

Безреагентная технология обезжелезивания и деманганации подземных вод: обоснование, исследование, внедрение

Внедрение энергоэффективных и ресурсосберегающих инновационных технологий на объектах водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) с целью обеспечения населения качественной питьевой водой является актуальной задачей, в том числе и для регионов, где на долю подземных вод, содержащих растворённые газы, соединения железа и марганца, биогенные и органические вещества, и являющихся зачастую единственным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения, приходится около 60–70%.

Известно, что наличие в очищаемой воде углекислого газа (CO_2) и сероводорода (H_2S) оказывает негативное воздействие на процессы обезжелезивания и деманганации, технологическое оборудование и строительные конструкции. Поэтому требуется их предварительное удаление и насыщение воды кислородом воздуха.

Применение для аэрации воды эжекции или подачи сжатого воздуха с использованием компрессоров в напорный трубопровод исходной воды, струйной низконапорной аэрации в контактных градирнях и брызгальных бассейнах с последующим фильтрованием через слой тяжёлой загрузки, требует включения в технологические схемы очистки перед фильтрами с тяжёлой загрузкой промежуточных контактных бассейнов, устройства насосных станций подкачки и компрессорного оборудования [1, 2]. Для промывки фильтрующей загрузки необходимо использование промывных насосов и на-

Применение для аэрации воды эжекции или подачи сжатого воздуха, струйной низконапорной аэрации требует включения в технологические схемы очистки перед фильтрами с тяжёлой загрузкой промежуточных контактных бассейнов, устройства насосных станций подкачки и компрессорного оборудования

личие дополнительного объёма воды в резервуарах чистой воды (РЧВ) на промывку, что в целом приводит к значительным затратам электроэнергии и увеличению себестоимости очистки воды.

Разработка технологии, в которой на первой ступени применяются биореакторы со струйной вакуумной эжекцией (БСВЭ) и контактной загрузкой [3, 4], а на второй — фильтры с плавающей пенополистирольной загрузкой ФПЗ-1 [5], обладающей высокоразвитой удельной поверхностью, позволит расширить область применения безреагентных технологий и решать задачу совместного удаления из воды одновременно присутствующих в ней сероводорода, углекислого газа, железа, марганца и аммонийного азота.

В новом типе биореактора осуществляется отдувка свободной углекислоты и сероводорода, аэрация и обогащение кислородом воздуха за счёт его подсоса в зону вакуумирования через воздухо-впускные отверстия, окисление двухва-

УДК 628.161.2:546.72/711

Безреагентная технология обезжелезивания и деманганации подземных вод (обоснование, исследование, внедрение)

О. Б. Говоров, к.т.н., руководитель Центра инноваций в области водоснабжения и водоотведения АО «МосводоканалНИИпроект»; **В. О. Говоров**, студент, Институт инженерно-экологического строительства и механизации (ИИЭСМ) — ФГБОУ ВО «Научный исследовательский Московский государственный строительный университет» (МГСУ)

В предлагаемой статье авторами показана актуальность разработки технологии с биореакторами со струйной вакуумной эжекцией и фильтрами с плавающей загрузкой. Приведены результаты лабораторных исследований по определению необходимой величины и степени распределения вакуума по площади биореактора при определённой высоте компактной струи и соотношении диаметров отверстий струеформирующих насадок и подводящего трубопровода. Приведены описание, принцип работы и результаты испытаний технологии на модельной установке. Выполнен анализ эффективности работы сооружений в условиях промышленной эксплуатации станции кондиционирования подземных вод. Установлено, что в процессах окисления соединений растворённых форм железа и марганца принимают участие железобактерии типа *Leptothrix ochracea* и *Gallionella*, обнаруженные в осадках, выделенных из промывных вод биореактора и фильтра. Показано, что при содержании железа в исходной воде от 1,07 до 9,79 мг/л, марганца — от 0,14 до 0,45 мг/л, ионов аммония — от 0,67 до 1,44 мг/л, и при наличии сероводорода и углекислого газа на выходе из сооружений, качество очищенной воды соответствует нормативным требованиям.

Ключевые слова: подземные воды, биохимическое обезжелезивание и деманганация, безреагентная технология, биореактор со струйной вакуумной эжекцией, фильтр с плавающей загрузкой, микроскопический анализ, железобактерии.

UDC 628.161.2:546.72/711

Reagentless deironing technology and demagnetization of groundwater (justification, research, implementation)

O. B. Govorov, Ph.D., the Head of the Center for Innovation in the Field of Water Supply and Water Disposal of "MosvodokanalNIIProject" Institute, JSC; **V. O. Govorov**, student, University of Engineering and Ecological Construction and Mechanization (UEECM) — Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

In the present article, the authors show the relevance of the development of technology with bioreactors with jet vacuum ejection and filters with floating loading. The results of laboratory studies on the determination of the necessary magnitude and degree of vacuum distribution over the area of the bioreactor at a certain height of a compact jet and the ratio of the diameters of the holes of the jet-forming nozzles and the supply pipeline are presented. The description, operating principle and results of testing the technology on a model installation are given. The analysis of the efficiency of the facilities in the conditions of industrial operation of the groundwater conditioning station is performed. It has been established that in the oxidation of compounds of dissolved forms of iron and manganese, iron bacteria like *Leptothrix ochracea* and *Gallionella*, found in sediments isolated from the washing waters of the bioreactor and filter, participate. It was shown that at an iron content in the initial water from 1.07 to 9.79 mg per liter, manganese from 0.14 to 0.45 mg per liter, ammonium ions from 0.67 to 1.44 mg per liter, and in the presence of hydrogen sulphide and carbon dioxide at the outlet from the facilities, the quality of the purified water meets regulatory requirements.

Key words: groundwater, biochemical deferrization and demanganation, reagentless technology, bioreactor with jet vacuum ejection, floating load filter, microscopic analysis, iron bacteria.



Рис. 1. Общий вид модели биореактора

лентного железа за счёт жизнедеятельности закреплённых на поверхности контактной загрузки железобактерий и частичное осаждение гидроксида железа в толще неоднородной плавающей загрузки. Кроме того, биореактор выполняет функцию регулятора скорости фильтрования для ФПЗ-1, работающего по принципу восходящего фильтрования.

В лабораторных условиях на базе Центра инноваций в области водоснабжения и водоотведения АО «МосводоканалНИИ-проект» и на действующих водозаборах были проведены испытания экспериментальной модели биореактора (рис. 1).

Конструкция биореактора позволяла изменять диаметр и количество струйных насадок, высоту компактной струи до конусного отражателя, количество и диаметр воздухопускных отверстий при различных напорах воды во входном трубопроводе.

В процессе исследований были установлены основные закономерности образования зон вакуума, распределённого по площади биореактора и обеспечивающего интенсивный приток атмосферного воздуха извне и абсорбцию кислорода в обрабатываемую воду.

Определены зависимости величины образуемого вакуума от давления воды на входе в биореактор (рис. 2) от конструктивных и гидравлических характеристик струйных конических сходящихся насадок с диаметром d_n , размещения их в плане, соотношений площадей отверстий насадок к площади подводящего к насадке трубопровода и воздухопускных отверстий к площади биореактора, зон начала распыления струй и оптимальных значений их высоты $H_{отр}$.



а также на известном свойстве большинства микроорганизмов выделять в качестве одного из продуктов бактериального метаболизма пероксид водорода, образующийся в процессе окисления органических веществ при переносе электронов по дыхательной цепи [6–8].

На интенсивность протекания реакций окисления соединений железа и марганца в существенной мере оказывает влияние соотношение газов (CO_2 , H_2S и O_2), наличие азотсодержащих соединений, время контакта воды с поверхностью загрузки биореактора и структурные свойства фильтрующего слоя.

Изучение совместной работы биореакторов разного типа, в том числе БСВЭ и фильтров ФПЗ-1, в составе двухступенчатой безреагентной технологии с целью определения технологических параметров

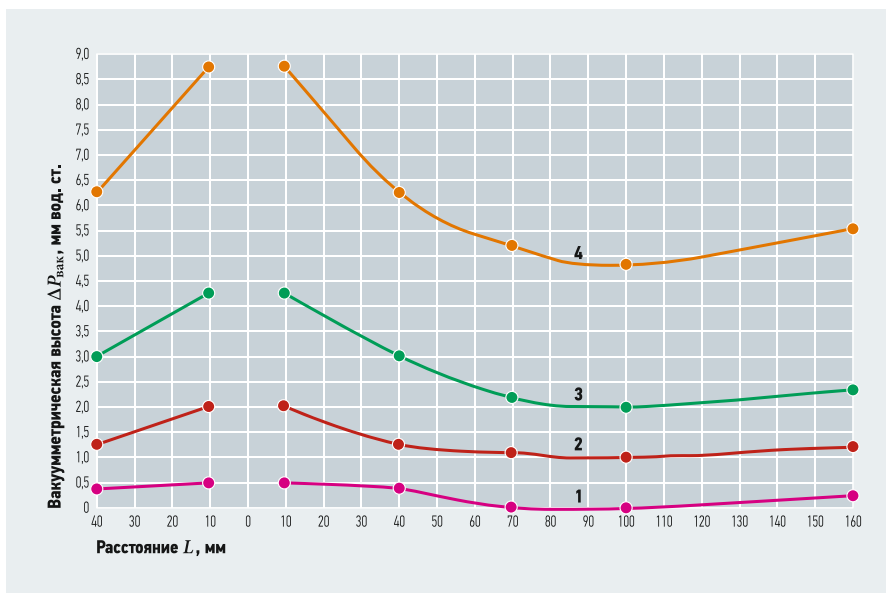


Рис. 2. Зависимость вакуумметрической высоты от величины давления на входе в биореактор, расстояния от центра исследуемой насадки и её месторасположения по поперечному сечению биореактора (1 — $P_{вх} = 0,5$ атм; 2 — $P_{вх} = 1$ атм; 3 — $P_{вх} = 1,5$ атм; 4 — $P_{вх} = 2,0$ атм; $d_{тр} = 12,5$ мм; $d_n = 3$ мм; $n_n = 3$ шт.; $d_{отв} = 5$ мм; $n_{отв} = 8$ шт.; $H_{отр} = 0,28–0,35$ м)

Было установлено, что необходимая величина вакуума (не менее 6–10 мм вод. ст.) для эффективной абсорбции кислорода воздуха в обрабатываемую воду обеспечивается при высоте струи не менее 0,8 м, $P_{вх} = 1,0–1,5$ атм и соотношении d_n к диаметру подводящей трубы к насадке $d_{тр}$, равном $\frac{1}{3}–\frac{1}{4}$ [6].

Сущность биохимического обезжелезивания и деманганации содержащих растворенные газы и органические соединения подземных вод в толще незатопленных и затопленных слоёв неоднородной пенополистирольной загрузки заключается в использовании способности железобактерий *Leptothrix ochracea*, *Leptothrix trichogenes*, *Gallionella* и др. ферментативно окислять карбонат железа,

и анализа эффективности процессов аэрации-дегазации, биохимического окисления и фильтрования через плавающую загрузку проводилось на моделях сооружений и полупроизводственных установках, смонтированных на действующих водозаборных узлах и водопроводно-насосных станциях в течение последних 20 лет. Исследовались подземные воды, забираемые из различных водоносных горизонтов и отличающиеся разнообразным физико-химическим составом.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы осуществлялись под научным руководством и при непосредственном участии д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации М.Г. Журбы.



:: Рис. 3. Общий вид модельной установки биореактора (а) и фильтра (б)

Результаты исследований, изложенные в [9–11], явились основой для разработки проектов и строительства новых станций, реконструкции и модернизации действующих станций кондиционирования подземных вод производительностью от 0,24 до 22 тыс. м³/сут.

В декабре 2013 года после реконструкции была введена в эксплуатацию станция обезжелезивания воды ВНС-2 производительностью 10 тыс. м³/сут. (город Жуковский Московской области).

Для обоснования технологии обезжелезивания и деманганации, определения технологических параметров и разработки рекомендаций на проектирование были проведены предпроектные испытания [12, 13]. С этой целью на станции была смонтирована и оборудована технологическими трубопроводами, запорной и измерительной арматурой модельная установка «биореактор-фильтр» (рис. 3).

Исходная вода от рабочих скважин водозаборного узла (ВЗУ) из сборного водовода подавалась в верхнюю часть биореактора, разбрызгивалась через систему насадок и далее фильтровалась через пенополистирольную загрузку с крупностью 6 мм и толщиной слоя до 1,4 м. Скорость фильтрования составляла 25 м/ч.

После биореактора вода поступала в фильтр, где осуществлялась её доочистка от гидроокиси железа путём восходящего фильтрования со скоростью приблизительно 7,8–8,0 м/ч. Толщина слоя загрузки составляла 1,5 м, крупность гранул — 1,0–1,8 мм.

Анализ работы модельной установки показал, что время «зарядки» для биореактора составляет от трёх до семи суток, фильтра — от 24 до 30 часов.

В табл. 1 приведены данные по эффективности очистки подземной воды после «зарядки» свежевспененной пенополистирольной загрузки, которые свидетельствуют, что в течение фильтроцикла качество очищенной воды соответствова-

ло нормативным требованиям СанПиН 2.1.4.1074–01. Промывка фильтрующей загрузки биореактора по мере её колюмтации производилась исходной подземной водой через 90 часов, а фильтра — очищенной, через 42 часа.

Реконструкция станции обезжелезивания предусматривала:

- комплекс работ, направленных на усовершенствование технологии обезжелезивания и повышение надёжности её работы за счёт применения БЭСВ на первой ступени и отказа от энергоёмких компрессоров;
- переоборудование напорных фильтров ФОВ-2,5-6 с песчаной загрузкой с заменой на безнапорные ФПЗ-1 и устройством новых сборно-распределительных дренажных систем;
- демонтаж промывных насосов и др.

На рис. 4 и 5 показана станция до и после реконструкции, соответственно.

На станции были установлены два биореактора (БР1, БР2) диаметром 3 м и высотой 8,1 м, вода после которых подавалась на две параллельно работающие технологические линии фильтров ФПЗ (ФПЗ-1.1...1.4 и ФПЗ-1.5...1.8).

:: Эффективность очистки подземной воды на модельной установке

табл. 1

Показатель	Исходная вода	Очищенная вода
Температура, °С	10,1–11	13–14
Запах, балл	2–3 (сер.)	отсутствует
Железо общее, мг/л	6,6–7,4	0,05–0,1
Марганец, мг/л	0,09–0,12	0,08–0,1
Аммоний-ион, мг/л	1,26–1,41	0,5–0,7
pH	7,02–7,14	7,1–7,2
Еh, мВ	–22,3...–16,7	62–120
Свободная углекислота, мг/л	59,2–75,4	43,8–55,8
Кислород растворенный, мг/л	1,2–1,4	3,5–4,2



:: Рис. 4. Станция обезжелезивания до реконструкции (фильтры ФОВ-2,5-6)

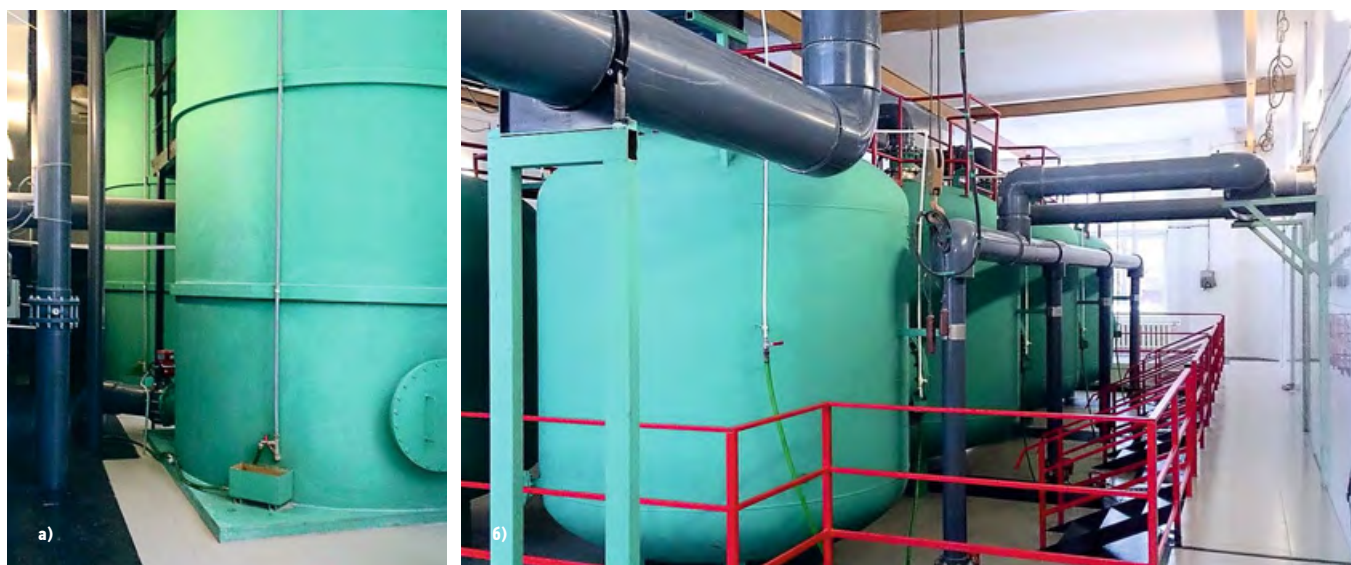


Рис. 5. Станция обезжелезивания после реконструкции (а — биореакторы БСВЗ; б — фильтры ФПЗ-1.1...1.4)

Анализ работы станции спустя полгода с момента запуска биореакторов и фильтров первой и второй технологических линий показал следующее.

Подземная вода, в зависимости от режима работы группы скважин на водоводы, характеризовалась содержанием железа общего за период с июня 2014 по сентябрь 2015 годов от 1,07 до 9,79 мг/л, марганца — от 0,14 до 0,45 мг/л, ионов аммония — от 0,67 до 1,44 мг/л, и $pH = 6,72-7,23$. Запах и вкус, преимущественно сероводородный, не превышал двух-трёх баллов,

концентрация растворенного кислорода в подземной воде составляла 1,4–1,6 мг/л, окислительно-восстановительный потенциал изменялся от –22,3 до –30,74 мВ.

Скорость фильтрования воды на каждом биореакторе изменялась от 16,4 до 27 м/ч, на фильтрах с плавающей загрузкой на примере первой технологической линии (ФПЗ-1.1...1.4) — от 4,7 до 8,3 м/ч. Время контакта воды с загрузкой биореактора составляло от 6,2 до 3,8 минут. Продолжительность фильтрования воды на биореакторах не превышала семи

суток, на фильтрах — 24 часа. В качестве контактной загрузки биореактора и фильтра использовались вспененные гранулы пенополистирола крупностью 4–8 мм толщиной слоя 1,7 и 0,8–1,3 мм толщиной слоя 1,5 м, соответственно.

Скорость фильтрования воды на биореакторе — 16,4–27 м/ч, на фильтрах с плавающей загрузкой на первой технологической линии — 4,7–8,3 м/ч. Время контакта воды с загрузкой биореактора 6,2–3,8 минут. Длительность фильтрования воды на биореакторах — до семи суток, на фильтрах — 24 часа

Изменение концентрации железа / марганца

табл. 2

Дата отбора проб		Концентрация железа общего* / марганца*, мг/л		
		Исходная вода	Очищенная вода Биореакторы БР1,2	Фильтры ФПЗ-1.1-1.4
2014	июнь	2,41–6,99 / 0,24–0,37	0,15–0,90 / 0,18–0,20	0,01–0,22 / 0,11–0,18
	сентябрь	2,59–6,14 / 0,14–0,22	0,11–1,75 / 0,24–0,25	0,04–0,10 / 0–0,04
	октябрь	2,46–4,52 / 0,36–0,45	0,18–1,86 / 0,27–0,35	0,03–0,11 / 0,006–0,10
	ноябрь	1,80–4,63 / 0,26–0,45	0,10–1,14 / 0,25–0,31	0,03–0,23 / 0,006–0,025
	декабрь	2,46–5,24 / 0,44–0,45	0,10–1,70 / 0,22–0,26	0,03–0,09 / 0,001–0,025
2015	январь	3,64–4,84 / 0,27–0,39	0,20–1,46 / 0,27–0,30	0,02–0,12 / 0,001–0,025
	февраль	2,82–4,36 / 0,21–0,30	0,10–2,10 / 0,20–0,26	0,02–0,08 / 0,012–0,062
	март	3,01–5,28 / 0,32–0,33	0,11–1,18 / 0,24–0,31	0,03–0,17 / 0–0,062
	апрель	1,83–4,31 / 0,25–0,37	0,12–1,53 / 0,20–0,28	0,04–0,09 / 0–0,005
	май	2,68–5,71 / 0,36–0,39	0,14–2,12 / 0,32–0,34	0,05–0,11 / 0,006–0,012
	июнь	2,50–4,73 / –	0,15–0,87 / –	0,01–0,08 / –
	июль	1,07–9,79 / –	0,13–1,99 / –	0,05–0,07 / –
	август	1,55–4,51 / –	0,12–2,92 / –	0,05–0,20 / –
	сентябрь	2,82–7,02 / –	0,14–2,19 / –	0,05–0,14 / –

* Приведены минимальные и максимальные среднемесячные значения.

Параметры промывки загрузки

табл. 3

Образец	Параметры промывки*			Показатели качества			
	$q_{пр}$, л/(с·м²)	$t_{пр}$, мин.	e , %	$t_{ф}$, ч	pH	Eh , мВ	t , °C
Промывная вода биореактора	28–30	2 × 1,5	25	24	7,58	141,7	18,1
Промывная вода фильтра	14–15	6,0	35	168	7,60	152,8	17,9

* Условные обозначения: $q_{пр}$ и $t_{пр}$ — интенсивность и продолжительность промывки; e — относительное расширение слоя загрузки; $t_{ф}$ — продолжительность фильтрования воды между промывками.

В табл. 2 приведены данные по изменению концентрации железа и марганца в исходной и очищенной воде по ступеням очистки, которые свидетельствуют о стабильной и надёжной работе станции, обеспечивающей подготовку воды питьевого качества. Кроме того, в воде на выходе из биореакторов наблюдалось по сравнению с исходной водой снижение свободной углекислоты, повышение окислительно-восстановительного потенциала (81,50–115,04 мВ) и pH (7,64–7,73). Что касается очищенной воды после фильтров, то её pH немного снижался (7,42–7,50), а Eh увеличивался до 149,51–163,54 мВ по сравнению с водой, прошедшей биореакторы.

Промывка загрузки биореактора и фильтра производилась после непрерывной работы сооружений в режиме фильтрования в течение 24 и 168 часов, соответственно, с параметрами, указанными в табл. 3.



Станция ВЗУ-2 в городе Жуковский Московской области

Отдельная серия опытов была посвящена исследованиям структуры и состава осадков, выделенных из промывных вод промышленных биореактора и фильтра и собранного с поверхности гранулы контактной загрузки (рис. 6). Исследования проводились в лаборатории кафедры водоснабжения НИУ МГСУ методами сканирующей электронной микроскопии (Quanta 250 FEI) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

На основании микроскопического анализа было установлено, что обнаружен-

ные в осадках железобактерии, главным образом нитчатые типа *Leptothrix ochracea* и стебельковые типа *Gallionella* (рис. 6а, 6б), интенсивно развиваются в толще загрузки и принимают активное участие в процессах окисления соединений растворённых форм железа [7, 8].

В осадке промывной воды после сооружений преобладали преимущественно железо и кислород, присутствовали углерод, азот и фосфор. В то же время в осадке с поверхности гранулы пенополистирола, взятой на исследование с верхнего

В осадке промывной воды после сооружений преобладали преимущественно железо и кислород, присутствовали углерод, азот и фосфор. В осадке с поверхности гранулы пенополистирола, взятой на исследование с верхнего слоя загрузки биореактора, распределение компонентов отличалось

слоя загрузки биореактора, распределение компонентов отличалось. Преобладал кислород (60,97%), углерод и железо присутствовали в примерно одинаковых пропорциях (12,82 и 14,97%), а концентрация азота была выше в 1,4–1,7 раза.

Оценка работы в течение трёх лет промышленной станции кондиционирования подземных вод с биореакторами со струйной вакуумной эжекцией и фильтрами с плавающей пенополистирольной загрузкой подтвердила эффективность и перспективность дальнейшего её применения на объектах ВКХ, использующих подземные воды в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения. ●

1. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. — М.: Стройиздат, 1975. 176 с.
2. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод. — М.: Стройиздат, 1987. 240 с.
3. Патент РФ №2356854 RU C1, B01D 24/00. Биореактор-фильтр / Ж.М. Говорова, О.Б. Говоров, М.Г. Журба. Опубл. 27.05.2009. Бюл. №15.
4. Патент РФ №2370455 RU C1, C02F 64. Установка для обезжелезивания воды / О.Б. Говоров, Ж.М. Говорова, М.Г. Журба. Опубл. 20.10.2009. Бюл. №29.
5. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. — М., 2011. 536 с.
6. Говоров О.Б. Безреагентное кондиционирование железосодержащих подземных вод в биореакторах-фильтрах: Автореф. дисс. на соиск. учён. степ. к.т.н. (05.23.2004). — Вологда: ВоГТУ, 2007. 20 с.
7. Менча М.Н. Железобактерии в системах питьевого водоснабжения из подземных источников // Водоснабжение и санитарная техника, 2006. №7. С. 25–35.
8. Муше П., Герасимов Г.Н. Биологическая деферризация воды: обоснование и реализация // Водоснабжение и санитарная техника, 2011. №11. С. 40–47; №12. С. 35–39.
9. Журба М.Г., Говорова Ж.М., Квартенко А.Н., Говоров О.Б. Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника, 2006. №9. С. 17–23.
10. Журба М.Г., Говоров О.Б., Говорова Ж.М., Квартенко А.Н. Биореакторы-фильтры с плавающей загрузкой в технологиях кондиционирования подземных вод // Сантехника, 2012. №3. С. 50–54.
11. Журба М.Г., Говоров О.Б., Говорова Ж.М., Квартенко А.Н. Исследование и опыт внедрения инновационных технологий кондиционирования подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника, 2014. №9. С. 38–46.
12. Говорова Ж.М., Журба М.Г. Обоснование водоочистных технологий и их инвестирования. — М., 2012. 176 с.
13. Журба М.Г., Говоров О.Б., Говорова Ж.М. Предпроектные испытания инновационных технологий водоподготовки и их влияния на обоснование инвестиций // Водоснабжение и канализация, 2010. №2. С. 64–70.

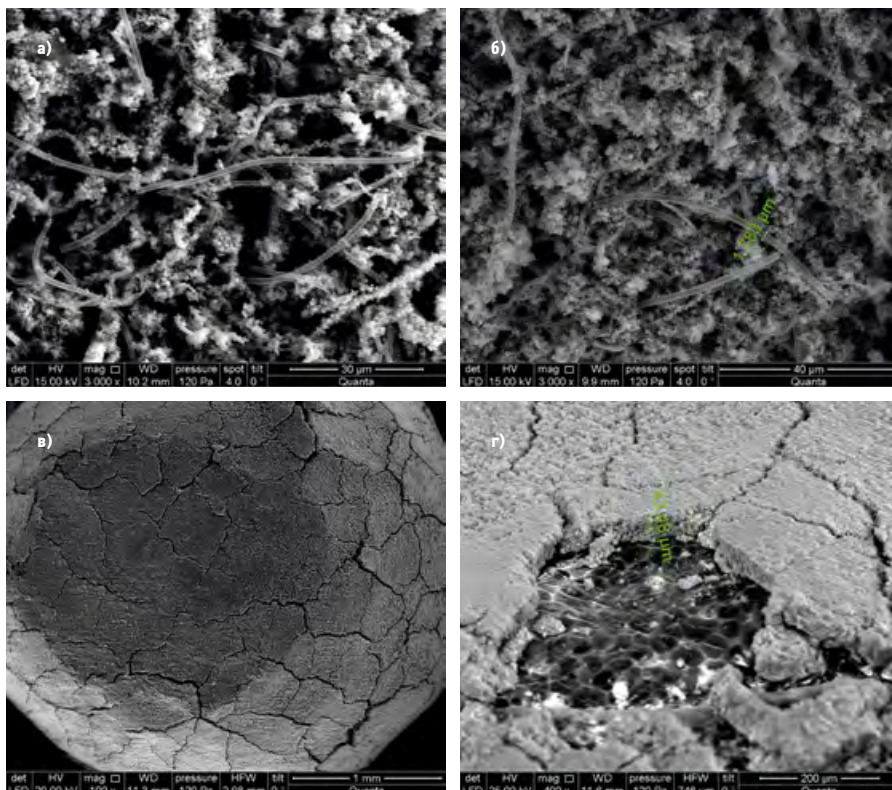


Рис. 6. Микрофотографии осадка промывной воды биореактора (а), фильтра (б) и с поверхности гранулы контактной загрузки (в, г)

Reagentless deironing technology and demagnetization of groundwater (justification, research, implementation). Pp. 27–31.

O. B. Govorov, Ph.D., the Head of the Center for Innovation in the Field of Water Supply and Water Disposal of "MosvodokanalNIIproject" Institute, JSC; **V. O. Govorov**, student, University of Engineering and Ecological Construction and Mechanization (UEECM) — Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

1. Zolotova E.F., Ass G.Ju. *Ochistka vody ot zheleza, marganca, fiora i serovodoroda* [Purification of water from iron, manganese, fluorine and hydrogen sulphide]. Moscow. "Strojizdat" Publishers. 1975. 176 p.
2. Nikoladze G.I. *Uluchshenie kachestva podzemnykh vod* [Improvement of groundwater quality]. Moscow. "Strojizdat" Publishers. 1987. 240 p.
3. Patent of Russia No. 2356854 RU S1, B01D 24/00. *Bioreaktor-fil'tr* [Bioreactor-filter] / Zh.M. Govorova, O.B. Govorov, M.G. Zhurba. Decl. at February 11 of 2008. Publ. at May 27 of 2009. Bull. No. 15.
4. Patent of Russia No. 2370455 RU S1, C02F 64. *Ustanovka dlja obezhelezivaniya vody* [Water deironing plant] / O.B. Govorov, Zh.M. Govorova, M.G. Zhurba. Decl. at Mart 18 of 2008. Publ. at November 10 of 2009. Bull. No. 29.
5. Zhurba M.G. *Vodoochistnyye fil'try s plavajushhej zagruzkoj* [Floating water treatment filters]. Moscow. 2011. 536 p.
6. Govorov O.B. *Bezreagentnoe kondicionirovanie zhelezosoderzhashhih podzemnykh vod v bioreaktorah-fil'trah: Avtoref. diss. na soisk. uchjon. step. k.t.n.* [Reagentless conditioning of iron-containing groundwater in bioreactors-filters: The PhD diss. abstract] (May 23 of 2004). Vologda. Vologda State Technical University. 2007. 20 p.
7. Mencha M.N. *Zhelezobakterii v sistemah pit'evogo vodosnabzheniya iz podzemnykh istochnikov* [Iron bacteria in drinking water supply systems from underground sources]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnik*a [Water supply and sanitary engineering]. 2006. No. 7. Pp. 25–35.
8. Mushe P., Gerasimov G.N. *Biologicheskaja deferrizacija vody: obosnovanie i realizacija* [Biological deferrization of water: justification and implementation]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnik*a [Water supply and sanitary engineering]. 2011. No. 11. Pp. 40–47; No. 12. Pp. 35–39.
9. Zhurba M.G., Govorova Zh.M., Kvartenko A.N., Govorov O.B. *Biohimicheskoe obezhelezivanie i demanganacija podzemnykh vod* [Biochemical deironing and demagnetization of groundwater]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnik*a [Water supply and sanitary engineering]. 2006. No. 9. Pp. 17–23.
10. Zhurba M.G., Govorov O.B., Govorova Zh.M., Kvartenko A.N. *Bioreaktory-fil'try s plavajushhej zagruzkoj v tehnologijah kondicionirovanija podzemnykh vod* [Bioreactors-filters with floating loading in technologies of conditioning of underground waters]. *Santehnika* [Sanitary engineering]. 2012. No. 3. Pp. 50–54.
11. Zhurba M.G., Govorov O.B., Govorova Zh.M., Kvartenko A.N. *Issledovanie i opyt vnedrenija innovacionnykh tehnologij kondicionirovanija podzemnykh vod* [Research and experience in the implementation of innovative groundwater conditioning technologies]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnik*a [Water supply and sanitary engineering]. 2014. No. 9. Pp. 38–46.
12. Govorova Zh.M., Zhurba M.G. *Obosnovanie vodoochistnykh tehnologij i ih investirovanija* [Justification of water treatment technologies and their investment]. Moscow. 2012. 176 p.
13. Zhurba M.G., Govorov O.B., Govorova Zh.M. *Predproektnye ispytaniya innovacionnykh tehnologij vodopodgotovki i ih vlijanija na obosnovanie investicij* [Predesign tests of innovative technologies of water treatment and their influence on the investment justification]. *Vodosnabzhenie i kanalizacija* [Water supply and sewerage]. 2010. No. 2. Pp. 64–70.