

УДК 628.16

DOI 10.52928/2070-1683-2024-39-4-58-62

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ АЭРАЦИИ ВОДЫ НА УДАЛЕНИЕ МАРГАНЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОДЫ СЛОЖНОГО СОСТАВА В НАПОРНЫХ ФИЛЬТРАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ЗАГРУЗКАМИ

канд. техн. наук, доц. В.Д. ЮЩЕНКО¹⁾, Е.С. ВЕЛЮГО²⁾, Т.В. КОЗИЦИН³⁾
(^{1), 2)} Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
³⁾ ЧП «АкваПром», Новополоцк)

В статье описывается эффективность удаления из природной воды марганца в зависимости от его исходной концентрации в ней и воздушно-водяного соотношения перед фильтром. Определяется влияние степени аэрации воды на удаление марганца при обработке воды сложного состава в напорных фильтрах с каталитической загрузкой АС, МС и пиролюзитом марки Pyrolox.

Ключевые слова: подземные воды, качество воды, аэрационные методы, удаление марганца.

Введение. Мониторинг подземных вод Витебской области показывает¹, что соединения марганца в природной воде практически всегда содержатся вместе с железом, что является гидрогеологической особенностью Республики Беларусь [1]. Как правило, его концентрация составляет 0,11–0,16 мг/дм³, однако в осенне-летний период встречаются пиковые превышения марганца до 0,5 мг/дм³, реже до 1–1,5 мг/дм³.

В большинстве станций (более 95%) Витебской области принятые способы очистки воды, в том числе традиционный метод упрощенной аэрации, со временем снижают концентрацию марганца со значений 0,11–0,16 мг/дм³ практически до нормативных значений в 0,1 мг/дм³. Однако, рассматривая обработку воды сложного состава [2], содержание данного элемента в исходной воде может внести значительные коррективы в подбор технологической схемы обработки воды. Для достижения поставленной цели были выделены и решены следующие задачи:

- а) изучение эффективности удаления из подземной воды марганца в зависимости от его концентрации в природной воде;
- б) влияние степени аэрации воды на удаление марганца при обработке воды сложного состава в напорных фильтрах с каталитической загрузкой АС и МС;
- в) влияние степени аэрации воды на удаление марганца при обработке воды сложного состава в напорных фильтрах с загрузкой из его диоксида.

Методология исследований. Для эксперимента по изучению эффективности удаления из природной воды марганца (перевод с двухвалентной в четырехвалентную форму) были подобраны станции в малых населенных пунктах Витебской области с различным содержанием марганца в природной воде:

- объект 1 с исходным содержанием марганца в воде 0,14–0,16 мг/дм³;
- объект 2 с исходным содержанием марганца 0,26 мг/дм³;
- объект 3 с исходным содержанием марганца 0,53 мг/дм³;
- объект 4 с исходным содержанием марганца 1,0 мг/дм³.

Следует отметить, что в природной воде данных станций выше нормативных значений содержится не только марганец, но и железо (2,3–5,5 мг/дм³), аммиак в виде аммонийного азота (1,5–3,7 мг/дм³), перманганатная окисляемость (2,0–6,0 мг/дм³), то есть вода имеет сложный состав для ее обработки.

Для эксперимента была использована пилотная установка (собственность частного унитарного производства «АкваПром»), представленная на рисунке 1, состоящая из основной колонны диаметром 250 мм с загрузкой и оборотом для аэрации.

Пилотная установка на разном этапе экспериментов дополнялась фильтрами второй ступени и аэрационными колоннами, а также изменялся материал фильтрующих загрузок фильтров и их соотношение. Использовалась загрузка трех типов: Сорбент АС фракции 0,7–1,4 мм, Сорбент МС фракции 0,7–1,4 мм, пиролюзит марки Pyrolox фракции 0,48–0,53 мм (70–90% MnO₂). Высота загрузки относительно уровня дренажной системы составила 800 мм.

Отбор проб проводили не менее 2-х часов работы пилотной установки фильтров после их выхода на рабочий режим. Определение концентрации марганца осуществлялось фотометрическим методом с применением окисления соединений марганца до перманганат-ионов после устранения мешающего влияния хлорид-ионов (метод А ГОСТ 4974-2014). По каждому исследуемому параметру анализировали параллельно три образца. Анализ воды осуществлялся в течение 7 часов после отбора в аккредитованной испытательной лаборатории по контролю качества вод УП «Витебскоблводоканал».

Для изменения степени насыщения воды кислородом воздуха на опытной установке применялся компрессор с производительностью до 120 л/мин.

¹ Ежегодные отчеты национальной системы мониторинга подземных вод (за период 2007–2023 гг.) [Электронный ресурс] // Официальный сайт ГИАЦ НСМОС РБ. – URL: <https://www.nsmos.by/environmental-monitoring/monitoring-podzemnykh-vod> (дата обращения 16.07.2024).



1 – основная колонна с загрузкой, диаметром 250 мм; 2 – аэрационный смеситель или колонна; 3 – ресивер компрессора; 4 – подача исходной воды; 5 – подача воздуха; 6 – выпуск воздуха

Рисунок 1. – Установка для проведения эксперимента

Экспериментальная часть. Известно, что при работе напорных фильтров с песчаной загрузкой происходит длительное время «зарядки» этой загрузки по марганцу. На это же указывает опыт открытых станций обезжелезивания крупных городов области, где часто идет очень длительная «зарядка» фильтров до 6–8 месяцев. Поэтому исследовательская часть состояла из трех этапов с разными загрузками в фильтрах.

На *первом этапе* экспериментов определялось влияние степени аэрации воды на удаление марганца при обработке подземной воды в напорных фильтрах с каталитической загрузкой АС. Эксперимент был проведен на объекте 1, где присутствуют минимальные концентрации марганца в исходной воде.

Эффективность смешения воды с воздухом оценивалась в двух исполнениях: как самостоятельный элемент (без дополнительных смесительных устройств), так и совместно с аэрационной колонной. Зафиксированные концентрации марганца в фильтрах с загрузкой АС (рисунок 2) практически не снижались, хотя количество кислорода было достаточным для его окисления, учитывая удельную его потребность, которая на окисление железа составляет 0,143, марганца – 0,29, аммония – 3,6 мгО₂/дм³, было опробовано воздушно-водяное насыщение кислорода воздуха до 5:1.

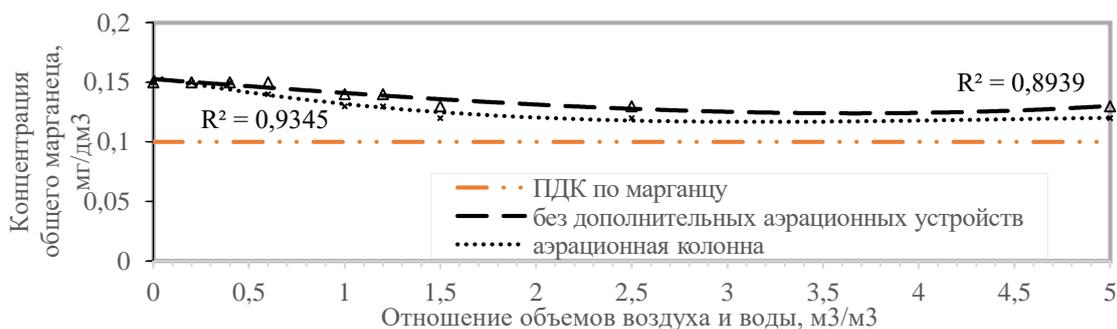


Рисунок 2. – Снижение концентрации марганца в зависимости от отношения воздуха и воды на объекте 1 на фильтрах с загрузкой сорбентом АС

Применение загрузки АС и воздушно-водяного отношения 5:1 не дал положительных результатов. Обычно при увеличении степени аэрации воды происходит отдувка углекислоты и рН воды увеличивается, однако при сложном составе воды уровень рН мало изменяется. Очевидно, здесь на процессы окисления влияют условия образования каталитической пленки для окисления марганца в виде Mn^{4+} . То есть двухвалентный марганец окисляется значительно медленнее, чем железо, а если $pH < 8$ и $Eh < 400$ мВ, то без дополнительных условий этот процесс практически не происходит с образованием MnO_2 . В таких случаях следует предусматривать применение реагентных методов или специализирующей модифицированной загрузки, что послужило предпосылкой для последующих экспериментов.

На втором этапе экспериментов, которые были проведены на объектах 1–3, часть загрузки АС была заменена на загрузку МС в соотношении 75 к 25% и 50 к 50% соответственно. Результаты эксперимента по снижению марганца с применением сорбента АС совместно с МС представлены на рисунках 3 и 4.

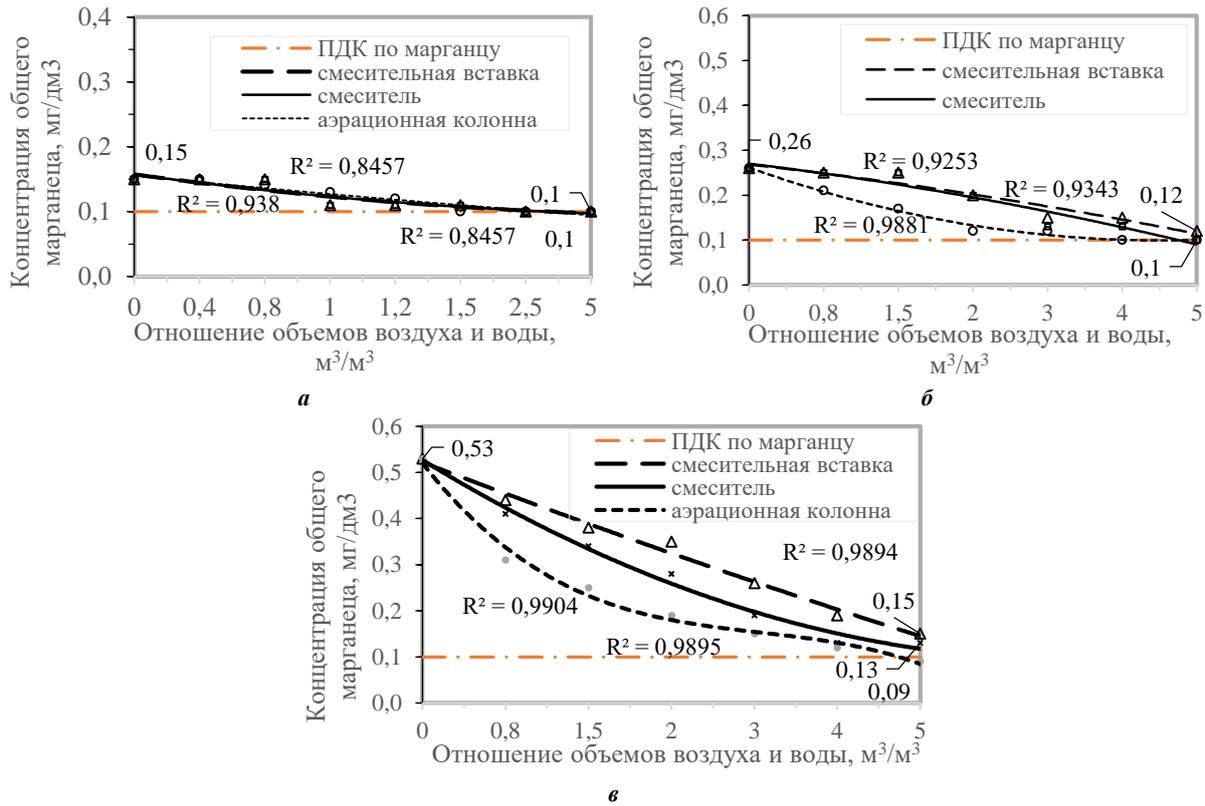


Рисунок 3. – Снижение концентрации общего марганца при аэрации компрессором в зависимости от отношения воздуха и воды в фильтрах с загрузкой сорбента АС и МС в соотношении 75 и 25% на объекте 1 (а), объекте 2 (б) и объекте 3 (в)

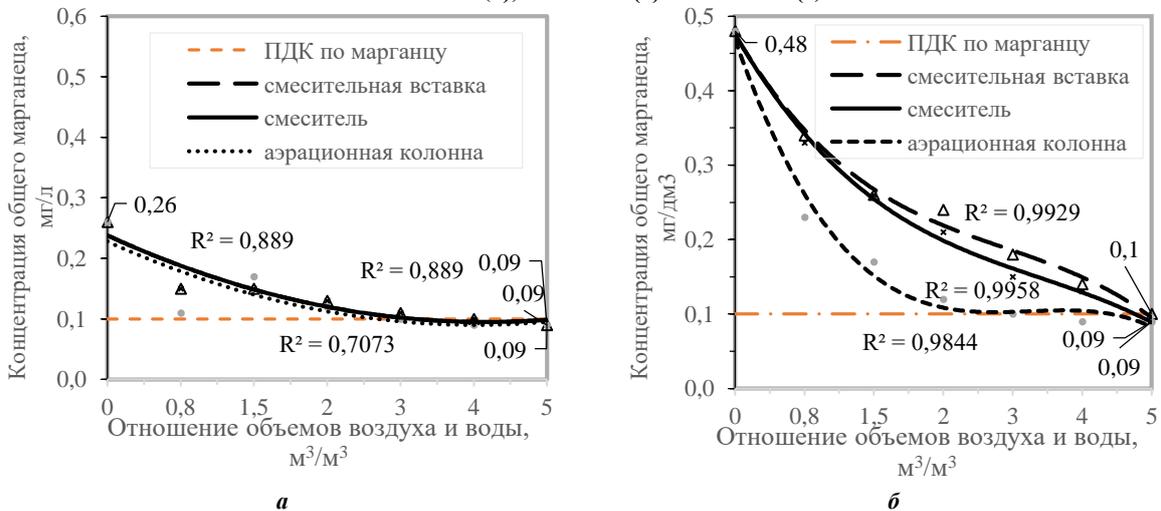


Рисунок 4. – Снижение концентрации общего марганца при аэрации компрессором в зависимости от отношения воздуха и воды в фильтрах с загрузкой сорбента АС и МС в соотношении 50 и 50% на объекте 2 (а), объекте 3 (б) (начало)

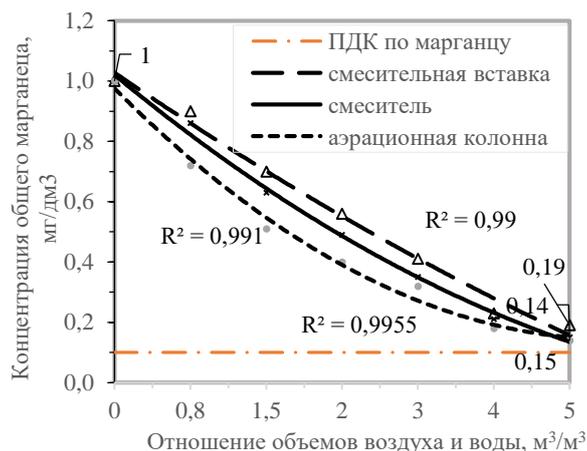


Рисунок 4. – Снижение концентрации общего марганца при аэрации компрессором в зависимости от отношения воздуха и воды в фильтрах с загрузкой сорбента АС и МС в соотношении 50 и 50% на объекте 4 (в) (окончание)

Полученные значения аппроксимируем полиномом второй и третьей степени (см. рисунки 3 и 4). Указанные на графиках коэффициенты детерминации, показывающие, какую долю вариации переменной объясняют полученные уравнения, при этом равны 84–99%, это значит, что наши модели объясняют 84–99% вариаций переменной.

При содержании марганца в природной воде до $0,15 \text{ мг/дм}^3$ достигается необходимый эффект очистки по марганцу, применяя загрузки сорбентов АС и МС в соотношении 75 и 25%, уже при воздушно-водяном соотношении (2,5–3):1, если концентрация марганца до $0,3 \text{ мг/дм}^3$ – 5:1 (см. рисунок 3), но более устойчивые значения достигнуты при увеличении до половины содержания в загрузке сорбента МС (рисунок 4). При содержании марганца в природной воде до $0,5 \text{ мг/дм}^3$, применяя загрузки сорбентов АС и МС в соотношении 75 и 25%, не достигают нормативных значений. Однако при большем объеме сорбента МС в фильтре достигается требуемый эффект по марганцу (см. рисунок 4), что не скажешь при содержании марганца в исходной воде в районе 1 мг/дм^3 (объект 4). Таким образом, необходимо предусматривать другие варианты решения проблемы при содержании марганца в исходной воде около 1 мг/дм^3 .

На *третьем этапе* экспериментов для увеличения скорости окисления марганца (объект 4) была использована пилотная установка, на которой фильтр первой ступени был загружен сорбентом АС высотой 0,8 м, фильтр второй ступени – сорбентом АС с добавлением пиролюзита в соотношении высот 0,6 м сорбента АС и 0,2 м пиролюзита (рисунок 5). Учитывая разницу в плотностях ($1,4$ и $3,8 \text{ т/м}^3$), нижний слой был представлен пиролюзитом, верхний – сорбентом АС, бывшим в употреблении (для исключения эффекта свежей загрузки). Поскольку для промывки данных материалов необходима различная скорость (для сорбента АС 20 м/с, для пиролюзита 10 м/с), то при промывке фильтра с совмещенным типом загрузки она принимается $20 \text{ м}^3/\text{ч}$.

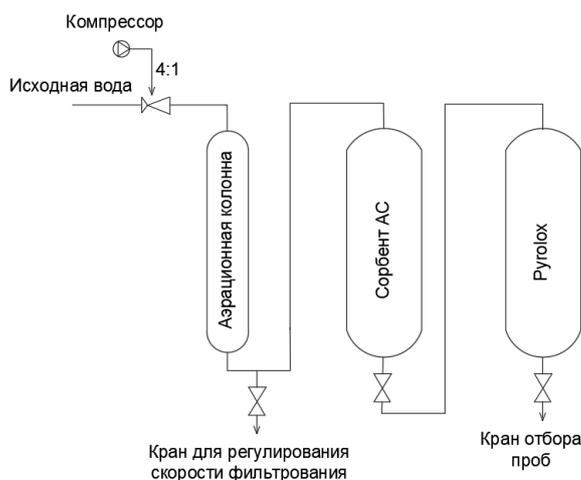


Рисунок 5. – Схема экспериментальной установки

Перед опытом фильтр был промыт обратным током воды в течение 20 минут. Воздушно-водяное соотношение принято равным около 4-х. Скорости фильтрации изменялись в пределах 5,6–9,4 м/с. Продолжительность каждого цикла была не менее 4-х часов.

Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты испытаний по пробному удалению марганца из подземных вод объекта 4

Скорость фильтрования, м/ч	Концентрация общего железа, мг/дм ³		Концентрация общего марганца, мг/дм ³
	I ст.	II ст.	
9,4	0,56	0,18	0,14
8,1	0,55	0,15	≤0,10
6,8	0,47	≤0,10	≤0,10
5,6	0,41	≤0,10	≤0,10

Остаточная концентрация кислорода в воде на выходе установки составляла не менее 3-х мг/дм³. Применение пиролюзита на второй ступени очистки позволяет снизить содержание железа в воде менее 0,3 мг/дм³ при любой принятой скорости фильтрования. Концентрация марганца снижается до нормативных значений при скорости фильтрования менее 8 м/ч. Таким образом, при высоком содержании марганца в природной воде увеличение воздушно-водяного соотношения до предельных значений не дает положительных результатов по марганцу, используя обычные загрузки.

Закключение. При концентрации марганца в природной воде выше нормы на фильтрах с загрузкой АС не происходит снижение марганца, и не достигается нормативного значения при увеличении воздушно-водяного соотношения, хотя количество кислорода было достаточным для его окисления.

Для воды сложного состава, при высоких сопутствующих концентрациях железа, ион-аммония и окисляемости, достигается снижение марганца до нормативных значений аэрацией компрессором (желательно с устройством аэрационной колонны) с увеличением воздушно-водяного соотношения 5:1 и дальнейшей очисткой на фильтре с совместной загрузкой сорбентов АС и МС в соотношении 75 и 25%, а наиболее устойчивые показатели – 50 и 50%.

Применение сорбента АС высотой 0,8 м на первой ступени и пиролюзита совместно с сорбентом АС с высотой загрузки 0,2 м и 0,6 м соответственно на второй ступени очистки позволяет снизить содержание железа в воде менее 0,3 мг/дм³ при любой принятой скорости фильтрования. Концентрация марганца снижается до нормативных значений при скорости фильтрования менее 8 м/ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. Велюго Е.С. Причины загрязнения подземных вод железом с учетом его гидрогеохимических особенностей на территории Республики Беларусь // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Стр-во. Приклад. науки. – 2021. – № 8 – С. 21–24.
2. Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / *Environmental Technology*. – 2024. – Vol. 45, iss. 14. – P. 2735–2742. DOI: 10.1080/09593330.2023.2185820.

REFERENCES

1. Velyugo, E.S. (2021). Prichiny zagryazneniya podzemnykh vod zhelezom s uchetom ego gidrogeokhimiicheskikh osobennostei na territorii Respubliki Belarus' [The Causes of Underground Water Pollution with Iron in the Territory of the Republic of Belarus Fre Described, Taking into account the Hydrogeochemical Features of this Metal]. *Vestn. Polotsk. gos. un-ta. Ser. F, Str-vo. Priklad. nauki [Herald of Polotsk State University. Series F. Civil engineering. Applied Sciences]*, (8), 21–24. (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Yushchenko, V., Velyugo, E. & Romanovski, V. (2024). Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water. *Environmental Technology*, 45(14), 2735–2742. DOI: 10.1080/09593330.2023.2185820.

Поступила 08.12.2024

INFLUENCE OF THE DEGREE OF WATER AERATION ON THE REMOVAL OF MANGANESE WHEN TREATING WATER OF COMPLEX COMPOSITION IN PRESSURE FILTERS WITH DIFFERENT LOADINGS

V. YUSHCHENKO¹⁾, E. VELYUGO²⁾, T. KOZITSIN³⁾
^{1), 2)} *Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk,*
³⁾ *PE "AkvaProm", Novopolotsk)*

The article describes the efficiency of removing manganese from natural water depending on its initial content in it and the air-water ratio before the filter. Determination of the degree of water aeration by removing manganese when treating water of complex composition in pressure filters with catalytic loading AC, MS and Pyrolox pyrolyzite.

Keywords: groundwater, water quality, aeration methods, manganese removal.