

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Доминирующими микроорганизмами биоценоза обрастания оборудования исследованной системы коммунального питьевого водоснабжения являются железобактерии.
2. В биообрастаниях присутствуют сульфатредуцирующие микроорганизмы *Desulfotribrio* и *Desulfotomaculum*, которые в ассоциациях с железобактериями и гетеротрофными бактериями рода *Pseudomonas* обуславливают течение коррозионных процессов.
3. Широкое распространение гетеротрофных бактерий рода *Pseudomonas* на поверхностях различного оборудования системы водоснабжения города (в т.ч. водопроводных сетях) представляет потенциальную санитарно-эпидемиологическую опасность для водопотребителей, что требует обязательного применения дезинфектантов на стадии водоподготовки.
4. Оперативная информация о содержании в воде источников водоснабжения сульфатредуцирующих организмов, количестве железобактерий и гетеротрофов, использующих органические формы азота, позволит своевременно принять решение о соответствующей обработке воды с целью предотвращения образования биообрастания в трубопроводах, поэтому в источниках водоснабжения целесообразно определять содержание микроорганизмов, являющихся основными агентами кольматации водопроводного оборудования.

УДК 628:579.68

**Менча М.Н.****ЖЕЛЕЗОБАКТЕРИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПРОЦЕССАХ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ****ВВЕДЕНИЕ**

Основными причинами, способствующими снижению качества питьевой воды, как по химическим, так и по органолептическим свойствам, являются повышенное содержание в ней соединений железа и присутствие железобактерий. Вместе с тем железобактерии, кроме отрицательного воздействия, могут оказывать положительное влияние на определенных стадиях процесса водоснабжения.

Среди существующих методов обезжелезивания подземных вод [1,2], наиболее распространенным технологическим решением на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства республики Беларусь является обезжелезивание упрощенной аэрацией с последующим фильтрованием [2,3]. Как известно, органичением применения данного метода является очистка вод, содержащих железо в органических формах, трудноокисляемых кислородом воздуха, и низкий рН некоторых подземных вод.

Достаточно высокую скорость окисления железа, по сравнению с той же реакцией в свободном объеме традиционно связывают с образованием на поверхности зерен загрузки каталитической пленки из соединений железа [3-6], которая интенсифицирует процесс. Однако результаты предварительных микробиологических анализов [7,8] позволили усомниться в исключительно химической природе процессов обезжелезивания на фильтрах, работающих по методу упрощенной аэрации. Известно [9], что в природных условиях железо может окисляться как химическим, так и биологическим путем с участием железобактерий. Процессы эти конкурентны и зависят от физико-химических условий среды, в которой они происходят, и наличия в ней железобактерий.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ****Задачи работы состояли в следующем:**

- изучить внешний вид и характер охристых отложений на загрузке фильтров станций обезжелезивания;

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Разумов А.С. Биологические обрастания в системе питьевого и технического водоснабжения и меры борьбы с ними / Биологические обрастания в системе питьевого и технического водоснабжения и меры борьбы с ними. – М.: Наука, 1969. – с. 5-54.
2. Менча М.Н., Самсонова А.С., Гуринович А.Д. Влияние биохимической деятельности железобактерий в водопроводной сети на качество питьевой воды. // Водные ресурсы. – Мн., 2003. – №14. – с. 69-76.
3. Микробная коррозия и ее возбудители / Е.И. Андреев, В.И. Билай, Э.З. Коваль, И.А. Козлова. – Киев: «Наукова думка», 1980 г. – 287 с.
4. Родина А.Г. Методы водной микробиологии. – Л.: Наука, 1965. – 58 с.
5. Колешко О.И. Экология микроорганизмов почвы: Лабораторный практикум. – Мн.: Высшая школа, 1981. – 176 с.
6. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. – М.: Наука, 1989. – 285 с.
7. Рекомендации по учету железобактерий в отложениях трубопроводов. – М.:ВОДГЕО, 1974 – 10 с.
8. Менча М.Н. Биологические помехи в работе систем питьевого водоснабжения // Водные проблемы. – Мн., 2004. – №1 – с. 33-36.

- выявить наличие микрофлоры в составе каталитической пленки;
- выяснить влияние биологического фактора на процессы обезжелезивания подземных вод фильтрованием с упрощенной аэрацией.

**Исследования проводились на станциях обезжелезивания водозаборов № 1,2,3 коммунального унитарного производственного предприятия «Водоканал» г. Барановичи.** Фильтры станций обезжелезивания водозаборов № 1,2,3 коммунального унитарного производственного предприятия «Водоканал» г. Барановичи представляют собой прямоугольные железобетонные двухсекционные емкости с центральным каналом. Фильтры работают по методу упрощенной аэрации. Секции фильтров послойно загружены гранитным щебнем различных фракций.

В процессе эксплуатации фильтра ровная поверхность его загрузки нарушается (рис. 1), что приводит к образованию на ней более низких и более высоких участков. Это может быть связано с нарушением в некоторых местах трубопроводов подачи воздуха, кольматацией отдельных участков дренажных труб, и, как следствие, с неравномерностью промывки загрузки и отвода из фильтра очищенной воды.

В процессе работы фильтра на его поверхности образуются охристые отложения. Интенсивность их образования различна: в более низких участках она выше (точки 1, рис. 1), в высоких (точки 2, рис. 1) – ниже. В связи с тем, что отложения на поверхности загрузки не равномерны, отбор проб производили как с низких, так и с высоких участков (рис. 1).

Отбор проб осуществляли в стерильные конические колбы, заливая свежесобранные охристые отложения водой соответствующего фильтра. Исследования проводили не позднее, чем через два часа после отбора образцов. Из отобранных проб готовили препараты на предметных стеклах для микроскопических исследований [10]. Предметные стекла с фиксированными мазками последовательно обрабатывали:

2-3 минуты 2%-ным раствором желтой кровяной соли; 2-3 минуты 2%-ным раствором соляной кислоты и 60 минут 4%-ным раствором эритрозина, приготовленного на 5%-ном растворе карболовой кислоты.

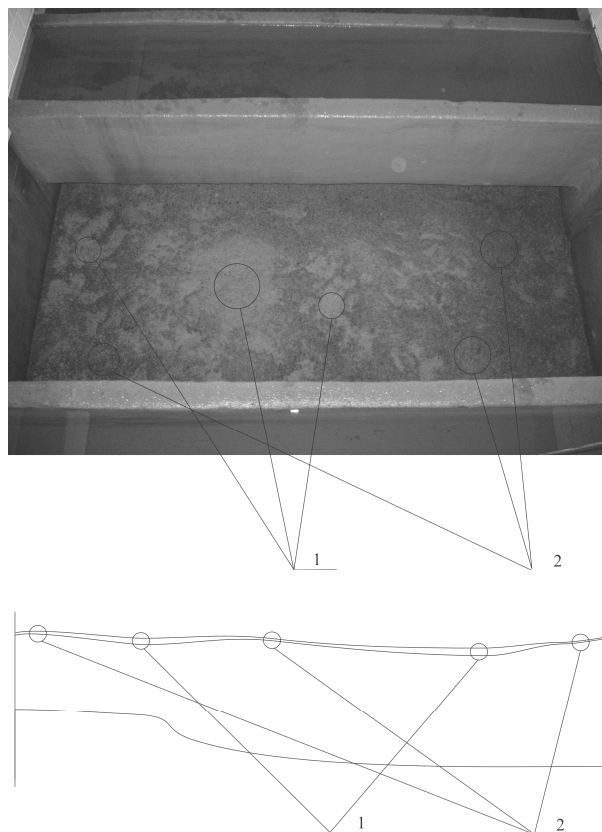


Рис. 1. Интенсивность охристых отложений на загрузке фильтра.

Окрашенные препараты рассматривали под микроскопом с иммерсионным объективом при увеличении 1350 или 1800.

Изучали качественный состав микроорганизмов и минеральных компонентов отложений.

Количество железобактерий и минеральных компонентов в охристых отложениях оценивали в соответствии с вышеприведенной методикой по пятибальной шкале\*: 5–массовое развитие (для минеральных компонентов–обильно); 4–много; 3–умеренно; 2–мало; 1–единично; 0–отсутствуют.

В результате обработки препаратов, по указанной методике, бактериальные клетки окрашиваются в розовый цвет, а их

чехлы, заполненные гидратом окиси железа, приобретают ярко-синюю окраску (цвет берлинской лазури).

В отдельных образцах (точки отбора 1,2, водозабор №1, табл. 1) обнаружены единично одноклеточные железобактерии Gallionella.

В большинстве проб (точки отбора 1,2, водозаборы №2,3, табл. 1) выявлено наличие железобактерий рода Leptothrix.

Анализ результатов экспериментов, приведенных в таблице 1, показал, что структура охристых отложений различается в зависимости от присутствия в них железобактерий и наличия минеральных компонентов.

В одном случае (минеральные компоненты – обильно, железобактерии – единичные клетки) – охристые отложения представляют собой мелкую порошкообразную взвесь, плотно оседающую на дно колбы. В другом (железобактерии – массовое развитие, минеральные компоненты – единично) – охристые отложения имеют хлопьевидную, кустиковидную структуру или представляют собой рыхло-крошковатый осадок, легко сдвигающийся при покачивании воды в колбе. Таким образом, простое рассмотрение внешнего вида охристых отложений, может быть использовано в виде первичного индикационного метода определения наличия в них железобактерий, характеристики процесса обезжелезивания с указанием преобладающего пути окисления железа – химического или микробиологического.

В период опорожнения фильтра в свободном от загрузки объеме воды отмечено наличие взвеси ржаво-коричневого цвета. Микроскопическими исследованиями взвеси наличия железобактерий в ней не установлено.

В процессе проведения этой операции более низкие участки загрузки фильтра опорожняются в последнюю очередь, и образованная в свободном объеме взвесь оседает именно сюда, поэтому в точке 1 (рис. 1) – собираются наиболее обильные охристые отложения.

При микроскопическом исследовании образцов, отобранных из точек 1, 2 водозабора №2 (табл. 1), установлено, что в высоких точках 2, где интенсивность скопления меньшая, железобактерии присутствуют в значительном количестве. В низких точках 1, с более высокой интенсивностью формирования отложений, которые собираются там в результате «стекания» в более низкие места ржаво-коричневой взвеси свободного объема воды – преобладают минеральные компоненты, а железобактерии единичны. Можно предположить, что в свободном объеме воды фильтра происходит химическое окисление железа, а на его загрузке этот процесс осуществляется за счет деятельности железобактерий.

Микроорганизмы в процессе роста, кроме потребления органических, ассимилируют и минеральные вещества, основными из которых являются соединения азота и фосфора,

Таблица 1. Оценка и характеристика охристых отложений на загрузке фильтров

Показатели	Водозаборы					
	№1		№2		№3	
	точка 1	точка 2	точка 1	точка 2	точка 1	точка 2
Железобактерии, род	Gallionella	Gallionella	Leptothrix	Leptothrix	Leptothrix	Leptothrix
Железобактерии, оценка количества*	1	1	2	5	5	5
Минеральные компоненты отложений, оценка количества*	5	5	5	1	1	1
Внешний вид охристых отложений	Порошкообразный, плотный		Рыхлорошковатый, легко сдвигающийся при покачивании воды в колбе		Хлопьевидный, кустиковидный	

поэтому была изучена динамика изменения концентрации аммонийного азота и фосфатов в различных точках системы водоснабжения (таблица 2\*) – скважинах (1), на входе (2) и выходе (3) станции обезжелезивания. Результаты исследований, приведенные в таблице 2, свидетельствуют о том, что станции обезжелезивания всех водозаборов обеспечивают снижение содержания железа в воде до показателей, нормируемых СанПиН 10-124 РБ 99 [11].

В связи с тем, что концентрация аммонийного азота и фосфатов в процессе эксплуатации станции обезжелезивания водозабора №1 не имеет тенденции к снижению в зависимости от времени эксплуатации фильтра (табл. 2), а в охристых отложениях преобладают минеральные компоненты (табл.1) можно считать, что доминирующий механизм окисления железа на ней – химический.

Снижение концентрации биогенных элементов и железа в образцах воды на станции обезжелезивания водозабора №2 подтверждает предположение о развитии на загрузке фильтров в процессе их эксплуатации железобактерий.

В образцах воды на станции обезжелезивания водозабора №3 концентрация аммонийного азота, фосфатов и железа при транспортировке воды по водоводу 1-го подъема резко снижается уже до пропуска её через фильтры (табл. 2). Изменение гидравлического режима работы водовода (включение, отключение скважин) сопровождается массовым выносом крупных охристых отложений. Иногда интенсивность настолько высока, что «зеркало» воды на фильтрах покрывается сплошным «ковром» ржаво-красного цвета (рис. 2). Микроскопические исследования образцов таких отложений подтверждает наличие в них железобактерий.

Охристые отложения, будучи отобранными в стерильные конические колбы, в течение суток плавают по поверхности воды, не оседая на дно. Визуальным исследованием под лупой установлено наличие в них микроскопических пузырьков воздуха, которые понижают плотность охристых отложений и удерживают их во взвешенном состоянии. Обогащение отложений кислородом, очевидно, происходит в результате кавитационных процессов, возникающих при неудовлетворительной работе насосного оборудования отдельных скважин водозабора, а также при уменьшении растворимости кислорода в результате падения давления при выходе воды из водовода в приемную камеру фильтра и обогащении воды кислородом при упрощенной аэрации. Через сутки все охристые отложения

оседают на дно колбы, при этом пузырьки лопаются, либо содержащийся в них кислород потребляется микрофлорой отложений. Через 3 – 4 суток в образцах наблюдается рост ничтожных микроорганизмов, интенсивность отложения железа на клетках которых настолько высока, что они становятся видимыми в колбе невооруженным глазом (рис. 2). Микроскопически в пробах установлено наличие железобактерий.

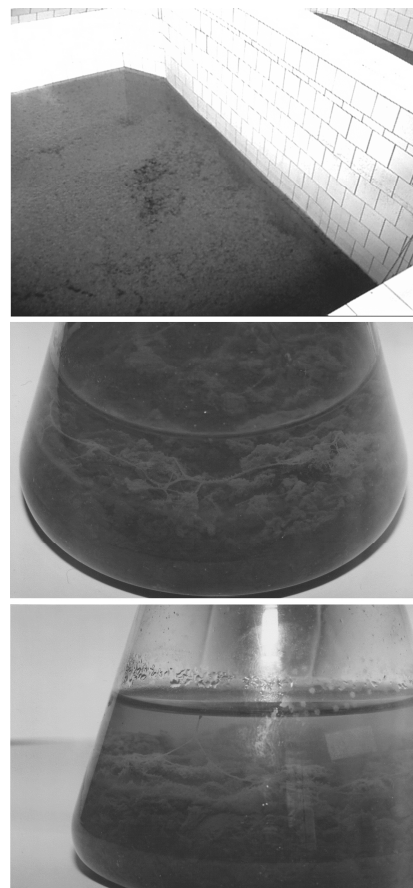
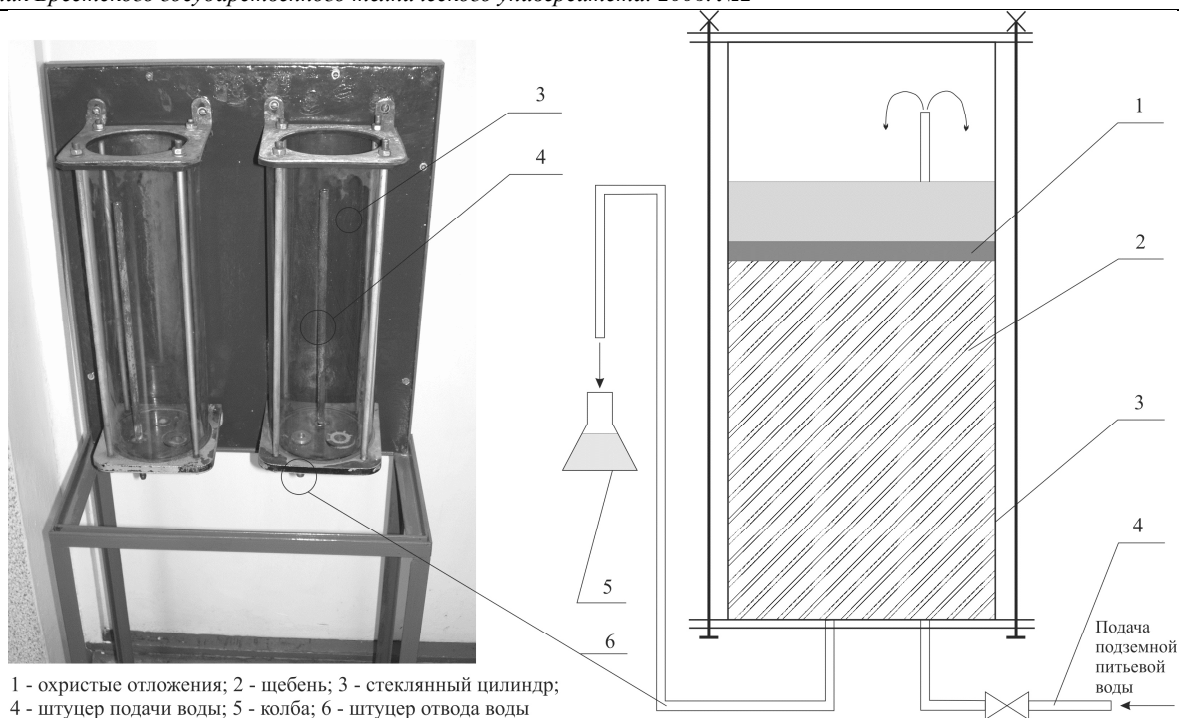


Рис. 2. Охристые отложения водозабора №2

Таблица 2. Динамика изменения концентрации аммонийного азота, фосфатов и общего железа в системе водоснабжения

Объект	Точки отбора*	Время эксплуатации фильтра, сут.	Аммонийный азот, мг/л	Фосфаты, мг/л	Железо общее, мг/л
Водозабор №1	1		1,340	0,380	1,330
			1,320	0,384	1,370
	3	1	1,340	0,192	0,320
		2	1,280	0,096	0,290
		3	1,320	0,144	0,230
Водозабор №2	1		0,940	0,095	0,960
			0,930	0,096	0,950
	3	1	0,390	0,072	0,230
		2	0,100	0,024	0,180
		3	0,100	0,000	0,150
		4	0,050	0,000	0,100
Водозабор №3	1		0,750	0,290	1,150
			0,290	0,000	0,600
	3	1	0,250	0,000	0,370
		2	0,280	0,000	0,300
		3	0,260	0,000	0,250
	4	0,290	0,000	0,100	
	5	0,260	0,000	0,180	



1 - охристые отложения; 2 - щебень; 3 - стеклянный цилиндр; 4 - штуцер подачи воды; 5 - колба; 6 - штуцер отвода воды

Рис. 3. Модельный фильтр

Таблица 3. Динамика изменения содержания железа на выходе модельного фильтра

Время, ч	А		2	4	6	8	10	12	24
	Б		26	28	30	32	34	36	48
1	А	1,37	1,35	1,30	1,25	1,10	1,03	0,95	0,40
	Б	0,35	<b>0,28</b>	0,22	0,15	0,12	0,07	0,07	-
2	А	1,37	0,45	<b>0,30</b>	0,22	0,20	0,15	0,11	0,07
	Б	0,07	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	-
3	А	1,37	1,20	1,10	0,95	0,60	0,40	<b>0,29</b>	0,25
	Б	0,20	0,17	0,12	0,10	0,08	0,07	0,07	-

В водоводе, за счет развития железобактерий, происходит биологическое окисление железа, а фильтры в основном выполняют функцию механического удерживания образовавшихся охристых отложений. Данные негативные явления в эксплуатации систем водоснабжения отмечены так же немецкими исследователями [12, 13].

Анализ данных режимных наблюдений за скважинами водозабора №3 за 1992 – 2002 гг. выявил значительное падение динамических уровней (в 2 раза и более) и снижение удельных дебитов (до 50%). На некоторых скважинах при этом за 10 лет эксплуатации значительно снизилась концентрация железа в воде – с 1,8-2,3 мг/л до 0,1-0,5 мг/л.

Очевидно, на рассматриваемом водозаборе биологическое окисление железа происходит не только в водоводе 1-го подъема, но и непосредственно на фильтрах скважин, где химическое окисление, ввиду отсутствия кислорода, происходить не может, а биологическое, в микроаэрофильных условиях, напротив, вполне возможно.

Влияние биологического фактора на процессы обезжелезивания фильтрованием с упрощенной аэрацией изучили также на модельном фильтре (рис. 3), который представлял собой стеклянный цилиндр (поз. 3), оборудованный штуцерами для подачи (поз. 4) и отвода (поз. 6) питьевой воды.

Фильтр заполняли щебнем (поз. 2), используемым в качестве загрузки эксплуатируемых фильтров станций обезжелезивания (фракция 5-10 мм). Щебень тщательно отмывали от

посторонних примесей путем пропускания через модельный фильтр 5 – 10 объемов дистиллированной воды и дезинфицировали хлорной водой с содержанием хлора до 10 мг/л в течение 24 часов. Перед проведением эксперимента хлор отмывали стерильной дистиллированной водой до полного его отсутствия в фильтрате.

Проводили три вида эксперимента:

1. Подземную питьевую воду пропускали через «чистую» фильтрующую загрузку.
2. Перед пропусканием подземной питьевой воды через загрузку фильтра на нее наносили свежие охристые отложения (поз. 1), отобранные на загрузке эксплуатируемого фильтра станции обезжелезивания водозабора №2 «Щара-1» перед завершением его очередного фильтроцикла.
3. Перед пропусканием подземной питьевой воды через загрузку фильтра нанесенные на нее свежие охристые отложения обрабатывали хлорной водой с содержанием хлора до 10 мг/л в течение 24 часов.

Воду на фильтр подавали непрерывно в течение двух суток. Через определенный период времени (от 2 до 12 часов) проводили отбор проб очищенной воды (поз. 5) для определения содержания общего железа. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.

Как видим, при внесении на поверхность фильтрующей загрузки охристых отложений (эксперимент 2, табл. 3) фильтр выходит на нормальный режим эксплуатации уже через 4

часа, что в 12 раз быстрее, чем при обезжелезивании воды пропуском ее через «чистую» фильтрующую загрузку (эксперимент 1, табл. 3). При предварительном хлорировании выход на нормальный режим эксплуатации ( $C_{\text{Feобщ.}} = 0,29$  мг/л) достигался через 12 часов (эксперимент 1, табл. 3), т.е. в 3 раза быстрее, чем при обезжелезивании воды через «чистую» фильтрующую загрузку (эксперимент 1, табл. 3). Известно, что мертвые клетки микроорганизмов в определенной степени сохраняют свои адсорбционные свойства [14]. Данные факты свидетельствуют о значительном влиянии на процесс обезжелезивания воды биоценоза охристых отложений, доминирующими микроорганизмами которого являются железобактерии.

Как указывалось выше, одним из известных ограничений применения метода обезжелезивания фильтрованием с упрощенной аэрацией является очистка природных вод, содержащих железо в органических формах.

После обнаружения в охристых отложениях железобактерий возник определенный интерес в изучении отношения образующихся биоценозов к железу в указанных выше формах.

Известно, что в природных водах железо присутствует в комплексах с гуминовыми веществами, однако синтез таких соединений не разработан. Поэтому органическое вещество и железо вносили в среду в виде одного соединения – железо-аммонийной соли лимонной кислоты, водный раствор которой имеет зеленовато-коричневый цвет. Железо в данном комплексном соединении устойчиво к окислению кислородом воздуха и не выпадает в осадок в виде гидроксида при подщелачивании (вплоть до pH 11).

В колбы со средой, содержащей железоаммонийную соль лимонной кислоты, вносили свежие охристые отложения (1–3 г), отобранные на загрузке фильтра станции обезжелезивания водозабора №2 перед завершением фильтроцикла. В одном из вариантов охристые отложения не подвергали стерилизации, а в другом – стерилизовали в автоклаве 30 минут при 0,2 МПа. Контролем служила питательная среда. Содержимое колб культивировали в термостате при 27°C в течение 2 суток.

В контроле, так же как и в варианте со стерильными охристыми отложениями, через 48 часов культивирования состояние содержимого колб не претерпело никаких видимых изменений. В варианте со средой, содержащей нестерильные охристые отложения, в результате разрушения железоаммонийной соли лимонной кислоты, наблюдали обесцвечивание среды и выпадение железа в осадок в виде гидроксида, что подтверждает способность биоценозов, образующихся на загрузке эксплуатируемых фильтров, разрушать железоорганические комплексы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При обезжелезивании подземных вод фильтрованием с упрощенной аэрацией имеют место как химические, так и биологические процессы окисления и осаждения железа на загрузке фильтров. Оба процесса конкурентны. В условиях их одновременного протекания для химического окисления более характерна локализация его в свободном объеме, для биологического – на загрузке фильтра.
2. Структура и внешний вид образующихся в емкостях фильтра охристых отложений зависят от механизма их формирования (химического или биологического), что может быть использовано для экспресс-характеристики процессов обезжелезивания.
3. Биологический тип окисления железа более предпочтителен для очистки питьевой воды. Биологическое окисление железа характеризуется большей скоростью и сопровождается снижением концентрации биогенных элементов в воде. Это позволяет не только интенсифицировать про-

цесс обезжелезивания, но и исключить или снизить такие негативные биологические явления, как биообрастание и биокоррозия, имеющие место в водопроводной сети.

4. Биохимическая деятельность железобактерий на загрузке фильтров, приводящая к обезжелезиванию воды, может быть интенсифицирована путем увеличения времени фильтроцикла, а также исключения дезинфектанта из промывной воды.
5. Биоценозы, формирующиеся естественным путем на загрузке фильтров, окисляют органические формы железа, расширяя тем самым область применения метода фильтрации с упрощенной аэрацией для обезжелезивания природных вод.
6. Факты наличия железобактерий в источнике водоснабжения и их способность формировать естественные биоценозы (охристые отложения) на загрузке фильтров при обезжелезивании подземных вод, должны в обязательном порядке учитываться при эксплуатации действующих сооружений водоподготовки и проведении пробного обезжелезивания для отработки технологических режимов очистки воды и подбора фильтрующих загрузок.
7. Совершенствование технологии очистки подземных вод с целью интенсификации процесса требует проведения дальнейших исследований.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гуринович А.Д., Ратько А.И. Новые подходы к обезжелезиванию подземных вод. // Вода. – 1998. – № 9-10 – с. 12.
2. Седлуха С.П. Новополоцк: основа для устойчивого водоснабжения создана. // Вода. – 1999. – №7 – с. 2-3.
3. Ничипор В.В. Рациональные методы и режимы обезжелезивания подземных вод. – Мн.: БелНИИТИ, 1991. – 20 с.
4. Николадзе Г.И. Водоснабжение. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 496 с.
5. Седлуха С.П., Софинская О.С. Биологический метод очистки подземных вод от железа. // Вода и экология: проблемы и решения. – 2001. – №1 – с. 13-21.
6. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. – Киев.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 352 с.
7. Менча М.Н., Самсонова А.С., Семочкина Н.Ф., Алещенкова З.М., Рылюк В.В., Гуринович А.Д. Микробный состав обрастаний в системе питьевого водоснабжения из подземных источников. // Микробиология и биотехнология XXI столетия / Материалы международной конференции. / 22-24 мая 2002 г. – Минск. – с. 54.
8. Менча М.Н., Самсонова А.С., Гуринович А.Д. Биологический фактор в работе систем питьевого водоснабжения из подземных источников // Вода: экология и технология / Материалы пятого международного конгресса. / 4-7 июня 2002 г. – Москва. – с. 271-272.
9. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. – М.: Наука, 1989. – 285 с.
10. Рекомендации по учету железобактерий в отложениях трубопроводов. – М.: ВОДГЕО, 1974. – 10 с.
11. СанПиН 10-124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения».
12. Flemming, H.-C. Biofilme und Wassertechnologie. Teil II: Unerwünschte Biofilme - Phänomene und Mechanismen. Gas-Wasser-Fach Wasser, Abwasser 133, – 1992. – s. 119-130.
13. Flemming, H.-C. Biofilme in Trinkwassersystemen. Teil I: Übersicht. Wasser Abwasser gwf 139, – 1998. – s. 65-72.
14. Звягинцев Д. Г. Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями. – М., 1973. – 175 с.