

**Бурнаев Артём Алексеевич**

курсант

**Сапходоева Ольга Ивановна**

канд. пед. наук, доцент

**Кучер Марина Ивановна**

канд. пед. наук, -

Филиал ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического  
обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева»

Министерства обороны Российской Федерации в г. Вольске

г. Вольск, Саратовская область

## **ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОБНОЙ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ВОИНСКОЙ ЧАСТИ**

*Аннотация:* одной из приоритетных задач экологического обеспечения является защита личного состава военных объектов от неблагоприятных факторов окружающей среды. В статье рассмотрены некоторые аспекты применения методов микробной детоксикации для очистки и восстановления компонентов окружающей среды от загрязнения тяжёлыми металлами

*Ключевые слова:* загрязнение, тяжёлые металлы, микробная биоаккумуляция, экологическая безопасность.

Ликвидация загрязнений на территории военных объектов, возникших в ходе повседневной деятельности войск (сил) – первостепенная задача в условиях обеспечения экологической безопасности Вооружённых Сил Российской Федерации [4, с. 25].

Среди многочисленных загрязнителей окружающей среды особое место занимают тяжёлые металлы. Причиной тому является их высокая биохимическая активность, стойкость в окружающей среде, токсичность и широкий спектр действия на организм человека. Тяжёлые металлы, циркулирующие в окружающей среде в результате антропогенной деятельности, оказывают нега-

тивное влияние на все биологические системы [1]. При биовзаимодействии происходит биоаккумуляция тяжёлых металлов; данный факт позволяет считать проблему исследования биовзаимодействия ионов тяжёлых металлов практически значимой, её исследованию посвящены многочисленные проектные работы [5].

В настоящее время биологическая очистка компонентов окружающей среды или биоремедиация лидирует среди других методов, поскольку для удаления загрязнений используются метаболические способности микроорганизмов.

Актуальность работы заключается в использовании методов микробной биоаккумуляции для расчёта уровня токсичности тяжёлых металлов при оценке состояния экологической безопасности на военных объектах.

Проведённый анализ теоретических и практических вопросов, связанных со способностью микроорганизмов поглощать и накапливать ионы тяжёлых металлов позволил сформулировать цель исследования – изучить и экспериментально доказать способность исследуемых микроорганизмов, а именно пробиотических штаммов *Escherichia coli* и *Lactobacillus acidophilus* к биоаккумуляции тяжёлых металлов в условиях *in vitro*.

Для разработки эффективных методов биоаккумуляции ионов некоторых тяжёлых металлов подобраны механизмы этого процесса, выделены активные штаммы бактерий и микробных сообществ, выявлено влияние внешних условий на процесс биоаккумуляции.

Для достижения поставленной цели были выдвинуты следующие задачи:

- определить субингибиторные концентрации тяжёлых металлов и их влияние на динамику роста бактерий *E.coli* и *L.acidophilus*;
- исследовать избирательную способность изучаемых микроорганизмов накапливать тяжёлые металлы в биомассе.

Предметом исследования являлось изучение способности пробиотиков выводить ионы тяжёлых металлов. В качестве регулирующих факторов использовались водорастворимые соли металлов в двухвалентных состояниях:  $\text{FeSO}_4$  – сульфат железа,  $\text{ZnSO}_4$  – сульфат цинка,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  – нитрат свинца,  $\text{CuSO}_4$  –

сульфат меди,  $\text{CdSO}_4$  – сульфат кадмия. Выбор таких элементов, как свинец и кадмий, определялся их большой токсичностью для живой клетки. Металлы цинк и железо выбраны как наиболее распространённые биогенные элементы.

Для проведения исследования использовались следующие материалы:

– в качестве микроорганизмов применялись *E.coli* – *Escherichia coli*, *L.acidophilus* – *Lactobacillus acidophilus*;

Эксперимент проводился с использованием:

- метода последовательных разведений;
- фотоэлектроколориметрического и атомно-абсорбционного метода.

При обработке результатов использовалась компьютерная обработка данных.

Остановимся подробнее на описании экспериментальной части работы.

В начале эксперимента с помощью метода последовательных разведений были подобраны субингибиторные концентрации растворов солей тяжёлых металлов, по значениям которых можно судить о степени токсичности того или иного металла, влияющих на рост микроорганизмов. Приведём таблицу 1 по определению субингибиторных концентраций тяжёлых металлов, влияющие на рост *Escherichia coli*.

Таблица 1

Субингибиторные концентрации тяжёлых металлов,  
влияющие на рост *Escherichia coli*

| Штамм   | Соли металлов                             | Концентрация, моль/л |      |       |               |         |          |        |        |
|---|---|----------------------|------|-------|---------------|---------|----------|--------|--------|
|   |   | 0,02                 | 0,01 | 0,005 | <b>0,0025</b> | 0,00125 | 0,000625 | 0,0003 | 0,0001 |
| <i>E.coli</i>   | $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  | -                    | -    | -     | ±             | +       | +        | +      | +      |
|   | $\text{ZnSO}_4$                           | -                    | -    | -     | ±             | +       | +        | +      | +      |
|   | $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$                | -                    | -    | ±     | +             | +       | +        | +      | +      |
|   | $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ | -                    | -    | -     | -             | -       | -        | ±      | +      |
|   | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | -                    | -    | -     | ±             | +       | +        | +      | +      |
| «-» – отсутствие роста; «±» – скудный рост; «+» – есть рост |   |                      |      |       |               |         |          |        |        |

В результате сравнительного анализа полученных результатов выяснилось, что наиболее чувствительным штаммом по отношению ко всем используемым тяжёлым металлам являлся *L.acidophilus*. Металлами, проявляющими наименьшую токсичность в отношении *E.coli* можно считать железо, цинк, свинец и медь, а для *L.acidophilus* только свинец и железо.

Как известно, процесс накопления металлов микроорганизмами осуществляется в стационарной фазе роста [2,3]. Процесс накопления связан с тем, что в данной фазе наблюдается истощение субстрата и накопление токсичных продуктов, что вынуждает бактерии к поиску других источников энергии и детоксикации среды обитания. Нами были проведены исследования по определению оптимального времени роста на периодической культуре, которые показали, что стационарная фаза у *E.coli* наступала через 24 часа культивирования, у *L.acidophilus* через 36 часов.

Изучение влияния солей тяжёлых металлов на динамику роста исследуемых бактерий проводилось аналогично, для этого в среду культивирования вносилась рабочая концентрация исследуемого металла и осуществлялось культивирование до наступления стационарной фазы роста. Процесс накопления металлов микроорганизмами осуществляется в стационарной фазе роста (рисунок 1).

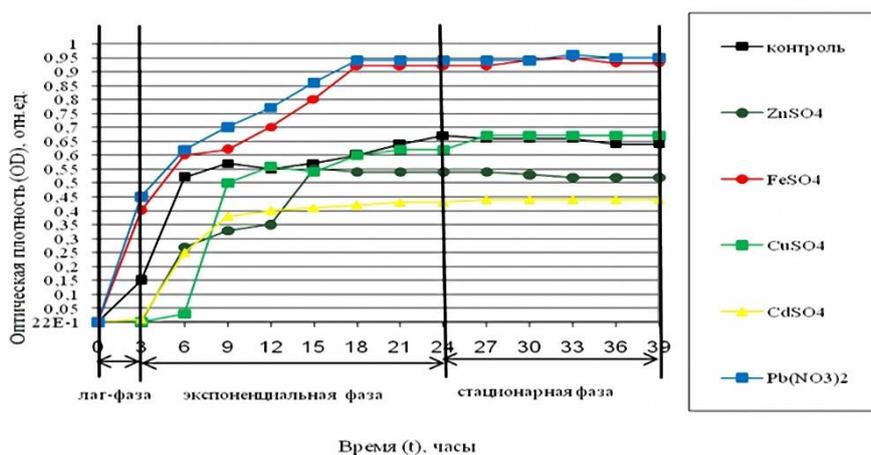


Рис. 1. Влияние солей тяжёлых металлов на рост бактерий *E.Coli* в периодической культуре

Анализ полученных данных по влиянию солей тяжёлых металлов на динамику роста свидетельствовал, что влияние солей тяжёлых металлов на время наступления и продолжительность фаз роста неоднозначно, при этом стимулирующее действие на рост *E.coli* оказывали ионы свинца и железа. Стационарная фаза наступала через 18 часов культивирования.

Противоположное действие на рост оказывал ион кадмия. Наблюдалось замедление роста микроорганизма. Стационарная фаза наступала через 27 часов культивирования. Ионы цинка и меди влияния на динамику роста не оказывали.

В отношении *L.acidophilus* выявлен факт стимулирующего действия на них ионов железа и свинца. Стационарная фаза наступала через 33 часа культивирования.

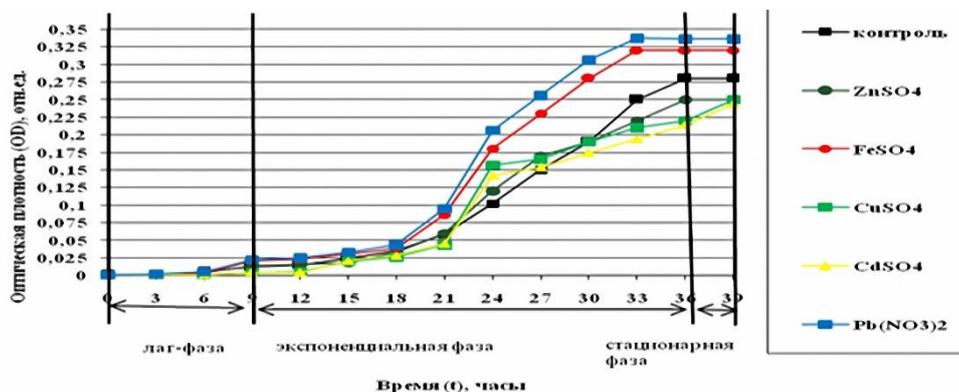


Рис. 2. Влияние солей тяжёлых металлов на рост бактерий *L.Acidophilus* в периодической культуре

При увеличении времени фазы роста изменялись согласно закономерности – наступлению и продолжительности фаз роста способствовало присутствие ионов кадмия и меди. При этом стационарная фаза наступала через 39 часов культивирования. В результате опыта было установлено, что ионы цинка влияния на динамику роста данного микроорганизма не оказывали.

Субингибиторные концентрации растворов солей тяжёлых металлов использовались в дальнейшем при определении оптической плотности бактериальных суспензий при помощи фотоэлектроколориметра. По результатам полученных оптических плотностей выстраивались кривые влияния солей тяжёлых металлов на рост в бактериях *L.Acidophilus* и *E.Coli*.

Из сравнения полученных результатов можно сформулировать вывод о том, что из всех исследуемых микроорганизмов штаммы *E.coli*. наиболее активно накапливали ионы тяжёлых металлов.

Таким образом, в результате проведённого эксперимента получены данные, из которых следует, что из всех исследуемых тяжёлых металлов микроорганизмы избирательно аккумулировали ионы железа и свинца и практически не накапливали ионы кадмия, цинка и меди, а лучшими биосорбентами ионов железа и свинца являются штаммы *E.coli*, которые активно аккумулировали ионы свинца.

Проведённые исследования доказывают избирательную способность изучаемых микроорганизмов к детоксикации тяжёлых металлов, определено влияние концентрации тяжёлых металлов на динамику роста микроорганизмов, показана эффективность применения микробной аккумуляции тяжёлых металлов для очистки и восстановления компонентов окружающей среды в целях обеспечения экологической безопасности воинской части [6].

### ***Список литературы***

1. Ветчинникова Л.В. Особенности накопления тяжёлых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях Севера / Л.В. Ветчинникова, Т.Ю. Кузнецова, А.Ф. Титов // Труды Карельского научного центра РАН. – 2013. – №3. – С. 68–73.

2. Сизенцов А.Н. Биоаккумуляция тяжёлых металлов микроорганизмами, входящими в состав пробиотических препаратов в условиях *in vitro* / А.Н. Сизенцов, С.А. Пешков // Вестник ОГУ. – 2013. – №159. – С. 142–144.

3. Сизенцов А.Н. Способность микроорганизмов рода *Bacillus* входящих в состав пробиотических препаратов к избирательной биоаккумуляции тяжёлых металлов в условиях *in vitro* / А.Н. Сизенцов // Вестник ОГУ. – 2013. – №159. – С. 145–147.

4. Тришункин В.В. Экологическая безопасность Вооружённых Сил Российской Федерации / В.В. Тришункин, О.С. Астафьева // Материально-

техническое обеспечение Вооружённых Сил Российской Федерации. – 2013. – №3. – С. 24–30.

5. Чурсинов А.В. О вовлечённости в обучении студентов при освоении дисциплины «Экологические основы природопользования» через сотрудничество в исследовательской деятельности (из опыта работы) / А.В. Чурсинов // Наука и образование XXI века: актуальные вопросы теории и практики: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 27 декабря 2021 года. – Чебоксары: Негосударственное образовательное частное учреждение дополнительного профессионального образования «Экспертно-методический центр», 2021. – С. 216–220.

6. Никитина Ю.Е. Методические подходы к проблеме исследования биоаккумуляции ионов тяжелых металлов микроорганизмами на занятиях по экологии / Ю.Е. Никитина, А.Р. Хамидуллин, О.И. Сапходоева, М.И. Кучер // Компетентностный подход: инновационная практика образовательных организаций в реализации ФГОС. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции / под редакцией М.А. Сморгуновой, С.Л. Коротковой. – ИЦ «Наука». – 2016. – С. 263–266.