

УДК 628.16

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ПРОМЫВНЫХ ВОД СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ  
ПРИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОИСТОЧНИКОВ ОТ ЖЕЛЕЗА**

*канд. техн. наук, доц. В.Д. ЮЩЕНКО; Е.В. ЛЕСОВИЧ  
(Полоцкий государственный университет);  
В.Э. САМУЙЛО; Е.В. ШАДУРО  
(Витебскводоканал)*

*Рассмотрены особенности применения биологического метода обезжелезивания воды в открытых скорых фильтрах с песчаной загрузкой, схемы обработки промывных вод. Приведены результаты исследований по оценке состава промывных вод. Выполнен анализ полученных результатов.*

**Ключевые слова:** водоснабжение, обезжелезивание воды, открытые скорые фильтры, песчаная загрузка, промывные воды, состав.

**Общая характеристика биологического метода.** Основным показателем состава подземных вод, не соответствующим нормативам для воды хозяйственно-питьевого водоснабжения (СанПиН 10-124-99) в большинстве населенных пунктов Республики Беларусь, является концентрации общего железа, преимущественно в закисных формах  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  и  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , обладающих слабо выраженными амфотерными свойствами. Если наблюдаются сравнительно высокие значения цветности, хотя и не превышающие требуемую норму, это косвенно указывает на наличие в исходной воде концентраций гуматов железа. В то же время в подземных водах могут часто присутствовать, обычно в сравнительно малых концентрациях, марганец, а также различные растворенные газы, что усложняет процессы удаления железа [1–3].

Содержание соединений железа в природной воде в концентрациях, превышающих нормативные (до 0,3 мг/л), делает ее непригодной для хозяйственно-питьевого водоснабжения и использования в технологических процессах некоторых отраслей производства, преимущественно пищевой промышленности.

Выбор того или иного метода обработки природной воды, содержащей соединения железа, зависит от их количества и формы существования, качественного состава воды, производительности водочистных сооружений и рекомендуется, прежде всего, на основании технологических изысканий непосредственно у источника водоснабжения.

При решении вопросов обезжелезивания воды необходимо знать условия перехода закисного и окисного железа из растворенного состояния в осадок с образованием соответственно гидрата закиси и гидрата окиси железа.

В практике обезжелезивания подземных вод на станциях обезжелезивания и установках преимущественное распространение получили аэрационные методы, в основном **метод упрощенной аэрации** с последующим фильтрованием. Для безнапорного варианта упрощенная аэрация и обогащение воды кислородом происходит с помощью воронки или перфорированного лотка при ее изливе с высоты от 0,5 до 1,0 м в центральный (боковой) канал скорого фильтра. При аэрации может происходить удаление незначительных концентраций растворенных газов, прежде всего сероводорода и аммиака. Отсутствие специальных аэрационных устройств и отдельных контактных емкостей (градирен, дегазаторов) упрощает эксплуатацию и снижает стоимость очистки. Метод упрощенной аэрации рекомендуется применять при определенном составе подземных вод [1; 4; 5]. При этом в скором фильтре после аэрации могут протекать одновременно или с отдельным преимуществом физико-химические и биологические процессы. Следовательно, этот метод будем рассматривать как основу для функционирования физико-химических и биологических процессов обезжелезивания воды.

Физико-химические процессы основаны на способности воды, содержащей двухвалентное железо и растворенный кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхности зерен, образуя каталитическую пленку из ионов и окислов двух- и трехвалентного железа. На зернах фильтрующего слоя одновременно происходят реакции окисления и гидролиза. Обезжелезивание воды в покрытой пленкой загрузке – гетерогенный автокаталитический процесс, обеспечивающий непрерывное обновление пленки как катализатора непосредственно при работе фильтра. Предпочтительно для интенсивного образования и действия пленки наличие в воде кислорода было более 1,5 мг $\text{O}_2$ /л, причем значительные колебания его концентрации недопустимы.

В Республике Беларусь биохимические технологии очистки подземных вод с использованием микроорганизмов биологически активной загрузки, состоящей, прежде всего, из различных видов железомарганцевых бактерий, начали развиваться в 90-х годах прошлого века. Впоследствии этот метод получил развитие как в реконструкции существующих станций напорного и безнапорного типа, так и в строительстве новых и является одним из современных направлений, повышающих эффективность удаления железа в присутствии незначительных концентраций марганца и растворенных газов в скорых фильтрах.

Основные положения по ведению биологических методов и технологии обезжелезивания при обработке подземных вод, изложены в научных трудах [3; 6–9].

Применение биологического способа извлечения железа из воды предусматривает окисление растворенного железа Fe (II) до Fe (III) при помощи железомарганцевых бактерий, функционирующих в непрерывном режиме. То есть при прохождении воды через слой носителя содержащееся в ней двухвалентное железо под воздействием бактерий превращается в нерастворимые соединения трехвалентного железа, которые совместно с отмирающими бактериями выпадают в осадок или задерживаются как на поверхности, так и в фильтрующей загрузке. У типичных представителей родов *Leptothrix*, *Metallogenium*, *Siderocapsa* и др., развивающихся в пресных водах с нейтральной или слабощелочной средой, окисление железа и марганца происходит в результате взаимодействия выделяющейся перекиси водорода с ионами металлов (перекисный механизм). Активная реакция воды pH и окислительно-восстановительный потенциал Eh могут оказывать существенное влияние на развитие железобактерий, поэтому при использовании биотехнологий необходимо контролировать стабильность воды, что обычно не предусмотрено на станциях обезжелезивания воды.

Одновременно происходят и физико-химические процессы, в основе которых лежит процесс сорбции, включающий механизм связывания соединений металлов внеклеточными экзополимерами с образованием биопленок, слизистых чехлов, капсул, нитей. При этом механизм накопления оксидов железа включает в себя процессы как биологической природы (окислительные), так и небиологической (сорбционные).

При длительной эксплуатации фильтра, образуется биологически активная загрузка достаточной толщины, при которой роль биологических процессов возрастает с накоплением биомассы на поверхности загрузки, что сопровождается высокой эффективностью удаления железа (снижение железа в фильтрате до его следов). Избыточная биомасса удаляется при промывке фильтров.

В сущности, биотехнология обработки воды представляет собой два противоположных процесса: биологическое окисление и механическое фильтрование. Если процессы происходят в одном сооружении (скором фильтре), то это не может быть решено оптимальным способом без ущерба одному из них. Поэтому в последнее время при проектировании и строительстве новых станций (установок) обезжелезивания воды рекомендуются двухступенчатые схемы удаления этих соединений [3], т.е. отдельные процессы биоокисления и фильтрования.

Предполагается обработку воды сначала проводить в аэрационной колонне – биореакторе, часть которой заполнена элементами со значительной активной поверхностью для роста биомассы, а затем направлять воду на фильтрование. В биореакторе предусматривают усиленную аэрацию-дегазацию исходной воды с проведением окисления железа в биореакторе. Последующее фильтрование производят на фильтрах с плавающей загрузкой. Такая схема обеспечивает наиболее устойчивую и эффективную работу станции в широком диапазоне состава обрабатываемой воды с включением биологических процессов окисления железа, марганца и эффективного удаления растворенных газов (диоксида углерода, сероводорода и др.).

В условиях работы обычных открытых фильтров с прямоугольным (квадратным) в плане железобетонным корпусом, особенно действующих (например, водозаборы № 1–4 г. Витебска), двухступенчатую обработку воды осуществить практически невозможно. В данном случае, очевидно, возникает необходимость рассмотреть вопрос о реконструкции приемных камер с применением эффективных аэрационных устройств вместо обычного выпуска исходной воды из трубопровода в приемную камеру.

На всех водоочистных сооружениях для восстановления фильтрующей способности скорых фильтров производится их промывка водой из резервуаров чистой воды при ее подаче обратным током, возможно, совместно с воздухом. Типовая (проектная) система отвода и обработки промывной воды принята замкнутой без режима «продувки», исключая ее сброс за пределы территории станции обезжелезивания. По [4; 5] промывная вода после фильтров по самотечному трубопроводу поступает в отстойники периодического действия. Осветленная вода из отстойников насосом перекачивается в приемную камеру станции обезжелезивания, но не более 4% от общего расхода воды, подаваемого на скорые фильтры, а уплотненный осадок этим же насосом 1 раз в одну-две недели направляют на шламовые площадки. Допускается с учетом требований местных контролирурующих органов сбрасывать осветленную воду в водоток или водоем, или канализационную сеть.

Однако опыт эксплуатации фильтров на различных станциях обезжелезивания воды с возвратом осветленной промывной воды показал неэффективную работу скорых фильтров из-за нарушения процесса окисления и удаления железа методом упрощенной аэрации, так как мелкодисперсная взвесь оксида трехвалентного железа не задерживается загрузкой фильтра, что приводит к ухудшению качества фильтрата.

**Объекты обследования.** Водоснабжение города Витебска осуществляется артезианской водой из централизованной системы водоснабжения, объединяющей четыре водозабора, состоящих из скважин и станций водоподготовки (обезжелезивания воды), основная задача которых – обеспечение водой нормативного качества населения, предприятий, организаций и учреждений. В среднем по всем

водозаборах концентрация общего железа составляет порядка 3 мг/л с содержанием двухвалентного железа 2,3 мг/дм<sup>3</sup> (75%), что при всех дополнительных условиях [1; 4; 5] указывает на возможность применения метода упрощенной аэрации. В настоящее время все водозаборы не работают на полную проектную производительность. Для удаления железа скорые фильтры работают с преобладанием биологических процессов. На станциях обезжелезивания принята подача воды из скважин – вначале в приемную камеру, затем на скорые фильтры с железобетонным корпусом и центральным каналом. Загрузка фильтров разнообразная: кварцевый песок, щебень, керамзит.

Промывка скорых фильтров производится обратным током воды. Промывные воды направляются в отстойные сооружения и далее на две-три шламовые площадки с дренирующим дном, которые запроектированы с учетом испарения воды при их заполнении в осенне-летний (197 суток) и намораживания в остальной период с отрицательной температурой (ниже минус 1,3 °С). Наполнение площадок производится поочередно. По мере накопления осадок вывозится в отвал.

На водозаборе № 2 осветленная вода после шламовых площадок поступает в сборный колодец и перекачивается в коллектор уличной сети хозяйственно-бытового назначения. При наличии такой возможности – это наиболее простой и надежный способ обработки промывной воды совместно со сточными водами на общеплощадочных городских очистных сооружениях.

На водозаборах № 1, 3 и 4 такой вариант отсутствует, поэтому осветленная вода со шламовых площадок собирается в сборных колодцах и самотеком отводится в ливневую систему за пределы производственной территории станций обезжелезивания в бассейн реки Западная Двина. На этих станциях существует проблема высокой концентрации железа в осветленной воде и частично взвешенных веществ, превышающих нормативные значения, что обусловлено, прежде всего, тем, что рабочая площадь шламовых площадок рассчитана на поступление только железа и его соединений. Дополнительный объем взвешенных веществ, образованных в процессе биотехнологии, с последующим фильтрованием вследствие изменения солевого состава водной среды (например, наличие гидроксида магния и карбоната кальция и т.д.), а также выноса и роста биомассы и, возможно, других органических веществ при промывке скорых фильтров, не учитывался.

Для оптимизации использования шламовых площадок с получением нормативной концентрации железа при выпуске осветленной воды в открытый водоем необходимо определить состав промывных вод скорых фильтров с песчаной загрузкой, что и явилось целью данной работы. В качестве основного объекта изучения принят водозабор № 3, использующий 60...75% проектной мощности.

При определении состава промывных вод выбраны наиболее характерные по получению нормативного качества фильтрата (следы железа) по параметрам фильтрования и промывке – скорые фильтры № 1 и 2. Фильтрующая загрузка представляет собой кварцевый песок фракции 1...2 мм, высота – 1,0 м. Пробы отбирались непосредственно в фильтре при условии перелива промывной воды на уровне желобов от начала и до конца его промывки. Далее в них определялись общие концентрации взвешенных веществ  $C_{взв}$  и общее железо  $Fe_{общ}$ . Так как преобладающей формой железа в осветленной воде является гидроксид железа  $Fe(OH)_3$ , условно вся его концентрация была переведена в это соединение с коэффициентом, равным 1,91. Состав промывных вод в процессе промывки скорых фильтров представлен в виде графиков на рисунках 1–2 и в таблице 1.

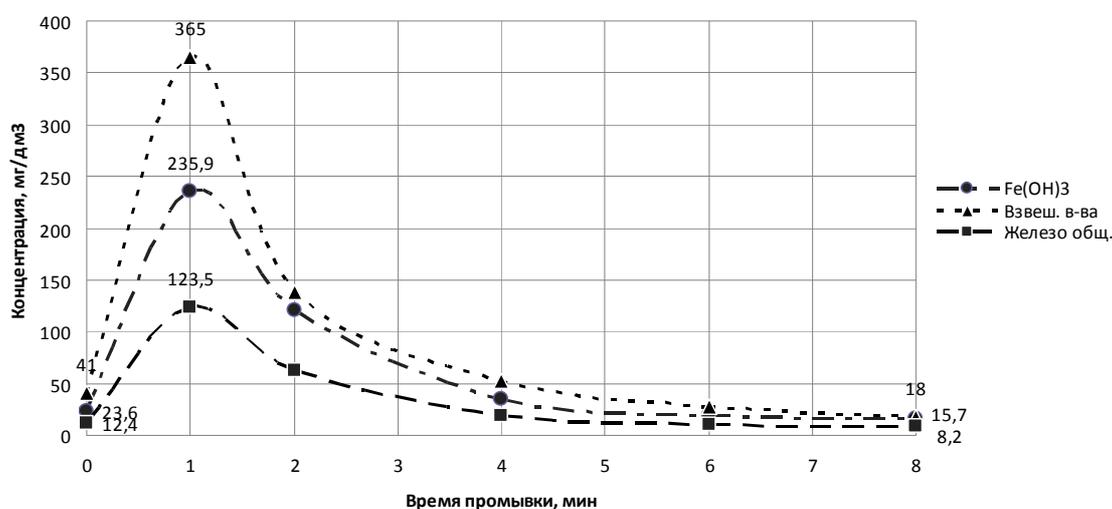


Рисунок 1. – Содержание железа и взвешенных веществ в промывной воде фильтра № 1 водозабора № 3

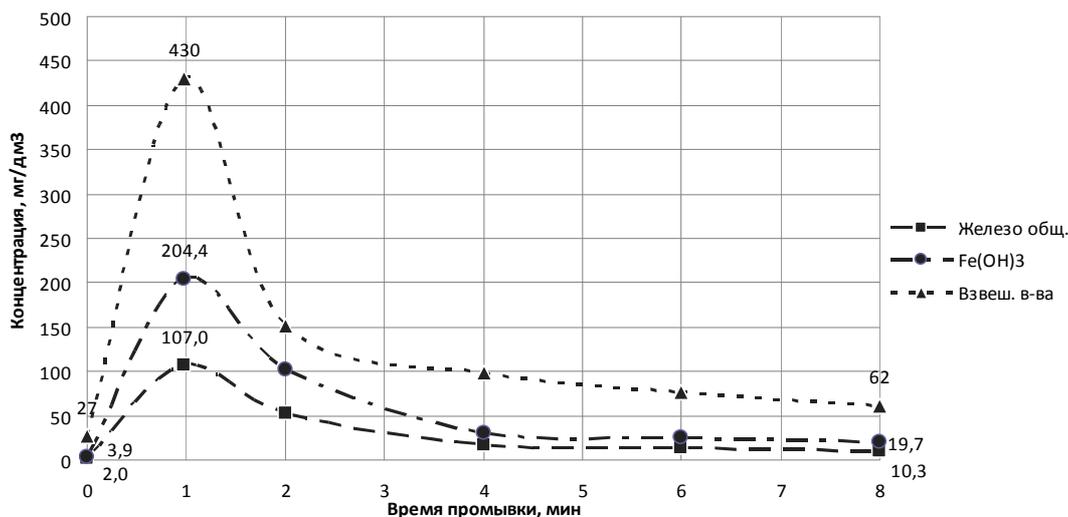


Рисунок 2. – Содержание железа и взвешенных веществ в промывной воде фильтра № 2 водозабора № 3

Таблица 1. – Результаты определения состава промывных вод скорых фильтров

Номер скорого фильтра	Тип загрузки	$F_{\phi}$ , м <sup>2</sup>	$W_{\text{пр}}$ , м <sup>3</sup>	Опытные значения массовых количеств концентраций значений			Средние значения концентраций загрязнений		
				$C_{\text{взв}}$ , кг	$Fe_{\text{общ}}$ , кг	$Fe(OH)_3$ , кг	$C_{\text{взв}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$Fe_{\text{общ}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$Fe(OH)_3$ , мг/дм <sup>3</sup>
<i>Водозабор № 3</i>									
Фильтр № 1	Песок	25	170	26,0	9,7	18,6	150	60	115
Фильтр № 2	Песок	25	170	36,5	8,7	16,6	215	60	115

Анализ кривых показывает, что их характер для разных фильтров с песчаной загрузкой практически одинаков и подчиняется эквипотенциальному закону распределения частиц типа  $C = e^{-kt}$ , где  $C$  – концентрация взвеси,  $e$  – основание натурального логарифма,  $k$  – коэффициент скорости изменения концентраций,  $t$  – время промывки. Основное количество загрязнений удаляется за первые 2 мин. Рациональное время промывки можно принять порядка 5 мин. Однако полученные данные по массе выносимых при промывке загрязнений указывают на неравномерность скорости протекания биологических процессов в работе каждого фильтра при прочих одинаковых условиях, например, количестве профильтрованной воды и начальной концентрации общего железа. Практически при равном количестве задержанного железа (отклонение ~10%) общее количество взвешенных веществ в фильтре № 2 значительно выше и составляет ~30%. В результате отличается и соотношение *взвешенные вещества : гидроксид железа* в рассматриваемых фильтрах, о чем свидетельствуют данные таблицы 1 и рисунка 3.

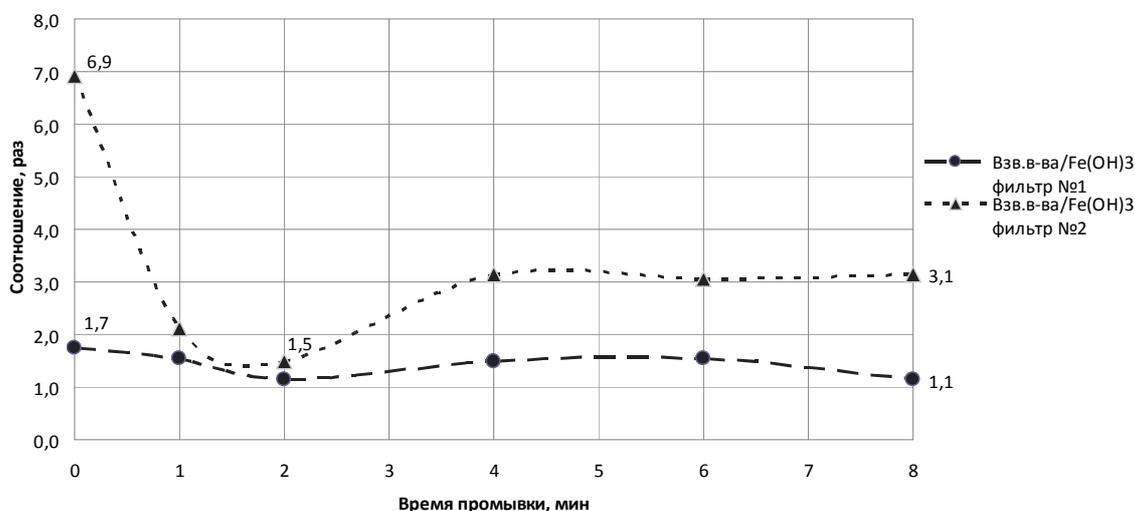


Рисунок 3. – Соотношение взвешенные вещества : гидроксид железа в фильтрах № 1–2 водозабора № 3

Среднее значение соотношения взвешенные вещества : гидроксид железа для фильтра № 1 составило 1,4; для второго фильтра – 2,2. То есть состав промывных вод в отдельных скорых фильтрах различается между собой в зависимости от степени биологических процессов, протекающих в них при биологическом обезжелезивании воды. В среднем соотношение взвешенные вещества : гидроксид железа : общее железо для расчета шламовых площадок при проектировании и реконструкции можно принять равным 4 : 2 : 1.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Николадзе, Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г.И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1978. – 160 с.
2. Самуйло, В.Э. Обезжелезивание подземных вод в малых автономных системах водоснабжения : дис. магистр. техн. наук / В.Э. Самуйло ; Полоц. гос. ун-т. – Новополоцк, 2012.
3. Очистка сложных многокомпонентных вод биохимическими методами / Седлухо Ю.П. [и др.] // Вода Magazine – 2014. – № 6(82).
4. Сооружения водоподготовки. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-4.01-31-2009. – Минск : НПП РУП «Стройтехнорм», 2009.
5. Сооружения водоподготовки. Обезжелезивание подземных вод. Правила проектирования: ТКП 45-4.01-201-2010 (02250). – Минск. НПП РУП «Стройтехнорм», 2010.
6. Водоподготовка и водоочистка [Электронный ресурс] / Полимерконструкция. – Режим доступа: [http://polymercon.com/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=37&Itemid=67](http://polymercon.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=37&Itemid=67). – Дата доступа: 16.04.2017.
7. Журба, М.Г. Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод / М.Г. Журба, А.Н. Квартенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – № 9, ч. 2. – С. 17–23.
8. Седлуха, С.П. Биологический метод очистки подземных вод от железа / С.П. Седлуха, О.С. Софинская // Вода и экология: проблемы и решения. – 2001. – № 1 – С. 13–21.
9. Degremont : Технический справочник по обработке воды : пер. с фр. Т. 2. – СПб. : Новый журнал, 2007.

Поступила 02.07.2017

**DETERMINATION OF THE COMPOSITION OF WASH WATER FROM RAPID FILTERS IN BIOLOGICAL TREATMENT OF UNDERGROUND WATER SOURCES FROM IRON**

**V. YUSHCHENKO, E. LESOVICH,  
U. SAMUILA, E. SHADURA**

*Features of application of biological method of deferrization of water in open fast filters with sand loading, schemes of treatment of washing waters are considered. The results of researches, on an estimation of structure of washing water are given. The analysis of the results is performed.*

**Keywords:** water supply, water iron removal, open fast filters, sand loading, rinse water, composition.