

## Инновационные технологии биологической очистки подземных вод

**Ю.П. Седлухо**,  
кафедра «Водоснабжения  
и водоотведения», Белорусский  
национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь,  
**С.А. Иванов и В.Л. Еловик**,  
УП «Полимерконструкция», Витебск,  
Республика Беларусь.

Являясь естественными природными процессами (так или иначе, в той или иной мере проявляющиеся практически на всех ступенях водоподготовки при использовании аэрационных методов удаления железа, марганца, сероводорода и др.); биологические процессы не продуцируют каких-либо токсичных веществ или опасных для человека микроорганизмов. Они являются одними из немногих, позволяющих избирательно извлекать из воды загрязняющие вещества без применения химических реагентов. При правильной их организации и конструктивном оформлении, как правило, достигается высокая эффективность удаления извлекаемых веществ и микробиологически безупречное качество очищенной воды. Наиболее авторитетным профессиональным справочником компании Дегремон, биологические методы очистки подземных вод отнесены к наиболее эффективным и экономичным методам. Но при этом отмечается, что они недостаточно исследованы и для определения оптимальных технологических параметров их реализации, как правило, требуется проведение предварительных пилотных испытаний [6].

Для разработки биохимических технологий водоподготовки не так важны проблемы систематики, морфологии и чисто микробиологические тонкости отдельных микроорганизмов. Но крайне важным является механизм процессов биоокисления удаляемых веществ, физиология и экология сообщества, как правило, самопроизвольно развивающихся микроорганизмов для создания оптимальных условий их существования. С этой точки зрения наиболее важным является установление механизма окисления и образования окислов металлов на поверхности микробных клеток. В его основе лежат процессы биологической и физикохимической природы [1,7-10].

В основе биологических процессов окисления сорбированного железа и марганца лежит перекисный механизм. Он представляет собой реакции между продуктом метаболизма  $H_2O_2$  и переменнo-валентными металлами. Физиологический смысл этого процесса заключается в детоксикации вредного воздействия перекиси водорода, выделяющейся в метаболических процессах жизнедеятельности бактерий. Это определяет развитие железо- и марганцеокисляющих бактерий в особых экологических условиях, где присутствуют восстановленные соединения этих металлов. В

Несмотря на то, что со времени открытия С.Н. Виноградским явления хемосинтеза (в основу которого положены результаты исследований бактерий, окисляющих в водной среде железо, марганец, сероводород и другие минеральные соединения) прошло более века, биологические методы удаления этих веществ из подземных вод применяются в весьма ограниченных масштабах [1]. Предпочтение отдается физико-химическим методам [2-5].



среде их окисленных форм железобактерии не развиваются.

Физико-химические процессы, в основе которых лежит процесс сорбции, включает механизм связывания соединений металлов внеклеточными экзополимерами с образованием слизистых чехлов, капсул, нитей и т.п. Экзополимеры играют важную роль в образовании бактериальных пленок на поверхности различных загрузок биореакторов и фильтров, а также осадков, отличающихся более плотной структурой, высокой скоростью осаждения и уплотнения.

Суммируя имеющиеся сведения о железобактериях можно выделить наиболее важные факты, учет которых необходим для успешной реализации биохимических технологий очистки подземных вод от соединений железа и марганца.

1. К железобактериям относятся все виды микроорганизмов, способные окислять закисные формы железа и марганца, осаждают их окислы на поверхности клеток и (или) образовывать осадки независимо от их видовой принадлежности и морфологических особенностей.

2. Подавляющее количество железобактерий способно окислять не только закисное железо, но и марганец (за исключением Gallionella и некоторых других видов). Ввиду большей устойчивости марганца к окислению, при их совместном присутствии происходит последовательное окисление этих металлов: марганец

начинает окисляться только после практически полного окисления железа. Предложенный термин «железомарганцевые бактерии» признания не получил.

3. 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). Отсутствие растворенных форм этих металлов не только ингибирует рост бактерий, но и вызывает лизис клеток. Железобактерии могут использовать устойчивые к химическому окислению комплексорганические соединения железа с накоплением их окислов в капсулах клеток независимо от образования перекиси водорода, хотя ее присутствие ускоряет процесс окисления закисного железа.

Железобактерии могут развиваться при низких концентрациях закисного железа или марганца. Коэффициент накопления удаляемых металлов достигает 106-107, что на 2 – 4 порядка выше значений для известных активных химических сорбентов.

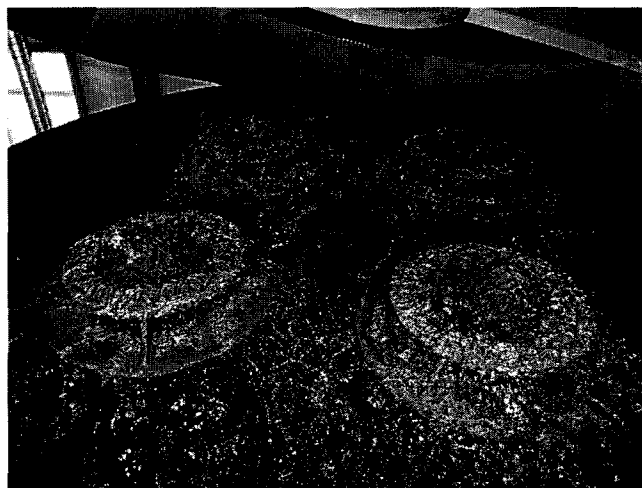
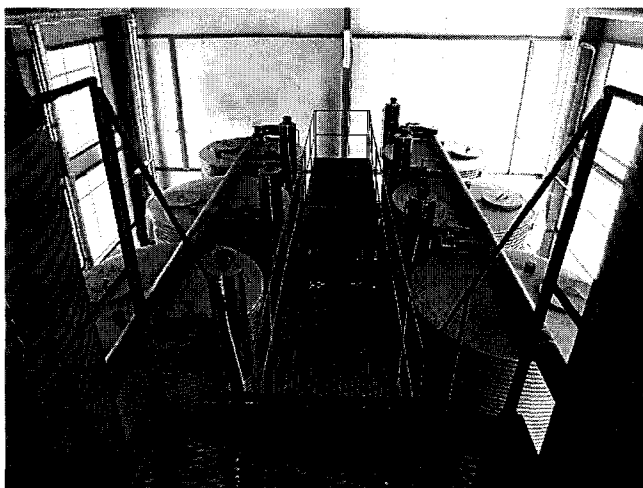
Развитие подавляющего большинства железобактерий не зависит от абсолютной концентрации растворенного кислорода и может интенсивно происходить как при высоком, так и минимальном его содержании.

Активная реакция воды не оказывает существенного влияния на развитие железобакте-



# ВОДЯНОЙ

# С умом и сердцем...



а)

б)

Рис. 1 Общий вид безнапорной станции обезжелезивания (а) и системы аэрации биореактора (б)

рий в широком диапазоне pH (от слабокислой до слабощелочной). Предпочтительное развитие *Siderocapsa=Arthrobacter* при pH 7,5-8,5 обусловлено их способностью окислять комплексорганические соединения железа, в виде которых оно может находиться в щелочной среде.

Большинство железобактерий относится к типичным психрофилам, т.е. предпочитают низкую температуру с оптимумом 4-8°C. Отмечается их активный рост при таянии снега весной при 1-3°C.

Железобактерии способны окислять и концентрировать железо и марганец при условиях, когда их химическое окисление исключается. Скорость биологических процессов окисления железа и, особенно, марганца, во много раз превышает химическое окисление.

С.Н. Виноградский является одним из первых последователей, который еще в 1887 году открыл уникальную способность серобактерий окислять сероводород с накоплением элементарной серы внутри клеток. С точки зрения очистки сероводородсодержащих вод наибольший интерес вызывают бесцветные и тионовые серобактерии. Фототрофные (зеленые, пурпурные и другие окрашенные бактерии), участвуя в процессах фотосинтеза, развиваются только на свету, что в условиях большинства сооружений водоподготовки практически исключается.

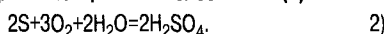
Бесцветные и тионовые бактерии, в отличие от сульфатредуцирующих, являются аэробами и развиваются только в присутствии растворенного в воде кислорода и сероводорода.

Исследуя бесцветные нитчатые серобактерии родов *Veggiatella* *Thiothrix*, С.Н. Виноградским было установлено, что сероводород окисляется в две стадии [1]:

- в первой стадии сероводород окисляется до элементарной серы, которая в виде глобул накапливается внутри бактериальных клеток:



- во второй стадии, при недостатке сероводорода, серобактерии начинают окислять внутриклеточную серу до серной кислоты:



В настоящее время известно около 50 видов бесцветных серобактерий, принадлежащих к 8 видам, но изучены они слабо. В одну группу они объединены на основании одного признака – способности к окислению сероводорода с накоплением элементарной серы внутри клеток. Это обстоятельство, с учетом стадийности процесса, является важнейшим при разработке технологии биохимической очистки сероводородсодержащих вод, т.к. этот процесс может обеспечить окисление сероводорода без применения химических окислителей и образования трудноудаляемой коллоидной серы. А реакция второй стадии процесса позволяет окончательно нейтрализовать токсичные сероводород и сульфиды, переводя их в безвредные сульфаты.

Механизм окисления бактериями различных соединений серы весьма сложен и далеко не все реакции выяснены до конца. В последние годы появляется все больше сведений в пользу перекисного механизма окисления сероводорода серобактериями, аналогичного железобактериям [9, 10]

Анализ фундаментальных исследований серобактерий, опыт их использования в технологиях биохимической очистки подземных вод от сероводорода и результаты проведенных полномасштабных лабораторных и полупромышленных пилотных испытаний позволили разработать новую двухступенчатую технологию, реализующую в полной мере установленный С.Н. Виноградским двухступенчатый процесс полного окисления сероводорода бесцветными нитчатыми серобактериями. Эта технология позволяет решить две основные проблемы, которые выявились при реализации биотехнологий: исключить образование трудноудаляемой коллоидной серы и обеспечить снижение концентрации сероводорода до нормативных требований (ниже 0,003 мг/л) без применения химических реагентов. [14, 17, 19].

В Беларуси биологические методы начали исследоваться и применяться более четверти века тому назад. Одна из первых крупных станций обезжелезивания производительностью

более 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут., в которой реализован биологический метод, была введена в эксплуатацию в г. Новополоцке в 1991 г. [16]. Основной вклад в разработку, производство и внедрение в практику водоподготовки биотехнологий внесли специалисты компании «Полимерконструкция». Ее заводом водочистного оборудования разработано, изготовлено и введено в эксплуатацию более 600 станций, в том числе более 100 в России. В них реализованы различные технологические и конструктивные схемы в зависимости от состава и свойств подземных вод, производительности и местных условий. Это станции напорного и безнапорного типа; с традиционной тяжелой (песчаной) и плавающей загрузкой; одно- и двухступенчатые; в полимерном и металлическом исполнении; контейнерные и в зданиях из ЛМК; производительностью от нескольких сотен до 75 тысяч м<sup>3</sup> в сутки; с учетом работы на водонапорную башню, РЧВ или непосредственно на водоразборную сеть.

Все эти станции, независимо от того, что в них удаляется (железо, марганец, сероводород, аммиак или их сочетания) объединяет одно – использование биологического метода удаления этих веществ. Среди них можно выделить следующие основные технологические и конструктивные схемы таких станций.

## СТАНЦИИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ. БЕЗНАПОРНЫЕ СТАНЦИИ С ТЯЖЕЛОЙ ЗАГРУЗКОЙ

Железобактерии в процессе своего развития образуют на поверхности зерен фильтрующего материала бактериальную пленку. Она может развиваться как в толще загрузки, например, щебеночной, так и преимущественно на ее поверхности при использовании песка. В последнем случае возникает «феномен роста загрузки» характеризующейся увеличением толщины слоя фильтрующего материала. Он проявляется при длительной эксплуатации фильтра за счет роста биомассы железобактерий на поверхности гранул загрузки и зародышевых зернах переизмельченного фильтрующего



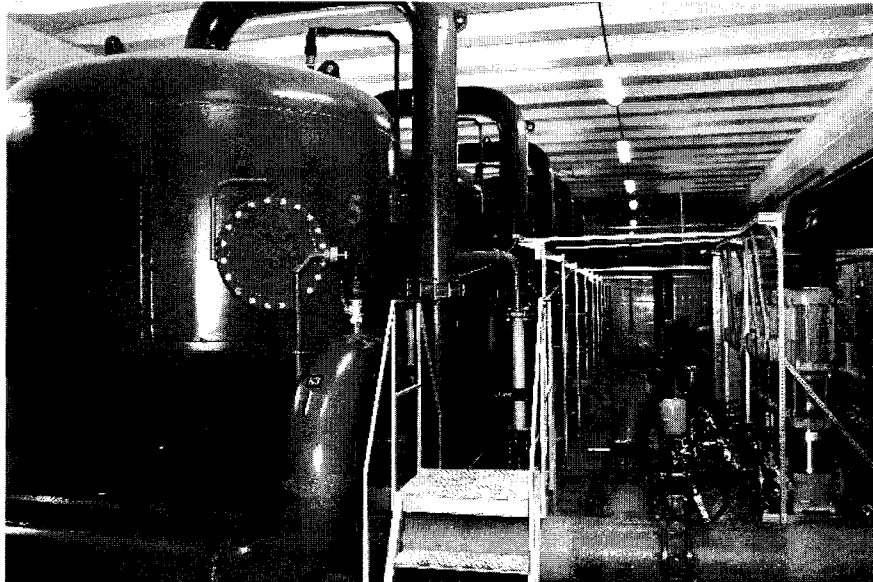


Рис. 2. Общий вид напорной станции

щего материала. При этом образуются достаточно прочные гранулы с плотностью, меньше плотности песка, которые представляют собой гранулированный слой биологически активной загрузки (БАЗ). При достаточной толщине весь процесс изъятия железа может завершаться в этом слое, а фильтрующий материал при этом выполняет функцию поддерживающего слоя [16, 18]

Конструктивно такая технология может реализовываться в традиционных открытых фильтрах из железобетона, металла или полимерных материалов. Особое внимание при этом следует обращать на кислородный режим процесса и промывку фильтрующего материала.

Такие технологии рекомендуются использовать при относительно простом составе воды. Их легко реализовать путем реконструкции действующих станций обезжелезивания, работающих по методу упрощенной аэрации. [16, 18].

#### Безнапорные станции с плавающей загрузкой.

Такие станции могут быть одно- и двухступенчатые. Первые включают приемную камеру и фильтры с плавающей загрузкой. Они рекомендуются при относительно не сложном составе обрабатываемой воды, но требующей усиления аэрационно-дегазационных процессов.

Двухступенчатая схема состоит из нескольких блоков, включающих биореактор и три-четыре самопромывающихся фильтров с плавающей загрузкой, выполняющих функцию биофильтров. Она рекомендуется при сложном составе подземных вод (низкое значение pH, высокая окисляемость, наличие аммония, высокое содержание железа,  $CO_2$ , и др.). На первой ступени обеспечивается интенсивная управляемая аэрация и дегазация поступающей воды, развитие биопленки на поверхности полимерной загрузки и биологическое окисление и удаление основной массы железа. На второй ступени происходит доокисление двухвалентного железа и удаление выносимых из

биореактора продуктов биоокисления [14, 15] (рис. 1).

Все корпусные элементы, загрузка и коммуникации станций такого типа выполняются из полимерных конструкционных материалов с отдельными элементами из нержавеющей стали. Отсутствие промежуточных перекачек, промывных насосов, химических реагентов и полная автоматизация технологических процессов обеспечивают уникально низкое удельное энергопотребление ( $0,005 - 0,01 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ ) и минимальные эксплуатационные затраты. Объем промывных вод не превышает 1-1,2% от объема очищаемой воды.

#### Напорные станции

По технологическому принципу работы такие станции не отличаются от безнапорных (см. п. 1.1). Фильтры изготавливаются из металла с усиленным антикоррозионным покрытием. В качестве загрузки (поддерживающего слоя) используется кварцевый песок. Для быстрого ввода станции в эксплуатацию используется добавка БАЗ из фильтров других станций.

Отличительной особенностью данного типа станций является оригинальная система эжекторной аэрации, обеспечивающая стабильное соотношение вода-воздух и равномерное распределение воды по всем фильтрам независимо от гидравлического сопротивления загрузки [20]. Выравнивание и стабилизация скорости фильтрования и концентрации растворенного кислорода наряду с другими оригинальными конструктивными решениями повышают эффективность удаления железа, увеличивают фильтроцикл и снижают расход промывной воды.

#### Контейнерные станции

В станциях этого типа сохранены все положительные технологические и конструктивные решения напорных станций (см. п. 1.3). Отличительной их особенностью являются компоновочные решения, позволяющие производить и поставлять станции обезжелезивания полной заводской готовности в одиночных или спаренных транспортируемых контейнерах.

В зависимости от существующей или проектируемой схемы водозабора контейнерные станции выпускаются трех модификаций:

- работа на водонапорную башню (промывка фильтров из башни);
- работа на резервуары чистой воды (комплектуется резервуарами запаса промывной воды и промывными насосами);
- работа непосредственно на водопроводную сеть (комплектуется встроенным или выносным РЧВ, промывными насосами и насосной станцией 2-го подъема с частотным регулированием давления в сети).

Работа станции полностью автоматизирована. При необходимости в схему автоматики включается скважина, РЧВ или водонапорная башня, обеспечивая автоматизацию и диспетчеризацию всего комплекса водозаборного узла.

Несомненным достоинством контейнерных станций являются высокое качество изготовления и монтажа, контролируемые в заводских условиях, сокращение сроков ввода объекта в эксплуатацию, минимизация подготовительных, строительных и монтажных работ.

## СТАНЦИИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА И (ИЛИ) МАРГАНЦА

В большинстве подземных вод марганец встречается как элемент, сопутствующий наличию железа. Его концентрация обычно ниже концентрации железа, но может превышать допустимые нормы в 5, 10 и более раз. В отличие от железа двухвалентный марганец устойчив к химическому окислению кислородом при  $pH < 8,5$ . Но подавляющее число железобактерий способно окислять и марганец [1, 6-8, 10, 13-15]. В основе этих процессов лежит перекисный механизм, который объясняет возможность биологического окисления марганца при pH близкой к нейтральной, соответствующей большинству подземных вод.

В связи с особенностями механизмов биологического окисления железа и марганца при их совместном присутствии их удаление происходит последовательно. Окисление марганца не может начаться, пока не закончится окисление железа. Поэтому в большинстве случаев рекомендуется двухступенчатые схемы удаления этих соединений [6, 13].

Нашими исследованиями и опытом эксплуатации эти положения полностью подтвердились. Но при определенных условиях и соотношении концентраций железо/марганец возможно обеспечить удаление этих соединений в одном сооружении.

В связи с тем, что окисление железа и марганца осуществляется одними и теми же видами микроорганизмов, то для их удаления используются технологические и конструктивные схемы, аналогичные удалению железа. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что если период выхода на рабочий режим станции обезжелезивания составляет от одно-



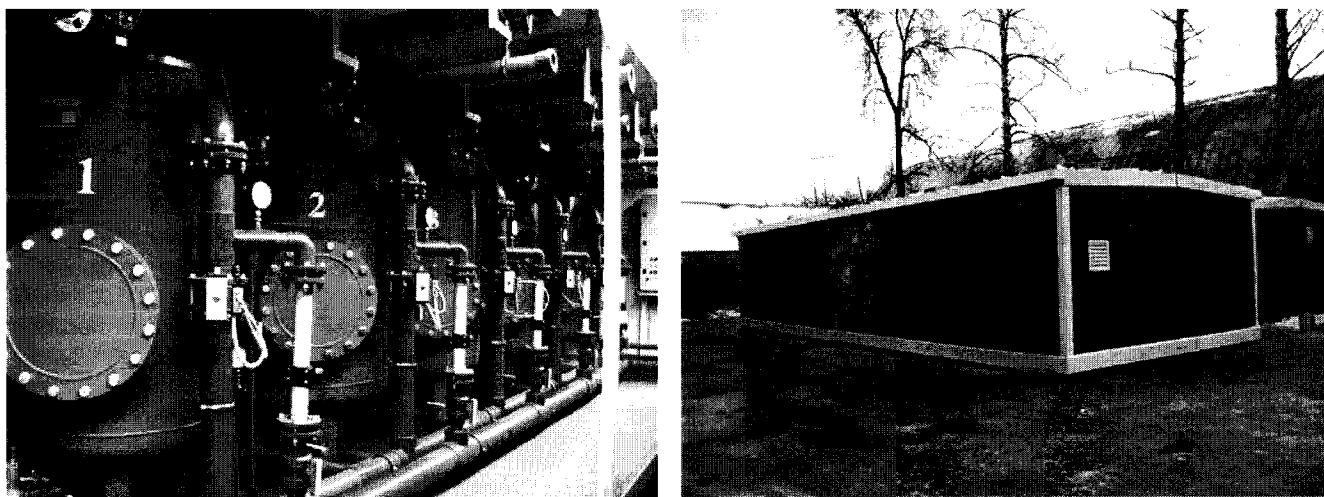


Рис. 3. Общий вид контейнерных станций обезжелезивания

го до 10 дней, то для достаточного развития марганцеоксилирующих бактерий может потребоваться от одного до шести месяцев. Можно сократить этот срок, используя фильтрующую загрузку, заселенную такими бактериями с других подобных станций. Весьма важным условием эффективного удаления как железа так и особенно марганца, является предварительная азрационно-дегазационная подготовка воды, существенно повышающая рН и окислительно-восстановительный потенциал [15].

### ОДНОСТУПЕНЧАТАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

Такая схема может применяется при относительно при относительно небольших концентрациях железа и марганца, нейтральной либо слабощелочной реакцией рН, низких значениях  $CO_2$ , отсутствии сероводорода и других мешающих веществ.

В основу этой технологии положен процесс последовательного развития железоз- и марганцеоксилирующих бактерий на поверхности зерен фильтрующей загрузки по направлению прохождения очищаемой воды. При этом скорость фильтрования должна быть такой, чтобы при фильтровании сверху-вниз в верхней зоне начинался и заканчивался процесс окисления железа, а в нижней – марганца.

Эта технологическая схема может реализовываться в фильтрах с тяжелой (песчаной) загрузкой как в напорном, так и безнапорном вариантах, при выполнении указанных выше условий. На рисунке 4 приведены фотографии зерен фильтрующей загрузки из напорного фильтра, эффективно удаляющего железо и марганец при использовании одноступенчатой схемы. Эти зерна имеют характерный цвет окислов железа и марганца.

### ДУХУСТУПЕНЧАТАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

При сложном составе подземных вод с низким значением рН, повышенном содержанием

$CO_2$ , и других растворенных газов и соединений, совместное удаление железа и марганца в одну ступень невозможно. Одной из важнейших операций при этом является предварительная азрационно-дегазационная подготовка воды, которую практически невозможно реализовать в напорных схемах. Поэтому нами рекомендуется безнапорная двухступенчатая технологическая схема очистки таких подземных вод.

Двухступенчатая схема включает биореактор и фильтры с плавающей загрузкой, конструктивно похожие на схему 1.2, но принципиально отличающуюся технологически [15].

Биореактор технологически разделен на три зоны: верхняя, со специальной орошаемой загрузкой и искусственной вентиляцией; средняя, представляющая затопленный биофильтр; нижняя зона отстаивания. В верхней зоне биореактора обеспечиваются усиленная азрация и дегазация, позволяющие существенно повысить рН и Eh, определяющие скорости последующих биологических процессов. В средней зоне происходит практически полное окисление железа, а в отстойной зоне задерживается не менее 60-70% продуктов его окисления. Таким образом, снижается нагрузка по железу на вторую ступень и создаются условия для развития марганцеоксилирующих бактерий.

На гранулах загрузки фильтров 2-й ступени образуется биопленка, обеспечивающая изъятие и окисление двухвалентного марганца.

Схемой предусмотрены автоматические промывки биореакторов и фильтров с учетом особенностей регенерации как загрузки биореакторов, так и фильтрующей загрузки фильтров. Для первых используется водо-воздушная промывка поступающей исходной водой, для вторых – очищенной из надфильтрового пространства без применения промывных насосов.

Такая схема обеспечивает минимальные эксплуатационные затраты. Удельный расход электроэнергии не превышает 0,015-0,02 кВт\*ч/м<sup>2</sup>. Концентрации железа и марганца при соответствующих режимах снижаются до значений, значительно ниже нормативных (марганец до следовых значений).

На рисунке 5 приведена фотография загрузки биореакторов (слева) и фильтров (справа), имеющих соответственно характерный цвет и подтверждающих ступенчатость окисления железа и марганца.

### СТАНЦИИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ СЕРОВОДОРОДА

Основываясь на фундаментальных исследованиях С.Н. Виноградского и других микробиологов [1, 9, 10], установивших механизм и стадийность окисления сероводорода серобактериями, становится очевидным, что эффективное его удаление в одну ступень невозможно.

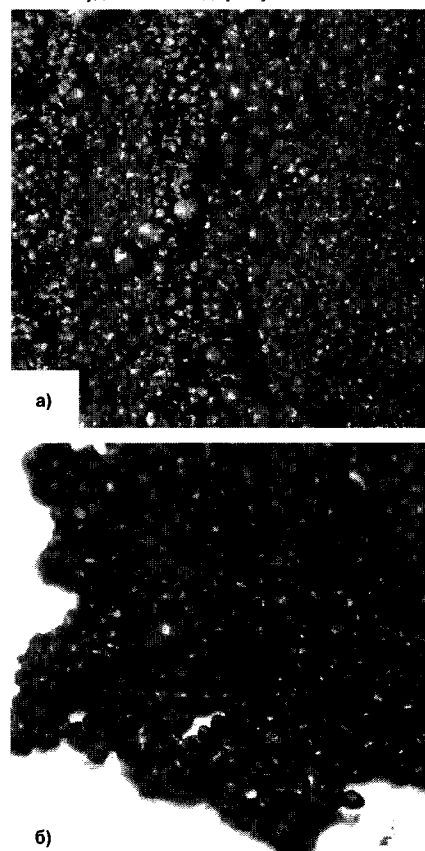


Рис. 4. Зерна фильтрующей загрузки, покрытые продуктами биоокисления железа а) и марганца б)



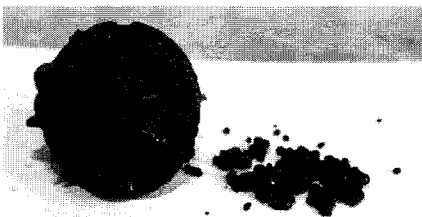


Рис. 5. Элемент загрузки биореактора (слева) и зерна загрузки фильтра (справа)

Это явилось одной из основных причин того, что биореакторы, предложенные В.Д. Плешаковым и Г.Ю. Ассом [3, 5], хотя и обеспечивают удаление более 90% сероводорода, но остаточные его концентрации на порядок и более превышают установленные нормы (0,003 мг/л). Это, а также образование коллоидной серы, вызывает необходимость применения дополнительных методов физико-химической доочистки.

В основу предлагаемой технологии положена двухступенчатая технологическая схема окисления сероводорода серобактериями. На первой ступени обеспечивается окисление сероводорода до элементарной серы с ее накоплением внутри бактериальных клеток (стадия 1), на второй – окисление внутриклеточной серы до серной кислоты (стадия 2) [14, 17, 19].

Конструктивно первая ступень представляет собой биореактор с затопленной полимерной загрузкой, имеющей удельную поверхность не менее  $180 \text{ м}^2/\text{м}^3$  и высоту не менее 2,0 м, а на второй ступени используется фильтриосорбент с неоднородной полимерной загрузкой высотой 1,0-1,5 м.

Основными условиями эффективного удаления сероводорода по этой технологии является регулируемая низкоинтенсивная аэрация, обеспечивающая достаточные аэробные условия протекания биологических процессов, оптимальные нагрузки по ступеням очистки и создание дефицита сероводорода (питания серобактерий) на второй стадии процесса.

Полномасштабные лабораторные и пилотные исследования в производственных условиях показали, что эта технология обеспечивает снижение концентрации сероводорода до нормативных для питьевой воды значений без применения химических реагентов, предотвращает образование коллоидной серы в обрабатываемой воде и существенно снижает выброс сероводорода в атмосферу.

Очевидно, что идеальных и универсальных методов и технологий не бывает. Каждая из них обладает своими преимуществами, недостатками и областью наиболее эффективного применения. Причем, многие недостатки, впрочем, и преимущества, не очевидны и выявляются только в процессе длительной эксплуатации.

Опыт показывает, что в связи с тем, что состав и свойства подземных вод различных водозаборов индивидуальны, разработка тех-

нологической схемы и конструктивные особенности сооружений для каждого объекта также индивидуальны. Их оптимизация возможна только на основании специальных технологических изысканий. Для этого разработана специальная программа и оборудование для предпроектных лабораторных, полупроизводственных и пилотных изысканий непосредственно на водоемочнике водоснабжения. На рисунке 6 изображены контейнер с полномасштабным набором пилотных установок и передвижная технологическая лаборатория.

Предложенные выше технологии в своем большинстве прошли длительную апробацию в производственных условиях и постоянно совершенствуются как технологически, так и конструктивно. Длительный опыт их эксплуатации позволил разработать приемы и методы диагностики отдельных технологических процессов и показателей, ряд из них автоматизировать, а результаты использовать для планирования и проведения периодического технического обслуживания оборудования станций. Вопреки устоявшемуся мнению такое обслуживание необходимо даже при полной автоматизации и диспетчеризации работы станции. Ведь без периодического, регулярного ТО и Mercedes со временем превратится в телегу.

Возможность удаленного мониторинга состояния оборудования, эффективности его работы и изменения основных технологических параметров позволяют компании «Полимерконструкция» предложить Заказчику уникальные условия по обслуживанию поставленных станций водоподготовки по принципу «АКВАКАСКО». При этом компания принимает на себя обязательства полного послегарантийного технического обслуживания, регламентного ремонта и выполнения других оговоренных договором работ на согласованные сроки эксплуатации.

В конкурсе «Лучшие товары Республики Беларусь на рынке Российской Федерации» 2015 года в номинации «Продукция производственно-технического назначения», предлагаемые станции водоподготовки производства УП «Полимерконструкция» признаны победителями.

Накопленный в Беларуси опыт исследований, разработки и реализации биохимических технологий очистки подземных вод, позволяют успешно решать задачи очистки сложных многокомпонентных вод с минимальными капитальными и эксплуатационными затратами. Оптимальное конструктивное оформление технологических процессов, заводское изготовление оборудования и полная автоматизация гарантируют высокую надежность и эффективность работы станций водоподготовки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградский С.Н. Микробиология почвы: проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 792 с.

2. Николадзе Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. – М.: Стройиздат, 1978. – 160 с.

3. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. – М., Стройиздат, 1975. – 175 с.

4. Станквичус В.И. Обезжелезивание воды фильтрованием (основы теории и расчет установок). – Вильнюс: «Мокслас», 1978. – 120 с.

5. Линевиц С.Н. Комплексная обработка и рациональное использование сероводородсодержащих природных и сточных вод. – М.: Стройиздат, 1987г. 87 с.

6. Degremont. Технический справочник по обработке воды. В 2 т.– СПб.: Новый журнал. 2007г.

7. Холодный Н.Г. Железобактерии. – М.: Изд-во АН СССР, – 224 с.

8. Горленко В.М., Дубинина Г.А., Кузнецов С.И. Экология водных микроорганизмов. – М.: Наука, 1977. – 288 с.

9. Дубинина Г.А. Бесцветные серобактерии // Хемосинтез: к 100-летию открытия С.Н. Виноградским. – М.: Наука, 1989.

10. Терентьев В.И. Павловец Н.М. Биотехнология очистки воды: в 2-х ч. Ч.1. – СПб.: Гуманистика, 2003. – 272 с.

11. Менча М.Н. Железобактерии в системах питьевого водоснабжения из подземных источников // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006, №7. – С. 25-32.

12. Седлухо Ю.П., Лемеш М.Н. Роль биологических процессов в технологиях очистки подземных вод // Вестник БНТУ – 2008, №1. – С. 5-9.

13. Журба М.Г. и др. Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006, №9. – С. 17-23.

14. Седлухо Ю.П. и др. Очистки сложных многокомпонентных вод биохимическими методами // Вода Magazine – 2014, №6(82).

15. Седлухо Ю.П. Влияние аэрационно-дегазационных процессов на свойства подземных вод и технологии их биологического обезжелезивания и деманганации // Вода. – 2012, №7-8(181).

16. Седлуха С.П., Софинская О.С. Биологический метод очистки подземных вод от железа // Вода и экология: проблемы и решения. – 2001. №1 – С. 13-21.

17. Седлухо Ю.П., Станкевич Ю.О. Особенности микробиологического окисления сероводорода при очистке подземных вод // Вода: химия и экология. – 2014, №4

18. Седлуха С.П. Способ обезжелезивания подземных вод // Патент ВУ 1416 от 1996.

19. Седлухо Ю.П., Иванов С.А. Двухступенчатый способ очистки подземных вод от сероводорода и устройство для его осуществления // Роспатент. Решение о выдаче патента на изобретение по заявке №2014101506/05(002135) от 17.01.2014.

20. Седлуха С.П., Иванов С.А. Установка для обезжелезивания подземной воды // Патент ВУ 10695 от 2008.



ВОДЯНОЙ

С умом и сердцем...