

УДК 504.45.058

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА

О.А. Полуляхов,  
Е.Н. Гончарова

Глобальной проблемой последних десятилетий является качество и доступность питьевой воды. Запасы качественной пресной воды во всем мире уменьшаются, тогда как численность населения и, соответственно, потребление воды неуклонно растут, кроме того продолжается антропогенное загрязнение водных ресурсов. Мировые запасы воды составляют в основном соленые воды – 97,5 %, и лишь 2,5 % – это запасы пресной воды, из которых только 0,3% легкодоступны для человека, так как остальные запасы сосредоточены во льдах и глубоко под землей [1]. Основным источником питьевой воды в Белгородской области являются подземные воды. По данным Центра государственного мониторинга недр (ЦГМН), на территории РФ распространены различные гидрогеохимические провинции, где наблюдается природное несоответствие качества подземных вод их нормируемым показателям. Это связано со спецификой геохимического состава водовмещающих пород.

Химический состав подземных вод имеет ряд региональных особенностей, для Белгородской области (регион КМА) есть повышенное содержание железа и солей жесткости. В России проблема нехватки воды стоит не так остро, как во многих других странах, несмотря на это, повсеместно возникают сложности с ее качеством [2].

Вода с повышенным содержанием железа оказывает негативное воздействие на здоровье и может вызвать заболевания или привести к обострению хронических заболеваний (дерматитов, аллергических реакций, заболеваний печени, почек и др.). Кроме того считается, что превышение ПДК железа в воде способствует увеличению риска инфарктов и повреждения тканей при инсультах, влияют на репродуктивные функции, имеются сведения, что в присутствии кислорода железо проявляет канцерогенные свойства. Повышенное содержание железа в воде вызывает износ и поломку бытовых приборов, сантехники, окрашивание белья во время стирки, биообразование водопроводных труб и развитие коррозии, засоры в коммуникациях (фильтры). Обезжелезивание воды является одним из наиболее актуальных направлений области водоочистки [3].

В природных водах встречаются различные формы содержания железа со степенью окисления +2 и +3. Это могут быть неорганические и органические соединения, которые находятся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях [1-3].

Большинство подземных водных источников не соответствуют санитарным нормам и требуют дополнительной очистки воды перед ее использованием в питьевых целях. Как правило, на станциях водоподготовки

поверхностные воды проходят стандартную очистку, которая включает: отстаивание, фильтрование, обеззараживание и некоторые дополнительные процессы, в зависимости от состава воды в конкретном регионе. Однако зачастую загрязнение подземных вод вызвано не только хозяйственной деятельностью, но и естественными, природными факторами формирования их состава. Состояние водоснабжения в Белгородской области все еще требует решения проблем, связанных с недостаточной очисткой воды источников от соединений железа.

Цель данной работы состояла в апробировании методики биологической очистки вод от соединений железа.

В соответствии с методикой получения культур бактерий на элективных питательных средах была приготовлена среда 9К, после чего методом последовательного пересева в стерильную питательную среду была получена накопительная культура железобактерий [4]. При микроскопическом исследовании обнаружено, что культура железобактерий представлена однотипными по морфологическому строению бактериями: короткими палочками размером 2x3 мкм, которые на ранних этапах развития подвижны. После этого определили тип питания - хемоорганотрофные бактерии. Исходя из опыта и наших наблюдений, сделали вывод, что наблюдается рост железобактерий относящийся к группе микроорганизмов, способных экстрагировать растворённые соединения железа, но не используют энергию, выделившуюся при окислении двухвалентного железа. Данная группа бактерий в окружающей среде наиболее представительна. В неё входят такие микроорганизмы, как *Leptotrix pseudoochraceae*, *Galionella*, *Siderocapsaceae* и др., большинство которых относится к гетеротрофам, т.е. для их развития требуются органические вещества.

Культуру железобактерий выращивали на жидкой питательной среде Сильвермана. Инокулировали выделенные железобактерии в питательную среду и проводили подсчет в соответствии с методикой Виноградского – Брида [4]. Полученная кривая роста железобактерий приведена на рис. 1.

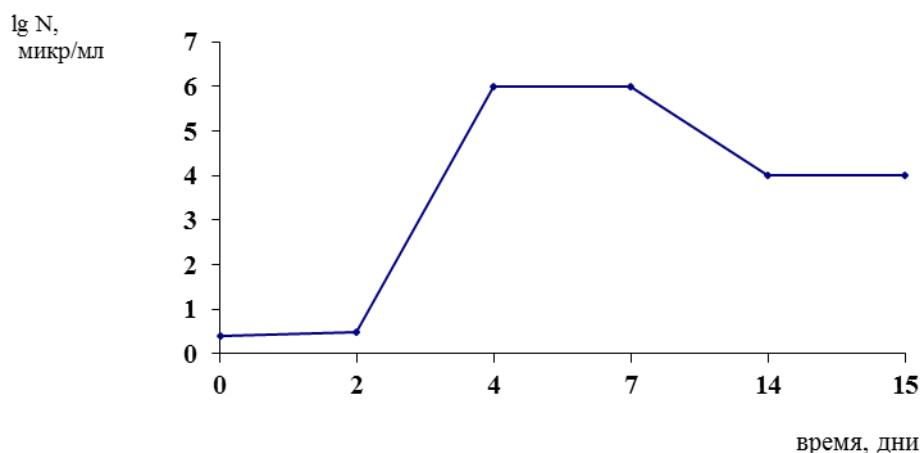


Рис.1. Кинетика роста железобактерий

На кривой можно выделить лаг-фазу (адаптации) – начальную фазу развития, которая характеризуется приспособлением бактерий к окружающей среде, длилась 2 дня.

Далее бактерии интенсивно развивались – экспоненциальная фаза роста – ее продолжительность два дня. Затем стационарная фаза (три дня) – в течение некоторого времени количество бактерий оставалось на прежнем уровне. Четвертая фаза - фаза отмирания, количество бактерий уменьшалось до  $10^4$  микр/мл.

Следующим этапом работы была адаптация и мобилизация бактерий на различных носителях. В качестве предполагаемой загрузки в биофильтрах были использованы песок, керамзит, отходы полиэтилена (листовые) и полипропилена (в виде колец диаметром 4-5 мм, высотой 5-6 мм). Выше перечисленные загрузки фильтра помещались в питательную среду вместе с бактериями. Затем загрузка переносилась в питательную стерильную среду, но бактерий уже не добавляли. После нескольких недель адаптации железобактерий к загрузкам фильтров, их количество определяли методом прямого счета микроорганизмов в камере Горяева-Тома. Результаты эксперимента по определению количества микроорганизмов на загрузках фильтров приведены на рис.2.

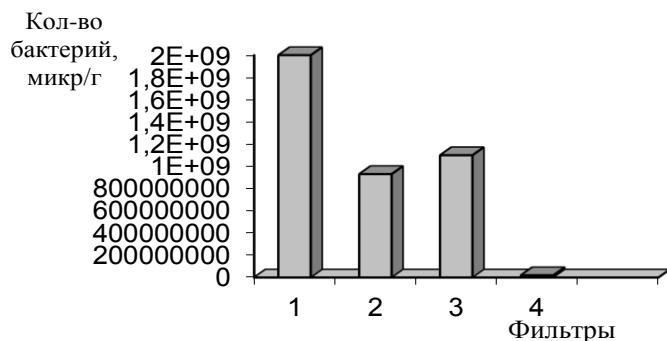


Рис.2. Зависимость количества бактерий в каждом фильтре через 14 дней после начала адаптации:  
 1 – песок; 2 – отходы полиэтилена; 3 – керамзит; 4 – отходы полипропилена

В результате установлено, что максимальное общее количество бактерий содержалось на песке, затем - на керамзите, отходах полиэтилена и отходах полипропилена в виде колец. Минимальное количество зафиксировано на отходах пропилена, что, по-видимому, связано с неразвитой поверхностью структурой данной загрузки. У других видов загрузок фильтра поверхность, на которой могут закрепиться микроорганизмы существенно выше.

В ходе микроскопического анализа установлено, что не все бактерии имели палочковидную форму, обнаружили, что бактерии на фильтрах весьма разнообразны по морфологическому строению (шаровидная, нитчатая и др.).

Далее исследовали бактерии, которые выросли на загрузках в виде песка и керамзита на принадлежность к определенному типу питания. Гетеротрофные бактерии учитывали на мясо-пептонном агаре (МПА), с этой целью высевали 1 мл суспензии бактерий на мясо-пептонный агар, через трое суток подсчитывали количество колоний в чашках Петри. Результаты приведены в табл.1.

Таблица 1

№ п/п	Загрузка	Количество бактерий, микр/г	Процент железобактерий от общего количество, %
1	песок	$4,7 \cdot 10^6$	40
2	керамзит	$50,2 \cdot 10^4$	25

Табл. 1. Определение общего количества бактерий на загрузочном материале биофильтра

Таким образом, на фильтре с загрузкой в виде песка концентрация железобактерий от общего количества бактерий выше, чем на фильтре с загрузкой керамзита, следовательно в первом случае железобактерии развиваются лучше и эффективность очистки воды от железа будет выше.

Растворы с концентрацией  $Fe_{общ}$  10 мг/л, 20 мг/л в течении 6 часов находились в цилиндрах с песком и керамзитом. Концентрацию железа определяли в соответствии с методикой 2.5. Результаты представлены в табл.2.

Таблица 2

Вид загрузки	Начальная концентрация $Fe^{2+}$ , мг/л	Остаточная концентраци я, $Fe^{2+}$ , мг/л	Эффектив ность очистки, %
керамзит	10	10	0
	20	20	0
песок	10	9,5	5
	20	19,5	2,5

Табл. 2. Результаты очистки воды, содержащей железо фильтрами, не обогащенными железобактериями

Как следует из результатов, эти фильтры не очищают воду от растворенного в ней железа.

Следующим этапом работы было сравнение эффективности очистки биофильтров с различными носителями. Исследования проводились на растворах с различными концентрациями  $Fe^{2+}$  - от 10 мг/л до 20 г/л.

Результаты приведены в табл.3.

Таблица 3

Вид загрузки	Начальная концентрация $Fe^{2+}$ , мг/л	Остаточная концентрация, $Fe^{2+}$ , мг/л	Эффективность очистки, %
песок	10	9,5	5
	20	19,5	2,5
песок + бактерии	10	0,013	99,9
	20	0,028	99
керамзит	10	10	0
	20	20	0
керамзит+ бактерии	10	0,016	99,8
	20	0,036	99,8

Табл. 3. Результаты очистки воды от  $Fe^{2+}$  в результате биохимической очистки.

Как видно, из результатов эксперимента при 10 мг/л, эффективность очистки наиболее высокая – 99,9%. При 20 мг/л эффективность очистки немного меньше – 98 ÷ 99 %.

С нашей точки зрения исследованный метод очистки является экономически выгодным и может быть применен на практике, так как предлагаемые фильтры представляют собой отходы различных производств и к тому же достаточно дешевы.

#### Список литературы:

1. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод. -М.: Стройиздат, 1987. - 240 с.
2. Новиков В.К., Михайлова Э.М. Методы очистки природных вод от соединений марганца, железа и других загрязняющих веществ: Обзорная информация. - М.: Институт экономики ЖКХ АКХ им. К.Д. Памфилова, 1990. - 52 с.
3. Методы снижения концентрации солей в сточных водах горнорудных предприятий [Электронный источник] – URL<https://cyberleninka.ru/article/n/metody-snizheniya-kontsentratsii-sulfatov-v-stochnykh-vodah-gornorudnyh-predpriyatiy> (дата обращения 25.09.2019).
4. Практикум по микробиологии / Под ред. Н.С. Егорова. М.: МГУ, 1976.