

## СУЛЬФАТРЕДУЦИРУЮЩИЕ БАКТЕРИИ В ПРОЦЕССАХ БИОРЕКУЛЬТИВАЦИИ И ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

*Сайфиева Юлдуз Жамшировна*  
*Навоийский государственный*  
*горно-технологический*  
*университет, магистрант.*

### Аннотация

В данной работе исследованы процессы выделения и культивирования сульфатредуцирующих бактерий (SRB) из почвенных образцов и промышленных сточных вод АО «Навоиазот». Рассмотрены особенности роста микроорганизмов в анаэробных условиях на питательной среде 9К. Установлено, что в процессе культивирования наблюдаются характерные признаки активности SRB: потемнение среды, образование чёрного осадка и выделение сероводорода. Наиболее высокая активность бактерий отмечена в недезинфицированных почвах и промышленных сточных водах. Показано, что образование чёрного осадка связано с формированием сульфида железа в результате взаимодействия сероводорода с ионами металлов. Полученные результаты подтверждают перспективность использования сульфатредуцирующих бактерий для биорекультивации территорий, загрязнённых горнодобывающей промышленностью, а также для очистки промышленных сточных вод от соединений тяжёлых металлов и сульфатов.

**Ключевые слова:** Сульфатредуцирующие бактерии, биорекультивация, сточные воды, сероводород, анаэробные микроорганизмы, сульфид железа, микробиология, очистка окружающей среды.

### Введение

В настоящее время особое внимание уделяется разработке экологически безопасных технологий очистки окружающей среды и восстановления территорий, нарушенных деятельностью горнодобывающей промышленности. Одним из перспективных направлений является использование микроорганизмов, участвующих в биогеохимических циклах веществ. Среди них важное место занимают сульфатредуцирующие бактерии, способные восстанавливать сульфаты до сероводорода в анаэробных условиях.

Сульфатредуцирующие бактерии широко распространены в природных и техногенных объектах, включая почвы, донные отложения, болота, сточные

воды и промышленные отходы. Их деятельность играет значительную роль в круговороте серы, разложении органических веществ, процессах биокоррозии и изменении химического состава среды. Кроме того, данные микроорганизмы активно используются в биотехнологических процессах очистки сточных вод и детоксикации загрязнённых территорий.

Основными признаками активности сульфатредуцирующих бактерий являются образование чёрного осадка, потемнение среды и выделение сероводорода с характерным запахом тухлых яиц. Эти признаки позволяют проводить первичную оценку жизнедеятельности бактерий при культивировании.

Целью настоящего исследования являлось выделение и исследование активности сульфатредуцирующих бактерий, содержащихся в почве и промышленных сточных водах.

### **Материалы и методы исследования**

Объектами исследования служили почвенные образцы, отобранные в районе Зарафшан–Кенимех возле водоёма, а также промышленные сточные воды АО «Навоиазот». В работе использовали как дезинфицированную, так и не дезинфицированную почву.

Для культивирования бактерий применяли питательную среду 9К, содержащую натрий лактат,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{NaHCO}_3$ . Натрий лактат использовался в качестве источника углерода и энергии для развития микроорганизмов. Оптимальное значение рН среды составляло 6,8–7,5.

Культивирование проводили следующим образом: в 300 мл исследуемой воды вносили 10–20 мл культуры сульфатредуцирующих бактерий и питательную среду 9К. В отдельные варианты опыта добавляли образцы дезинфицированной и не дезинфицированной почвы. После внесения всех компонентов ёмкости герметично закрывали для создания анаэробных условий и помещали в термостат при температуре 30°C на несколько суток.

В ходе исследования использовались экспериментальные, микробиологические, гравиметрические и термические методы анализа. Контролировали изменение цвета среды, образование осадка, появление запаха сероводорода и уровень кислотности среды. После завершения культивирования осадок отделяли методом фильтрации, высушивали и подвергали прокаливанию для получения зольного остатка.

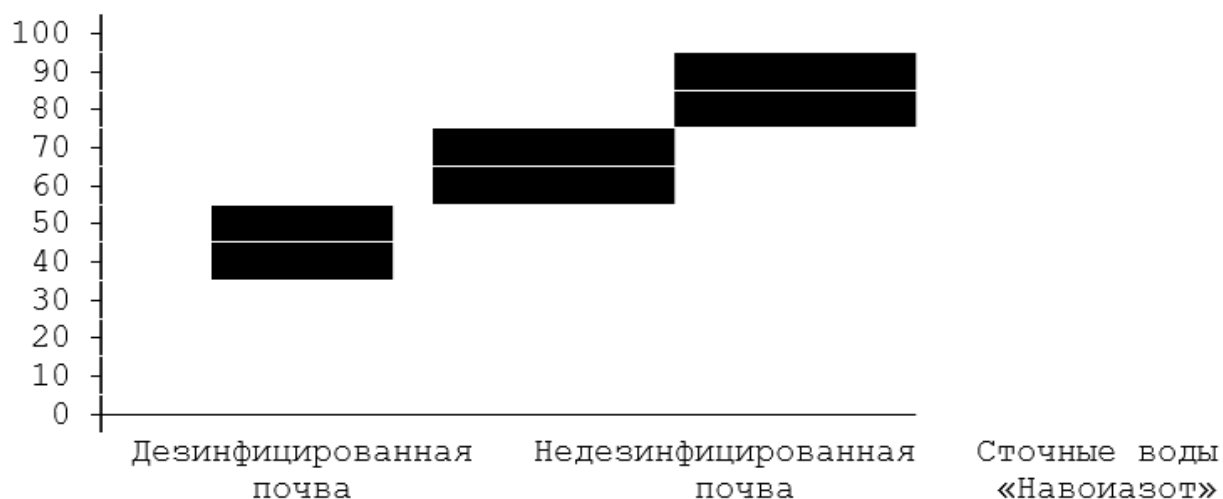
### **Результаты и обсуждение**

После нескольких суток культивирования при температуре 30°C наблюдались выраженные признаки активности сульфатредуцирующих бактерий. Раствор постепенно темнел, среда приобретала чёрный цвет,

образовывался плотный чёрный осадок и появлялся характерный запах сероводорода.

Почернение раствора связано с образованием сульфида железа (FeS), возникающего в результате взаимодействия сероводорода с ионами металлов. Данный процесс подтверждает активное восстановление сульфатов бактериями в анаэробных условиях.

Активность бактерий (%)



**Рис-1.** Диаграмма активности сульфатредуцирующих бактерий

Из диаграммы видно, что наиболее высокая активность сульфатредуцирующих бактерий наблюдалась в сточных водах АО «Навоиазот». Это связано с наличием значительного количества органических веществ и сульфатов, необходимых для развития бактерий. В недезинфицированной почве также отмечалась высокая микробиологическая активность благодаря сохранению естественной микрофлоры. В дезинфицированной почве активность была значительно ниже вследствие уменьшения количества микроорганизмов.

## Количество чёрного осадка

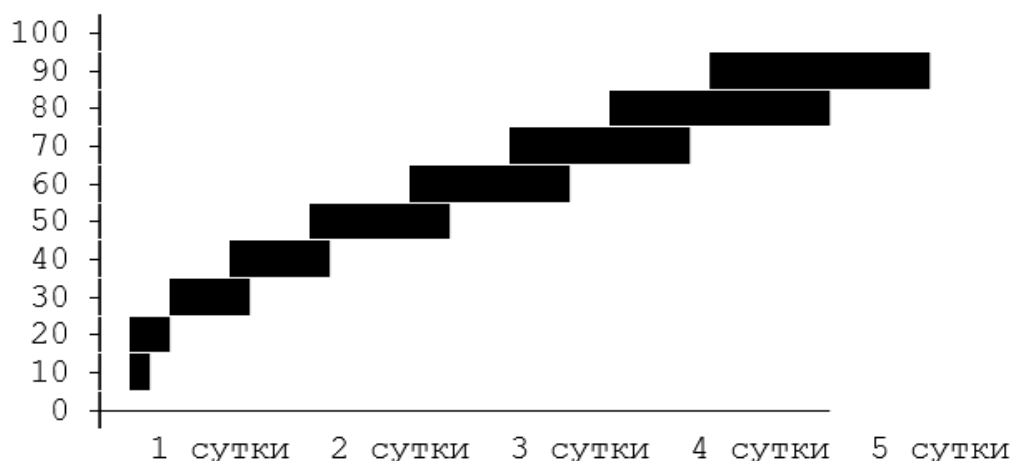


Рис-2. Диаграмма образования чёрного осадка во времени

В первые сутки культивирования существенных изменений среды практически не наблюдалось. Однако по мере роста сульфатредуцирующих бактерий интенсивность потемнения раствора и количество чёрного осадка постепенно увеличивались. Образование чёрного осадка связано с синтезом сульфида железа ( $\text{FeS}$ ), возникающего в результате взаимодействия сероводорода с ионами металлов. Полученные результаты подтверждают активное протекание процессов сульфатредукции в анаэробных условиях.

Наиболее выраженная активность микроорганизмов наблюдалась в нестерилизованной почве и сточных водах АО «Навоiazот». Это свидетельствует о присутствии естественной микробиоты, адаптированной к условиям повышенного содержания органических веществ и соединений серы. После завершения культивирования полученный осадок фильтровали и подвергали термической обработке. В результате прокаливании образовывался зольный остаток, который может быть исследован различными физико-химическими методами, включая рентгенофазовый анализ, спектрофотометрию и атомно-абсорбционный анализ. Полученные результаты имеют важное практическое значение для экологической микробиологии и биотехнологии. Использование сульфатредуцирующих бактерий позволяет снижать концентрацию тяжёлых металлов и сульфатов в сточных водах, а также способствует восстановлению загрязнённых территорий. Особенно перспективным является применение данных микроорганизмов в районах, подвергшихся воздействию горнодобывающей промышленности.

### Заключение

В результате проведённых исследований была приготовлена питательная среда 9К и осуществлено культивирование сульфатредуцирующих бактерий из

почвы и промышленных сточных вод предприятия «Навоиазот». Установлено, что основными признаками активности бактерий являются почернение среды, образование чёрного осадка и выделение сероводорода.

Полученные результаты подтверждают возможность эффективного использования сульфатредуцирующих бактерий в процессах очистки сточных вод, биорекультивации нарушенных территорий и экологического мониторинга загрязнений окружающей среды.

#### Список литературы

1. Postgate J. R. The Sulphate-Reducing Bacteria. — Cambridge University Press.
2. Воробьёва Л. И. Микробиология анаэробных микроорганизмов. — Москва, 2001.
3. Емцев В. Т., Мишустин Е. Н. Микробиология. — Москва: Дрофа, 2005.
4. Основы экологической биотехнологии.
5. Научные статьи по сульфатредуцирующим бактериям и анаэробной микробиологии.