



На правах рукописи

УСКОВА Валентина Валерьевна

**УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД,
РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО ТОКСИЧНОСТИ,
С ПОМОЩЬЮ ЧЕРВЕЙ EISENIA FOETIDA (SAV.).**



(SAV.)

03.00.16 – Экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

**Йошкар-Ола
2006**

Работа выполнена в Марийском государственном техническом университете

Научный руководитель: кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент Мухортов Д. И.

Официальные оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Каверин А. В.

кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент Смоленцев В. Б.

Ведущая организация: Управление по технологическому и
экологическому надзору Ростехнадзора по РМЭ

Защита диссертации состоится «26» сентября 2006 года в 13⁰⁰ часов
на заседании диссертационного совета Д. 212.115.01 в Марийском
государственном техническом университете по адресу: 424000,
Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3, конференц-зал.

Факс: 8 (8362) 41-08-72

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической
библиотеке Марийского государственного технического университета
(г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью,
просим направлять ученому секретарю диссертационного совета
Д 212.115.01.

Автореферат разослан «25» августа 2006 года

Ученый секретарь
диссертационного совета



А. Г. Поздеев

Актуальность темы. В настоящее время остро стоит проблема утилизации органических отходов и, в частности, осадков сточных вод очистных сооружений канализации. Применяемые на очистных сооружениях канализации физические, химические и механические методы переработки осадков сточных вод, как правило, связаны со значительными затратами, чрезвычайно энергоемки, требуют больших затрат труда и материальных средств и не всегда обеспечивают экологическую безопасность при их утилизации.

Перспективными являются методы переработки и утилизации осадков сточных вод, основанные на использовании биологических объектов, например червей *Eisenia foetida* (Sav.). Они способны накапливать в теле тяжёлые металлы и переводить их в связанные формы недоступные для растений, что позволяет расширить спектр применения конечного продукта переработки. Этот процесс протекает без применения реагентов, что делает биологическую утилизацию экологически безопасной и не приводит к вторичному загрязнению поверхностных водоёмов, грунтовых подземных вод, почв (Игонин и др, 2002; Покровская, 1991).

Однако использование этого способа затруднено из-за отсутствия систематизированных данных научных исследований в этой области. Кроме того, существующие исследования не учитывают особенности переработки осадков сточных вод, различающихся по токсичности.

Цели и задачи. Целью настоящих исследований являлось определение особенностей переработки и утилизации осадков сточных вод, различающихся по токсичности, с помощью червей *Eisenia foetida* (Sav.).

В соответствии с поставленной целью предусматривалось решение следующих задач:

- определить токсичность осадков сточных вод различных населенных пунктов и особенности адаптации к ним червей *Eisenia foetida* (Sav.);
- определить виды органических наполнителей и их оптимальную для жизнедеятельности червей *Eisenia foetida* долю в составе субстратов на основе осадков сточных вод различающихся по токсичности;
- определить оптимальную плотность посадки червей *Eisenia foetida* (Sav.) для переработки субстратов на основе осадков сточных вод;
- определить порядковый номер поколений червей *Eisenia foetida* (Sav.), позволяющих эффективно перерабатывать субстраты на основе осадков сточных вод, различающихся по токсичности;

- определить оптимальную долю различных органических наполнителей в субстратах на основе осадков сточных при различных температурных режимах вермикомпостирования;

- разработать методику предварительной оценки эффективности использования технологии вермикомпостирования на основе реакции червей *Eisenia foetida* (Sav.) на внешнее механическое раздражение;

- установить экологическую безопасность вермикомпостов на основе осадков сточных вод;

- разработать рекомендации по технологии вермикомпостирования осадков сточных вод, различающихся по токсичности.

Основные положения, выносимые на защиту:

- закономерности адаптации червей *Eisenia foetida* (Sav.) к осадкам сточных вод;

- зависимость показателей состояния червей *Eisenia foetida* (Sav.) от класса опасности осадков сточных вод;

- технологические параметры вермикомпостирования, обеспечивающие процессы утилизации осадков сточных вод, различающиеся по токсичности;

- методика предварительной оценки эффективности использования технологии вермикомпостирования на основе реакции червей *Eisenia foetida* (Sav.) на внешнее механическое раздражение.

Объектом исследования являются

- осадки сточных вод очистных сооружений канализации гг. Йошкар-Олы, Новочебоксарска, Козьмодемьянска;

- взаимодействие в системе «субстраты на основе осадков сточных вод - черви *Eisenia foetida* (Sav.)».

Методы исследования: в настоящей работе использованы методы экологического и морфофункционального анализа.

Предметом исследования являются закономерности адаптации червей *Eisenia foetida* (Sav.) к субстратам на основе осадков сточных вод, способы подготовки к вермикомпостированию в зависимости от токсичности осадков сточных вод.

Научной новизной обладают:

- установленные оптимальные для жизнедеятельности червей *Eisenia foetida* (Sav.) составы субстратов на основе осадков сточных вод очистных сооружений канализации в зависимости от их токсичности;

- установленные параметры переработки осадков сточных вод очистных сооружений канализации в зависимости от их токсичности;

- положения о влиянии вида субстратов на основе осадков сточных вод в ряду поколений червей *Eisenia foetida* (Sav.);

- методика предварительной оценки эффективности использования технологии вермикомпостирования на основе реакции червей *Eisenia foetida* (Sav.) на внешнее механическое раздражение.

Личный вклад соискателя: анализ проблемы, постановка и решение основных задач; теоретические и лабораторные исследования; анализ результатов, формулировка выводов; участие во внедрении результатов научной работы.

Практическое использование работы. Результаты работы используются в учебном процессе при чтении курса лекций по дисциплине «Улучшение качества природных и очистка сточных вод» на специальности 28.03.02 «Комплексное использование и охрана водных ресурсов», в спецкурсах «Почвенная зоология» и «Основы токсикологии» по специальности 01.16.00, а также в одном из разделов «Большого практикума» по специальностям 01.16.00 и 01.35.00; а также являются научной основой для разработки технологии по биологической переработке органических отходов на базе ООО «Баунджилинг».

Апробация работы. Основные материалы исследований доложены и получили одобрение на Всероссийской научно-практической конференции «Рациональное использование природных ресурсов в системе управления регионом» (Йошкар-Ола, 2001); Междисциплинарной научной конференции «Вавиловские чтения» «Диалог науки и практики в поисках новой парадигмы общественного развития России в новом тысячелетии» (Йошкар-Ола, 2000); Третьем международном конгрессе по управлению отходами ВейсТэк-2003 (Москва, 2003); Международной научно-методической конференции «Экология – образование, наука и промышленность» (Белгород, 2002 и 2004); Научно-практической конференции «Водные ресурсы. Проблемы и пути их решения» (Йошкар-Ола, 2003).

Публикация материалов исследований. По материалам исследований опубликовано 7 статей.

Объем работы. Диссертация изложена на 170 страницах машинописного текста. Она включает аналитический обзор литературы, материалов и методов исследований, результатов и анализа собственных исследований, выводов и предложений. Список литературы включает 168 наименований. Обоснованность и достоверность результатов исследований основывается на достаточном объеме экспериментального материала и его обработке методами

математической статистики, а также воспроизводимости результатов. Для определения биометрических показателей было исследовано 1370 червей *Eisenia foetida* (Sav.), испытано 87 видов субстратов на основе осадков сточных вод.

1. Состояние проблемы

В последнее десятилетие наряду с традиционными во многих регионах РФ и за рубежом все более широкое распространение получает метод переработки ОСВ с использованием червей.

В настоящее время вопросами вермикомпостирования занимаются малые предприятия, фермерские хозяйства, научно-производственные объединения. Производство и практическое использование вермикомпостов осуществляется во многих случаях без достаточного научно-технологического обеспечения, без надлежащего агрохимического и санитарно-гигиенического контроля (Черников и др., 2000, Игонин и др., 2002).

Отечественная научно-исследовательская работа в этом направлении находится на этапе накопления экспериментального материала. В научной литературе весьма малочисленны и нередко противоречивы данные по агробиологической, эколого-экономической оценке вермикомпостов, и их влиянию на плодородие различных типов почв и продуктивность агроценозов.

Для успешного развития и более широкого внедрения в сельскохозяйственную практику необходимо проведение комплексных квалифицированных научных исследований.

2. Объекты и методика исследований

Исследования проводились с 2000 по 2006 год на кафедре лесных культур и механизации лесохозяйственных работ и в лаборатории кафедры водных ресурсов Марийского государственного технического университета. Для проведения исследований использовали популяцию червей *Eisenia foetida* (Sav.). В ходе исследований изучали адаптационные способности червей к субстратам на основе осадков сточных вод различающимся по токсичности, уточняли технологические параметры их культивирования, определяли агрономическую ценность вермикомпостов и содержание в них подвижных форм тяжелых металлов, а также степень дегазации и дезодорации осадков сточных вод после переработки.

В ходе проведения исследований по определению оптимальных для адаптации червей субстратов на основе осадков сточных вод различающихся по токсичности в качестве наполнителей использовали листовую опад, опил лиственных пород деревьев, бумажные отходы, торф и солому. Субстраты смешивали в следующих соотношениях 80:20, 60:40, 50:50, 40:60 и 20:80 процентов по объему. При подготовке субстратов тщательно смешанные ингредиенты закладывались в пластиковые емкости в объеме 1 дм³. По истечению 14 дней в предварительно подготовленный и увлажненный субстрат, заселяли половозрелых червей из расчета 6 особей на одну емкость. Продолжительность экспозиции составляла в среднем 91 день. Опыты проводились в трех повторностях. Результаты исследований оценивались по таким показателям состояния червей: плотность популяции, прирост биомассы молоди, прирост общей биомассы популяции, количество коконов, количество и качество молодых и половозрелых особей.

Для оценки влияния температуры на продукционные характеристики червей, культивируемых в субстратах на основе осадков сточных вод очистных сооружений канализации г. Йошкар-Олы после цеха обезвоживания и нейтрализации подготовка субстратов и схеме проведения исследований была аналогична ранее описанной. С тем отличием, что температурный режим был следующим: с 19.05 по 18.08 температура составила 15 – 17 °С, с 11.08 по 10.11 – 16 – 18 °С, с 17.11 по 9.02 – 20 – 23 °С и с 13.03 по 14.06 – 22 – 25 °С.

При определении оптимальной плотности посадки и оптимальной плотности популяции в субстраты на основе осадков сточных вод очистных сооружений канализации использовали такие наполнители как листовая опад, опил лиственных пород деревьев, бумажные отходы. Соотношение ингредиентов в опытных субстратах составляло 60:40, 50:50 и 40:60 процентов от общего объема. Подготовка субстратов и схема проведения исследований была аналогичной, заселение субстратов производилось из расчета 6, 12 и 18 половозрелых особей на 1 дм³ субстрата.

При изучении влияния субстратов на основе осадков сточных вод на червей нескольких поколений схема проведения экспериментов была аналогичной. После переработки червями субстрата, осуществляли их выемку из всего объема емкости, оценивали показатели их состояния и затем заселяли изъятых половозрелых червей во вновь подготовленные субстраты.

В период проведения экспериментов влажность субстратов поддерживалась на уровне 80%, pH субстрата составляла 6.5 – 7.5; температурные колебания составляли в среднем 3-4 °С. В ходе проведения исследований по изучению влияния субстратов на основе осадков сточных вод на возрастную структуру популяции червей были выделены четыре возрастные группы - светло-серые, розовые, красные и темно-красные, согласно окраске тела биологических объектов.

При изучении интенсивности реакции червей на внешнее механическое раздражение тупой деревянной палочкой диаметром 3...5 мм касались центральной части тела червя, таким образом, чтобы оно сжималось не более чем в два раза, продолжительность контакта не более 1 секунды. Было выделено на четыре группы червей:

группа А – активное, ритмичное сокращение тела в течении 20 секунд и более после контакта;

группа В - сокращение тела в течении 15- 20 секунд после контакта;

группа С - постепенно затухающее сокращение тела в течении 10 секунд после контакта;

группа Д – до 5 сокращений тела после контакта.

Оценка агрономической ценности вермикомпостов проводилась методом сравнения эффективности внесения различных доз вермикомпоста (содержащих 50% осадка сточных вод и 50% листового опада) и нативных осадков сточных вод и навозом крупного рогатого скота (КРС). В качестве опытных культур были использованы салат и шпинат. В опыте применяли смесь из почвы и исходного осадка сточных вод очистных сооружений канализации г. Йошкар-Олы (ОСВ), почвы и вермикомпоста, почвы и навоза КРС. Почва относится к дерново-подзолистым средне суглинистым на покровных суглинках подстилаемых флювиогляциальными песками. Дозы внесения удобрения составили 25,0 т/га, 50,0 т/га, 75,0 т/га, 100,0 т/га и 125,0 т/га.

Определение класса опасности ОСВ проводилось согласно методикам определения токсичности водных вытяжек из осадков сточных вод по смертности дафний (Жмур, 2001) и биотестирования с использованием семян овса и редиса (Кабилов и др., 1997).

Содержание азота, фосфора и калия определяли методом покровного озеленения по Гинзбургу с последующим определением азота по Кьельдалю, фосфора – коллометрически, калия – на плазменном фотометре.

Математическую обработку данных проводили согласно существующим методикам с использованием компьютерных программ Excel 2000, Statistica 6.

3. Влияние субстратов, содержащих осадки сточных вод на основные показатели состояния червей

3.1. Экологическая оценка осадков сточных вод очистных сооружений канализации различных городов

Содержание тяжелых металлов в осадках сточных вод городов различающихся по составу промышленных объектов и численности населения в значительной степени различается (табл 1).

Таблица 1

Содержание валовых форм тяжелых металлов в осадках сточных вод городов различающихся по составу промышленных объектов

Место образования ОСВ / срок хранения	Содержание валовых форм тяжелых металлов, мг/кг					
	Cu	Pb	Mn	Ni	Cd	Zn
г. Йошкар-Ола / свежие	112,0	27,6	155,3	25,6	1,43	303,6
г. Козьмодемьянск / свежие	31,6	10,8	109,0	5,4	1,2	183,7
г. Новочебоксарск / (5...8 лет)	122,0	28,0	62,0	22,8	3,6	420,0
г. Новочебоксарск / (1...2 года)	233,1	65,8	145,6	105,8	24,1	872,8
НСР ₀₅	4,18	17,19	6,58	27,07	16,24	4,75

Так как содержание тяжелых металлов в полной мере не отражает токсичности осадков сточных вод, было произведено биотестирование с использованием различных тест-объектов для определения класса опасности отходов (табл. 2).

Осадки сточных вод очистных сооружений канализации г. Йошкар-Олы и смесь сырого осадка сточных вод и избыточного активного ила РГУП "БОС" г. Новочебоксарск после 5-8 лет хранения относятся к IV классу опасности. Причем данные по осадкам сточных вод г. Йошкар-Олы лежат в верхней, а г. Новочебоксарск в нижней границе предела. При этом между численными характеристиками присутствует достоверная разница. В связи с этим для удобства дальнейшего анализа IV класс опасности условно можно поделить на две подгруппы А и Б.

Таблица 2

Результаты биотестирования осадков сточных вод

Тест-объект	Класс опасности ОСВ					
	Граница классов	III	Граница классов	IV	Граница классов	V
Дафнии	ЛКР ₉₆ =0,1	№4 0,44	ЛКР ₉₆ =0,91	№1 0,97 №3 1,02	ЛКР ₉₆ =1,1	№2 -
Редис	ИТФ=0,50	№4 0,66	ИТФ=0,71	№1 0,73 №3 0,89	ИТФ=0,90	№2 0,92
Овес		№4 0,56		№1 0,72 №3 0,88		№2 0,96

Примечание: №1 - осадок сточных вод (1-г. Йошкар-Ола; 2-г. Козьмодемьянск; 3-г. Новочебоксарск, 5...8 лет хранения; 4-г. Новочебоксарск, 1...2 года хранения);

0,72: - значение показателя токсичности осадков сточных вод (ЛКР₉₆ - концентрация вещества, убивающая за 96 часов 50% организмов, взятых в опыт; ИТФ - индекс токсичности оцениваемого фактора).

Результаты биотестирования позволяют отнести осадки сточных вод очистных сооружений канализации г. Йошкар-Олы к IV^б классу токсичности, смесь сырого осадка сточных вод и избыточного активного ила РГУП "БОС" г. Новочебоксарск после 5-8 лет хранения к IV^а классу токсичности, активный ил очистных сооружений канализации г. Козьмодемьянска к V классу токсичности и смесь сырого осадка сточных вод и избыточного активного ила РГУП "БОС" г. Новочебоксарск после 1-2 лет хранения к III классу токсичности.

3.2. Оценка возможности вермикомпостирования нативных осадков сточных вод

Исследования степени влияния нативных осадков сточных вод, различающихся по токсичности, показали их достоверное влияние на 5% уровне значимости на показатели состояния червей

Осадки III и IV^a класса опасности не являются витальной средой для червей. При исследовании ОСВ IV^b и V класса опасности было зафиксировано, что из 100% заселенных в субстрат червей в ОСВ IV^b класса опасности выживает 5%, а в V – 95%.

Таким образом, нативные осадки сточных вод (100% ОСВ) не являются благоприятной средой для жизнедеятельности червей и их переработка вермикомпостированием невозможна.

3.3 Влияние субстратов на основе осадков сточных вод различающихся по токсичности на показатели состояния червей *Eisenia foetida* (Sav.)

В настоящее время недостаточно данных исследований о влиянии токсических свойств перерабатываемых отходов на показатели состояния червей. Имеющие данные в большинстве случаев описывают влияние отходов относящихся к одному классу опасности.

По нашему мнению, класс опасности оказывает существенное влияние на показатели состояния червей и, как следствие, на технологические параметры вермикомпостирования ОСВ (табл. 3).

Таблица 3

Влияние использования субстратов на основе осадков сточных вод различных классов опасности на прирост общей биомассы червей

Класс опасности ОСВ	Доля наполнителя в субстрате, %					
	0	20	40	50	60	80
Листовой опад						
III	0	0	0	0	0	0
IV ^a	0	0	0	1,67	0,83	0
IV ^b	0	8,87	14,47	20,90	23,90	13,83
V	1,2	10,6	18,53	27,43	32,87	15,9
НСП _{0,5}	0,05	0,92	1,56	2,25	2,67	1,44
Бумажные отходы						
III	0	0	0	0	0	0
IV ^a	0	0	0,87	1,50	3,13	1,23
IV ^b	0	0	19,40	26,90	24,90	13,13
V	1,2	0,97	24,40	34,80	29,03	7,87
НСП _{0,5}	0,05	0,07	2,03	2,86	2,39	1,01
Опил лиственных пород деревьев						
III	0	0	0	0	0	0
IV ^a	0	0	0,60	2,83	1,13	0,8
IV ^b	0	10,1	13,8	18,1	15,4	7,1
V	1,2	15,6	27,8	33,7	20,4	13,7
НСП _{0,5}	0,05	1,26	2,14	2,51	1,66	1,05

Обработка полученных данных методом дисперсионного анализа показала, что осадки сточных вод очистных сооружений канализации, относящихся к различным классам опасности, и субстраты на их основе оказывают достоверное на 5% уровне значимости влияние на основные показатели состояния навозных червей ($F_{\text{расч.}} > F_{\text{табл.}}$).

Такие показатели как плотность популяции, прирост общей биомассы, прирост биомассы молоди и количество отложенных коконов увеличиваются с уменьшением класса опасности отходов и достигают наибольших значений в субстратах на основе ОСВ V класса опасности независимо от вида используемого наполнителя и его доли в общем объеме.

3.4. Влияние субстратов на основе осадков сточных вод на червей *Eisenia foetida* (Sav.) нескольких поколений

Интенсивность процесса вермикомпостирования определяется активностью особей составляющих популяции червей. Для повышения эффективности переработки необходимо установить порядковый номер поколения червей, которое будет наиболее приспособленным к среде обитания.

Уравнения 1-ой производной Вейбула, описывающие зависимость между порядковым номером поколения и показателями состояния червей, имеют следующий вид: $y = k \cdot (x+c)^{(b-1)} \cdot \exp(-a \cdot (x+c)^b)$ и показывают, что наибольшая плотность популяции, общая биомасса, биомасса молоди и количество коконов характерны для червей второго и третьего поколения (рис. 1).

Проведенные исследования по изучению основных показателей состояния червей культивируемых в субстратах на основе ОСВ IV^a класса опасности и различных наполнителей в ряду поколений показали, что лучшие показатели отмечаются у червей относящихся к 2 – 4 поколению. Данная закономерность проявляется независимо от вида и доли наполнителя.

3.5. Возрастная структура популяции червей *Eisenia foetida* (Sav.), культивируемых на различных субстратах

Установлено, что при различном общем количестве червей к концу вермикомпостирования соотношение червей различных возрастных групп остается неизменным и не зависит от класса опасности исходных ОСВ и состава смеси. Группы червей включают светло-серых - 40-50%,

розовых - 25-27%, красных - 10%-14% и темно-красных - 15-19% особей.

Таким образом, возрастная структура популяции не может являться критерием оценки скорости переработки вермикомпостирования.

По нашему мнению, возрастная структура популяции, так же как и реакция биологических объектов на внешние механическое воздействие (показатель активности) являются важными технологическими параметрами технологии вермикомпостирования, так как во многом определяют скорость переработки отходов.

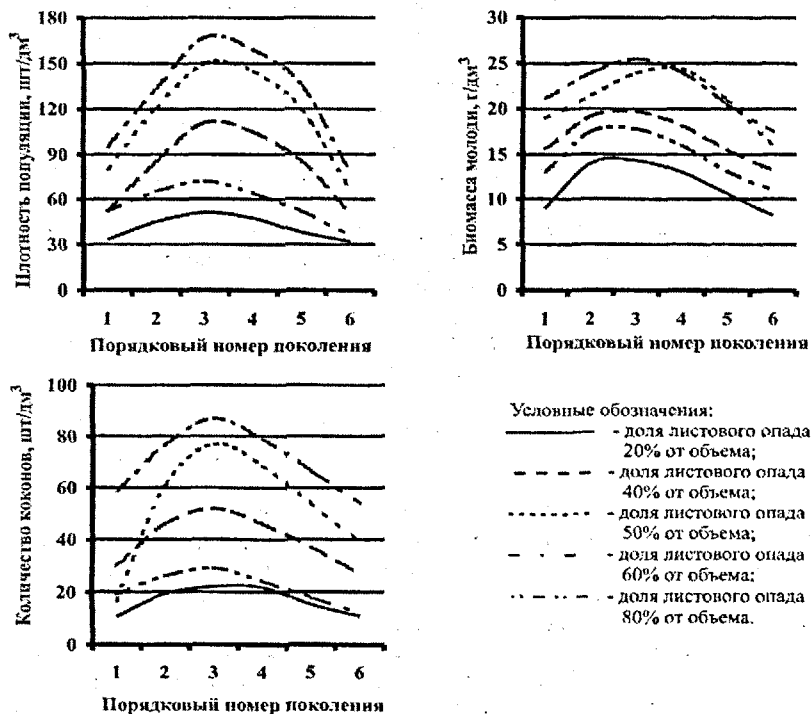


Рис. 1. Показатели состояния червей *Eisenia foetida* (Sav.) нескольких поколений

3.6. Оценка реакции червей, культивируемых в субстратах, содержащих осадки сточных вод, на внешнее механическое раздражение

Реакция червей на внешнее механическое раздражение является важным показателем их активности и, следовательно, критерием оценки эффективности и целесообразности вермикомпостирования. В ходе эксперимента была обнаружена следующая закономерность - продолжительность переработки субстратов, в которых через 4 недели после заселения было обнаружено максимальное количество червей отнесенных к группам А и В, была наименьшей, а плотность популяции наибольшей. Активность червей зависит от класса опасности ОСВ. Чем ниже класс опасности, тем ниже показатели реакции червей на внешнее механическое раздражение.

На основании полученных результатов построена шкала определения целесообразности проведения вермикомпостирования по реакции червей на внешнее механическое раздражение.

4. Оптимизация параметров процесса вермикомпостирования субстратов на основе осадков сточных вод различающихся по токсичности

4.1. Оптимизация состава субстратов на основе осадков сточных вод

Многие исследователи рекомендуют перед переработкой органических отходов добавлять к ним наполнители. Наиболее доступными для вермикомпостирования являются такие органические материалы, как торф, солома, опил лиственных пород деревьев, бумажные отходы и лиственный опад. Подбор оптимальной доли наполнителя в составе субстрата позволяет улучшить условия питания и условия среды обитания червей, и, следовательно, повысить интенсивность процесса вермикомпостирования.

При добавлении к осадкам сточных вод всех видов наполнителей происходит численное увеличение основных показателей состояния червей. Лучшими наполнителями для переработки ОСВ являются лиственный опад, бумажные отходы или опил лиственных пород деревьев. При их добавлении к ОСВ г. Йошкар-Олы (IV⁶ класс опасности) в соотношении 50:50 общая биомасса червей увеличивается соответственно в 38,5; 50,4 и 34,8 раза по сравнению с субстратом без

наполнителя. Применение торфа способствует увеличению данного показателя в 23,0 раза и соломы на 19,3 раза.

Численное увеличение основных показателей состояния червей наблюдается при содержании в субстрате 40 – 60% наполнителя от общего объема субстрата (рис. 2).

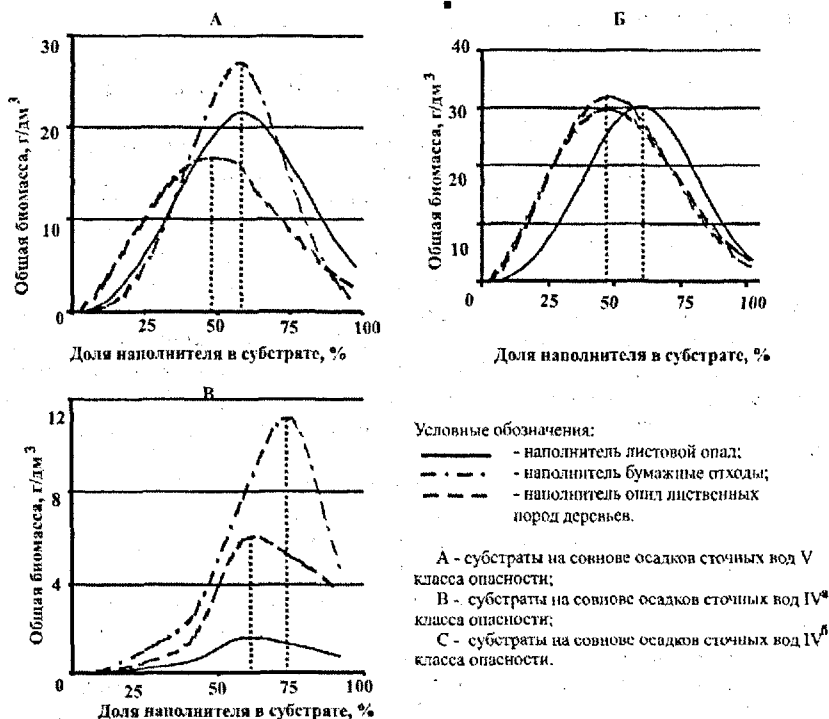


Рис. 2. Влияние доли наполнителя на общую биомассу червей *Eisenia foetida* (Sav.)

Согласно полученным уравнениям, имеющим вид $y = k \cdot x^{(b-1)} \cdot \exp(-\alpha x^b)$, описывающим зависимость между долей наполнителя в субстрате и показателями состояния биологических объектов была определена оптимальная доля содержания наполнителя в субстрате.

Наибольшая плотность популяции и биомасса молоди зафиксированы в субстратах содержащих бумажные отходы, а

количество коконов и общая биомасса в субстратах содержащих опил лиственных пород деревьев независимо от класса опасности ОСВ.

4.2. Оптимизация температурного режима вермикомпостирования

Температурные колебания во многом определяют активность биологических объектов и, следовательно, интенсивность процесса вермикомпостирования. В производственных условиях не всегда удастся создать идеальные условия для переработки органических отходов методом вермикомпостирования, а поддержание оптимальных температурных режимов не оправдано с экономической точки зрения.

Зависимость между температурой окружающей среды и показателями состояния биологических объектов описывается уравнением 1-й производной функции Вейбулла, имеющим вид: $y = k \cdot x^{(b-1)} \cdot \exp(-a \cdot x^b)$ и уравнением Ципфа-Паретто: $y = (k-c) \cdot \exp(-ax^b) + c$ (рис.3).

При использовании в качестве наполнителя листового опада увеличение основных показателей состояния червей наблюдается при увеличении температуры от 15 до 25°C при содержании в субстрате 40 % наполнителя. С увеличением доли наполнителя в субстрате до 50 – 60 % лучшие показатели состояния червей наблюдаются при более низкой температуре. Исключение составляет такой показатель как количество отложенных коконов при доле листового опада 50 % от общего объема с увеличением температуры наблюдается его снижение.

При использовании опила лиственных пород деревьев, в 40% от объема субстрата, наблюдается снижение основных показателей состояния червей при увеличении температуры. Плотность популяции и количество отложенных коконов в субстратах, содержащих 60 % наполнителя, остается без значительных изменений при различных температурных режимах, однако при увеличении температуры наблюдается снижение общей биомассы популяции червей. В субстратах с долей наполнителя 50 % от общего объема происходит улучшение основных популяционных показателей при увеличении температуры.

В субстратах содержащих бумажные отходы, снижение основных показателей состояния червей при содержании в субстрате 40 % наполнителя наблюдается с увеличением температуры. В субстратах с долей наполнителя 50 % и 60% при увеличении температуры происходит увеличение основных популяционных показателей червей

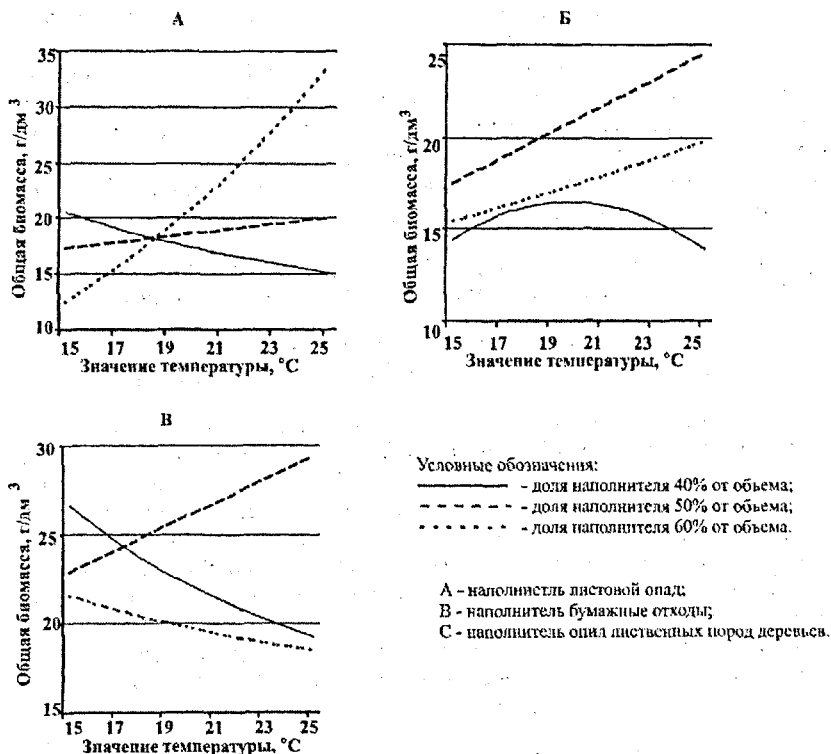


Рис. 3. Зависимость общей биомассы червей *Eisenia foetida* (Sav.) от температурного режима окружающей среды

Таким образом, с ростом температуры необходимо увеличивать долю наполнителя в субстрате на основе ОСВ, а при планировании переработки ОСВ вермикомпостированием состав субстрата изменять в зависимости от предполагаемого температурного режима.

4.3. Оптимизация нормы заселения червей в субстраты на основе осадков сточных вод

Важным параметром технологии вермикомпостирования являются норма заселения червей в субстраты. Выбор оптимальной позволяет при

минимальных затратах маточной культуры и времени производить вермикомпостирование отходов.

Проведенные исследования показали, что наиболее экономически обоснованной с точки зрения культивирования червей является норма заселения 12 половозрелых особей на 1 дм³ субстрата, независимо от вида и доли наполнителя в нем. Так как в этом случае такие показатели как прирост молоди, биомасса, количество коконов увеличиваются, при том, что время переработки сокращается время переработки.

5. Оценка продуктов переработки субстратов на основе осадков сточных вод с помощью червей *Eisenia foetida* (Sav.)

5.1. Дегазация и дезодорация отходов, перерабатываемых червями *Eisenia foetida* (Sav.)

Один из возможных вариантов дегазации отходов - вермикомпостирование. Многие авторы отмечают способность червей *Eisenia foetida* (Sav.) дезодорировать перерабатываемые отходы. Данный эффект связывают с тем, что черви, поглощая отходы, выделяют вместе с капролитами большое количество собственной микрофлоры и ферментов, которые обладают антисептическими свойствами. Однако недостаточно изучен вопрос о степени дегазации отходов после переработки червями.

Проведенные нами исследования подтверждают, что вермикомпостирование способствует дезодорации отходов и снижает интенсивность выделения газов (табл. 4).

Таблица 4

Влияние вермикомпостирования на выделение газов

Состав субстрата	Срок проведения эксперимента	Интенсивность выделения газов, мг/м ³		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
50% ОСВ и 50% опила искусственных пород деревьев	до в/к	3,8	59	0,09
	после в/к	2,5	22	0,08
40% ОСВ и 60% листового опала	до в/к	3,3	60	0,1
	после в/к	2,3	25	0,07
50% ОСВ и 50% бумажных отходов	до в/к	4,0	67	0,097
	после в/к	2,6	31	0,069

Переработка ОСВ с помощью червей позволяет снизить интенсивность выделяемого ими запаха при использовании в качестве наполнителя бумажных отходов от 5 до 3 баллов после заселения

червей и 2 балла после переработки по 5-бальной шкале органолептических показателей. При использовании в качестве наполнителя опила лиственных пород деревьев или листового опада от 4 баллов в начале экспозиции до 3 после заселения червей и до 2 баллов после переработки. Вермикомпостирование способствует снижению выделения углекислого газа, метана и закиси азота.

5.2. Агрономическая ценность вермикомпостов на основе осадков сточных вод

Использование ОСВ в качестве удобрения - одно из возможных рациональных решений проблемы их утилизации.

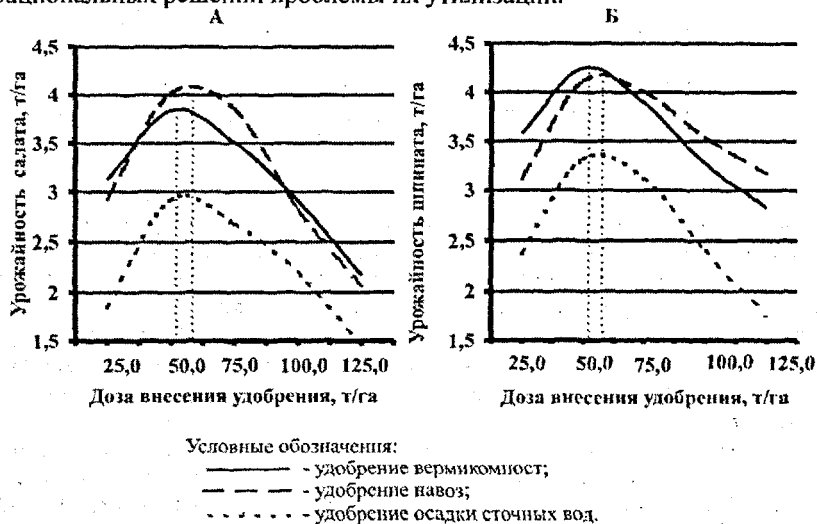


Рис. 4. Влияние дозы внесения органических удобрений в дерново-подзолистую почву на урожайность салата (А) и шпината (Б)

Однако широкое внедрение данного способа утилизации ограничивает высокое содержание в них солей тяжелых металлов, полихлорбифенилов, и других веществ, обладающих токсическими свойствами. Систематическое внесение осадка сточных вод в почву в качестве удобрения, как правило, приводит к возрастанию концентрации солей тяжелых металлов. Один из способов снижения

миграционной активности тяжелых металлов, как по профилю почвы, так и в системе «почва-растение» является вермикомпостирование.

В условиях опыта наибольшая урожайность наблюдалась при внесении 50,0 т/га удобрения. Согласно полученным уравнениям Ципфа-Паретто, имеющим вид $y = (k-c) \cdot \exp(-ax^b) + c$, описывающим зависимость между дозой внесения и урожайностью салата и шпината оптимальной дозой внесения является - 50,0 т/га (рис. 4).

Полученные результаты позволяют сделать заключение о том, что внесение осадка сточных вод в указанных дозах менее эффективно, нежели внесение вермикомпоста или навоза в тех же дозах. Величины прибавок урожая салата и шпината в случае использования вермикомпоста выше, чем при использовании осадка сточных вод и сравнимы с опытными вариантами содержащими навоз.

5.3. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в продуктах переработки осадков сточных вод с помощью червей *Eisenia foetida* (Sav.)

Известно, что черви способны накапливать тяжелые металлы собственной биомассой и переводить подвижные формы тяжелых металлов в связные – недоступные растениям (снижать их миграционную активность). Поэтому, как правило, содержание подвижных форм тяжелых металлов в конечном продукте вермикомпостирования ниже их уровня в исходном ОСВ. Собственные исследования подтверждают, что вермикомпостирование способствует снижению содержания подвижных форм тяжелых металлов в субстратах.

Кроме того, в ходе исследований определили содержания подвижных форм тяжелых металлов в салате и шпинате. В салате содержалось - Zn - 12,3 мг/кг, Mn - 2,1 мг/кг, Ni - 0,8 мг/кг, Cu - 13 мг/кг, Cd - 0,09 мг/кг, Pb - 2,3 мг/кг; в шпинате - Zn - 9,0 мг/кг, Mn - 2,4 мг/кг, Ni - 0,7 мг/кг, Cu - 15 мг/кг, Cd - 0,09 мг/кг, Pb - 1,8 мг/кг. Данные показатели превышают допустимое содержание в овощных продуктах питания (Zn - 10 мг/кг, Ni - 0,5 мг/кг, Cu - 10 мг/кг, Cd - 0,03 мг/кг, Pb - 0,5 мг/кг).

Таким образом, процесс переработки ОСВ методом вермикомпостирования благоприятно влияет на их агрономическую ценность. В результате такой переработки происходит снижение содержания подвижных форм тяжелых металлов, но оно остается выше

ПДК. Вермикомпосты на основе ОСВ рекомендуется использовать в качестве удобрения только под декоративные культуры.

6. Рекомендации по переработке осадков сточных вод методом вермикомпостирования

В зависимости от климатических условий вермикомпостирование производят различными способами. В районах с теплым климатом переработку отходов с помощью червей чаще всего производят на площадках под открытым небом, с холодным – в отапливаемых помещениях, теплицах, пленочных туннелях и т. п. В Республике Марий Эл наиболее приемлемо производит вермикомпостирование в закрытых отапливаемых помещениях. При использовании метода вермикомпостирования его себестоимость составляет 319,56 руб./т.

На основании полученных данных рекомендуем:

1. При составлении компостной смеси на основе ОСВ для вермикомпостирования использовать в качестве наполнителя листовой опад, опил лиственных пород деревьев или бумажные отходы. Состав компостной смеси подбирать в зависимости от класса опасности ОСВ, опираясь на оптимальные значения доли наполнителя представленные в табл. 5.

Таблица 5

Оптимизация доли наполнителя в составе субстрата на основе ОСВ

Класс опасности ОСВ	Доля наполнителя в субстрате, %		
	Листовой опад	Бумажные отходы	Опил лиственных пород деревьев
V	52,50	52,25	51,25
IV ^б	55,00	52,50	52,50
IV ^а	57,50	55,00	55,00

2. Для оценки эффективности переработки субстратов на основе ОСВ и выявления целесообразности вермикомпостирования на начальном этапе рекомендуется определять реакцию червей на внешнее механическое раздражение с использованием шкалы оценки, представленной в табл. 6.

3. При планировании переработки ОСВ вермикомпостированием состав субстрата изменять в зависимости от предполагаемого температурного режима окружающей среды в соответствии с данными представленными в табл. 7.

Таблица 6

**Шкала для определения целесообразности продолжения
вермикомпостирования**

Целесообразность продолжения вермикомпостирования	Доля червей по группам реакции на внешнее механическое раздражение, %							
	Красные				Темно-красные			
	А	Б	С	Д	А	Б	С	Д
Целесообразно	<15	<57	>23	>5	<12	<51	>20	>9
Не целесообразно	>14	>56	<22	<6	>11	>50	<19	<10

4. Вермикомпост на основе ОСВ и рекомендуется использовать в качестве органического удобрения при выращивании декоративных и технических культур.

Таблица 7

**Оптимизация параметров вермикомпостирования
при различных температурных режимах**

Вид наполнителя	Доля наполнителя в субстрате при различных температурных режимах вермикомпостирования, %		
	15 ... 18 °C	18 ... 20 °C	20 ... 25 °C
Листовой опад	40	40	60
Бумажные отходы	40	50	50
Опил лиственных пород деревьев	40	40	50

Основные выводы

1. Нативные осадки сточных вод не являются благоприятной средой для жизнедеятельности червей и их переработка вермикомпостированием невозможна.

2. Показатели состояния червей *Eisenia foetida* (Sav.) ухудшаются с увеличением степени токсичности ОСВ независимо от вида используемого наполнителя и его доли в общем объеме субстрата.

3. Наиболее высокие показатели состояния червей *Eisenia foetida* (Sav.) в субстратах на основе ОСВ происходит при использовании таких наполнителей, как опил лиственных пород деревьев, бумажные отходы и листовой опад.

4. Наиболее эффективными для утилизации ОСВ являются субстраты на их основе, где содержание наполнителя составляет 40-60%.

5. При увеличении температуры окружающей среды необходимо увеличивать долю наполнителя в субстрате на основе ОСВ.

6. Загрязняющие вещества, содержащиеся в осадках сточных вод, оказывают негативное воздействие на репродуктивные способности

червей *Eisenia foetida* (Sav.). У червей пятого поколения наблюдается заметный спад воспроизводства по сравнению с исходным поколением, при сохраняющихся темпах переработки отходов.

7. В процессе вермикомпостирования ОСВ относящихся к различным классам опасности возрастная структура популяции червей *Eisenia foetida* (Sav.) не изменяется.

8. Активность червей зависит от класса опасности ОСВ. С увеличением степени токсичности активность червей, оцениваемая по реакции на внешнее механическое раздражение, снижается.

9. В процессе вермикомпостирования происходит снижение содержания подвижных форм тяжелых металлов: меди (Cu) на 32%, никеля (Ni) на 15%, цинка (Zn) на 25%, марганца (Mn) на 63%, кадмия (Cd) на 47%, свинца (Pb) на 10%.

10. Вермикомпостирование способствует дезодорации субстратов на основе ОСВ. Интенсивность запаха субстратов до их переработки червями составляет 4 - 5 баллов, а после снижается до 2 баллов по шкала органолептических показателей в зависимости от состава субстрата.

11. В результате вермикомпостирования происходит дегазация ОСВ очистных сооружений канализации: наблюдается снижение выделения углекислого газа (CO_2) на 1 – 1,4 мг/м³, метана (CH_4) на 35-37 мг/м³, закиси азота (N_2O) на 0,01-0,032 мг/м³.

12. Вермикомпост на основе ОСВ ОСК г. Йошкар-Ола не уступает по своим агрономическим свойствам навозу КРС.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Ускова, В. В. Утилизация осадка сточных вод с помощью биологических объектов / Б. И. Колупаев, В. В. Ускова, Е. А. Решетникова // Матер. Всероссийской науч.-практ. конф. «Рациональное использование природных ресурсов в системе управления регионом». - Йошкар-Ола, 2001. - С. 135-138.

2. Ускова, В. В. Влияние осадков сточных вод очистных сооружений канализации, твердых бытовых и промышленных отходов г. Йошкар-Ола на репродуктивные функции навозных червей / Н. В. Медянская, В. В. Ускова, О. В. Светлакова // Материалы 3-го Международного конгресса по управлению отходами ВейсТэк-2003. - М., 2003. - С. 137-139.

3. Ускова, В. В. Переработка осадков сточных вод с помощью биологических объектов / В. В. Ускова // Междунар. науч.-метод. конф. «Экология – образование, наука и промышленность»: сборник докладов. - Ч. 2. – Белгород, 2002. - С. 171-175.

4. Ускова, В. В. Определение технологических параметров переработки осадка сточных вод с помощью вермиккультуры / В. В. Ускова // Материалы круглого стола «Водные ресурсы. Проблемы и пути их решения». - Йошкар-Ола, 2003. - С. 171-173.

5. Ускова, В. В. Технологические параметры биологической переработки органических отходов / В. В. Ускова, О. В. Светлакова // Матер. Всероссийской междунац.

науч. конфер. «Седьмые Вавиловские чтения». Глобализация и проблемы национальной безопасности. - Йошкар-Ола, 2003. - С. 221-223.

6. Ускова, В. В. Содержание тяжелых металлов в продуктах вермикомпостирования / В. В. Ускова // Сборник статей студентов, аспирантов и бокторантов по итогам науч.-техн. конфер. МарГТУ в 2003 г. - Йошкар-Ола, 2004. - С. 375-377.

7. Ускова, В. В. Вермикомпостирование как метод дегазации органосодержащих отходов / В. В. Ускова, О. В. Светлакова // Междунар. науч.-практ. конфер. «Экология: образование, наука, промышленность и здоровье»: сборник докладов. - Ч. 4. - Белгород, 2002. - С. 198-199.

Подписано в печать 24.08.2006.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. п. л. 1,4. Тираж 100 экз. Заказ №. 3418

Редакционно-издательский центр
Марийского государственного технического университета
424006 Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

