



Корнеева Ирина Юрьевна

**ИНДИКАТОРНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЧЕРВЕЙ И РАСТЕНИЙ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ВЕРМИКОПОСТИРУЕМЫХ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ
ОТХОДАМИ КОЖЕВЕННОГО И ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВ**

03.02.08 – экология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Работа выполнена на кафедре зоотехнии и биологии
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П. А. Костычева»

Научный руководитель: **Нефедова Светлана Александровна**
доктор биологических наук, доцент
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева»,
профессор кафедры зоотехнии и биологии

Официальные оппоненты: **Чурилов Геннадий Иванович**
доктор биологических наук, доцент
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации,
профессор кафедры общей и фармацевтической химии

Климачев Дмитрий Анатольевич
кандидат биологических наук, доцент
Государственное образовательное учреждение высшего образования Московской области Московский государственный областной университет,
доцент кафедры ботаники и прикладной биологии

Ведущая организация: Мещерский филиал Государственного научного учреждения всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова Российской академии сельскохозяйственных наук.

Защита состоится «16» февраля 2017 г. в 16 часов 00 минут на заседании Совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук Д 212.303.38 при Российском университете дружбы народов по адресу: 115093, г. Москва, Подольское шоссе, д. 8/5.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6 и на сайте dissovet.rudn.ru

Автореферат разослан «___» декабря 2016 года.

Ученый секретарь
Диссертационного совета



Е. А. Ванисова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Процессы самоочищения природы из-за больших концентраций ксенобиотиков и высокой их устойчивости к разложению идут очень медленно. Поэтому актуальной экологической задачей является восстановление окружающей среды: рациональная переработка промышленных и сельскохозяйственных отходов; санация и восстановление плодородия земель, утилизация отходов иловых стоков предприятий и т. д. Для ремедиации экологически неблагоприятных почв необходимо применять их вермикомпостирование.

Изучение реакций почвообитающих беспозвоночных в качестве показателей биотестирования, исследование механизмов их функционирования в антропогенных экосистемах, является актуальным. Тест-реакции беспозвоночных к условиям антропогенной нагрузки на экосистемы изучены недостаточно. Так же интерес представляет исследование реакций растений, способных к индикации процесса очищения субстратов, при вермикомпостировании почв.

Масштабы антропогенной деятельности достигли такого уровня, когда существующая система экологического мониторинга должна дополняться исследованиями с использованием животных и растений, пригодных для биоиндикации и биотестирования (Нефедова, 2011). В таком аспекте перспективным представляется использование показателей биохимических и цитоморфологических реакций беспозвоночных (Цветков, 2007).

Наиболее перспективным путем восстановления загрязненных почв является ремедиация. Фиторемедиация заключается в использовании растений для очистки среды. Это современная биотехнология высокоэффективной очистки от органических и неорганических загрязнителей (Агибаева и др., 2013). Растения, чутко реагирующие на характер и степень загрязнения, используются в качестве индикаторов состояния среды (Лорсанова, 2009).

Способность червей к ремедиации в почво-растительных системах способствует снижению токсичности субстратов, что позволяет производить на них продукцию, годную к употреблению. Черви способны связывать поллютанты и уменьшать их поступление в растения (Ткаченко, 2005).

Биотестирование недостаточно применяется в производственных лабораториях, анализирующих почвы. Однако этот метод более чувствителен по сравнению с химическим анализом, так как последний выявляет концентрации заявленных веществ, тогда как биотестирование указывает на наличие или отсутствие токсичности (Пономарев, 1985).

Таким образом, выявление индикаторных реакций червей и растений для биотестирования вермикомпостируемых почв, загрязненных отходами предприятий, является актуальным направлением исследований в области прикладной экологии.

Цель – выявление индикаторного значения червей и растений для оценки экологического состояния вермикомпостируемых почв, загрязненных отходами кожевенного и цементного производств.

Решались задачи:

1. Проанализировать динамику концентрации тяжелых металлов, индикаторно отражающую ремедиацию среды, в очищаемых вермикомпостированием почвах.
2. Охарактеризовать видовое разнообразие червей, способных проявлять индикаторную реакцию для биотестирования токсичности почв.
3. Выявить индикаторные показатели червей для биотестирования токсичности вермикомпостируемых почв, загрязненных кожевенными и цементными отходами.
4. Выявить индикаторные показатели растений для биотестирования динамики ремедиации вермикомпостируемых почв, загрязненных кожевенными и цементными отходами.

Объекты исследования: черви – представители семейства Дождевые черви (*Lumbricina*), видов: Навозный червь (*Eisenia fetida*), Белокончиковый дождевой червь (*Octolasion lacteum*), Красноватый дождевик (*Lumbricus rubellus*), Восьмигранная дендробена (*Dendrobaena octaedra*); растения – пшеница мягкая *Triticum aestivum L.*, салат обыкновенный *Lactuca sativa L.*

Предмет исследования: индикаторные реакции червей и растений для биотестирования токсичности почв, при использовании червей – холодоустойчивость, весовые показатели и адаптивные характеристики, репродуктивность и восстановление популяций, количество особей, наличие и число коконов, вылупившейся молодежи; растений – ростовые показатели, водоудерживающая способность, оводненность листьев.

Научная новизна. На основе анализа динамики холодоустойчивости, весовых показателей, репродуктивности, восстановления популяций, ремедиационных способностей, динамики цитохимических и цитоморфологических показателей, впервые доказано, что белокончиковый дождевой и навозный черви, красноватый дождевик и восьмигранная дендробена обладают характерной маркерной тест-реакцией для выявления токсичности вермикомпостируемых почв, загрязненных производственными отходами; на основе анализа оводненности листьев растений, их ростовых показателей, водоудерживающей способности листовых пластинок, доказано, что пшеница мягкая (*Triticum aestivum L.*), салат обыкновенный (*Lactuca sativa L.*) индикаторно отражают динамику ремедиации вермикомпостируемых почв, загрязненных отходами производств.

Практическая и теоретическая значимость работы. Для биотестирования вермикомпостируемых почв, загрязненных отходами кожевенного и цементного производств, выявлен ряд индикаторных цитохимических, цитоморфологических, репродуктивных и ремедиационных показателей червей; маркерных показателей растений, обладающих реакцией для оценки токсичности среды и динамики ее ремедиации. Использование результатов исследований в практической деятельности специалистами сельскохозяйственного и лесопаркового сектора позволит контролировать экологическое состояние и проводить ремедиацию почв на территориях, граничащих с кожевенными и цементными производствами или местами отвалов их отходов.

Результаты научно-исследовательской работы внедрены в работу Учебно-научного инновационного центра «Агротехнопарк» на открытой агротехнологи-

ческой станции; используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО РГАТУ имени П. А. Костычева, РГУ имени С. А. Есенина, для проведения лекций и лабораторных занятиях по дисциплинам экологического и биологического циклов.

Личный вклад автора заключается в самостоятельном проведении полевых работ и лабораторных исследований; сборе статистического материала для анализа динамики маркерных показателей различных видов червей для их использования при биотестировании в условиях антропогенного давления со стороны кожевенного и цементного производств; в анализе научной литературы, систематизации материалов и их публикации (в соавторстве).

Достоверность результатов обеспечивается использованием современных аттестованных методик, методов исследований образцов почв и их экспериментальных аналогов, с применением государственных стандартных образцов поллютантов и статистической обработке материалов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Вермикомпостирование почв, загрязненных кожевенными и цементными отходами, позволяет очистить их от тяжелых металлов, динамика процесса индикаторно отражается на показателях червей, осуществляющих ремедиацию субстрата, а так же растений, произрастающих на восстанавливаемых почвах.
2. Для оценки очистки токсичных почв, загрязненных кожевенными и цементными отходами, необходимо выбирать вид червей, обладающий способностью проявлять индикаторную реакцию, отражающую ремедиацию субстрата под действием вермикомпостирования.
3. Эффективными индикаторными показателями червей, которые необходимо использовать при оценке очистки почв, являются динамика холодоустойчивости, весовых и адаптивных характеристик, репродуктивность и восстановление популяций, количество особей, коконов, молоди.
4. Индикаторными показателями растений, отражающими ремедиацию вермикомпостируемых почв, загрязненных кожевенными и цементными отходами, являются динамика ростовых показателей, водоудерживающая способность, оводненность листьев.

Апробация. Материалы представлены и обсуждены на 64-ой областной научно-практической конференции школьников, студентов и аспирантов «Научные приоритеты в АПК: Инновационные достижения, проблемы, перспективы развития» (ФГБОУ ВПО РГАТУ, 29.04.2013), на международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава «Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования» (24-26 января, 2013, Санкт-Петербург); XII Международной студенческой научной конференции «Знания молодых – будущее России» «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», г. Киров (12-14 марта, 2014 г.), на конференции «Современные проблемы гуманитарных и естественных наук» в Рязанском институте управления и права 19.12.2014 г., на Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные и научно-технические разработки и исследования молодых ученых» (ФГБОУ ВО РГАТУ, 18.03.2016 г.). Приняла участие в программе «УМНИК» в Рязанской области, проводимой в рамках программы Фонда содействия развитию

малых форм предприятий в научно-технической сфере «Участник молодежного научно-инновационного конкурса».

Публикации. Опубликовано 11 статей, из них 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из разделов: введение, обзор литературы, материалы и методы исследований, результаты собственных исследований, заключение, выводы, список использованной литературы. Общий объем работы 121 стр., в диссертации 22 таблицы, 15 рисунков. Список использованной литературы включает 200 источников, в том числе 23 работы зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В разделе 1. Обзор литературы изучены начальные этапы и степень развития методов вермикомпостирования в решении проблемы утилизации и переработки отходов; условия обитания, содержания и способы выращивания червей; приведены популяционная оценка червей в зависимости от условий обитания, значение беспозвоночных для биотестирования токсичности почв. В лабораторных условиях, для выявления индикаторных показателей растений, отражающих ремедиацию токсичных почв вермикомпостированием, был смоделирован эксперимент, для чего использовали искусственно созданные варианты субстратов с концентрациями тяжелых металлов (ТМ), аналогичными почвам со средним (15 г/кг) и сильным (30 г/кг) загрязнением отходами цементного и кожевенного предприятий.

В разделе 2. Материалы и методы исследований приведена схема исследований, перечислены методики для проведения биотестирования и изучения способности червей и растений к ремедиации почв. Описано моделирование эксперимента с учетом используемых реактивов и приборов.

Работа проводилась с 2012 по 2015 годы в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» в Учебно-научном инновационном центре «Агротехнопарк» на открытой агротехнологической станции.

Антропогенное воздействие на почву со стороны отходов кожзавода анализировалось на следующих вариантах почв: 1 – контрольный образец почвы, в котором тяжелые металлы в норме; 2 – естественная почва с территории отвалов отходов кожевенного предприятия, содержащая 15 г/кг сухого осадка сточных вод (ОСВ); 2а – экспериментально созданный субстрат с добавлением 15 г/кг отходов кожевенного предприятия; 3 – естественная почва с территории отвалов отходов кожевенного предприятия, содержащая 30 г/кг сухого остатка ОСВ; 3а – экспериментально созданный субстрат с добавлением 30 г/кг отходов кожзавода.

Антропогенное воздействие на почву со стороны отходов предприятия, производящего цемент, анализировалось на следующих варианта субстратов: 4 – контрольный образец почвы, в котором тяжелых металлов в концентрациях, допустимых ПДК; 5 – естественная почва с территории отвалов цементного предприятия, содержащая 15 г/кг отходов; 5а – экспериментально созданный субстрат с добавлением 15 г/кг отходов кожевенного предприятия; 6 – естественная почва с территории отвалов цементного предприятия, содержащая 30 г/кг отходов; 6а –

экспериментально созданный субстрат с добавлением 30 г/кг отходов цементного производства.

Все компоненты измельчили, увлажнили и смешивали до однородного и рыхлого состояния. Субстраты были помещены в пластиковые контейнеры (по 3 кг для каждого эксперимента) и в течение недели выдержаны в проветриваемом помещении в целях улучшения процессов аэробной ферментации. Эксперимент проводили в 5-ти повторностях. Содержание в пробах экспериментальных почв ТМ определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. При описании загрязнения экспериментальных почв были использованы гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06, СанПиН 42-128-4433-87. Почвы содержали следующие поллютанты: Zn, Cu, Co, Pb, сульфат-ион, нитрат-ион (в составе отходов кожзавода); Zn, Cu, Pb, Ni, Cr (в составе отходов цементного завода). Для исследования использовали общепринятые методики ПНДФ.

В каждый экспериментальный вариант почвы подсаживали по 15 червей разных видов, в течение трех месяцев вели наблюдения. Субстраты периодически поливали водой, поддерживая влажность на уровне 60-75 %.

Способность червей к биотестированию изучали по следующим показателям: холодоустойчивость (Берман и соавт., 2009), выживаемость особей и коконов, вылупляемость молоди из коконов, весовые характеристики. Цитохимическую оценку амебоцитов червей проводили методом Шабадаша (Шабадаш, 1947), определяли количество гранул в гемолимфе червей, выявляемых ШИК-реакцией. Для фиксации мазков гемолимфы червей, с целью подсчета цитоморфологических маркеров (микроядра в амебоцитах), применяли абсолютный этиловый спирт (15-20 мин). Мазки сушили в термостате при $t = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для выявления микроядер, препараты окрашивали по методу Романовского-Гимза (Яковлев, Коровушкин, 2004).

Выживаемость червей разных видов, в зависимости от токсичности экспериментальных почв, анализировали, подсчитывая количество особей (%) и полученных от них коконов (%).

В качестве тест-объектов для анализа ремедиационной способности червей использовались пшеница мягкая (*Triticumaestivum* L.) и салат обыкновенный (*Lactuca sativa* L.). В экспериментальные субстраты помещали по 15 половозрелых червей маточной популяции каждого вида и в течение трех месяцев (первая ремедиация) и трех следующих месяцев (вторая ремедиация) вели наблюдения за их реакциями. Изучение водоудерживающей способности, ростовых показателей, оводненности листьев растений проводилось в лабораторных условиях в течение 120 дней. Первые трое суток семена проращивали в термостате при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем высаживали в емкости с почвой на 5 кг. В каждом сосуде выращивалось по 20 г растений. Учет показателей роста проводили на 4-ый, 10-ый, 20-ый, 30-ый и 40-ой дни. Ростовые показатели (длина побега проростка, длина максимального корня проростка) фиксировали с помощью измерительной ленты; массу корней и побегов проростков определяли на лабораторных весах; долю проросших семян учитывали по общепринятым методикам. Уход за растениями осуществляли в соответствии с общепринятой агротехнической методикой.

Водоудерживающую способность листовой пластинки определяли весовым методом, вычисляя разность между сырой и сухой массой растения по методу А. А. Ничипорович (Ничипорович, 1926). Водоудерживающая способность P рассчитывалась по формуле:

$$P = (P_1 - P_2) \times 100 [\%], \quad (1)$$

где P_1 – сырая масса листовой пластинки;

P_2 – масса листовой пластинки через 20 минут после отделения.

Интенсивность транспирации отражает воду, которая испаряется с 1 дм² листа или единицы веса (1 г). Учитывается потеря жидкости листовой пластинкой за 3 мин. Листовую пластинку получали с растения и быстро взвешивали на торсионных весах P_1 . Через 3 минуты взвешивали повторно P_2 . Разница (DP) и есть количество испарившейся воды. Формула для расчета интенсивности транспирации (мг/г сырого веса в час):

$$I = \frac{DP \times 60 \times 1000}{P_1 \times 3} \quad (2)$$

где 60 – коэффициент для перевода в часы; 1000 – коэффициент для перевода в граммы.

Статистическую обработку проводили согласно методике Н. А. Плохинского (1970).

Раздел 3. Результаты собственных исследований, в подразделе 3.1. изложен анализ загрязнения среды отходами кожевенного (таблица 1) и цементного (таблицы 2) предприятий. При мониторинге выявлено, что антропогенную нагрузку почвы получают со стороны следующих загрязняющих веществ: тяжелые металлы (Cu, Zn, Co, Pb).

Таблица 1 – Динамика тяжелых металлов в почвах под антропогенным давлением отходов кожевенного производства

Показатели	ПДК, мг/кг	Варианты загрязнения почв отходами		
		1	2	3
		контрольная почва	среднее загрязнение почвы отходами (15 г/кг)	сильное загрязнение почвы отходами (30 г/кг)
концентрация, мг/кг				
до вермикомпостирования				
<i>Cu</i>	3,0	2,9	8,2**	19,5***
<i>Zn</i>	23,0	22,6	45,0**	70,6***
<i>Co</i>	5,0	4,2	9,6**	15,7***
<i>Pb</i>	6,0	5,4	12,3**	21,1***
после 1-ой ремедиации вермикомпостированием				
<i>Cu</i>	3,0	2,7	4,1*	15,3***
<i>Zn</i>	23,0	21,3	36,1*	46,4***
<i>Co</i>	5,0	4,2	9,0**	11,7***
<i>Pb</i>	6,0	5,4	7,6	19,8***

Продолжение таблицы 1

Показатели	ПДК, мг/кг	Варианты загрязнения почв отходами		
		контрольная почва	среднее загрязнение почвы отходами (15 г/кг)	сильное загрязнение почвы отходами (30 г/кг)
		концентрация, мг/кг		
после 2-ой ремедиации вермикомпостированием				
<i>Cu</i>	3,0	2,5	3,5	9,9**
<i>Zn</i>	23,0	20,7	27,9	29,4*
<i>Co</i>	5,0	3,9	8,1**	10,0**
<i>Pb</i>	6,0	5,1	6,9	11,3**

Примечание: $P * \leq 0,05$; $** \leq 0,01$; $*** \leq 0,001$; здесь и далее в разделе 3.1. по каждому показателю $n=15$.

В почвах со средним загрязнением отходами кожевенного производства (15 г/кг) после первичной очистки вермикомпостированием, по сравнению со вторичной, наблюдалось интенсивное снижение концентрации меди, свинца и цинка. При этом, как при первой, так и при второй ремедиации почв, отмечена низкая эффективность ее очистки от кобальта.

Таблица 2 – Динамика тяжелых металлов в почвах под антропогенным давлением отходов цементного производства

Показатели	ПДК, мг/кг	Варианты загрязнения почв		
		4	5	6
		контрольная почва	среднее загрязнение почвы отходами (15 г/кг)	сильное загрязнение почвы отходами (30 г/кг)
концентрация, мг/кг				
до вермикомпостирования				
<i>Cr</i>	6,0	5,7	10,8*	26,5***
<i>Cu</i>	3,0	3,2	8,7*	19,6***
<i>Ni</i>	4,0	4,2	9,3*	25,9***
<i>Pb</i>	6,0	5,8	13,3*	24,3***
<i>Zn</i>	23,0	22,9	31,5*	46,9**
после 1-ой ремедиации вермикомпостированием				
<i>Cr</i>	6,0	5,5	8,2	25,4***
<i>Cu</i>	3,0	2,9	6,5*	14,8***
<i>Ni</i>	4,0	4,1	5,1*	22,7***
<i>Pb</i>	6,0	5,5	9,5*	23,1***
<i>Zn</i>	23,0	22,1	27,1	41,5***

Продолжение таблицы 2

Показатели	ПДК, мг/кг	Варианты загрязнения почв		
		4	5	6
		контрольная почва	среднее загрязне- ние почвы отходами (15 г/кг)	сильное загрязне- ние почвы отходами (30 г/кг)
		концентрация, мг/кг		
после 2-ой ремедиации вермикомпостированием				
<i>Cr</i>	6,0	5,3	7,2	8,6
<i>Cu</i>	3,0	2,8	4,1*	4,7
<i>Ni</i>	4,0	4,0	4,4*	5,7
<i>Pb</i>	6,0	5,4	8,5*	10,6*
<i>Zn</i>	23,0	21,3	24,0	27,2

К основным загрязнителям среды в результате антропогенного давления со стороны кожевенного производства относятся Cu, Zn, Co, Pb, цементного – Cr, Cu, Ni, Pb, Zn.

Эффективно применение двукратной ремедиации вермикомпостированием почв, сильно загрязненных кожевенными и цементными отходами (30 г/кг). В почве с кожевенным загрязнением наблюдалось интенсивное снижение концентрации свинца и постепенное уменьшение концентрации меди, цинка и кобальта. В почвах, загрязненных отходами цементного предприятия, происходило постепенное снижение концентрации исследуемых тяжелых металлов (хрома, свинца, меди, никеля и цинка).

В подразделе 3.2. изложены результаты исследования видовой специфичности червей при их выборе для биотестирования по распространению, холодоустойчивости и весовым показателям (таблица 3).

Таблица 3 – Количество, весовые показатели и холодоустойчивость червей при исследовании их адаптивных способностей к климатическим условиям обитания

Вид червей		Показатели		
		холодоустойчивость, °С	количество особей, шт.	вес, мг
<i>Octolasion lacteum</i>	особей	от -1 до -3	9 ± 2	1130 ± 15
	коконов	от -10 до -15	12 ± 3	300 ± 10
<i>Eisenia fetida</i>	особей	-1	2 ± 1	920 ± 14
	коконов	-1	8 ± 2	250 ± 10
<i>Lumbricus rubellus</i>	особей	от -1 до -3	3 ± 1	936 ± 15
	коконов	от -10 до -35	11 ± 4	166 ± 5
<i>Dendrobaena octaedra</i>	особей	-14	7 ± 2	1300 ± 12
	коконов	от -15 до -45	20 ± 3	259 ± 10
<i>Eisenia foetida</i>	особей	от 0 до -1	5 ± 1	600 ± 10
	коконов	-1	17 ± 2	150 ± 5

Продолжение таблицы 3

Вид червей		Показатели		
		холодоустойчивость, °С	количество особей, шт.	вес, мг
<i>Dendrodrilus rubidus</i>	особей	-1	9 ± 2	951 ± 8
	коконов	-45	11 ± 2	276 ± 5

В качестве индикаторных реакций червей эффективно использовать холодоустойчивость. В благоприятной среде коконы червей вида восьмигранная дендробена (*Dendrobaena octaedra*) переносят температуры до минус 45 °С; взрослые особи – до минус 14 °С.

Эффективным индикаторным маркером для биотестирования загрязненных почв является динамика весовых показателей восьмигранной дендробены (*Dendrobaena octaedra*) при воздействии кожевенного предприятия, белокончиковый дождевой червь (*Octolasion lacteum*) – цементного. Остальные виды червей не показали достоверных результатов по динамике весовых показателей при 8-ми недельном исследовании развития особей (таблица 4). Значимыми для биотестирования являются сроки экспозиции 3 дня, 1, 4 и 8 недель.

Таблица 4 – Весовые показатели червей вида *Dendrobaena octaedra* при загрязнении почв отходами кожевенного производства

Экспозиция	Варианты загрязнения почв				
	1	2	2а	3	3а
	весовые показатели червей, мг				
1 день	1299,8	1309,8	1310,2	1296,8	1297,0
3 день	1850,3	1600,1***	1600,3***	1230,3***	1230,4***
1 неделя	2100,1	1400,4***	1400,0***	1123,4***	1123,6***
4 неделя	3400,4	1360,2***	1360,7***	920,5***	920,1***
8 неделя	3750,2	1240,1***	1239,9***	678,2***	678,5***

После первой, четвертой и восьмой недель экспозиции происходит увеличение веса червей в контрольных образцах почв, в среднем на 250 мг, 1550 мг и 1900 мг. В случае среднего загрязнения (варианты 2 и 2а) наблюдается уменьшение веса червей: на 200 мг, 240 мг, 360 мг; при сильном (варианты 3 и 3а) – на 107 мг, 310 мг, 552 мг соответственно.

Биотестирование токсичности экспериментальных почв с отходами с территории отвалов цементного производства выявили, что маркерным видом для таких исследований является белокончиковый червь (таблица 5).

Таблица 5– Весовые показатели червей вида *Octolasion lacteum* при загрязнении почв отходами цементного производства

Экспозиция	Варианты загрязнения почв				
	4	5	5а	6	6а
	весовые показатели червей, мг				
1 день	1128,3	1108,4	1109,6	1096,3	1097,1
3 день	1130,1	1060,6***	1061,2***	983,7***	984,3***
1 неделя	1420,5	1012,4***	1012,5***	959,5***	960,8***
4 неделя	1684,2	957,9***	958,1***	914,4***	915,3***
8 неделя	1955,4	836,1***	835,3***	820,2***	819,1***

В экологически благоприятной почве (вариант 4) на третий день экспозиции вес червей в среднем составляет 1130 мг. В вариантах 5, 5а и 6, 6а обнаруживается уменьшение их веса на 6 % и 13 % соответственно.

После первой, четвертой и восьмой недель экспозиции происходит постепенное увеличение веса червей в контрольном варианте на 290 мг, 554 мг, 825 мг соответственно. В почвах со средним и сильным загрязнением цементными отходами (варианты 5, 5а и 6, 6а) после 1-ой недели вермикомпостирования наблюдается уменьшение веса червей на 29 и 32 % соответственно. После 4-ой и 8-ой недель в среднезагрязненных почвах (вариант 5 и 5а) вес червей снижается на 43 %, в то время как в почвах с сильным загрязнением (вариант 6 и 6а) – на 46 и 58 % соответственно.

Восстановительные способности популяций червей показательны для биотестирования. По выживаемости, в зависимости от токсичности среды поллютантами кожевального производства, среди червей не выявлена видовая специфичность (таблица 6). После 5-ти недель экспозиции в контрольном субстрате количество особей и коконов всех видов червей практически не изменяется, в среднем отмечен высокий процент выживаемости: по количеству особей 96 % и коконов 97 %.

При средней нагрузке субстратов поллютантами (варианты 2 и 2а) через 5 недель воздействия, численность особей навозного червя уменьшается в среднем на 26 %, коконов на 24 %; красноватого дождевика на 22 % и 19 %; белокончикового дождевого червя на 29 % и 23 %; восьмигранной дендробены на 21 % и 17 % соответственно.

Таблица 6 – Выживаемость червей в субстратах, подвергшихся антропогенному давлению со стороны отходов кожевального производства

Вид червей		Варианты загрязнения почв				
		1	2	2а	3	3а
		выживаемость червей, %				
<i>Octolasion lacteum</i>	особей	97	68	67	42	43
	коконов	98	75	76	46	45

Продолжение таблицы 6

Вид червей		Варианты загрязнения почв				
		1	2	2а	3	3а
		выживаемость червей, %				
<i>Eisenia fetida</i>	особей	96	70	69	33	34
	коконов	97	73	74	45	44
<i>Lumbricus rubellus</i>	особей	95	74	72	33	35
	коконов	98	79	80	41	40
<i>Dendrobaena octaedra</i>	особей	94	73	72	38	39
	коконов	95	78	77	44	45

Под давлением сильного загрязнения среды со стороны кожевенного производства (варианты 3 и 3а) в течение 5-ти недель количество особей навозного червя и красноватого дождевика уменьшается в среднем на 63 %, коконов на 55 %.

Контрольными показателями для биотестирования токсичности почв являются следующие: динамика количества особей навозных червей для среднего загрязнения среды 26 %, для сильного 63 %; динамика количества их коконов 24 % и 52 %; динамика количества особей красноватого дождевика 21 % и 62 % при динамике количества коконов 19 % и 57 % соответственно.

Выживаемость червей, в случае токсичности среды, вызванной загрязнением почв отходами цементного производства, следующая: после 5-ти недель экспозиции в экологически чистой почве (вариант 4) количество особей и коконов всех видов червей изменяется незначительно, отмечена высокая выживаемость особей 95 %, коконов 98 % (таблица 7).

Таблица 7 – Выживаемость червей, подвергшихся антропогенному влиянию со стороны отходов цементного производства

Вид червей		Варианты загрязнения почв				
		4	5	5а	6	6а
		выживаемость червей, %				
<i>Octolasion lacteum</i>	особей	95	71	72	38	37
	коконов	99	79	77	42	44
<i>Eisenia fetida</i>	особей	92	73	74	35	36
	коконов	97	77	76	41	40
<i>Lumbricus rubellus</i>	особей	95	66	68	37	38
	коконов	98	75	76	40	41
<i>Dendrobaena octaedra</i>	особей	96	75	74	41	40
	коконов	98	80	81	45	46

При среднем загрязнении вермикомпостируемых почв (варианты 5 и 5а) численность особей белокончикевого дождевого червя уменьшилась на 24 %, коконов – 20 %. Численность особей навозного червя снизилась на 19 %, коконов – 20 %. Маркерное снижение численности особей (на 29 %), при такой токсичности

почвы, выявлено у красноватого дождевика, количество коконов этого вида червей уменьшилось на 23 %. Численность особей восьмигранной дендробены снизилась на 21 %, коконов – 18 %. Под давлением сильного загрязнения среды со стороны цементного производства (варианты 6 и 6а), в течение 5 недель вермикомпостирования, количество особей и коконов белокончикевого дождевого червя уменьшилось на 57 %, что составляет 2,5 раза. Численность особей и коконов навозного червя и красноватого дождевика снизилась в тех же пределах. Численность особей и коконов восьмигранной дендробены снизилась в 2 раза (54 %).

Следовательно, навозный червь и красноватый дождевик являются маркерными видами для биотестирования токсичности почв, вермикомпостируемых после загрязнения цементными отходами.

Репродуктивная активность червей в зависимости от токсичности среды является достоверным показателем для биотестирования. Необходимо отметить, что основными параметрами при исследовании репродуктивности червей считаются: динамика между количеством особей и полученных от них коконов и количество вылупившейся молодежи из этих коконов. При исследовании взаимосвязи между количеством коконов и появлением из них молодежи выявлено, что по индикаторному показателю – вылупляемость, маркерный вид для субстратов, загрязненных анализируемыми отходами, восьмигранная дендробена (*Dendrobaena octaedra*), цементного – красноватый дождевик (*Lumbricus rubellus*) (таблица 8).

Появление коконов восьмигранной дендробены происходит на третьей неделе, при этом по сравнению с экологически чистой почвой во 2-м и 3-ем экспериментальных вариантах среды их появляется меньше на 30 % и 70 % соответственно.

При этом в 1-ом варианте почв (контрольный субстрат) с 3-ей по 6-ую неделю онтогенеза наблюдается увеличение числа коконов. При среднем и сильном загрязнении среды выявлена обратная динамика, количество коконов уменьшается с увеличением возраста червей, при среднем загрязнении черви прекращают откладывать коконы на 6-ой неделе онтогенеза, сильном – в начале пятой недели.

Таблица 8 – Показатели вылупляемости молодежи из коконов червей вида *Dendrobaena octaedra* при различной токсичности субстрата

Период онтогенеза	Показатели вылупляемости червей					
	число коконов, шт.			наличие молодежи, шт.		
	варианты загрязнения почв					
	1/4	2/5	3/6	1/4	2/5	3/6
3 неделя	10/12	7/9 *	3/6*	–/–	–/–	–/–
4 неделя	14/15	6/7	1/4	–/–	–/–	–/–
5 неделя	18/19	4/3	–/1	14/16	9/11	2/3
6 неделя	25/23	–/1	–/–	16/19	3/6 *	1/1
7 неделя	–/–	–/–	–/–	19/24 **	2/2	–/–
8 неделя	–/–	–/–	–/–	23/27 *	–/1	–/–

Во всех экспериментальных почвах первая молодежь вылупляется на пятой неделе исследований, однако с разной интенсивностью: если в экологически благоприятной среде (1ый вариант субстрата) за 1 месяц обнаруживается в среднем

72 молодых особи, то во 2-ой и 3-ей экспериментальных почвах их значительно меньше – на 80 % и 96 % соответственно.

При изучении динамики вылупляемости червей, обитающих в почвах, загрязненных отходами цементного производства, обнаружено, что появление коконов красноватого дождевика происходит на третьей неделе независимо от интенсивности загрязнения среды. В контрольном варианте почв наблюдалось увеличение числа коконов до 6-ой недели онтогенеза. При средней токсичности субстрата на 3-ей неделе развития появляется на 35 % меньше коконов по сравнению с нормой, при сильном – на 67 %. На шестой неделе эксперимента при среднем загрязнении почв количество коконов на 96 % ниже контрольных значений, при этом сильная токсичность почв абсолютно подавляет откладку червями коконов. Появление молоди наблюдается на пятой неделе, и увеличение ее количества происходит только в четвертом варианте экспериментальной почвы. В почвах с пятым и шестым типами загрязнения происходит снижение появления молоди на 31 % и 81 %. На восьмой неделе в пятом варианте почв оно снижается на 96 %, в шестом варианте субстрата – прекращается совсем.

В подразделе 3.3. приведена динамика диагностического диапазона цитохимических показателей гемолимфы червей в зависимости от условий среды и обоснована возможность использования этих показателей для биотестирования токсичности почв. Динамика и структура пула гликогеновых гранул в гемолимфе червей, определяющихся цитохимически при проведении Шик-реакции, отражает токсичность среды под действием загрязнения отходами кожевенного производства: в норме, когда условия среды благоприятные, крупные гранулы обнаруживаются в среднем в 5,4 %, мелкие – в 6,2 % амебоцитов. При чем, индикаторная реакция одинакова у всех анализируемых видов червей (таблица 9). Маркерными показателями экологически благоприятного субстрата является малочисленность крупных и средних гранул в амебоцитах червей. При этом разница в процентном соотношении между содержанием гранул разных размеров, выявляемых Шик-реакцией, незначительная.

При средней токсичности почв (2 вариант) у белокончикового дождевого червя, количество крупных гранул в амебоцитах возрастает на 1 %, мелких гранул уменьшается на 3 %. Подобная тенденция сохраняется у навозного червя, красноватого дождевика и восьмигранной дендробены. Их индикаторные цитохимические показатели в клетках гемолимфы следующие: по крупным гранулам наблюдается увеличение количества на 1 %, мелким – уменьшение на 2-3 %.

При сильном загрязнении почв (3 вариант) в амебоцитах червей, по сравнению с нормой, резко возрастает количество крупных гранул, при том, что практически исчезают мелкие гранулы. Количество крупных гранул у всех видов анализируемых червей возрастает в 2 раза, мелких – уменьшается в 3-5 раз; цитохимические показатели при оценке количества крупных и мелких гликогеновых гранул в амебоцитах червей подвергшихся антропогенному влиянию со стороны отходов цементного производства идентична выявленной при изучении воздействия отходов кожевенного предприятия.

Таблица 9 – Цитохимическая оценка амебоцитов червей подвергшихся антропогенному влиянию со стороны отходов кожевенного/цементного производства

Вид червей	Шик-реакция, гранулы, %	Варианты загрязнения почв		
		1/4	2/5	3/6
<i>Octolasion lacteum</i>	крупные	5,2/5,3	6,4/5,9	12,3/8,3*
	мелкие	6,5/6,2	3,7/5,4*	1,5/3,5*
<i>Eisenia fetida</i>	крупные	5,4/5,5	6,6/6,4	12,7/7,9**
	мелкие	6,3/6,7	4,2/5,1*	1,2/3,8**
<i>Lumbricus rubellus</i>	крупные	5,2/5,4	6,3/6,3	11,6/7,7**
	мелкие	6,1/6,5	3,3/4,8*	1,4/3,2**
<i>Dendrobaena octaedra</i>	крупные	5,6/5,6	6,5/6,6	12,9/8,1**
	мелкие	5,8/5,9	3,7/5,0**	2,2/3,4*

Примечание: $n = 15$ для каждого вида червей.

Динамика индикаторных показателей для проведения биотестирования выражается в изменении пула мелких и крупных гранул гликогена в амебоцитах гемолимфы червей.

В 4-ом варианте субстрата (контрольная почва) крупные и мелкие гранулы обнаруживаются в среднем в 6 % амебоцитов червей. При средней нагруженности субстрата отходами цементного производства (5 вариант), количество крупных гранул возрастает на 0,6 % у белокончикового дождевого червя, мелких – уменьшается на 0,8 %; у навозного червя и красноватого дождевика наблюдается увеличение крупных гранул на 0,9 %, мелких гранул уменьшается на 2 % соответственно. Количество крупных гранул у восьмигранной дендробены увеличивается на 1 %, мелких – уменьшается на 0,9 %. У белокончикового дождевого червя количество крупных гранул увеличиваются в 1,6 раз, мелких – уменьшается в 2 раза. Количество крупных гранул у навозного червя и красноватого дождевика увеличивается в 1,4 раза, мелких гранул уменьшается в 2 раза соответственно. У восьмигранной дендробены количественные показатели крупных гранул возрастают в 1,4 раза, мелких – снижается в 1,7 раз.

Таким образом, динамика крупных и мелких гликогеновых гранул, выявляемых в амебоцитах при Шик-реакции, у всех изучаемых видов червей является индикаторным маркером при проведении биотестирования токсичности почв, в местах отвалов кожевенных и цементных предприятий. Причем, влияние загрязнения среды под воздействием отходов кожевенного производства гораздо более заметно отражается на цитохимических реакциях червей, чем со стороны отходов цементных заводов.

В подразделе 3.2.3. приведена динамика диагностического диапазона цитоморфологических показателей амебоцитов гемолимфы червей под действием среды и обоснована возможность их использования для биотестирования токсичности почв в местах отвалов кожевенных и цементных отходов. Адаптация популяций червей формируется постоянно, что определяет готовность к мутациям. Микроядра отражают наличие, интенсивность и устойчивость мутаций, вызванных антропогенным давлением. Микроядерный тест амебоцитов червей, в

качестве показателя для биотестирования, отражает не только антропогенное давление среды, но и указывает на маркерный вид червей, который необходимо применять как при анализе хронической токсичности почв, так и при исследовании процесса их ремедиации на экологически неблагоприятных территориях. Проанализировав количественную динамику микроядер в трёх поколениях червей, вермикомпостируемых токсичные почвы, выявили маркерный вид для проведения биотестирования (таблица 10).

Таблица 10 – Динамика количества микроядер в амебоцитах червей, вермикомпостируемых почвы с отвалов кожевенных отходов

Почвы	Вид червей, <i>n</i> = 15	Показатели			
		микроядер на 100 амебоцитов	поколения червей		
			1	2	3
1	<i>Octolasion lacteum</i>	1,2	1,4	1,1	1,3
	<i>Eisenia fetida</i>	1,5	1,3	1,1	1,8
	<i>Lumbricus rubellus</i>	1,3	1,4	1,4	1,2
	<i>Dendrobaena octaedra</i>	1,6	1,6	1,5	1,9
2	<i>Octolasion lacteum</i>	1,3	7,4***	4,9***	1,7
	<i>Eisenia fetida</i>	1,6	7,7***	7,3***	6,7***
	<i>Lumbricus rubellus</i>	1,2	7,9***	7,5***	7,2***
	<i>Dendrobaena octaedra</i>	1,4	7,7***	5,2***	1,5
3	<i>Octolasion lacteum</i>	1,2	7,8***	5,3***	1,8
	<i>Eisenia fetida</i>	1,6	7,9***	7,6***	7,1***
	<i>Lumbricus rubellus</i>	1,5	7,6***	7,4***	6,9***
	<i>Dendrobaena octaedra</i>	1,3	7,5***	5,1***	1,4

В контрольной почве в амебоцитах первого поколения червей видов *Octolasion lacteum* и *Dendrobaena octaedra* количество микроядер стабильно у трех поколений (1,4, 1,1, 1,3 и 1,6, 1,5, 1,9 ед. соответственно). При среднем загрязнении кожевенными отходами вермикомпостируемых почв у червей видов белокончиковый дождевой червь и восьмигранная дендробена в первом поколении на 100 амебоцитов обнаруживается 7,4 и 7,7 микроядер соответственно. К третьему поколению число микроядер уменьшается в среднем на 80 %, их количество приближается к норме. У навозных червей и красноватых дождевиков в первом поколении число микроядер на 100 амебоцитов увеличивается до 7,7 и 7,9 ед. соответственно, в третьем поколении обнаруживается большое количество микроядер – 6,7 и 7,2 ед. на 100 амебоцитов соответственно.

При сильном загрязнении вермикомпостируемых почв (3 субстрат) у белокончиковых дождевых червей и восьмигранной дендробены в первом поколении количество микроядер на 100 амебоцитов составляет 7,8 и 7,5 ед. соответственно. К третьему поколению число микроядер уменьшается на 6,0 ед. (77 %) и 6,1 ед. (81 %) соответственно, что сопоставимо с показателями их количества в норме. У

навозных червей и красноватых дождевиков в первом поколении число микрорядер увеличивается на 80 % (7,9 и 7,6 ед. соответственно), к третьему поколению число микрорядер остается на высоком уровне – 7,1 и 6,9 ед. соответственно. Отсюда, для биотестирования токсичности почв, находящихся под воздействием отходов кожзавода, маркерными видами являются навозный червь и красноватый дождевик, индикаторными показателями микрорядерного теста – стабильное увеличение микрорядер у первого, второго и третьего поколений навозного червя на 80 %; у красноватого дождевика в трех поколениях на 83 %.

Та же тенденция по возникновению и угасанию мутации, влекущей за собой появление микрорядер в амебоцитах, обнаруживается у червей под воздействием токсических веществ, попадающих в почву при производстве цемента.

В подразделе 3.4. проанализированы показатели растений, индикаторно отражающие очистку почв вермикомпостированием. Ремедиация почв вермикомпостированием соответствует современному биотехнологическому развитию экологического природопользования. При этом практическое применение ремедиационной методики очистки почв не требует высоких экономических затрат и дорогого лабораторного оборудования. Результаты биотестирования токсичности экспериментальных почв, при их ремедиации вермикомпостированием, анализировали через оценку динамики процессов прорастания семян пшеницы (*Triticum aestivum L.*) и салата (*Lactuca sativa L.*), обладающих маркерной амплитудой ответной реакции на условия среды.

При среднем загрязнении вермикомпостируемой почвы (с добавлением 15 г/кг кожевенных (вариант 2) и цементных (вариант 5) отходов в начале эксперимента проявилась положительная ростовая реакция тест-объектов; негативный ответ был при сильном загрязнении среды (варианты 3 и 6) (таблица 11). Стимуляция ростовых процессов проростков пшеницы при среднем загрязнении среды, объясняется тем, что токсиканты некоторое время выступают в качестве ложного источника минеральных элементов.

Зарегистрирован ремедиационный эффект при вермикомпостировании токсичной почвы. При анализе пшеницы в средне нагруженных отходами почвах (варианты 2 и 5) выявляется тенденция к плавному уменьшению её ростовых показателей. Антропогенное воздействие при концентрации отходов в почве выше 30 г/кг (варианты 3 и 6) индикаторно отражается на ростовых показателях пшеницы.

Проявление токсичного воздействия при загрязнении почв отходами кожевенного предприятия в концентрации 30 г/кг (вариант 3) отражается на потенциальной продуктивности экспериментальных растений. В контрольной почве (вариант 1) наблюдаются благоприятные условия, влияющие на ростовые показатели пшеницы.

Таблица 11 – Динамика ростовых показателей пшеницы в качестве индикаторной реакции для биотестирования очистки вермикомпостируемых почв, загрязненных отходами кожевенного и цементного производств

Варианты почв	Показатели									
	проросшие семена, доля, %		масса корней, г <i>n</i> = 20		масса побегов, г <i>n</i> = 20		длина побега, мм <i>n</i> = 20		длина максимального корня, мм <i>n</i> = 20	
	без вермикомпоста	с вермикомпостом	без вермикомпоста	с вермикомпостом	без вермикомпоста	с вермикомпостом	без вермикомпоста	с вермикомпостом	без вермикомпоста	с вермикомпостом
воздействие отходов кожевенного производства										
1	96,7	97,4	2,5	2,7	1,3	1,4	56,9	57,1*	78,3	78,8
2	79,3	82,2	0,9	1,1*	0,7	0,8*	31,8	33,6*	54,6	57,2*
3	69,8	71,4	0,3	0,4*	0,5	0,6*	21,4	25,7*	43,2	45,6*
воздействие отходов цементного производства										
4	95,9	98,1	2,3	2,8	1,4	1,6	55,3	56,8*	78,6	79,5
5	79,9	84,1	0,8	1,3*	0,9	1,1*	32,2	34,1*	56,1	59,3*
6	65,6	70,3	0,4	0,6*	0,4	0,7*	21,6	26,2*	42,7	46,1*

Примечание: * $\leq 0,05$

В 3-ем варианте почв, то есть при сильном загрязнении среды, происходит дальнейшее угнетение индикаторных ростовых показателей пшеницы: доля проросших семян снижается на 26,9 %, масса корней проростков – на 2,2 г (88 %), масса побегов проростков – 0,8 г (61 %), длина побега проростка – 35,5 мм (62 %), длина максимального корня проростка – 35,1 мм (45 %). Динамика индикаторных показателей пшеницы при биотестировании токсичных вермикомпостируемых почв, следующая: по доле проросших семян 1,6 %, массе корней проростков 0,1 г (25 %), массе побегов 0,1 г (17 %), длине побегов 4,3 мм (17 %), длине максимального корня проростка 2,4 мм (5 %).

При средней токсичности почв с отходами цементного предприятия (15 г/кг, вариант 5) также наблюдается снижение ростовых показателей пшеницы. Относительно контрольной почвы (4 вариант) индикаторный показатель – доля проросших семян снижается на 16 %, масса корней проростков – на 1,5 г (65 %), масса побегов проростков – на 0,5 г (36 %), длина побега проростков – на 23,1 мм (42 %), длина максимального корня проростка – на 22,5 мм (29 %). С применением ремедиации вермикомпостированием пятого варианта почв индикаторные показатели растений увеличиваются на 4,2 %, 0,5 г (38 %), 0,2 г (18 %), 1,9 мм (6 %), 3,2 мм (5 %) соответственно.

При загрязнении почв отходами цементного предприятия в количестве 30 г/кг (вариант 6) негативное воздействие проявляется в дальнейшем угнетении индикаторных показателей пшеницы: доля проросших семян снижается на 30,3 %, масса корней проростков – на 1,9 г (83 %), масса побегов проростков – на 1,0 г (71 %), длина побега проростка – на 33,7 мм (61 %), длина максимального корня проростка – на 35,9 мм (46 %). Динамика индикаторных показателей пшеницы для биотестирования токсичных вермикомпостируемых почв, следующая: по доле проросших семян 4,7 %, массе корней проростков 0,2 г (33 %), массе побегов 0,3 г (43 %), длине побегов 4,6 мм (17 %), длине максимального корня проростка 3,4 мм (7 %).

В ходе исследования возможности применения показателей растений для биотестирования ремедиации загрязненных почв вермикомпостированием анализировали темпы роста салата на экологически неблагоприятных почвах. В качестве индикаторного показателя ремедиации вермикомпостируемых почв использовали высоту растений салата (таблица 12).

Растения салата, на загрязненных экспериментальных почвах, заметно отстают в развитии и росте от контрольных образцов. Динамика высоты растений салата, произрастающих в сильно загрязненном субстрате, является маркером ремедиации субстратов червями. Отклонение этого показателя растений от нормы (почвы 1 и 4) под сильным давлением антропогенной среды (почвы 3 и 6) составляет: на 4-е сутки 74,4 % и 72,6 %, 20-е – 92,4 % и 92,5 %, 30-е – 93,7 % и 94,1 %, 40-е – 94,9 % и 95,1 % соответственно.

Таблица 12 – Высота растений салата, как показатель ремедиации почв вермикомпостированием, см

Почва	Период роста растений салата (сут.), $n = 20$				
	4	10	20	30	40
высота растений, см					
1	1,72	5,72	11,11	16,53	23,15
2	0,42*	0,50**	0,71***	0,83***	1,08***
3	0,44*	0,63**	0,84***	1,04***	1,18***
4	1,46	4,95	10,46	16,71	23,13
5	0,35*	0,46**	0,66***	0,78***	1,03***
6	0,40*	0,58**	0,79***	0,99***	1,14***

Примечание: * $\leq 0,05$

В качестве индикаторного показателя ремедиации почв вермикомпостированием исследовали высоту растений салата при однократной и двукратной очистке экспериментальных субстратов (таблица 13).

Таблица 13 – Высота растений салата, как индикаторный показатель для биотестирования ремедиации вермикомпостируемых почв, загрязненных отходами кожаного и цементного производств

Почвы	Повторность ремедиации	Период роста растений салата (сут.), $n = 20$				
		4	10	20	30	40
высота растений, см						
1/4	контроль	1,7	5,7	11,1	16,5	23,2
2/5	первичная	1,1*	3,3**	7,9**	11,1**	15,2**
	вторичная	1,7	5,6	11,5	16,6	22,1
3/6	первичная	0,7**	2,2**	4,9***	11,0***	11,2***
	вторичная	1,6	2,7**	10,8	16,7	23,6

Примечание: во всех случаях $P^* \leq 0,05$.

После однократной ремедиации почв вермикомпостированием в первые 3 недели наблюдается значительный прирост растений салата, кроме тех, которые были высажены в образцы почв 3 и 6 (с сильным загрязнением).

Важно отметить, что для успешной очистки сильно загрязненных почв (варианты 3 и 6), однократной ремедиации вермикомпостированием недостаточно. После вторичной очистки токсичных субстратов вермикомпостированием на 40-е сутки высота растений салата увеличивается на 12,4 см (53 %), сравниваясь по показателям с аналогами, высаженными в контрольные образцы почв.

При анализе водоудерживающей способности растений, выращиваемых в экспериментальных образцах субстратов, очищаемых вермикомпостированием, выявлено, что двукратная ремедиация почв положительно сказывается на водном обмене растений. Так, если проанализировать данные по оводненности растений в процентном соотношении на 40-е сутки эксперимента, видно, что этот показатель у салата, выращенного после однократной ремедиации на 5 % выше кон-

трольных значений для растений, высаженных в почву со средним загрязнением (варианты 2 и 5), при повторной ремедиации – на 0,9 % (таблица 14).

Таблица 14 – Оводненность листьев салата, как индикаторный показатель биотестирования токсичности вермикомпостируемых почв, загрязненных отходами кожевенного и цементного производств

Варианты почв	Повторность ремедиации	Период роста растений салата (сут.), $n = 20$			
		4	10	20	40
оводненность листьев, %					
1/4	контроль	85,6	82,3	80,9	72,9
2/5	первичная	87,5	86,7	83,9	74,7
	вторичная	86,6	86,9	83,9	75,3
3/6	первичная	88,9	83,9	82,5	73,8
	вторичная	87,5	88,6	87,7	78,5

У растений, произрастающих в экспериментальном варианте почв со средним загрязнением кожевенными и цементными отходами (варианты 2 и 5) после однократной очистки вермикомпостированием, водоудерживающая способность листьев уменьшается при увеличении периода роста от 0,2 до 1,1 %; при ремедиации сильно загрязненной среды (варианты 3 и 6) этот показатель варьирует от 0,4 до 0,8 % соответственно (таблица 15).

Таблица 15 – Водоудерживающая способность листовых пластинок салата, как индикаторный показатель для биотестирования токсичных вермикомпостируемых почв, загрязненных кожевенными и цементными отходами

Варианты почв	Период ремедиации	Период роста растений салата (сут.), $n = 20$			
		4	10	20	40
водоудерживающая способность, %					
1/4	контроль	93,8	95,3	95,2	94,2
2/5	однократная	95,5	95,3	94,9	94,4
2/5	вторичная	95,5	95,3	95,2	94,7
3/6	однократная	91,9	91,5	91,3	91,1
3/6	вторичная	96,8	96,5	96,3	96,1

В целом, ремедиация почв вермикомпостированием от загрязнения кожевенными и цементными отходами, оптимизирует способность растений, произрастающих на них, к осморегуляции, так как с увеличением токсичности среды у растений нарушается оводненность и теряется водоудерживающая способность, что отрицательно сказывается на их жизнедеятельности.

ВЫВОДЫ

1. Эффект от вермикомпостирования почв с отвалов кожзавода – постепенное уменьшение концентрации свинца и интенсивное снижение концентрации меди, цинка и кобальта. Концентрация меди, после первой ремедиации, снижается в среднем на 21 %, после второй – на 49 %; цинка – 34 % и 58 %, кобальта – 25 % и 36 %, свинца – 6 % и 46 %; в почвах, загрязненных отходами це-

ментного предприятия: постепенное снижение концентрации хрома, свинца, меди, никеля и цинка. Концентрация хрома до очистки составляла 27,0 мг/кг, после однократного очищения снизилась на 4 %, после двукратного – на 67 %, меди – 24 % и 76 %, никеля – 12 % и 78 %; свинца – 5 % и 56 %, цинка – 11 % и 42 % соответственно. При высоком загрязнении почв (с содержанием более 30 г/кг отходов) эффективно применение двукратной ремедиации; при среднем загрязнении почв отходами (менее 15 г/кг) для их очистки достаточно однократного вермикомпостирования.

2. Видовое разнообразие червей, способных проявлять индикаторную реакцию для биотестирования токсичности почв следующее: навозный червь – *Eisenia fetida*, белокончиковый дождевой червь – *Octolasion lacteum*, красноватый дождевик – *Lumbricus rubellus*, восьмигранная дендробена – *Dendrobaena octaedra*.
3. Эффективными индикаторными показателями червей *Lumbricina* являются холодоустойчивость, репродуктивная активность, восстановительные способности популяции. Биохимическим индикаторным показателем червей, пригодным для биотестирования токсичности вермикомпостируемых почв, загрязненных кожевенными и цементными отходами, является динамика крупных и мелких гликогеновых гранул в амебоцитах гемолимфы червей следующих видов – навозный червь и красноватый дождевик, у которых происходит стабильное увеличение микроядер по сравнению с контролем на 80 %. Цитоморфологическим маркером – динамика микроядер в амебоцитах червей: при цементном загрязнении у навозных червей и красноватых дождевиков, при кожевенном – восьмигранных дендробен, белокончиковых дождевых червей.
4. Эффективными объектами для биотестирования ремедиации вермикомпостируемых почв являются пшеница мягкая – *Triticum aestivum* L. и салат обыкновенный – *Lactuca sativa* L.. Ростовые показатели, водоудерживающую способность и оводненность листьев этих сортовых культурных растений эффективно использовать в качестве индикаторных маркеров для биотестирования динамики восстановления почв при ремедиации вермикомпостированием.

Список опубликованных статей в изданиях по списку ВАК:

1. Фиторемедиационная реакция растений при загрязнении почвы нефтепродуктами и отходами кожевенного производства / С. А. Нефедова, А. А. Коровушкин, Ю. В. Доронкин, **И. Ю. Корнеева**, Н. С. Ионочкина // Научно-производственный журнал "Вестник РГАТУ имени П. А. Костычева», № 2 (18), Рязань, 2013. – С. 39-41;
2. К вопросу производства удобрений из отходов кожевенного и цементного производства путем вермикомпостирования / С. А. Нефедова, А. А. Коровушкин, **И. Ю. Корнеева**, И. А. Козеева // Научно-производственный журнал «Аграрная Россия», М., 2014. – С. 28-33.
3. Биоиндикация при исследовании воздействия цементного производства / **И. Ю. Корнеева**, С. А. Нефедова, И. А. Козеева // Общественно-научный журнал «Проблемы региональной экологии» № 2, М., 2015. – С. 11-15.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

1. Биоиндикация при загрязнении окружающей среды нефтепродуктами и отходами кожевенного производства / С. А. Нефедова, Л. Б. Зутова, **И. Ю. Корнеева**, А. А. Коровушкин, Е. С. Иванов, Ю. В. Доронкин // Научно-производственный журнал «Вестник Мичуринского филиала Российского университета кооперации», № 3, 2013. – С. 130-133.
2. **Корнеева, И. Ю.** Адаптивность животных на экологически неблагоприятных и додефицитных территориях / **И. Ю. Корнеева**, С. А. Нефедова // В сб. «Тезисы докладов XII Международной студенческой научной конференции «Знания молодых – будущее России», Киров, 2014. – С. 117-119.
3. **Корнеева, И. Ю.** Биотехнологические параметры адаптивности в экстерьерных и интерьерных показателях, определяющих устойчивость генофонда животных на экологически неблагоприятных территориях / **И. Ю. Корнеева** // В сборнике «Тезисы докладов Региональной конференции молодых ученых «Пути инновационного развития экономики Рязанской области», Рязань, 2013. – С. 85-89.
4. **Корнеева, И. Ю.** К вопросу производства удобрений из отходов кожевенного и цементного производства путем вермикомпостирования / **И. Ю. Корнеева**, С. А. Нефедова // В сб. научных трудов международной конференции аспирантов и молодых ученых «Знания молодых: наука, практика и инновации», Киров, 2014. – С. 32-34.
5. **Корнеева, И. Ю.** Биоиндикационные показатели калифорнийского червя при вермикомпостировании почв с осадком сточных вод кожевенного производства / **И. Ю. Корнеева** // В сб. тезисов докладов международной конференции «Интеграция науки и бизнеса в агропромышленном комплексе», Курган, 2014. – С. 228-232.
6. **Корнеева, И. Ю.** Биоиндикационные показатели калифорнийского червя в зависимости от экологических условий среды / **И. Ю. Корнеева**, С. А. Нефедова // В сб. материалов межвузовской научно-практической конференции «Современная наука глазами молодых ученых: достижения, проблемы, перспективы». Часть 2, Рязань, 2014. – С. 62-65.
7. Нефедова, С. А. Рост и репродуктивная активность червей в качестве показателей биотестирования при вермикомпостировании осадка сточных вод / С. А. Нефедова, **И. Ю. Корнеева** // В сб. материалов международной научно-практической конференции «Современные проблемы гуманитарных и естественных наук», Рязань, 2015. – С. 205-208.
8. **Корнеева, И. Ю.** Индикаторные показатели червей и растений для оценки экологического состояния вермикомпостируемых почв / **И. Ю. Корнеева** // Вестник СМУ РГАТУ, Рязань, №1 (2), 2016. – С. 20-25.

Корнеева Ирина Юрьевна

**ИНДИКАТОРНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЧЕРВЕЙ И РАСТЕНИЙ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ВЕРМИКОПОСТИРУЕМЫХ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ
ОТХОДАМИ КОЖЕВЕННОГО И ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВ**

Показателями тест-объектов для биотестирования токсичных почв, загрязненных отходами кожевенного и цементного производств, при ремедиации субстратов вермикомпостированием, являются: для червей (*Lumbricina*) – холодоустойчивость, весовые и адаптивные характеристики, репродуктивность и восстановление популяций, количество особей, коконов, молоди; для растений: пшеницы мягкой (*Triticum aestivum L.*) – ростовые показатели, салата обыкновенного (*Lactuca sativa L.*) – водоудерживающая способность, оводненность листьев.

Korneeva Irina Yuryevna

**INDICATOR VALUE OF WORMS AND PLANTS
FOR ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE
VERMIKOMPOSTIRUYEMY SOILS POLLUTED BY THE WASTAGE OF
TANNING AND CEMENT PRODUCTIONS**

Performance test-objects for biotesting toxic soils, contaminated waste leather and cement productive activities, remediation of the substrates are vermicomposting: worms (*Lumbricina*) – low-temperature stability, weight and adaptive descriptions, the reproducibility and recovery of populations, number of specimens, cocoons, juveniles; for plants: *Triticum aestivum L.* – growth parameters, *Lactuca sativa L.* – is the water-holding capacity, water content of grain leaves.