



УДК 504.53.062.4:595.1:579.208:51

### Исследование выживаемости дождевых червей *dendrobena* в почве, загрязненной мазутом

А. А. Бобкина<sup>1</sup>, А. В. Панасенко<sup>1</sup>, Е.П. Денисова<sup>1</sup>, К.А. Смирнов<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия  
<sup>2</sup>Проект «ЭкоЧервь», г. Екатеринбург, Россия

**Аннотация** – Настоящее исследование посвящено изучению выживаемости дождевых червей вида *Dendrobena* в условиях нефтяного загрязнения почвы. В ходе экспериментальных работ была детально проанализирована устойчивость данного вида к воздействию мазута в концентрации 50 г/кг, а также исследовано влияние девяти различных штаммов нефтеразлагающих микроорганизмов на жизнеспособность червей. Полученные результаты демонстрируют значительную вариабельность показателей выживаемости в зависимости от применяемых биологических агентов, при этом максимальная эффективность была зафиксирована при использовании штаммов *Bacillus subtilis* и *Pseudomonas fluorescens*. Исследование вносит существенный вклад в разработку экологически безопасных технологий рекультивации нефтезагрязненных почв, предлагая научно обоснованные подходы к подбору биологических компонентов для вермиремедиации.

**Ключевые слова** – мазут, нефтепродукты, *Dendrobena*, выживаемость, почвенная рекультивация, нефтеразлагающие микроорганизмы, вермитехнологии, биологическая очистка, экологическая устойчивость.

#### I. ВВЕДЕНИЕ

Современная экологическая ситуация характеризуется возрастающей антропогенной нагрузкой на почвенные экосистемы, среди которой особую опасность представляют загрязнения нефтепродуктами [1]. Мазут как один из наиболее распространенных нефтяных остатков содержит сложную смесь полициклических ароматических углеводородов, асфальтенов и смолистых веществ, оказывающих выраженное токсическое воздействие на почвенную биоту. Актуальность разработки эффективных методов очистки таких загрязненных почв обусловлена не только экологическими, но и экономическими факторами, поскольку восстановление плодородия загрязненных территорий позволяет вернуть их в сельскохозяйственный оборот.

Среди существующих методов ремедиации особый интерес представляют биологические технологии, сочетающие использование микроорганизмов-деструкторов и дождевых червей [3]. Дождевые черви вида *Dendrobena*, обладающие высокой экологической пластичностью и устойчивостью к неблагоприятным условиям, являются перспективными агентами биологической очистки. Их деятельность приводит к значительному улучшению физико-химических свойств почвы: увеличению пористости, водопроницаемости, аэрации, а также активизации микробиологических процессов.

#### II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью настоящего исследования явилась оценка выживаемости *Dendrobena* в условиях нефтяного загрязнения и определение оптимальных сочетаний червей с различными штаммами нефтеразлагающих микроорганизмов. Особое внимание уделялось анализу адаптационных механизмов червей к токсическому воздействию мазута и выявлению наиболее эффективных микробно-вермикальных комбинаций для практического применения в технологиях биологической рекультивации. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Оценить устойчивость *Dendrobena* к воздействию мазута в концентрации 50 г/кг почвы.
2. Исследовать влияние различных штаммов нефтеразлагающих микроорганизмов на выживаемость червей.
3. Выявить наиболее эффективные микробно-вермикальные комбинации для рекультивации нефтезагрязненных почв.



### III. ТЕОРИЯ

Проблема загрязнения почв нефтепродуктами приобрела особую актуальность в условиях интенсивного развития промышленности и транспорта. Среди различных нефтяных фракций мазут представляет особую опасность для почвенных экосистем, так как содержит до 85 % полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), 10-15 % асфальтенов и 5-8 % смолистых веществ. Эти соединения обладают выраженной токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью, что приводит к глубоким нарушениям в почвенной биоте.

Механизмы токсического действия мазута на почвенные организмы многообразны. Во-первых, высокомолекулярные углеводороды образуют на поверхности почвы пленку, нарушающую газообмен и водный режим. Во-вторых, низкомолекулярные фракции проникают в клетки организмов, вызывая повреждение мембран и нарушение ферментативных систем [2].

*Dendrobena* (*Dendrobaena* spp.) представляет собой род почвенных люмбрицидных червей, обладающих уникальными адаптационными возможностями к антропогенно измененным условиям среды. В отличие от многих других видов дождевых червей, *Dendrobena* демонстрирует исключительную устойчивость к широкому спектру химических загрязнителей, включая тяжелые металлы и нефтепродукты.

Эксперимент проводился в лабораторных условиях с использованием контейнеров объемом 500 мл, заполненных почвенным субстратом, загрязненным мазутом в концентрации 50 г/кг. В каждую пробу вносилось по 10 особей *Dendrobena*. Для оценки влияния микроорганизмов использовались штаммы: *Pseudomonas putida*, *Citrobacter freundii*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Lisinibacillus fusiformis* и *Bacillus simplex*.

Контрольная группа содержала только червей без добавления микроорганизмов. Продолжительность эксперимента составила 2 месяца, в течение которых фиксировалась выживаемость червей (см. Табл. 1, рис. 1). Условия содержания включали регулярное увлажнение и обеспечение питанием. Выживаемость рассчитывалась по формуле:

$$\text{Выживаемость (\%)} = \left( \frac{\text{Количество червей через 2 месяц}}{\text{Количество внесенных червей}} \right) \times 100$$

ТАБЛИЦА 1  
ВЫЖИВАЕМОСТЬ ЧЕРВЕЙ

Проба	Червь Дендробена			
	Концентрация мазута 50 г/кг			
	Внесли червей	Через месяц	Через 2 месяц	Выживаемость, %
Контроль	10	8	8	80
<i>Pseudomonas putida</i>	10	8	4	40
<i>Citrobacter freundii</i>	10	7	4	40
<i>Bacillus megaterium</i>	10	5	5	50
<i>Bacillus pumilus</i>	10	8	5	50
<i>Bacillus cereus</i>	10	7	4	40
<i>Bacillus subtilis</i>	10	7	6	60
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	10	9	6	60
<i>Lisinibacillus fusiformis</i>	10	7	4	40
<i>Bacillus Simplex</i>	10	4	3	30

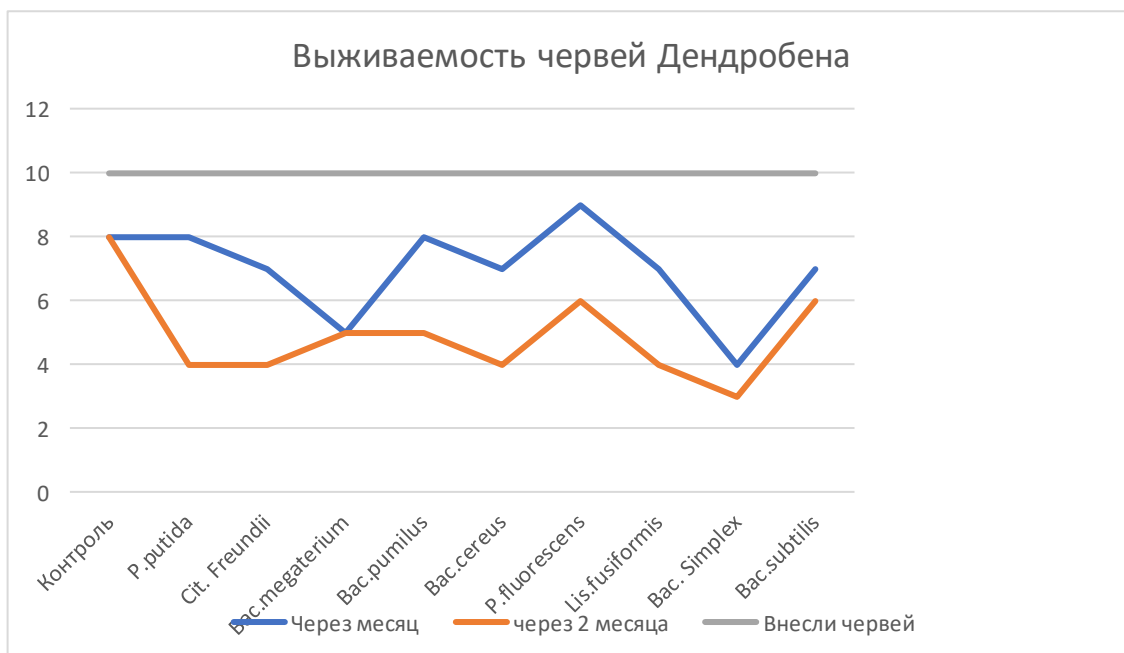


Рис. 1. Выживаемость червей

#### IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результаты исследования выявили сложную динамику выживаемости Dendrobaena в зависимости от экспериментальных условий:

1. В контрольной группе наблюдалась стабильно высокая выживаемость (80 %), что свидетельствует о выраженной толерантности вида к исследуемой концентрации мазута. Поведенческие реакции оставались активными, отмечалось нормальное копролитообразование.

2. Наибольшую эффективность показали комбинации с:

- Bacillus subtilis (выживаемость 60 %),
- Pseudomonas fluorescens (выживаемость 60 %).

Для этих вариантов характерно сохранение высокой двигательной активности червей и интенсивное образование биогумуса.

3. Наименее благоприятное воздействие отмечено для:

- Bacillus simplex (30 % выживаемости),
- Pseudomonas putida (40 % выживаемости).

В этих группах наблюдались признаки токсического стресса: снижение двигательной активности, нарушение пигментации.

Таким образом, штаммы Bacillus subtilis и Pseudomonas fluorescens продемонстрировали наибольшую совместимость с Dendrobaena, в то время как другие микроорганизмы снижали выживаемость червей.

Полученные результаты позволяют сделать ряд важных выводов о механизмах взаимодействия в системе "черви-микроорганизмы-загрязнитель":

1. Высокая исходная устойчивость Dendrobaena к нефтяному загрязнению объясняется особенностями их физиологии: наличием эффективных систем детоксикации, способностью к регенерации и адаптивными поведенческими реакциями.

2. Положительное влияние Bacillus subtilis и Pseudomonas fluorescens связано с их способностью:

- разлагать токсичные компоненты мазута до менее вредных соединений;
- синтезировать биологически активные вещества, стимулирующие жизнедеятельность червей;
- формировать с червями устойчивые симбиотические связи.

3. Отрицательное воздействие некоторых штаммов может объясняться: конкуренцией за ресурсы, выделением вторичных метаболитов, нарушением микробного баланса в пищеварительном тракте червей.



#### V. Выводы и заключение

Проведенное исследование позволило получить новые данные о возможностях использования *Dendrobena* для рекультивации нефтезагрязненных почв. Основные выводы работы:

1. Установлена возможность успешного применения *Dendrobena* для очистки почв, загрязненных мазутом в концентрации 50 г/кг.
2. Выявлены наиболее перспективные микробно-вермикальные комбинации (с *Bacillus subtilis* и *Pseudomonas fluorescens*), обеспечивающие высокую выживаемость червей.
3. Определены критические факторы, требующие учета при разработке технологий: специфика взаимодействия между биологическими компонентами, необходимость индивидуального подбора штаммов.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

- изучение молекулярных механизмов взаимодействия в системе;
- разработка оптимальных режимов внесения биологических агентов;
- проведение полевых испытаний предложенных технологий;
- оценка долгосрочного эффекта вермиремедиации на почвенные экосистемы.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для разработки экологически безопасных и экономически эффективных технологий восстановления нефтезагрязненных территорий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гилязов М. Ю. Биологическая рекультивация нефтезагрязненных почв. М.: Наука, 2018. 214 с.
2. Колесников С. И. и др. Влияние нефтепродуктов на почвенную фауну // Почвоведение. 2020. № 5. С. 45-52.
3. Петрова В. А. Вермитехнологии в экологии. СПб.: Лань, 2019. 180 с.
4. Чачина С. Б., Мязин В. А. Реакция дождевых червей *Dendrobaena* на загрязнение почвы нефтепродуктами // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 1. С. 32-37.
5. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И. Классификация и диагностика почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2021. 320 с.
6. Сидоров А. В. Микробно-червевые системы для очистки почв. Новосибирск: СО РАН, 2021. 156 с.