

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 628.35

Д. И. Мухортов, В. В. Ускова

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕРМИКОПОСТИРОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО ТОКСИЧНОСТИ

*Определены основные параметры технологического процесса переработки осадков сточных вод очистных сооружений канализации червями *Eisenia foetida* (Sav.). Оптимизированы составы субстратов на основе осадков сточных вод и наполнителей, относящихся к категории органических отходов, в зависимости от токсичности ОСВ и температурного режима. Установлены оптимальная плотность посадки червей и продолжительность вермикомпостирования червями одной партии на основании интенсивности переработки отходов рядом поколений червей.*

Введение. В настоящее время остро стоит проблема утилизации органических отходов и, в частности, осадков сточных вод (ОСВ) очистных сооружений канализации (ОСК). 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 [1–4].

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 [5].

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. То есть работа в этом направлении находится на этапе накопления экспериментального материала.

Агроэкологические показатели осадков сточных вод различных очистных сооружений канализации имеют существенную вариабельность и зависят от метода очистки сточных вод, типов стоков (коммунальных или промышленных), длительности хранения и многих других факторов. Одним из обобщающих критериев быстрой оценки свойств ОСВ является определение их токсичности общепринятыми методиками. Такая оценка, по нашему мнению, может позволить определить направление выбора основных элементов технологического процесса переработки органических отходов червями *Eisenia foetida* (Sav.).

Целью настоящих исследований являлось определение особенностей переработки и утилизации осадков сточных вод, различающихся по токсичности, с помощью навозных 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* (Sav.) долю в составе субстратов на основе осадков сточных вод, различающихся по токсичности;
- определить порядковый номер поколений червей *Eisenia foetida* (Sav.), позволяющих эффективно перерабатывать субстраты на основе осадков сточных вод;
- определить оптимальную плотность посадки червей *Eisenia foetida* (Sav.) для переработки субстратов на основе осадков сточных вод;
- определить оптимальную долю различных органических наполнителей в субстратах на основе осадков сточных вод при различных температурных режимах вермикомпостирования.

Методика проведения работ. Работа проводилась с использованием оборудования ЦКП ЭБЭЭ Марийского государственного технического университета. Объектом исследования являлись осадки сточных вод очистных сооружений канализации г. Йошкар-Олы, смесь сырого осадка сточных вод и избыточного активного ила ГТУП «БОС ОСК» г. Новочебоксарска после 1–2 лет и 5–8 лет хранения и активный ил очистных сооружений канализации г. Козьмодемьянска. Определение класса опасности отходов проводилось согласно методикам определения токсичности водных вытяжек из осадков сточных вод по смертности дафний и биотестирования с использованием семян растений [6, 7].

При постановке экспериментов использовали популяцию червей *Eisenia foetida* (Sav.), изучали их адаптационные способности к субстратам на основе осадков сточных вод, различающихся по токсичности, уточняли технологические параметры вермикомпостирования.

Для определения оптимальных для адаптации навозных червей субстратов на основе осадков сточных вод, различающихся по токсичности, в качестве наполнителей использовали низинный торф, солому, листовую опад, опилки лиственных пород деревьев, бумажные отходы. Субстраты замешивали в следующих соотношениях 80:20, 60:40, 50:50, 40:60 и 20:80 % от объема. Подготовка субстратов заключалась в тщательном смешивании ингредиентов и закладкой смесей в пластиковые емкости объемом 1 дм³. По прошествии 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. Результаты исследований оценивались по плотности популяции, приросту биомассы молоди, приросту общей биомассы попу-

ляции, количеству коконов, количеству и качеству молодых и половозрелых особей навозных червей. Опыты проводились в трех повторностях.

При оптимизации плотности посадки и плотности популяции червей в субстраты на основе осадков сточных вод проводилось заселение червей из расчета 6, 9, 12, 15 и 18 половозрелых особей на 1 дм³ субстрата.

В период проведения экспериментов влажность субстратов поддерживалась на уровне 80%, рН субстрата составляла 6,5–7,5; температурные колебания составляли в среднем 3–4°С. При изучении влияния температуры на продукционные характеристики навозных червей 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.

Анализ результатов. Как показали исследования, содержание тяжелых металлов в осадках сточных вод различных городов неодинаково (табл. 1). Это обусловлено различным составом промышленных объектов, численностью населения городов и методом обработки сточных вод.

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
НСП ₀₅	4,18	17,19	6,58	27,07	16,24	4,75

Так как содержание тяжелых металлов не в полной мере отражает токсичности осадков сточных вод, было произведено биотестирование с использованием различных тест-объектов для определения класса опасности отходов (рис. 1). Тестирование показало, что осадки сточных вод очистных сооружений канализации г. Йошкар-Олы и смесь сырого осадка сточных вод и избыточного активного ила РГУП «БОС» г. Новочебоксарска после 5–8 лет хранения относятся к IV классу опасности. Причем данные по осадкам сточных вод г. Йошкар-Олы лежат в верхней, а г. Новочебоксарска – в нижней границе предела. При этом между численными характеристиками присутствует достоверное на пятипроцентном уровне значимости различие. В связи с этим для удобства дальнейшего анализа IV класс опасности условно разделили на две подгруппы А и Б и отнесли 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. Новочебоксарска 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. Новочебоксарска после 1–2 лет хранения – к III классу опасности.

Тест-объект	Класс опасности ОСВ					
	Граница классов	III	Граница классов	IV	Граница классов	V
Дафнии	ЛКР=0,1	№4 0,44	ЛКР=0,91	№1 0,97 №3 1,02	ЛКР=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

Рис. 1. Результаты биотестирования осадков сточных вод

- №1 – номер осадков 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 (ЛКР – летальная кратность разбавления; ИТФ – индекс фитотоксичности)

Предварительная серия экспериментов показала достоверное на пятипроцентном уровне значимости влияние токсичности осадков сточных вод 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%. Это говорит о том, что неподготовленные осадки сточных вод не являются благоприятной средой для жизнедеятельности червей и их переработка вермикомпостированием невозможна.

Многие исследователи рекомендуют перед переработкой органических отходов добавлять к ним наполнители [1–3, 8–10]. В качестве наполнителей используют измельченную солому, древесные опилки, макулатуру, торф, пищевые отходы и т.п.

При проведении экспериментов осадки сточных вод были смешаны с наполнителями, которые характеризуются в отличие от ОСВ низкой влажностью, крупной структурой и широким отношением C:N. Изучение состояния червей после переработки субстратов в вермикомпост показало, что применение различных видов наполнителей в субстратах на основе осадков сточных вод очистных сооружений канализации оказывает достоверное на пятипроцентном уровне значимости ($F_{\text{расч.}} > F_{\text{табл.}}$) влияние на основные показатели состояния червей (табл. 2).

В целом при добавлении к осадкам сточных вод всех видов наполнителей происходит увеличение плотности популяции. Существенные различия данного показателя наблюдаются между всеми опытными вариантами ($F_{\text{расч.}} > F_{\text{табл.}}$). Наибольшая плотность популяции зафиксирована в субстратах, содержащих такие наполнители, как листовой опад, бумажные отходы и опил лиственных пород деревьев. Плотность популяции в

субстрате, содержащем лиственной опад по сравнению с опытным вариантом без наполнителя, увеличилась в 65,6 раза, опил лиственных пород деревьев – в 116,7 раза и бумажные отходы – в 125,2 раза. При использовании таких наполнителей, как торф и солома, плотность популяции в конце экспозиции была наименьшей. Таким образом, более целесообразно для производства субстратов на основе ОСВ использовать такие органические материалы, относящиеся к отходам, как опилки лиственных пород деревьев, бумажные отходы и лиственной опад.

Таблица 2

Показатели состояния червей *Eisenia foetida* (Sav.), находящихся в субстратах, содержащих 50% осадков сточных вод, относящихся к IV^b классу опасности, и 50% наполнителя

Вид наполнителя	Плотность популяции, особей/дм ³	Общая биомасса, г/дм ³	Биомасса молоди, г/дм ³	Количество коконов, шт./дм ³
Без наполнителя	1,3	0,6	0,0	0,0
Солома	23,7	11,6	8,8	6,7
Низинный торф	75,7	13,8	11,2	16,3
Листовой опад	85,3	23,1	20,9	47,3
Опилки	151,7	20,9	18,1	26
Бумажные отходы	162,7	30,4	26,9	21,7
НСР ₀₅	12,08	39,80	40,58	30,32

В ходе исследований было установлено, что класс опасности осадков сточных вод оказывает существенное влияние на показатели состояния червей и, как следствие, на технологические параметры вермикомпостирования субстратов на основе ОСВ. При вермикомпостировании субстратов на основе ОСВ с более низким классом опасности показатели состояния червей оказались намного выше, чем при использовании ОСВ III–IV^a класса опасности независимо от доли и вида наполнителя (табл. 3).

Таблица 3

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

Класс опасности ОСВ	Общая биомасса червей при доле наполнителя в субстрате, г.					
	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
НСР ₀₅	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
НСР ₀₅	0,05	0,07	2,03	2,86	2,39	1,01
Опилки лиственных пород деревьев (древесные отходы)						
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
НСР ₀₅	0,05	1,26	2,14	2,51	1,66	1,05

Таким образом, переработка осадков сточных вод с помощью навозных червей возможна при условии, что они относятся к IV^б–V классу опасности. При этом летальная для дафний кратность разбавления должна быть не ниже 1,0, а индекс фитотоксичности не ниже 0,8.

Важным технологическим параметром вермикомпостирования является состав смеси, состоящей из ОСВ и наполнителя. Подбор оптимальной доли наполнителя в составе субстрата позволяет улучшить условия питания и условия среды обитания червей, и, следовательно, повысить интенсивность процесса вермикомпостирования. Согласно полученным уравнениям, имеющим вид $y=k \cdot x^{(b-1)} \cdot \exp(-a \cdot x^b)$, описывающим зависимость между долей наполнителя в субстрате и показателями состояния червей, были определены оптимальные доли содержания наполнителя в субстратах на основе ОСВ с различными классами опасности (рис. 2). На основании зависимостей по каждому параметру состояния червей вычислено оптимальное соотношение осадков сточных вод и наполнителя, которое во всех случаях колеблется от 45 до 62% наполнителя в общем объеме субстрата.

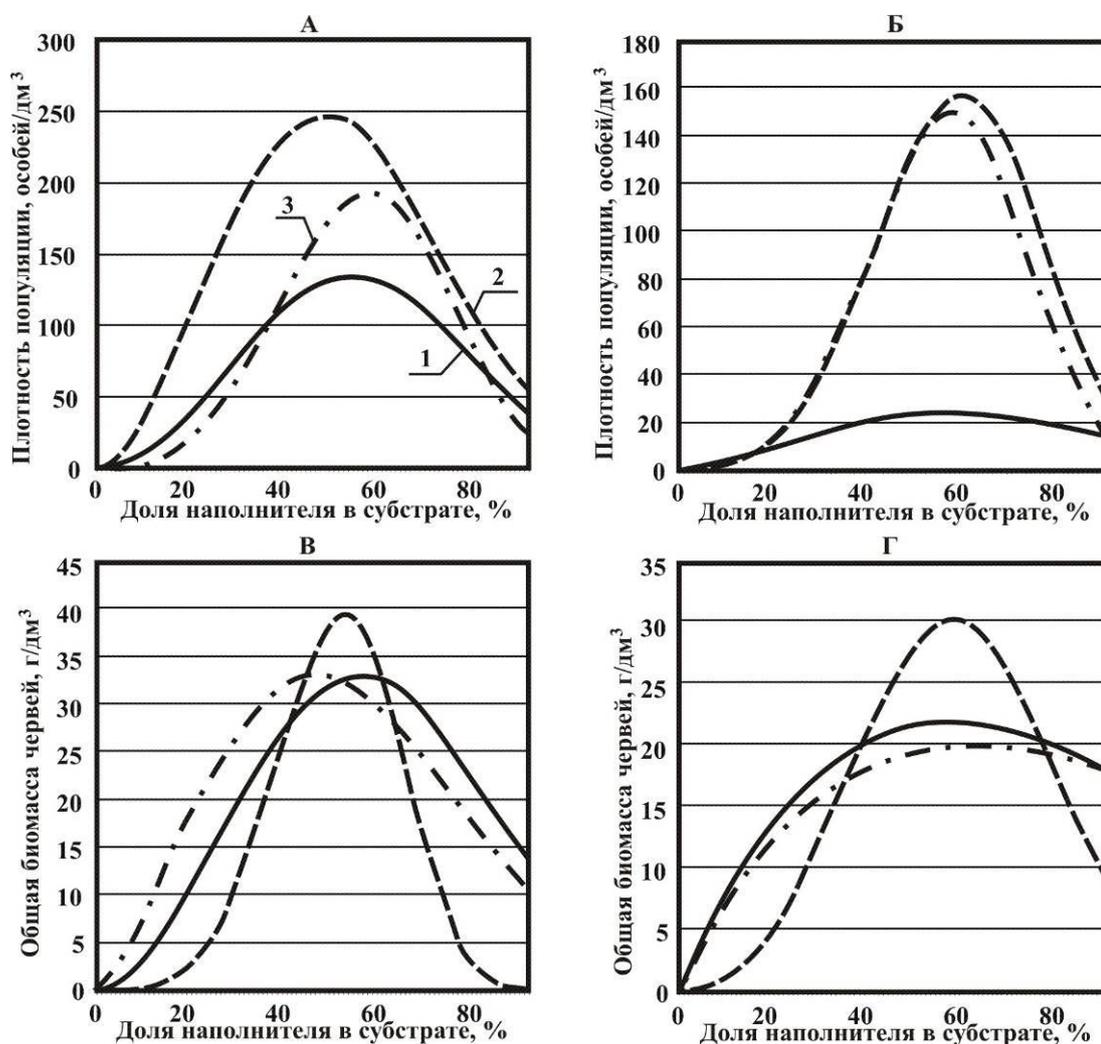


Рис. 2. Влияние доли наполнителя в объеме субстрата на основные показатели червей *Eisenia foetida* (Sav.) (А – плотность популяции червей в субстратах на основе ОСВ V класса опасности; Б – плотность популяции червей в субстратах на основе ОСВ IV^б класса опасности; В – общая биомасса червей в субстратах на основе ОСВ V класса опасности; Г – общая биомасса червей в субстратах на основе ОСВ IV^б класса опасности; 1 – наполнитель лиственный опад; 2 – наполнитель бумажные отходы; 3 – наполнитель опилки)

Осреднение полученных оптимальных значений доли наполнителя по всем показателям состояния червей (плотность популяции, общая биомасса, биомасса молодых особей, количество коконов) позволило рекомендовать составы смесей на основе осадков сточных вод, имеющих различные классы опасности, для каждого изучаемого вида наполнителя (табл. 4).

Таблица 4

Оптимальные доли наполнителя в составе субстрата на основе ОСВ, относящихся к различным классам опасности

Класс опасности ОСВ	Доля наполнителя в субстрате, %		
	лиственной опад	бумажные отходы	опилки
V	55	50	50
IV ^б	60	55	55

Важным параметром технологии вермикомпостирования является норма заселения червей в субстраты. Выбор оптимальной нормы заселения червей позволяет производить вермикомпостирование отходов при минимальных затратах маточной культуры и времени.

При определении оптимальной нормы заселения червей был использован субстрат на основе осадков сточных вод очистных сооружений канализации г. Йошкар-Олы (IV^б класс опасности) и опилки в соотношении 60:40% по объему. Заселение червей проводили из расчета 6, 9, 12, 15 и 18 половозрелых особей на 1 дм³.

При обработке данных, полученных в ходе исследований, установлено, что плотность посадки существенно влияет практически на все основные показатели состояния червей (табл. 5). Различие доказано на пятипроцентном уровне значимости ($F_{\text{расч.}} > F_{\text{табл.}}$).

Таблица 5

Показатели состояния червей в конце экспозиции при различной норме заселения в субстраты на основе ОСВ и опилок

Плотность посадки, особей/дм ³	Плотность популяции, особей/дм ³	Биомасса молоди, г/дм ³	Общая биомасса, г/дм ³	Количество коконов, шт/дм ³	Время переработки субстратов, сут.	Удельная масса червя, г
6	85,3	14,1	18,8	13,3	90,0	0,220
9	120,3	15,7	21,4	16,3	70,0	0,180
12	202,7	22,0	24,1	25,0	61,0	0,120
15	210,3	21,4	24,3	26,1	60,0	0,115
18	218,0	20,6	24,9	26,7	58,0	0,114
НСР _{0,5}	2,22	0,42	0,72 (*)	0,91	1,70	0,0200
F _{расч.}	11,51	5,90	1,72	4,51	4,01	3,99
F _{табл.}	3,91					

* – различие несущественно на пятипроцентном уровне значимости $F_{\text{расч.}} < F_{\text{табл.}}$

Наибольшая плотность популяции, биомасса молоди и количество отложенных коконов зафиксированы при плотности посадки 18 особей/дм³. Значимых различий по такому показателю, как общая биомасса, установлено не было. Следует обратить внимание, что данные показатели в большей степени возрастают при увеличении плотности

посадки от 6 до 12 особей/дм³ и в меньшей от 12 до 18 особей/дм³ (рис. 3). Кроме того, происходит значительное снижение времени переработки при увеличении плотности посадки до 12 особей/дм³. Показательно, что отношение общей биомассы к плотности популяции, то есть удельная масса червя, снижается с повышением плотности посадки с 6 до 18 особей на дм³ почти в два раза.

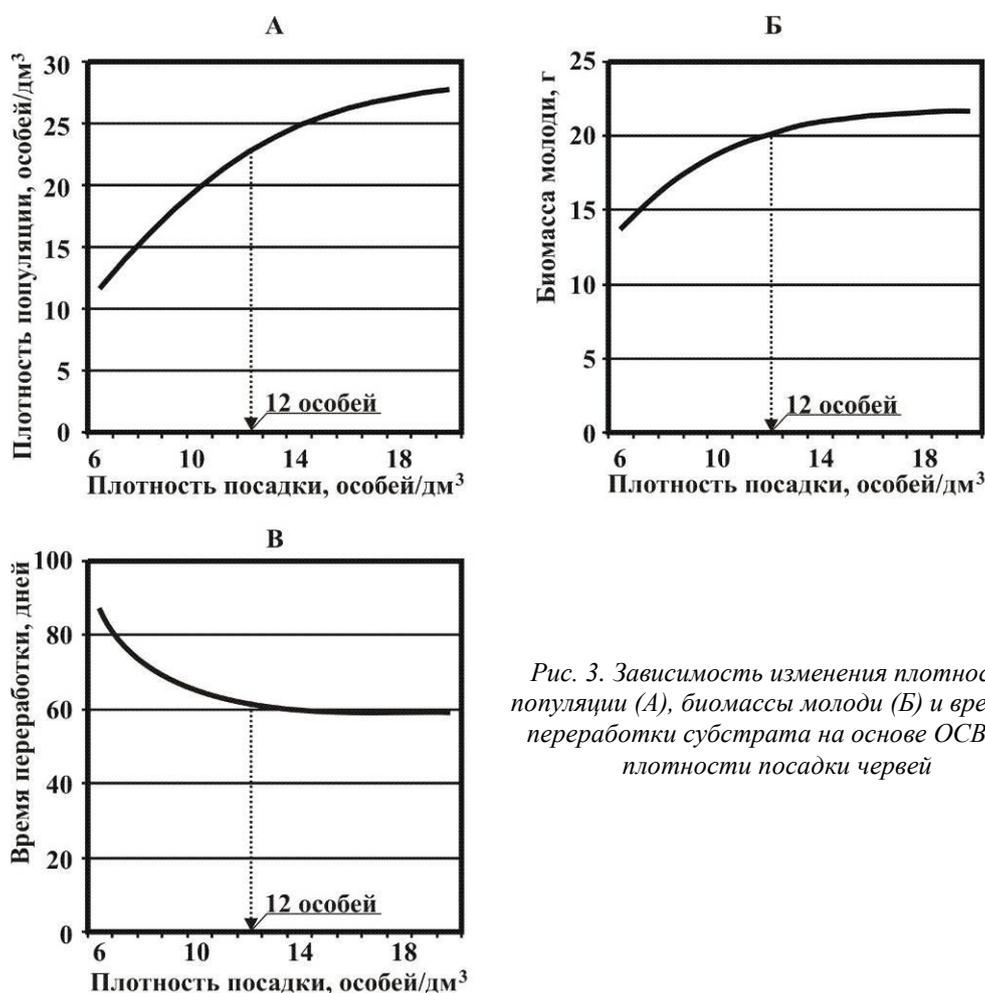


Рис. 3. Зависимость изменения плотности популяции (А), биомассы молоди (Б) и времени переработки субстрата на основе ОСВ от плотности посадки червей

Полученные результаты подтверждают данные других исследователей, культивировавших червей в субстратах на основе подстилочного навоза крупного рогатого скота [10]. Таким образом, оптимальной плотностью посадки при вермикомпостировании осадков сточных вод является 12 особей/дм³.

Интенсивность процесса вермикомпостирования определяется активностью особей, составляющих популяции червей. Известно, что адаптация червей к среде обитания происходит постепенно со сменой нескольких поколений. Поэтому для повышения эффективности переработки субстратов на основе осадков сточных вод важно установить порядковый номер поколения червей, которое будет наиболее приспособленным к среде обитания.

По фактическим данным были построены уравнения регрессии вида $y=k(x+c)^{(b-1)} \cdot \exp(-a \cdot (x+c))^b$ (значения коэффициентов корреляции находятся в пределах 0,7–0,99), которые описывают зависимость между порядковым номером поколения и показателями состояния червей. Регрессионный анализ показал, что наибольшая плотность популяции, биомасса молоди и количество коконов характерны для червей 2–4 поколения (рис. 4).

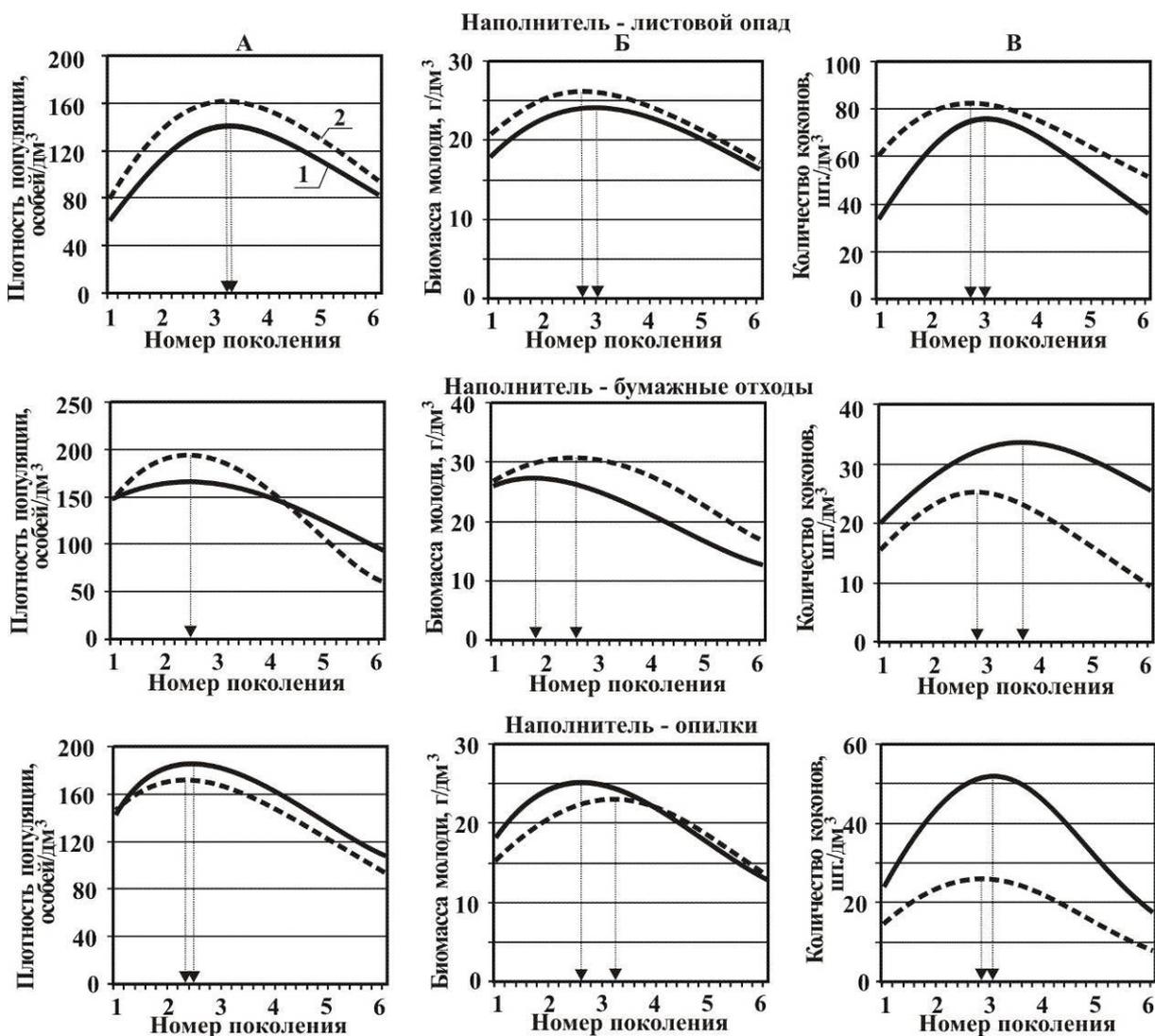


Рис. 4. Показатели состояния червей *Eisenia foetida* (Sav.) нескольких поколений при переработке субстратов на основе ОСВ IV^б класса опасности (А – плотность популяции; Б – биомасса молоди; В – количество коконов; 1 – доля наполнителя 50%; 2 – доля наполнителя 60%)

Таким образом, при планировании переработки осадков сточных вод очистных сооружений канализации с использованием червей *Eisenia foetida* (Sav.) нужно учитывать, что наиболее эффективно переработка субстратов в вермикомпост осуществляется 2–4 поколениями червей. С учетом того, что пятое поколение червей, появляющееся примерно через 12–15 месяцев после первоначального заселения червей, снижает интенсивность переработки отходов, целесообразно производить подселение свежих червей из маточника.

Известно, что в естественных условиях темпы переработки растительных остатков и другой органики определяются не только общей численностью почвенных сапрофагов, биомассой, пищевой избирательностью, возрастной структурой популяции, пространственным распределением, но и температурными колебаниями. Температурные колебания во многом определяют активность биологических объектов, а, следовательно, и интенсивность процесса вермикомпостирования. В производственных условиях не всегда удается создать идеальные условия для переработки органических отходов

методом вермикомпостирования, а поддержание оптимальных температурных режимов не всегда оправдано с экономической точки зрения [11, 12].

До настоящего времени недостаточно изучен вопрос о влиянии температуры на продукционные функции червей *Eisenia foetida* (Sav.) при культивировании, в том числе в отапливаемых помещениях при незначительных колебаниях температуры. Отсутствие таких данных затрудняет решение теоретических и практических задач, связанных с разработкой биотехнологии утилизации органических отходов с помощью вермикомпостирования. В связи с этим были проведены исследования по изучению влияния сезонных изменений параметров среды на эколого-физиологические показатели червей.

Анализ результатов исследований обнаружил, что показатели состояния червей при их культивировании в различных температурных режимах зависят от соотношения осадков сточных вод и наполнителя (табл. 6).

Таблица 6

Влияние состава субстратов на основе ОСВ ОСК г. Йошкар-Олы и листового опада на плотность популяции червей при различных температурных режимах вермикомпостирования

Соотношение ОСВ и наполнителя	Плотность популяции червей при различных температурных режимах вермикомпостирования, особей/дм ³			
	15–17°C	16–18°C	20–23°C	22–25°C
40:60	143,3	154,7	120,0	70,7
50:50	125,3	127,7	165,7	96,0
60:40	94,3	98,0	110,7	99,3
НСП ₀₅	13,63	19,82	9,29	17,55

Обработка полученных данных для субстратов, содержащих лиственный опад, методом дисперсионного анализа показала достоверное на пятипроцентном уровне значимости влияние изменения состава субстрата на плотность популяции червей при различных температурных режимах вермикомпостирования. При температуре 15–18°C наибольшая плотность популяции зафиксирована в субстратах, содержащих 40% листового опада, при температуре 20–23°C – 50%, а при температуре 22–25°C – 60%.

Зависимость между температурой окружающей среды и показателями состояния биологических объектов была описана линейным уравнением, имеющим вид: $y=k+a \cdot x$ (рис. 5).

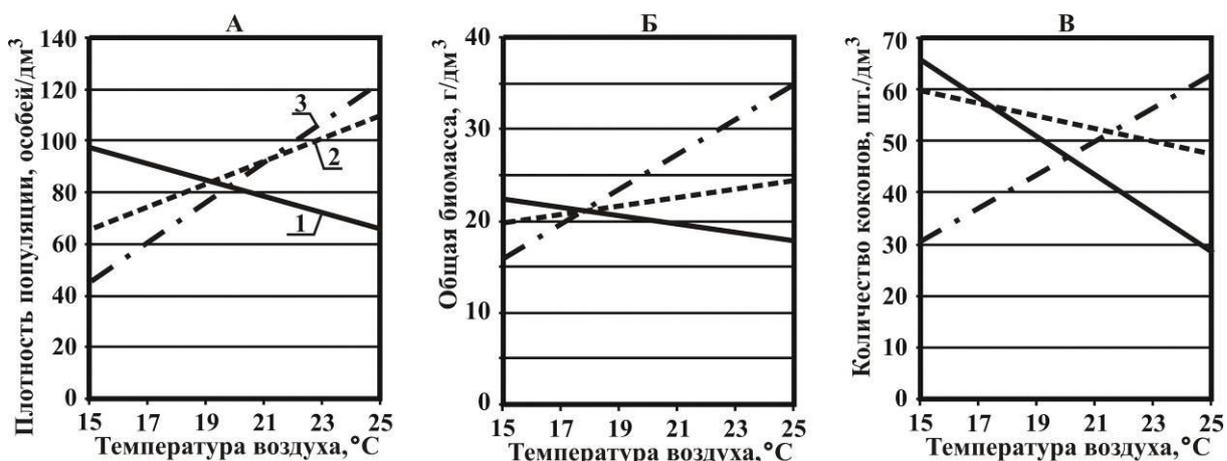


Рис. 5. Зависимость основных показателей состояния червей (А – плотность популяции, Б – общая биомасса червей, В – количество коконов) от температурного режима вермикомпостирования при использовании субстратов различного состава (соотношение ОСВ и листового опада: 1 – 60:40%, 2 – 50:50%, 3 – 40:60%)

При использовании субстрата с содержанием 40% наполнителя в общем объеме с повышением температуры наблюдается снижение основных показателей состояния червей, при повышении доли наполнителя, напротив, с повышением температуры окружающей среды состояние червей заметно улучшается.

Таким образом, для ускорения процесса вермикомпостирования при изменении температуры воздуха наиболее целесообразно регулировать состав субстрата: при повышении температуры увеличивать, а при снижении уменьшать долю наполнителя в составе субстрата в рамках оптимальных значений в зависимости от класса опасности осадков сточных вод.

Выводы.

1. Нативные осадки сточных вод не являются благоприятной средой для жизнедеятельности червей и их переработка вермикомпостированием невозможна. Показатели состояния червей *Eisenia foetida* (Sav.) ухудшаются с увеличением степени токсичности ОСВ независимо от вида используемого наполнителя и его доли в общем объеме субстрата.

2. При составлении компостной смеси на основе ОСВ для вермикомпостирования в качестве наполнителя можно использовать лиственной опад, опил лиственных пород деревьев или бумажные отходы. Состав компостной смеси нужно подбирать в зависимости от класса опасности ОСВ, опираясь на оптимальные значения доли наполнителя, представленные в табл. 4.

3. Оптимальной плотностью первоначальной посадки при вермикомпостировании субстратов на основе осадков сточных вод очистных сооружений канализации является 12 особей/дм³.

4. 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. Поэтому при планировании переработки осадков сточных вод очистных сооружений канализации с использованием червей *Eisenia foetida* (Sav.) нужно учитывать, что наиболее эффективно переработка субстратов в вермикомпост осуществляется 2–4 поколениями червей. С учетом того, что пятое поколение червей, появляющееся примерно через 12–15 месяцев после первоначального заселения червей, снижает интенсивность переработки отходов, целесообразно производить подселение свежих червей из маточника.

5. При повышении температуры окружающей среды необходимо увеличивать долю наполнителя в субстрате на основе ОСВ в рамках оптимальных значений в зависимости от класса опасности осадков сточных вод.

Список литературы

1. Покровская, С. Ф. Научные и практические аспекты приготовления компоста с помощью дождевых червей (вермикомпостирование) / С. Ф. Покровская // Информационный материал. – М., 1990. – С. 1–10.
2. Покровская, С. Ф. Вермикомпостирование / С. Ф. Покровская, Ф. Б. Прижуков // Земледелие. – 1990. – № 12. – С. 57–59.
3. Покровская, С. Ф. Новое в вермикомпостировании / С. Ф. Покровская // Земледелие. – 1993. – № 9. – С. 42–43.
4. Морев, Ю. Б. Вермикультивирование, производство и применение биогумуса / Ю. Б. Морев. – Екатеринбург: Корус, 1992. – 32 с.
5. Гоготов, И. Н. Характеристика биогумусов и почвогрунтов, производимых некоторыми фирмами России / И. Н. Гоготов // Агрехимический вестник. – 2003. – №1. – С. 11.

6. Жмур, Н. С. Методика определения токсичности вод и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и плодовитости дафний / Н. С. Жмур. – М., АКВАРОС, 2001. – 48 с.
7. Кабиров, Р. Р. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городских территорий / Р. Р. Кабиров. – Экология. – 1997. – №6. – С. 408–412.
8. Мельник, И. А. Технология разведения дождевых червей и производство биогумуса / И. А. Мельник // Земледелие. – 1991. – № 8. – С. 68.
9. Бирюкова, Т. Г. Адаптация *Eisenia foetida* (Sav.) к органическим отходам очистных сооружений / Т. Г. Бирюкова, Б. И. Колупаев, Е. А. Решетникова // Сборник науч. матер. Всероссийского популяционного семинара «Экология и генетика популяций». – Йошкар-Ола, 1998. – С. 191–192.
10. Вермикультура: производство и использование / И. А. Мельник [и др.]. – Киев: Укр. ИНТЭИ, 1994. – 128 с.
11. Ускова, В. В. Определение технологических параметров переработки осадка сточных вод с помощью вермикультуры / В. В. Ускова // Материалы круглого стола «Водные ресурсы. Проблемы и пути их решения», Йошкар-Ола. – 2003. – С. 171–173.
12. Ускова, В. В. Переработка осадков сточных вод с помощью биологических объектов / В. В. Ускова // Междунар. науч.-метод. конфер. «Экология – образование, наука и промышленность». Сборник докладов, ч. 2. – Белгород, 2002. – С. 171–175.

Статья поступила в редакцию 24.07.08

D. I. Moukhortov, V. V. Ouskova

OPTIMISATION OF PARAMETERS OF SEWAGE DEPOSITS WORM-COMPOSTING DIFFERING IN TOXICITY

*Key parameters of the technological process of processing sewage deposits of water drain clearing constructions by *Eisenia foetida* (Sav.) worms are determined. Structures of substrata are optimized on the basis of sewage deposits and stuff considered organic waste products depending on the toxicity of SD and a temperature mode. The optimum density of worms introduction and duration of worm-composting by the worms of one set are established on the basis of intensity of waste products processing by a number of worm generations.*

МУХОРТОВ Дмитрий Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов – применение органических отходов в лесном хозяйстве. Автор 51 публикации.

УСКОВА Валентина Валерьевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов – переработка органосодержащих отходов биологическими методами. Автор восьми публикаций.