [9].

Способ очистки на наночисточной мембране состоит в том, что металлосодержащая жидкость подается под избыточным давлением на поверхность самой мембраны, которая в свою очередь и удерживает различные примеси. Образовавшийся поток жидкости обеспечивает удаление задержанных загрязнителей с поверхности мембраны, а полученный концентрат поступает на повторную фильтрацию или в дренаж. Такие мембраны обладают низкой селективностью и большой проницаемостью. Метод наночистки дает хороший результат на завершающей стадии очистки сточных вод от примесей ионов тяжелых металлов [10].

Наиболее современным и экономичным методом очистки промывных сточных вод от соединений тяжелых металлов является **гальванокоагуляция**. Метод гальванокоагуляции позволяет отказаться от использования реагентов и резко сократить количество очистных сооружений за счет образования оксидных форм железа, что приводит к более быстрому осаждению и позволяет убрать дефицитные компоненты [11].

Данный метод очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов основан на применении электрохимической обработки жидкости под действием электрического тока короткозамкнутой гальванопары (гальванического элемента).

Динамика гальванокоагуляционного процесса проявляется при взаимодействии загрязненной сточной воды с наполнителем. Этот процесс происходит на основе явления взаимодействия веществ с различными электрохимическими потенциалами в проводящей среде. В результате образуется короткозамкнутая гальваническая пара, где одно выступает анодом, а второе катодом. Стоит отметить, что вещество с меньшим электрохимическим потенциалом по отношению ко второму является анодом [12].

Преимущества метода гальванокоагуляции следующие: частичное сокращение или вовсе полный отказ от использования химических реагентов; уменьшение общей минерализации и жесткости обрабатываемой воды; значительное снижение потребления электроэнергии. Недостатки метода: большое количество осадка, который необходимо утилизировать; трудоемкость при смене загрузки.

Также для удаления загрязняющих веществ, таких как нефтепродукты, соединения железа, марганца и аммония,

применяют **сорбционные методы**. В данных методах используются в основном фильтры с зернистой загрузкой, иначе – засыпные фильтры. В качестве зернистой загрузки выступают песок, гравий, керамзит, каменный уголь, а также их смеси с различными сорбентами, например активным углем. В фильтрах применяются частицы с размерами примерно от 0,3 до 1,2 мм, что позволяет обеспечивать фильтрацию частиц с размерами свыше 80 мкм [13].

Сорбционные установки, применяемые в качестве локальных, оправданы тогда, когда концентрация загрязняющего вещества близка к верхнему пределу, а также при минимальном удельном расходе сорбента. Использование сорбционных методов имеет смысл при относительно невысоком содержании загрязняющего вещества, что составляет до 100 мг/л.

Преимущество сорбционного метода селективное поглощение веществ из многокомпонентных растворов, эффективность очистки достигает 80-95%.

Одним из приоритетных направлений научного исследования является выбор сорбентов для эффективного извлечения ионов железа и марганца из сточных вод. Чаще всего в качестве природных сорбентов используют [14, 15, 16]:

- опоки – микрзернистая тонкопористая кремневая осадочная горная порода;
- доломит – природный осадочный минерал горной породы (карбонат магния и кальция);
- вермикулит – минерал, образовавшийся в результате природных процессов гидратизации и других изменений магнезиально-железистых слюд (биотита и флогопита);
- природные цеолиты, относящиеся к водным каркасным алюмосиликатам щелочных и щелочноземельных металлов.

Природные сорбенты показали хорошую эффективность в случае доочистки сточных вод, содержащих малые концентрации ионов железа и марганца. Особенностью угледобычи открытым способом является большой объем образующихся сточных вод, которые составляют на разных

участках от 0,5 до 17 тыс. м³/сут., в этом случае недостатком сорбентов из природных материалов является их малое время использования до проскака.

Эффективными и наиболее универсальными сорбентами являются активные угли различных марок.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПО ВЫБОРУ МАРК АКТИВНЫХ УГЛЕЙ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Большой ассортимент активных углеродных материалов, представленных в России, дает возможность подобрать сорбенты с оптимальным соотношением эффективности и стоимости очистки стоков.

Для количественной оценки извлечения железа и марганца из сточных вод нами было выбрано несколько сорбентов, среди которых малобюджетные активные полукоксы (АБГ, Пуролат-Стандарт) с высоким содержанием поверхностных групп, способных к взаимодействию с ионами металлов, а также гранулированные активные угли (АГ-3, СКД-515), рекомендуемые для эффективного извлечения органических соединений и нефтепродуктов, в том числе из смеси с тяжелыми металлами [17].

Предварительные исследования показали, что активные угли с рН водной вытяжки больше 8,8 (например, АБГ) невозможно использовать для сорбционного извлечения железа из-за образования при контакте с сорбентом малорастворимых гидроксидов. Сорбент Пуролат-Стандарт показал свою низкую эффективность адсорбции по отношению как к железу, так и к марганцу по сравнению с гранулированными активными углями [18].

Так как содержание исследуемых ионов в стоках составляет 0,05-0,50 мг/л и 0,20-3,00 мг/л для железа и марганца, соответственно, при изучении адсорбции были выбраны такие соотношения $Mn^{+2} : Fe$ общее как 4,5:1; 1:1 и 1:3.

Полученные величины максимальной равновесной адсорбции показали (рис. 2), что для извлечения марганца целесообразнее использовать активный уголь АГ-3,

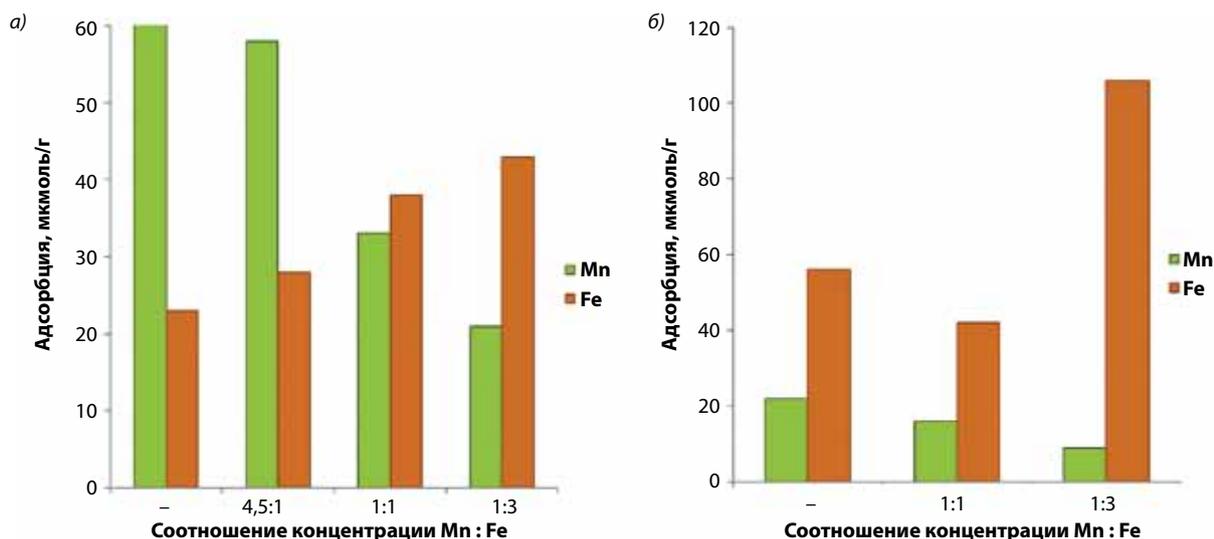


Рис. 2. Максимальная адсорбция ионов Mn^{+2} и Fe общее активными углями марок АГ-3 (а) и СКД-515 (б) из водных растворов индивидуального компонента и смесей при разных соотношениях

Fig. 2. Maximum adsorption of Mn^{+2} and total Fe ions by active coals of АГ-3 (а) and SKD-515 (b) grades from aqueous solutions of an individual component and mixtures at different ratios

а для железа – СКД-515. Присутствие железа снижает адсорбцию марганца из смеси и для АГ-3, и СКД-515 по сравнению с раствором индивидуального компонента при любых соотношениях концентраций. Адсорбция железа при этом на АГ-3 возрастает, а в случае СКД-515 зависит от концентрации второго иона.

Согласно полученным данным, при преобладании марганца в стоках для их очистки целесообразнее использовать АГ-3, а в случае более высокой концентрации железа – СКД-515. В случае близких концентраций этих соединений при выборе сорбента следует ориентироваться на дополнительные факторы, например влияние присутствия других солей или органических соединений.

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ПО ДООЧИСТКЕ КАРЬЕРНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Принимая во внимание, что помимо ионов железа и марганца в сточных водах угольных разрезов приоритетными загрязнителями также являются нитрат-, нитрит-, сульфат- и хлорид ионы, в качестве альтернативы предлагается внедрить на очистных сооружениях реагентную обработку сточных вод с последующим отстаиванием в отстойниках-флокуляторах, фильтрацию на фильтрах с песчаной загрузкой, фильтрацию на сорбционных фильтрах.

На очистных сооружениях предусмотрены следующие технологические этапы: прием и усреднение стоков; отстаивание; забор осветленной воды и подача ее на доочистку в блок очистки; реагентная обработка; напорная

флотация; фильтрация через песчаный фильтр; доочистка воды на сорбционных фильтрах, загруженных активным углем (рис. 3).

Сорбционные фильтры предназначены для доочистки производственных, поверхностных вод от аммонийного азота, ионов тяжелых металлов, трехвалентного железа, радионуклидов и нефтепродуктов. В качестве сорбирующих материалов предлагается использовать активные угли марок АГ-3 или СКД-515.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из вышеприведенного анализа можно сделать вывод, что каждый метод, используемый для удаления ионов металлов, не является полностью предпочтительным и имеет свои преимущества и недостатки.

Выбор наиболее подходящего метода удаления ионов железа и марганца из сточных вод зависит от многих ключевых факторов, включая эксплуатационные расходы, начальную концентрацию ионов металлов, воздействие на окружающую среду, значения pH, добавленные химические вещества, эффективность удаления и экономическую целесообразность. На разных этапах извлечения ионов применяется тот метод, который является наиболее эффективным и экономически менее затратным.

Предлагаемая схема очистки карьерных сточных вод с использованием адсорбционных фильтров осуществляется от всех компонентов до величины нормативных допустимых сбросов. Данная технология отличается простотой и отсутствием больших количеств солевых регенерационных растворов (в отличие от технологии ионного обмена), значительно более низкой (в 2-3 раза) энергоемкостью (по сравнению с технологиями электродеионизации) при сопоставимых с ней объемах образующегося концентрата.

Список литературы

1. Оценка эффективности очистки сточных вод угледобывающего предприятия и ее влияние на загрязнение малых рек / Л.А. Иванова, Н.С. Голубева, И.В. Тимошук и др. // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 1. С. 60-65. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-1-60-65.
2. Свергузова С.В., Хунади Л., Воронина Ю.С. Тяжелые металлы в окружающей среде и их трансформация // Chemical bulletin. 2019. № 2. С. 9-14.
3. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-коммунального водопользования. [Электронный ресурс]. URL: http://www.infosait.ru/norma_doc/41/41363/.htm (дата обращения: 15.10.2023).
4. Электрофлотация и седиментация в очистке сточных вод от гидроксидов тяжелых и цветных металлов / Т.А. Хейн, П. Аунг, З.Х. Тхан и др. // Химическая промышленность сегодня. 2019. № 6. С. 30-37.
5. Патент № 2238911 С1 Российская Федерация, МПК C02F 1/62, C02F 103/16, C02F 103/36. Способ очистки сточных вод от меди, железа и марганца: № 2003104567/15: заявл. 14.02.2003; опубл. 27.10.2004 / В.П. Скорин, Ю.Д. Морозов, А.З. Абдуллин.
6. Гладких С.Н. Очистка стоков промышленных предприятий от ионов тяжелых металлов // Безопасность жизнедеятельности. 2022. № 3. С. 32-36.

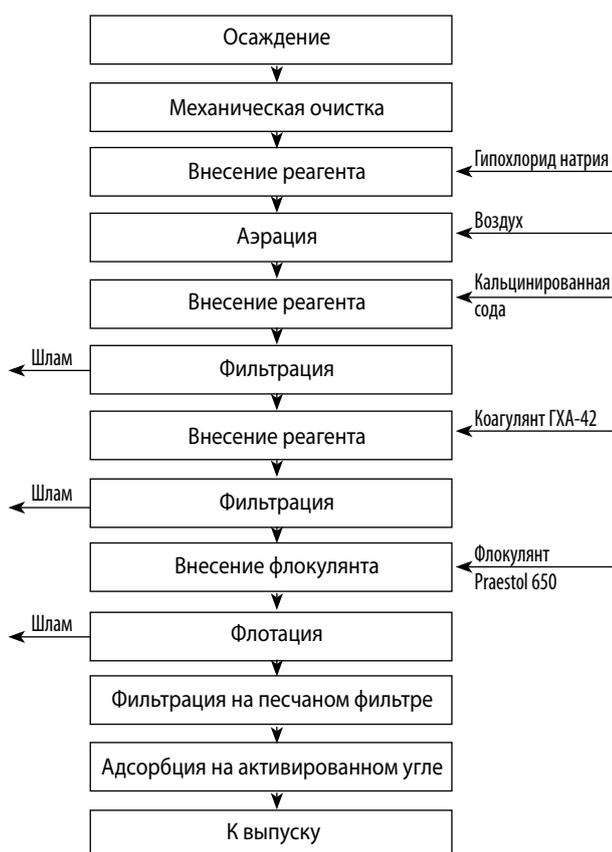


Рис. 3. Технологическая схема очистки карьерных вод

Fig. 3. Technological diagram of quarry water treatment

7. Ксенофонов Б.С., Бондаренко А.В. Комплексная установка для очистки поверхностных сточных вод от железа // Сантехника. 2018. Т. 3. № 3. С. 44-47.
8. Trus I. Optimal conditions of ion exchange separation of anions in low-waste technologies of water desalination // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2022. Vol. 57. No. 3. P. 550-558.
9. Rajoria S., Vashishtha M., Sangal V.K. Treatment of electroplating industry wastewater: a review on the various techniques // Environmental Science and Pollution Research. 2022. № 29. DOI: 10.1007/s11356-022-18643-y.
10. Патент № 2755988 С1 Российская Федерация, МПК C02F 9/00, C02F 9/12, C02F 1/463. Способ очистки сточных вод: № 2021106095: заявл. 10.03.2021: опубл. 23.09.2021 / С.И. Сапега, В.Н. Дигин.
11. Дедюхина Е.М., Дылгирова В.А., Аполлонова В.С. Очистка карьерных сточных вод от ионов железа // Заметки ученого. 2020. № 12. С. 83-87
12. Гайдукова А.М., Колесников В.А., Похвалитова А.А. Очистка сточных вод гальванического производства от ионов металлов с применением сорбции в статическом режиме и электрофлотации // Теоретическая и прикладная экология, 2021. № 4. С. 160-166. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-160-166.
13. К вопросу о возможности использования адсорбции при очистке карьерных сточных вод / И.В. Тимошук, А.К. Горелкина, Л.А. Иванова и др. // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2021. № 3. С. 59-63.
14. Калюкова Е.Н., Письменко В.Т., Иванская Н.Н. Адсорбция катионов марганца и железа природными сорбентами // Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. № 2. С. 194-200.
15. Ильясова Р.Р., Ахунов Р.Д., Силантьева Ю.В. Природный минерал вермикулит для очистки сточных вод промышленных предприятий от ионов железа и марганца / Научные исследования и разработки в эпоху глобализации: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Волгоград, 05 февраля 2017 года. Т. 3. Волгоград: Аэтерна, 2017. С. 35-39.
16. Степанов С.В., Панфилова О.Н. Доочистка сточных вод от ионов тяжелых металлов на природных цеолитах. В сборнике статей: Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. Самарский государственный технический университет. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. С. 289-292.
17. The use of semi-coke for phenol removal from aqueous solutions / T.A. Krasnova, N.V. Gora, O.V. Belyaeva et al. // Carbon Letters. 2021.
18. Использование углеродных сорбентов для удаления марганца из водных сред / Т.А. Краснова, Е.Е. Беляева, О.В. Беляева и др. // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 7. С. 18-24. DOI: 10.35776/VST.2022.07.03.

Original Paper

UDC 628.3:622 © L.A. Ivanova, O.V. Belyaeva, N.V. Gora, I.M. Ugarova, N.S. Golubeva, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 11, pp. 81-87
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-11-81-87>

Title

EFFICIENCY ANALYSIS OF METHODS TO REMOVE IRON AND MANGANESE IONS FROM COAL INDUSTRY WASTE WATER

Authors

Ivanova L.A.¹, Belyaeva O.V.¹, Gora N.V.¹, Ugarova I.M.¹, Golubeva N.S.¹

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Ivanova L.A., PhD (Engineering), Associate Professor,
 e-mail: lyuda_ivan@mail.ru

Belyaeva O.V., PhD (Chemistry), Associate Professor

Gora N.V., PhD (Engineering), Associate Professor

Ugarova I.M., Postgraduate student

Golubeva N.S., PhD (Engineering), Associate Professor

Abstract

In the natural environment heavy metal pollution in most cases affects quarry and mine waters. These waters penetrate into the working zone of underground mines from aquifers, surface reservoirs and drainage workings. Waste waters of coal operations are characterized with a high degree of mineralization, low concentration of hydrogen ions, increased content of magnesium and calcium salts, as well as sulphates, iron, manganese and other compounds. The variety of qualitative and quantitative composition of waste water at coal mining companies is conditioned by many factors, namely the geological and hydrological conditions, saturation with salts as a result of water filtration through different types of rocks, as well as mixing of natural reservoir waters from different horizons as a result of their penetration.

The article analyzes the efficiency of the existing system to remove iron and manganese ions from coal mine waste water. The main methods of additional treatment of waste water from these ions are discussed together with their advantages and disadvantages. A process flow is proposed for additional waste water treatment before its discharge into rivers, which includes recep-

tion and averaging of waste water; settling; subsequent intake and feeding of clarified water into a treatment plant for further additional treatment; chemical treatment; pressure flotation; filtration through a sand filter; and additional water treatment on sorption filters.

Keywords

Adsorption, Waste water, Heavy metals, Iron, Manganese, Treatment methods, Maximum allowable concentration, Settling, Mechanical filtration, Galvanic coagulation.

References

1. Ivanova L.A., Golubeva N.S., Timoshchuk I.V. et al. Evaluation of the efficiency of wastewater treatment of a coal mining enterprise and its impact on the pollution of small rivers. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2023, Vol. 27, (1), pp. 60-65. (In Russ.). DOI: 10.18412/1816-0395-2023-1-60-65.
2. Sverguzova S.V., Khunadi L. & Voronina Yu.S. Heavy metals in the environment and their transformation. *Chemical bulletin*, 2019, (2), pp. 9-14. (In Russ.).
3. GN 2.1.5.1315-03. Maximum allowable concentrations (MACs) of chemicals in the water of water objects used for drinking and domestic recreation purposes. [Electronic resource]. Available at: http://www.infosait.ru/norma_doc/41/41363/.htm (accessed 15.10.2023).
4. Hein T.A., Aung P., Thang Z. Kh. et al. Electroflotation and sedimentation in wastewater treatment from hydroxides of heavy and nonferrous metal. *Himicheskaya promyshlennost' segodnya*, 2019, (6), pp. 30-37. (In Russ.).
5. Skorin V.P., Morozov Yu.D. & Abdullin A.Z. Method of wastewater treatment from copper, iron and manganese. Pat. No. 2238911 C1, Russian Federation,

- MPK C02F 1/62, C02F 103/16, C02F 103/36, Applic. No. 2003104567/15, claim 14.02.2003, publ. 27.10.2004.
6. Gladkikh S.N. Treatment of industrial waste waters from ions of heavy metals. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2022, (3), pp. 32-36. (In Russ.).
7. Ksenofontov B.S. & Bondarenko A.V. Complex installation for surface wastewater treatment from iron. *Santehnika*, 2018, Vol. 3, (3), pp. 44-47. (In Russ.).
8. Trus I. Optimal conditions of ion exchange separation of anions in low-waste technologies of water desalination. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2022, Vol. 57, (3), pp. 550-558.
9. Rajoria S., Vashishtha M. & Sangal V.K. Treatment of electroplating industry wastewater: a review on the various techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, (29). DOI: 10.1007/s11356-022-18643-y.
10. Sapega S.I. & Digin V.N. Method of wastewater treatment. Pat. No. 2755988 C1 Russian Federation, MPK C02F 9/00, C02F 9/12, C02F 1/463, Applic. No. 2021106095, claim 10.03.2021, publ. 23.09.2021.
11. Dedyukhina E.M., Dylgirova V.A. & Apollonova V.S. Treatment of quarry wastewater from iron ions. *Zametki uchyonogo*, 2020, (12), pp. 83-87 (In Russ.).
12. Gaidukova A.M., Kolesnikov V.A. & Pokhvalitova A.A. Treatment of electroplating wastewater from metal ions with the use of sorption in static mode and electroflotation. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2021, (4), pp. 160-166. (In Russ.). DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-160-166.
13. Timoshchuk I.V., Gorelkina A.K., Ivanova L.A. et al. On the possibility to use adsorption in treatment of quarry wastewater. *Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti*, 2021, (3), pp. 59-63. (In Russ.).
14. Kalyukova E.N., Pismenko V.T. & Ivanskaya N.N. Adsorption of manganese and iron cations by natural sorbents. *Sorbtsionnye i hromatograficheskie processy*, 2010, Vol. 10, (2), pp. 194-200. (In Russ.).
15. Ilyasova R.R., Akhunov R.D. & Silantieva Yu.V. Vermiculite: a natural mineral for treatment of industrial wastewater from iron and manganese ions / Scientific research and development in the age of globalization: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Volgograd, February 05, 2017, Vol. 3, Volgograd, Aeterna Publ., 2017, pp. 35-39. (In Russ.).

16. Stepanov S.V. & Panfilova O.N. Additional treatment of wastewater from heavy metal ions using natural zeolites. In collected works: Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies. Samara State Technical University, Samara, Samara State Architecture and Construction University, 2017, pp. 289-292. (In Russ.).
17. Krasnova T.A., Gora N.V., Belyaeva O.V., Gorelkina A.K., Golubeva N.S. & Timoshchuk I.V. The use of semi-coke for phenol removal from aqueous solutions. *Carbon Letters*, 2021.
18. Krasnova T.A., Belyaeva E.E., Belyaeva O.V. et al. Use of carbon sorbents to remove manganese from aqueous media. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2022, (7), pp. 18-24. (In Russ.). DOI: 10.35776/VST.2022.07.03.

Acknowledgements

The research was carried out as part of the 'Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life' Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-r of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022, Agreement No. 075-15-2022-1201 from 30.09.2022.

For citation

Ivanova L.A., Belyaeva O.V., Gora N.V., Ugarova I.M. & Golubeva N.S. Efficiency analysis of methods to remove iron and manganese ions from coal industry waste water. *Ugol'*, 2023, (11), pp. 81-87. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-81-87.

Paper info

Received April 24, 2023

Reviewed October 13, 2023

Accepted October 26, 2023

На разрезах АО «Междуречье» и АО «УК Южная» установили сеть сейсмостанций российского производства

В октябре 2023 г. разрезы «Междуречье» и УК «Южная» Новой Горной Управляющей Компании в числе первых предприятий открытой добычи в России выполнили требования федеральных норм и правил в области промышленной безопасности по контролю сейсмических и геомеханических процессов. Современная система сейсмостанций позволяет проводить непрерывный контроль напряженного состояния массива, устойчивости бортов и отвалов разреза, а также осуществлять мониторинг сейсмических воздействий в ходе производственного процесса.

Система контроля геомеханических и сейсмических процессов строится на базе сети территориальных распределенных станций. Каждая состоит из регистратора сейсмических событий и сейсмоприемников, установленных на бортах разрезов. Регистратор выполняет функции сбора, обработки и передачи данных измерений через автономную LTE-сеть (в начале 2023 г. в АО «Междуречье» была развернута крупнейшая в России выделенная технологическая сеть LTE) на коммутационное оборудование, которое передает информацию в диспетчерский пункт. Питание оборудования обеспечивается солнечными батареями, что делает систему мобильной и экологичной.

Система, разработанная специалистами Сибирского института геотехнических исследований совместно с техни-



ческими службами предприятий на основе геомеханических данных разрезов, тестировалась и калибровалась на участке «Береговой» АО «УК Южная» с непосредственным мониторингом Алтае-Саянского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской Академии Наук».

филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской Академии Наук».



Сеть сейсмостанций на разрезе «Междуречье» Новой Горной УК повышает контроль за безопасным ведением горных работ