

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА

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.

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 «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 [2].

Для разработки биохимических технологий водоподготовки не так важны проблемы систематики, морфологии и чисто микробиологические тонкости отдельных микроорганизмов. 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 физико-химической природы [3-5].

В основе биологических процессов окисления сорбированного железа и марганца лежит перекисный механизм. Он представляет собой реакции между продуктом метаболизма H_2O_2 и переменновалентными 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 эти металлов. В среде их окисленных форм железо бактерии не развиваются

Физикохимические процессы, в основе которых лежит процесс сорбции, включают 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 желе за 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).

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).

4. Железобактерии могут развиваться при низких концентрациях закисного железа или марганца. Коэффициент накопления удаляемых металлов достигает 10^6 – 10^7 , что на 24 порядка выше значений для известных активных химических сорбентов.

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

6. Активная реакция воды не оказывает существенного влияния на развитие железобактерий в широком диапазоне рН (от слабокислой до слабощелочной).

7. Большинство железобактерий относится к типичным психрофилам, т.е. предпочитают низкую температуру 4–8°C.

8. 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.

В Беларуси биологические методы начали исследоваться и применяться более четверти века тому назад. 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.

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 $\text{pH} < 8,5$. Но подавляющее число железобактерий способно окислять и марганец [1, 3–6].

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 [2].

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 одного до 10 дней, то для достаточного развития марганцеокисляющих бактерий может потребоваться от одного до шести месяцев. Весьма важным условием эффективного удаления как железа так и особенно марганца, является предварительная аэрационно-дегазационная подготовка воды, существенно повышающая рН и окислительно-восстановительный потенциал [4].

Одноступенчатая технологическая схема. Такая схема может применяться при относительно небольших концентрациях железа и марганца, нейтральной либо слабощелочной реакции рН, низких значениях CO_2 , отсутствием сероводорода и других мешающих веществ.

В основу этой технологии положен процесс последовательного развития железо и марганцеоксилирующих бактерий на поверхности зерен фильтрующей загрузки по направлению про хождения очищаемой воды.

Эта технологическая схема может реализоваться в фильтрах с тяжелой (песчаной) загрузкой как в напорном, так и безнапорном вариантах, при выполнении указанных выше условий. На рис. 1 приведены фотографии зерен фильтрующей загрузки из напорного фильтра, эффективно удаляющего железо и марганец при использовании одноступенчатой схемы.



Рис.1. Зерна фильтрующей загрузки, покрытые продуктами биоокисления железа и марганца

Двухступенчатая технологическая схема. При сложном составе подземных вод с низким значением рН, повышенном содержании 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 аэрационно-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. (рис. 2) 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 аэрация и дегазация, позволяющие существенно повысить рН и Eh. В средней зоне происходит практически полное окисление железа, а в отстойной зоне задерживается не менее 60-70% продуктов его окис-

ления. Таким образом, снижается нагрузка по железу на вторую ступень и создаются условия для развития марганцеоксилирующих бактерий



a



б

Рисунок 2. Общий вид безнапорной станции обезжелезивания (*a*) и системы аэрации биореактора

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

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. 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградский С.Н. Микробиология почвы: проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований. М.: Издво АН СССР, 1952. 792 с.
2. Degremont. Технический справочник по обработке воды. В 2 т. СПб.: Новый жур нал. 2007г.
3. Холодный Н.Г. Железобактерии. М.: Изд. АН СССР, 224 с.
4. Седлухо Ю.П. и др. Очистки сложных многокомпонентных вод биохимическими методами // Вода Magazine 2014, №6(82).
5. Седлуха С.П., Софинская О.С. Биологический метод очистки подземных вод от железа // Вода и экология: проблемы и решения. 2001. №1 С. 1321.
6. Седлуха С.П. Способ обезжелезивания подземных вод // Патент ВУ 1416 от 1996.