

УДК 628.16.08

А.Г. ЖУЛИН, О.В. СИДОРЕНКО, Л.В. БЕЛОВА

**К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ
КОНЦЕНТРАЦИИ МАРГАНЦА В РЕЧНОЙ ВОДЕ**

Марганец является одним из часто встречающихся элементов в составе поверхностных природных вод и при превышении предельно допустимых концентраций может вызывать нежелательные последствия. В настоящее время во многих городах России существует проблема устранения повышенного содержания марганца из поверхностных вод, используемых в хозяйственно-питьевом водоснабжении. Представлены результаты исследований по выбору метода удаления марганца из речной воды с помощью различных окислителей и технологических вариантов – коагуляция, фильтрование, углевание. Предложена технологическая схема обработки воды, включающая традиционную схему с применением современного реагента анолита – побочного продукта при производстве хлора, загрузочного природного фильтрующего материала «бризант» и углевания воды.

К л ю ч е в ы е с л о в а: марганец, питьевая вода, грунтовое питание, поверхностный источник водоснабжения, влияние сезона года, методы удаления марганца, хлорирование, бризант, перманганат калия, анолит.

DOI 10.32683/0536-1052-2020-734-2-36-46

Введение. Растворенный марганец в речной воде в различные периоды года связывается с наличием ледового покрытия (отсутствие кислорода), притоком болотных вод, жизнедеятельностью потребляющих марганец микроорганизмов. В природных водах марганец чаще всего находится в растворенном (степень окисления +2) и взвешенном (степень окисления +4) состояниях. Форма и величина концентрации марганца в природной воде зависит от температуры, pH, гидравлической связи поверхностных и подземных вод, интенсивности употребления фитопланктоном при фотосинтезе, процессов осаждения марганца на дно водных объектов, активности разложения биомассы, аэробных и анаэробных условий [1, 2].

Концентрация марганца в поверхностном источнике водоснабжения подвержена сезонным изменениям. В *летнее* время соединения марганца накапливаются в водной растительности и придонной части в виде ила, достигая максимальных содержаний к началу зимнего периода. Наиболее высокие концентрации соединений марганца по сезонам года отмечаются в период с января по апрель [3].

С образованием *ледяного покрова* доступ кислорода к воде ограничивается, что обуславливает снижение величины pH и способствует растворению высоковалентных соединений марганца. В воде в отсутствие поступления кислорода протекают процессы растворения марганецсодержащих соединений в связи с активизацией деятельности анаэробных бактерий – это создает благоприятные условия для растворения марганца из донных отложений и поступления его в водную толщу.

© Жулин А.Г., Сидоренко О.В., Белова Л.В., 2020

Повышение концентраций марганца в *холодное время* года также связывается с выносом в водоисточник грунтовыми водами растворенных органических веществ, которые образовались в результате гниения опавшей листвы осенью. Миграционные болотные воды, кроме Fe^{2+} , Mn^{2+} и PO_4^{3-} , содержат много органических веществ, так как в процессе неполного разложения растительных остатков образуются растворимые органические кислоты [4]. На дне реки развивается глеевая среда, соединения Mn^{4+} восстанавливаются и переходят в раствор в виде Mn^{2+} . Марганец мигрирует и в составе органоминеральных соединений.

Помимо этого, *зимой* питание рек происходит за счет подземных вод глубинных горизонтов, что является условием поступления большого количества марганца болотного происхождения в растворенном виде в речную воду. В условиях недостаточного водотока и дефицита кислорода повышение концентрации марганца связано как с микробиологическими процессами в водах, обогащенных органикой, так и с невозможностью окисления марганца кислородом воздуха для перевода из растворенного состояния в нерастворимое.

В *осенний* период года отложение марганца на дне водоема и небольшое повышение концентрации элемента в речной воде обуславливается разрушением биомассы фитопланктона. Часто в реках максимальные концентрации марганца наблюдаются в *весенний* период, когда наиболее существенно проявляется влияние процессов, происходящих на водосборе (содержание марганца может увеличиваться в результате смыва его с поверхности водосбора паводковыми водами). Причины понижения концентраций марганца в *летний* период связаны как с биологической ролью элемента во время активного потребления его живыми организмами (фитопланктоном), так и с благоприятными условиями (температура, pH, аэробная среда) для перевода марганца из растворенного состояния во взвешенное [5].

Анализ внутригодового распределения марганца в воде р. Тура проводился по данным среднемесячных значений этого показателя на входе и выходе из Метелёвских водопроводных очистных сооружений (МВОС), изменения концентрации марганца с 2001 по 2016 г. приведены на рис. 1.

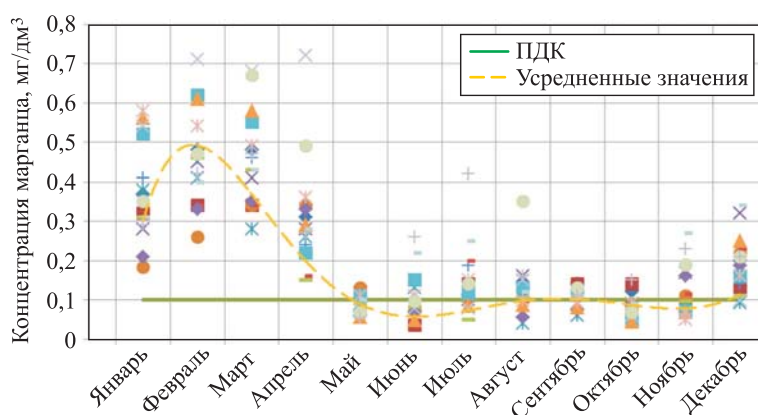


Рис. 1. График изменения месячных концентраций марганца в течение года по данным многолетних наблюдений

Общий диапазон колебаний концентрации марганца в воде р. Тура за последние 16 лет составил 0,72–0,05 мг/дм³, при средних значениях рН в зимний период – 6,36, в половодье – 7,02 и летне-осенней межени – 7,49–7,82. На графике линией тренда обозначено рядовое распределение марганца в реке в течение года, но имеются пики концентраций, не характерные для элемента в данный период. Некоторые отклонения в максимальных значениях содержания марганца связываются с атмосферными осадками: по данным метеорологических архивов в марте и апреле 2012 и 2014 гг. отмечено пиковое выпадение осадков (что обусловило привнесение марганца в источник с поверхности водосбора); в июне 2002 г. минимум концентраций марганца связан с большим объемом выпавших осадков, которые составили 215 % от нормы. Пиковые концентрации в остальное время являются разовыми и могут быть связаны со случайными факторами лабораторных определений.

В р. Тура максимальные концентрации элемента приходятся в основном на февраль – апрель и достигают 0,65 мг/дм³. Резкое снижение концентраций марганца до 0,05 мг/дм³ наблюдается в мае – июне, а в июле – августе его незначительное повышение, в остальное время концентрации марганца колеблются в пределах 0,05–0,67 мг/дм³.

К анализу работы водоочистных сооружений по снижению содержания марганца построен график усредненных его концентраций в водоисточнике и резервуаре чистой воды в течение года (рис. 2). В процессе водоочистки в зимний и весенний периоды концентрация марганца снижается всего лишь на 4–13 %, что указывает на неэффективность процесса деманганизации в водоочистных сооружениях, так как схема очистки на МВОС не предусматривает удаление растворенного марганца, присутствующего в зимне-весенний период. Поэтому были проведены исследования по разработке методов очистки речной воды от марганца.

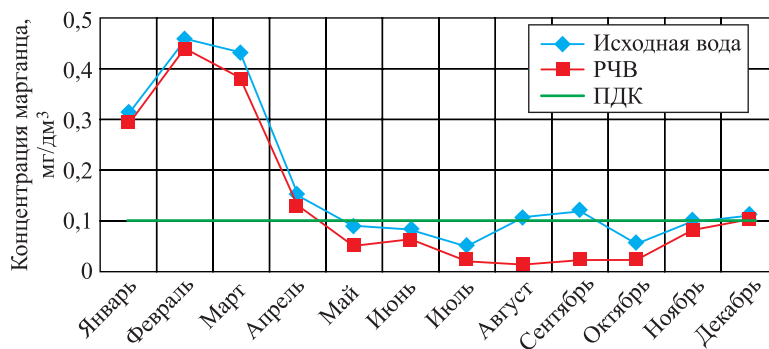


Рис. 2. График содержания марганца на входе и выходе из МВОС

Обзор способов деманганизации воды. Очистку воды от марганца в процессах ее подготовки осуществляют химическим окислением, которое можно условно разделить на реагентное и безреагентное. Основа методов снижения содержания марганца из подземной воды – окисление растворенного Mn^{2+} с образованием малорастворимых оксидных форм, обладающих каталитическими свойствами, с последующим устранением из воды отстаиванием и фильтрованием.

Методы удаления марганца из подземной воды связывают в основном с диаграммой состояния Пурбе [6], т.е. перевод растворенного марганца в нерастворенное состояние может быть осуществлен повышением величины рН системы. В этом случае возможность снижения содержания марганца в воде соотносят с подщелачиванием или обработкой окислителем при наличии его устойчивых форм. Устойчивые органические комплексы образуются при содержании в воде гуминовых, фульво- и таниновых кислот. В качестве окислителей рекомендуются хлор, озон, производные хлора и перманганат калия [7].

Подщелачивание воды с увеличением значений рН > 8,5 известно нетехнологично, едким натрием – дорого, сода рекомендуется при высокой жесткости воды. Способы предполагают ионную форму присутствия марганца в воде без упоминания связанных форм двух- и четырехвалентного с органическими соединениями воды поверхностных источников.

Для поверхностных вод устранение марганца связывается не только с величиной рН, но и с ее физико-химическим составом, особенно с наличием органических соединений природного происхождения и привнесенных сточными водами. Наличие сбросов сточных вод обуславливает присутствие в речной воде привкусов и запахов. В этих случаях необходимо предусматривать периодическое углевание воды, так как значительная часть антропогенных загрязнений может быть устранена на активированных углях [8].

Для устранения примесей, обуславливающих наличие железа, марганца, повышенной окисляемости, привкусов и запахов, в 60–80-х гг. XX столетия широко применялось предварительное хлорирование с перманганатом калия в сочетании с углеванием воды [9, 10]. В классическом варианте способов удаления марганца предпочтение отдается перманганату калия [11], реагент не требует корректировки рН (подщелачивания) и независим от физико-химических показателей исходной воды (температуры, жесткости, щелочности).

Метод основан на способности перманганата калия окислять содержащийся в воде марганец (II) с образованием малорастворимого осадка оксида марганца, который является сорбентом вследствие его большой удельной поверхности



При этом происходит снижение привкусов и запахов вследствие частичной сорбции органических соединений образующимся мелкодисперсным осадком оксида марганца.

Большое число публикаций по снижению марганца в воде посвящено озонированию. Метод не вызывает сомнений по эффективности удаления марганца, но настораживает: неопределенность влияния на качественные показатели воды продуктов разложения органических примесей природного происхождения [11] и сточных вод [9], высокие капитальные и эксплуатационные затраты [12].

Предприятия водоканалов ряда городов освоили обеззараживание воды хлорсодержащими реагентами от установок заводского изготовления непосредственно на очистных сооружениях. На станции обезжелезивания г. Тюмени внедрена технология обеззараживания воды хлором, производимым на электролизных установках с перегородкой (мембранных электролизных установках МБЭ). Сопутствующие продукты электролиза поваренной соли – католит и анолит. Анолит – раствор с высоким окислительно-восстановительным потенциалом (до 1200 мВ), имеет в составе сильные окислите-

ли, которые способны окислять химические и биологические соединения. Анолит, содержащий озон, двуоксид хлора и др. [13], предложено использовать в качестве активатора окисления органических соединений воды поверхностного источника, включающих Fe^{+3} и Mn^{+4} .

Целью данной работы является разработка и выбор оптимальной технологии очистки речной воды от марганца. Для ее достижения проведены лабораторные и производственные исследования снижения содержания марганца.

Методика исследований. Исследования проводились на действующих водоочистных сооружениях и в лаборатории кафедры «Водоснабжение и водоотведение» Тюменского индустриального университета на речной воде.

Исходная вода отбиралась перед смесителем на МВОС в день проведения исследований.

В задачу исследований входило в лабораторных условиях определить окислительные способности доступных реагентов по отношению к марганцу, с последующим коагулированием окисленных компонентов.

Этапы исследований по снижению содержанию марганца включали определение влияния хлорсодержащих реагентов (хлор, анолит, гипохлорит натрия) и продолжительности их контакта с обрабатываемой водой, а также влияния перманганата калия и выявления комплексного окисления (хлорсодержащий реагент + перманганат калия).

В процессе исследований поддерживался постоянный температурный режим, все основные этапы (окисление, коагуляция) проходили в термостате при температуре 4–5 °С (соответствующей в р. Туре). В лаборатории имитировались все процессы, происходящие на действующей станции (МВОС), а именно: предварительное окисление, коагуляция, отстаивание и фильтрование.

Исследования проводились с применением доступных реагентов и внедренных на данный момент на других отечественных ВОС, изменялись дозировки и сочетания реагентов. Для коагуляции использовались реагенты, широко применяемые в настоящее время: коагулянты – сульфат алюминия (СА), оксихлорид алюминия (ОХА); флокулянт – полиакриламид (ПАА).

Суммарная доза коагулянта определялась по доминирующему показателю – цветности воды, которая в период исследований составляла $C = 61–65$ град ПКШ. Суммарная доза коагулянта (по сульфату алюминия) составила $D_k = 31–32$ мг/дм³. При использовании сульфата алюминия с оксихлоридом алюминия последнего требуется в 2 раза меньше расчетного значения. Исходя из этого были приняты значения доз коагулянтов: сульфата алюминия $D_{СА} = 20$ мг/дм³, оксихлорида алюминия $D_{ОХА} = 5$ мг/дм³.

В качестве окислителя применялись реагенты: хлор, гипохлорит натрия, перманганат калия, анолит (хлорная вода от МБЭ).

В ходе лабораторных исследований обеспечивалась необходимая продолжительность контакта воды с окислителями в течение 10–30 мин, затем добавлялись коагулянты и через 2–3 мин – флокулянт ПАА ($D_{ПАА} = 0,5$ мг/дм³). После коагуляции и отстаивания вода фильтровалась через кварцевый песок фракциями 0,5–1,0 мм (соответствующими загрузке скорых фильтров) при скорости фильтрования 5–6 м/ч и затем через активированный уголь при скорости фильтрования 15 м/ч (не для всех проб). В ряде исследований в качестве загрузки фильтров применялся фильтрующий материал «бризант» с фракциями 0,5–1,0 мм. Всего было проведено 26 опытов. Перед

коагуляцией в ряде опытов производилось подщелачивание воды до величины $pH = 7,80-8,0$.

Приборы и оборудование, используемые при проведении анализов: атомно-абсорбционный спектрометр МГА-16МД, спектрофотометр ПЭ-5400ВИ, рН-метр рН-150МП.

Результаты исследований и обсуждения. На начальном этапе исследования, учитывая рекомендации [7], принятая на МВОС доза хлора для предварительной обработки воды была увеличена вдвое на одном из блоков. Однако, кроме наличия избытка хлора на выходе воды после фильтров, количество содержание марганца не уменьшилось, показатель окисляемости снизился незначительно.

В лабораторных условиях исследования с хлором проводились при подщелачивании воды с повышением pH до 7,5 при исходном значении $pH = 6,8$. На графиках (рис. 3) представлены результаты исследований по снижению содержания марганца в природной воде в зависимости от вида и дозы применяемых реагентов, указанных в таблице.

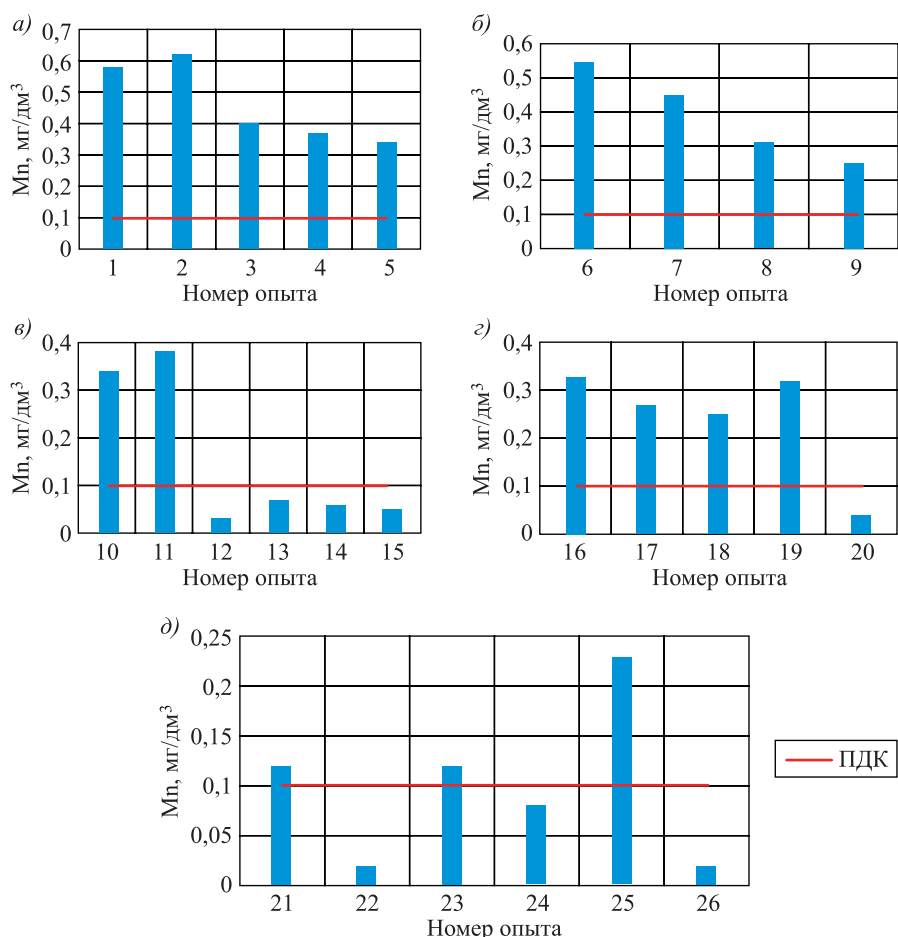


Рис. 3. Результаты исследований по снижению содержания марганца в речной воде р. Туры

Окислители: а – хлор; б – гидрохлорид натрия; в – перманганат калия; г – хлорная вода (от МБЭ); д – хлорная вода (от МБЭ) + перманганат калия

Основные параметры проводимых исследований

№ опыта	Вид окислителя	Доза окислителя, мг/дм ³	Продолжительность контакта, мин	Подщелачивание	Фильтрация / фильтрующий материал	Фильтрация через активированный уголь
1	Хлор	5	30	+	+ /кварцевый песок	–
2		7	30	+	+ /кварцевый песок	–
3		10	30	+	+ /кварцевый песок	–
4		10	60	+	+ /кварцевый песок	–
5		15	60	+	+ /кварцевый песок	–
6	Гипохлорит натрия	10	30	–	+ /кварцевый песок	–
7		15	30	–	+ /кварцевый песок	–
8		15	30	+	+ /кварцевый песок	–
9		30	30	+	+ /кварцевый песок	–
10	Перманганат калия	1,5	30	–	+ /кварцевый песок	–
11		1,5	30	+	+ /кварцевый песок	–
12		5	30	–	+ /кварцевый песок	–
13		5	30	+	+ /кварцевый песок	–
14		3	20	–	+ /кварцевый песок	–
15		4	20	–	+ /кварцевый песок	+
16	Хлорная вода от МБЭ (анолит)	5	10	+	+ /кварцевый песок	–
17		7	20	+	+ /кварцевый песок	+
18		10	20	+	+ /кварцевый песок	+
19		20	20	+	+ /кварцевый песок	–
20		1,5*	20	–	+ / «бризант»	+
21	Хлорная вода от МБЭ + перманганат калия	5+1	20	+	+ /кварцевый песок	–
22		5+1	20	+	+ /кварцевый песок	+
23		7+1,5	20	+	+ /кварцевый песок	–
24		7+1,5	20	+	+ /кварцевый песок	+
25		10+0,5**	10	+	+ /кварцевый песок	–
26		10+0,5**	10	+	+ /кварцевый песок	+

* Исследование проводилось на воде, взятой после отстойников на МВОС (суммарная доза окислителя, учитывая предварительное хлорирование в смесителях, составила 6 мг/дм³).

** Ввод перманганата калия осуществлялся после отстаивания непосредственно перед фильтрацией.

Из серии экспериментов с хлором даже при значительной продолжительности контакта хлора с водой 30–60 мин установлено, что требуемого эффекта снижения содержания марганца не достигается и при подщелачивании.

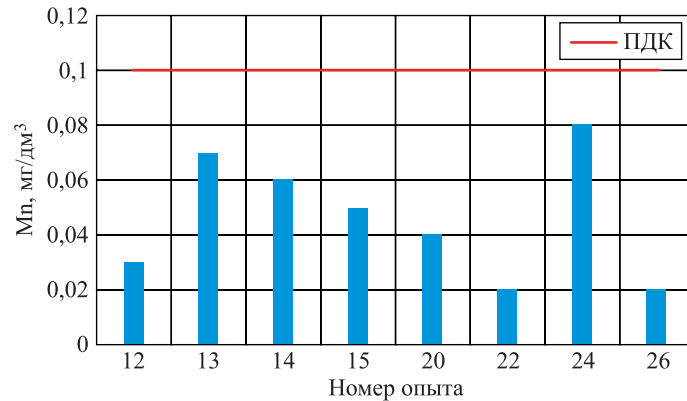


Рис. 4. Результаты исследований по снижению содержания марганца в природной воде р. Туры ниже ПДК

На графике (рис. 4) приведены результаты исследований, обеспечивающие падение содержания марганца ниже ПДК. Снижение содержания марганца в воде до ПДК можно добиться при использовании в качестве окислителя перманганата калия в концентрации не менее 3 мг/дм³. Уменьшить расход перманганата калия можно за счет предварительного введения хлорсодержащего реагента (например, хлорная вода от МБЭ). Совместный ввод реагентов позволяет экономить до 80 % перманганата калия. Введение перманганата калия перед подачей в воду хлора разрушает органические вещества, вступающие в реакцию с хлором. В результате могут образоваться продукты с резким запахом, например, фенолы. Если ввод реагентов осуществить в другой последовательности, то перманганат калия будет разрушать образованные хлорпродукты.

Выбор технологической схемы определялся не только возможностью снижения содержания марганца, но окисляемостью и цветностью воды. Не во всех исследованиях удалось снизить содержание перманганатной окисляемости ниже ПДК (5 мг/дм³). Достаточно приемлемые результаты по снижению окисляемости речной воды были получены при использовании в качестве реагента перманганата калия и анолита с последующим включением активированного угля.

Технологическая схема, рекомендуемая для обработки воды р. Туры в зимне-весенний период года, приведена на рис. 5.

Активированный уголь (углевание) в настоящее время вводится на станции при залповых сбросах сточных вод выше расположенных по р. Туре предприятий.

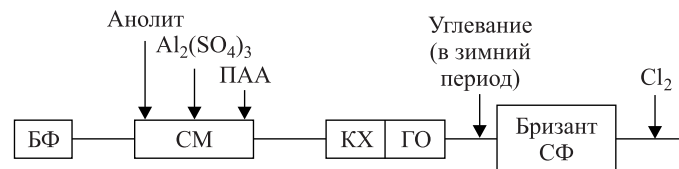


Рис. 5. Технологическая схема обработки речной воды на МВОС

БФ – барабанный фильтр; СМ – смеситель; КХ – камера хлопьеобразования; ГО – горизонтальный отстойник; СФ – скорый фильтр

Выводы. 1. Проведены исследования по удалению марганца в производственных и лабораторных условиях для различного сочетания окислителей и технологических вариантов.

2. Наибольшая окислительная способность отмечена при применении перманганата калия и анолита.

3. Использование фильтрующего материала «бризант» для воды поверхностного источника позволяет снизить содержание марганца до минимальных значений.

4. Необходимость углевания обосновывается высокой исходной окисляемостью, наличием привкусов и запахов в речной воде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 241 с.
2. Гороновский И.Т., Шабловская Г.К., Забарило А.Б. Формы марганца в поверхностных водах и методы их удаления // Химия и технология воды. 1988. Т. 10, № 1. С. 358–360.
3. Лобченко Е.Е., Лавренко Н.Ю., Гончаров А.В. Пространственно-временные изменения содержания в воде р. Пышма соединений металлов // Материалы научной конференции 8–10 сент. 2015 г., г. Ростов-на-Дону. Ч. 1. Ростов н/Д., 2015. С. 99–104.
4. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Изд-во МГУ, 1999. 610 с.
5. Огрызкова О.С., Эйрих А.Н., Серых Т.Г. Сезонные изменения содержания марганца в воде Новосибирского водохранилища // Изв. Алт. гос. ун-та. 2014. Т. 2, вып. 3. С. 176–180.
6. Кульский Л.А., Накорчевская В.Ф. Химия воды: Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод. Киев: Виц. шк., 1983. 240 с.
7. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, фтора, марганца и сероводорода. М.: Стройиздат, 1975. 176 с.
8. Сомов М.А., Журба М.Г., Говорова Ж.М. Водоснабжение. М.: Изд-во АСВ, 2008. Т. 1. 260 с.
9. Блуштейн М.М. Повышение эффективности работы очистных сооружений водопровода. М.: Стройиздат, 1977. 176 с.
10. Паскуцкая Л.Н., Новиков В.К., Криштул В.П. Повышение эффективности очистки воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. М.: Стройиздат, 1978. 80 с.
11. Шевченко М.А., Лизунов В.В. Технология обработки воды. Киев: Будівельник, 1980. 116 с.
12. Качев А.А., Пискарева В.М. Особенности технологии УФ-обеззараживания // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. № 11.
13. Бахир В.М., Вторенко Ю.Г., Задорожний Ю.Г. и др. Некоторые аспекты получения и применения электрохимически активированного раствора – анолита АНК // Третий международный симпозиум «Электрохимическая активация в медицине, сельском хозяйстве, промышленности»: Тез. докл. и крат. сообщ. М., 2002. С. 3–25.

Жулин Александр Гаврилович, канд. техн. наук, доц.

Тюменский индустриальный университет

Сидоренко Ольга Владимировна, канд. техн. наук, доц.

Тюменский индустриальный университет

Белова Лариса Владимировна, канд. техн. наук, доц.
Тюменский индустриальный университет

Получено после доработки 16.01.2020

Zhulin Alexander Gavrilovich, PhD, Ass. Professor
Industrial University of Tyumen, Russia
Sidorenko Olga Vladimirovna, PhD, Ass. Professor
Industrial University of Tyumen, Russia
Belova Larisa Vladimirovna, PhD, Ass. Professor
Industrial University of Tyumen, Russia

TOWARDS DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR REDUCTION OF MANGANESE CONCENTRATION IN RIVER WATER

Manganese is one of the most common elements in the composition of natural surface waters. It may cause some undesirable effects if the maximum permissible concentration is exceeded. Currently, there is a problem of eliminating the increased content of manganese from surface water, used in household and drinking water supply in many cities of Russia. The research results on the choice of a method for removing manganese from river water with the use of various oxidizers and technological options – coagulation, filtration of water through quartz sand and activated carbon are highlighted in the article. A technological scheme for water treatment of a traditional one with the use of a modern reagent anolyte – by-product in the chlorine production, a loading natural filter material «brizant» and adding powdered activated carbon to water are shown here.

Key words: manganese, drinking water, river water fed by seepage from groundwater, water supply from a surface source, season influence, manganese removal methods, chlorination, brisant, potassium permanganate, anolyte.

REFERENCES

1. Linnik P.N., Nabivanets B.I. Formy migratsii metallov v presnykh poverkhnostnykh vodakh [Forms of metal migration in fresh surface waters]. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1986. 241 p. (in Russian)
2. Goronovskiy I.T., Shablovskaya G.K., Zabarilo A.B. Formy margantsa v poverkhnostnykh vodakh i metody ikh udaleniya [Forms of manganese in surface waters and methods of their removal]. Khimiya i tekhnologiya vody [Chemistry and water technology]. 1988. Vol.10, No. 1. Pp. 358–360. (in Russian)
3. Lobchenko E.E., Lavrenko N.Yu., Goncharov A.V. Prostranstvenno-vremennye izmeneniya sodержaniya v vode r. Pyshma soedineniy metallov [Spatio-temporal changes in the water content of metal compounds in the river Pyshma]. Materialy nauchnoy konferentsii 8–10 sentyabrya 2015 g. [Materials of scientific conference 8 on September 10, 2015]. Rostov-on-Don, P. 1. Pp. 99–104. (in Russian)
4. Perelman A.I., Kasimov N.S. Geokhimiya landshavta [Geochemistry of the landscape]. Moscow, 1999. 610 p. (in Russian)
5. Ogryzkova O.S., Eyrich A.N., Serykh T.G. Sezonnnyye izmeneniya sodержaniya margantsa v vodakh Novosibirskogo vodokhranilishcha [Seasonal changes in the manganese content in the Novosibirsk reservoir water]. Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta [News of Altay State University]. 2014. Vol. 2, iss. 3. Pp. 176–180. (in Russian)

6. Kul'skiy L.A., Nakorchevskaya V.F. Khimiya vody: fiziko-khimicheskiye protsessy obrabotki prirodnykh i stochnykh vod [Water Chemistry: Physico-chemical processes for the treatment of natural and waste water]. Kiev, 1983. 240 p. (in Russian)
7. Zolotova E.F., Ass G.Yu. Ochistka vody ot zheleza, ftora, margantsa i serovodoroda [Water purification from iron, fluorine, manganese and hydrogen sulfide]. Moscow, Stroyizdat, 1975. 176 p. (in Russian)
8. Somov M.A., Zhurba M.G., Govorova Z.M. Vodospabzheniye [Water supply]. Moscow, 2008. T. 1. 260 p. (in Russian)
9. Bluvshche'n M.M. Povysheniye effektivnosti raboty ochistnykh sooruzheniy vodoprovoda [Improving the efficiency of water treatment plants]. Moscow, Stroyizdat, 1977. 176 p. (in Russian)
10. Paskutskaya L.N., Novikov V.K., Krishkul V.P. Povysheniye effektivnosti ochistki vody v sistemakh khozyaystvenno-pit'evogo vodospabzheniya [Improving the efficiency of water treatment in domestic drinking water systems]. Moscow, Stroyizdat, 1978. 80 p. (in Russian)
11. Shevchenko M.A., Lisunov V.V. Tekhnologiya obrabotki [Water Treatment Technology]. Kiev, 1980. 116 p. (in Russian)
12. Tkachev A.A., Piskareva V.M. Osobennosti tekhnologii Uf-obezzarzhivaniya [Features of UV disinfection technology]. Santekhnika, otopleniye, konditsionirovaniye [Plumbing, heating, air conditioning]. 2014. No. 11. (in Russian)
13. Bahir V.M., Vezhenko V.I., Zadrozhniy Yu.G., etc. Nekotorye aspekty polucheniya i primeneniya elektrokhimicheskii aktivirovannogo rastvora – anolita ANK [Some aspects of the preparation and electrochemically activated solution use – anolyte ANK]. Tretiy mezhdunarodnyy simpozium «Elektrokhimicheskaya aktivatsiya v meditsine, sel'skom khozyaystve, promyshlennosti»: Tez. dokl. i krat. soobshch. [Third International Symposium «Electrochemical Activation in Medicine, Agriculture, Industry». Report points and brief statements]. Moscow, 2002. Pp. 3–25. (in Russian)