

На правах рукописи



Фарзах Фаваз Салим Фатах

**Биологическая очистка сточных вод города Владимира на
основе технологии вермифильтрации**

03.02.08 – Экология (биология)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Владимир – 2017 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Научный руководитель: доктор медицинских наук, профессор
Ларионов Николай Павлович

Официальные
оппоненты: **Стом Дэвард Иосифович**
доктор биологических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный
университет», профессор кафедры зоологии
позвоночных и экологии

Касатиков Виктор Александрович
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ФГБНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт органических
удобрений и торфа», ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное агентство научных организаций
Сибирский научно-исследовательский институт
сельского хозяйства и торфа – филиал
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Сибирского федерального
научного центра агробиотехнологий Российской
академии наук

Защита состоится «16» марта 2018 г. в 13.00 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.025.07 во Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, корп.1, ауд.335.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВлГУ и на сайте <http://diss.vlsu.ru>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, можно присылать по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, кафедра биологии и экологии.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Кулагина Екатерина Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Нарастающий мировой дефицит пресной воды является одной из ключевых проблем, стоящих перед человечеством в XXI веке.

По данным Всемирной организации здравоохранения, более двух миллиардов человек на планете страдают от недостатка воды, а по прогнозам, к 2050 году уже половина жителей планеты будет испытывать ее нехватку. Это вызывает естественную озабоченность мирового сообщества, и в период с 2005 по 2015 год проведено множество мероприятий и реализованы международные проекты в рамках Международной декады «Вода для жизни».

В Государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2004 г.», приведен ряд фактов, которые свидетельствуют о предкризисной ситуации с питьевой водой в стране. Так, например, в Российской Федерации в 2004 г. было использовано около 60 км³ свежей воды, а объем нормативно очищенных сточных вод в 2004 г. составил всего 2 км³.

В РФ предусматриваются антикризисные мероприятия, которые направлены на восстановление качества вод и их охрану. Должны быть разработаны действенные способы предотвращения загрязнения водных объектов сточными водами и поверхностным стоком с водосборной площади, обустройство водоохраных зон и прибрежных защитных полос.

В Султанате Оман активно разрабатываются специальные охранные технологии, направленные на профилактику загрязнения водных объектов.

Такая стратегия согласуется и с общемировой тенденцией. Согласно рекомендациям Комитета ООН по водным ресурсам предлагается снизить забор воды из возобновляемых источников, а потребность в воде хотя бы частично обеспечивать путем рециркуляции.

В настоящее время все больший интерес проявляется к методам очистки сточных вод небольших населенных пунктов и отдельных предприятий с использованием дождевых червей вида *Eisenia fetida*, который является технической культурой и по скорости размножения превосходит многие другие виды.

Дождевые черви поглощают взвешенные частицы, переваривают и

выделяют их в виде копролитов (Huges et al., 2005). Новая технология вермифильтрации малозатратна, исключает образование осадков и выделение вредных газов. Это особенно важно для удаленных сельских общин, где отсутствуют современные дорогостоящие системы очистки сточных вод.

Органические вещества в кишечнике дождевого червя подвергаются химическим трансформациям, обогащаются микроорганизмами и выделениями червей, содержащими кальций и ферменты. Органические отходы сточных вод превращаются в удобрения, содержащие питательные элементы в доступной для растений форме, обладающие зернистой структурой, устойчивой к размывающему действию воды (Покровская С.Ф., Касатиков В.А., 1987).

Особый интерес привлекают исследования по переработке жидких осадков сточных вод вермикультурой без использования наполнителя, когда на дно обвалованного участка укладывают опилки, заселенные червями. Таким способом можно переработать большое количество осадков сточных вод, ранее не находившие применения (Green 1981). Создаются установки для непрерывного вермикомпостирования осадков сточных вод с применением методов автоматизации, которые перерабатываются червями в интенсивно аэрируемой верхней части реактора. По мере уплотнения вермикомпоста черви переползают в вышележащие слои, а выгрузка компоста происходит в нижней части реактора (Bonini 1982). Высокая скорость вермикомпостирования обусловлена измельчением субстратов и соответственно увеличением площади контакта с микроорганизмами – деструкторами (Ferrari 1983).

Продукты вермикомпостирования ускоряют рост сельскохозяйственных культур благодаря трансформации органического азота в минеральный и торможению вымывания питательных веществ. Вермикомпостирование способствует переводу тяжелых металлов в малоподвижные соединения. Это особенно важно для загрязненных почв, утративших способность к самоочищению.

Деградация почвенного покрова – одна из самых острых проблем на Земле. Весьма актуальной также является проблема снижения урожайности в связи с повышением числа вредителей и болезней. Необходимо организовать

производство таких удобрений, которые будут способствовать стимуляции роста растений, а также повышать их устойчивость к болезням и стрессам. К таким удобрениям относится вермикомпост.

Основной задачей систем канализации и очистных станций является разложение органических компонентов сточных вод, количество которых в стоках оценивается по двум интегральным показателям БПК и ХПК. Обычные значения БПК канализационных стоков лежат в диапазоне от 150 до 500 мг/дм, а ХПК – от 300 до 800 мг/дм. БПК сточных вод молокозаводов может достигать 4000 мг/дм, а ХПК – 8000 мг/дм. Эти данные свидетельствуют о высокой удобрительной активности канализационных стоков и актуальности проблемы использования их в сельском хозяйстве.

Цель работы: исследовать экологические и физико-химические аспекты вермифильтрации сточных вод г. Владимира культурой *Eisenia fetida* в эксперименте.

Задачи:

1. Оценить эффективность вермифильтрации технических сточных вод молокозавода культурой *Eisenia fetida* в эксперименте.

2. Оценить эффективность вермифильтрации муниципальных сточных вод г. Владимира культурой *Eisenia fetida* в эксперименте.

3. Изучить технические и экономические предпосылки для использования электрохимически активированной воды «Анолит АНК» для дезинфекции вермифильтрата.

4. Разработать рекомендации для внедрения технологии вермифильтрации хозяйственных и бытовых сточных вод для Султаната Оман.

Степень разработанности темы исследования. В настоящее время активно ведутся прикладные эколого-физиологические исследования, связанные с совершенствованием технологий вермикомпостирования. Вместе с тем, актуальное и востребованное направление, связанное с широким использованием сточных вод в сельскохозяйственных технологиях – вермифильтрация находится на самых начальных этапах своего развития. Недостаточно изучены вопросы, связанные с теорией и практикой вермифильтрации, не исследованы возможности вермифильтрации канализационных стоков в зависимости от концентрации органических

веществ. Не разработаны методы дезинфекции вермифильтратов, удаления химических токсикантов и солей тяжелых металлов.

Научная новизна исследования. Впервые в эксперименте изучен процесс вермифльтрации сточных вод с использованием культуры *Eisenia fetida*; изучена динамика снижения уровня токсикантов в процессе вермифльтрации, проведена оценка возможности использования вермифильтрата в сельском хозяйстве. Установлено, что одним из важнейших параметров продуктивного функционирования системы вермифльтрации является скорость вермифльтрации, регулируемая на основе мониторинга влажности вермифильтра, которая не должна превышать 80%. Показано, что эффективность процесса возрастает при длительном пропускании через установку сточной воды вследствие обрастания сорбентов биопленкой из микроорганизмов.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты исследований вносят вклад в разработку теоретических основ технологии вермифльтрации и обоснования рекомендаций по практическому использованию ее в сельском хозяйстве.

Представленные в диссертации экспериментальные данные являются основой для разработки и внедрения в практику технологии очистки сточных вод с применением технологии вермифльтрации в Султанате Оман.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. В условиях жаркого климата, дефицита водных ресурсов и при небольших объемах сточных вод вермифльтрация может использоваться в качестве альтернативы традиционным способам очистки сточных вод.

2. Основным параметром продуктивного функционирования установки для вермифльтрации является скорость подачи сточных вод, регулируемая на основе мониторинга влажности вермифильтра, которая не должна превышать 80%.

3. Эффективность процесса вермифльтрации возрастает при пропускании через установку сточной воды в течение 10-14 дней, что способствует обрастанию наполняющих ее материалов биопленкой из микроорганизмов. Вермикультура в составе вермифильтра при взаимодействии с почвенными микроорганизмами, иммобилизованными на

биофилт্রে, удаляет из сточных вод органические и неорганические загрязнители в результате их поглощения и биодеградаци.

4. Технология вермифилтрации может успешно использоваться для сточных вод с высоким уровнем содержания органических веществ, когда показатель БПК находится в диапазоне величин от 1000 до 1500 мг O₂/дм³

5. Применение электро-активированной воды «Анолит АНК» в процессе вермифилтрации можно оценить, как новый безопасный и дешевый способ дезинфекции сточных вод при их использовании в сельском хозяйстве.

Степень достоверности результатов исследования. Достоверность результатов диссертационного исследования обеспечивается репрезентативностью экспериментальных выборок, корректным использованием методов статистического анализа и современных аналитических методик.

Апробация исследований. Результаты работы были представлены на Международных научных конференциях (8 тезисов и статей в материалах конференций). По теме диссертации опубликовано 12 статей, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, подана патентная заявка на полезную модель РФ и патентная заявка на изобретение в Султанате Оман.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания объектов и методов исследования, изложения результатов экспериментов и их обсуждения, заключения, выводов и списка упоминаемых литературных источников. Работа изложена на 119 страницах текста, включает в себя 23 рисунка и 7 таблиц. Список литературы состоит из 167 наименований, из них 122 зарубежные.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб сточных вод проводился согласно рекомендациям «Методические указания по отбору проб для анализа сточных вод. ПНД Ф 12.15.1-08» и «Инструкции по отбору проб для анализа сточных вод. НВН 33-5.3.01-85». Пробы сточных вод г. Владимира и сточных вод некоторых муниципальных предприятий использовались в экспериментах по вермифилтрации.

Пробы воды отбирали согласно рекомендациям ГОСТ Р 51592-2000. Для транспортировки сточных вод использовали 5-ти л емкости из полимерных материалов с навинчивающейся пробкой. Отбор проб проводили в день выполнения экспериментов.

Физико-химические, агрохимические и микробиологические анализы образцов сточных вод до и после вермифльтрации исследовались в сертифицированной аналитической лаборатории воды МУП «ВладимирВодоканал» (г. Владимир).

Работа выполнялась на основании Договора о сотрудничестве между МУП «ВладимирВодоканал» и Владимирским государственным университетом в области совместной научно-образовательной деятельности. В работе использовались дождевые (компостные) черви вида *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) промышленной линии «Московский русский гибрид», которые были любезно предоставлены компанией НПО ООО «БИОХИМРЕСУРС» (г. Владимир). Этот вид компостных червей имеет широкий интервал температурной устойчивости и может обитать в органических отходах с широким диапазоном влажности.

Популяции дождевых червей, численностью в 5 000 взрослых особей, были помещены в ящики размером 60 x 50 x 20 см, содержащих в качестве поддерживающей среды садовую землю и в качестве кормового субстрата компостированный коровий навоз. Они предварительно выдерживались в течение двух недель для адаптации при комнатной температуре и 70% относительной влажности.

Величину БПК определяли йодометрическим методом согласно с Природоохранными нормативными документами федеративными «ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97. Определение показателя ХПК сточной воды проводили в соответствии с Природоохранными нормативными документами федеративными ПНД Ф 14.1:2:4.190-2003.

Концентрацию взвешенных веществ в сточной воде определяли в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:4.254-09. рН сточных вод определяли с помощью лабораторного анализатора АНИОН 4102 (ООО НПП «ИнфраспакАналит», Новосибирск, Россия).

Метод дезинфекции вермифилтратата. Для дезинфекции вермифилтратата был использован электрохимически активированный

раствор – нейтральный Анолит АНК, который производится в установках типа СТЭЛ из сильно разбавленного водного раствора хлорида натрия. Анолит АНК является стерилизующим раствором при концентрации оксидантов в диапазоне 0,005—0,05% (Сучков и др., 2004).

Все эксперименты были проведены в 4–6 повторах. Анализ выборок на нормальность не противоречил применению параметрических критериев статистики, которые включали в себя: вычисление средних арифметических и их стандартных ошибок, 95% доверительных интервалов для средних арифметических, сравнение двух средних с использованием критерия Стьюдента для независимых выборок. Все указанные статистические процедуры проводились в табличном редакторе Microsoft Excel 2010, свободно распространяемом табличном процессоре Gnumeric, версия 1.10.16. и прикладном пакете программ STATISTICA, сетевая версия 7.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На городские очистные сооружения г. Владимира ежедневно поступает около 80 000 м³ сточных вод, богатых минеральными и органическими веществами. Среднее значениями БПК₅ около 200 мг/л, ХПК около 400 мг/л, количество общих взвешенных веществ (ОВВ) содержится в среднем 100-200 мг/л при значениях рН среды 6,9-7,8.

Разработка конструкций лабораторных установок для вермифльтрации сточных вод. В качестве наполнителя и фильтрующего материала для зоны биофильтра был выбран дробленый гранит строительной компании «БалСтрой» (г. Владимир), который был промыт проточной водопроводной водой, высушен и разделен на фракции 20-25 мм и 6-10 мм с помощью сита. Древесные опилки с мелкой стружкой предварительно были отделены от древесной пыли с помощью сита с диаметром 2 мм, замочены в течение суток и промыты проточной водопроводной водой. Фракция гранита 6-10 мм имела пустой объём 0,51 и удельный вес 2,50 г/см³. Фракция гранита 10-25 мм имела пустой объём 0,43 и удельный вес 2,75 г/см³.

На первом этапе оценки эффективности вермифльтрации в процессе пропускания сточной воды через биофильтр мы использовали пластиковые баки объёмом 45 л, имеющие следующие размеры: диаметр 38 см (верх) и 30 см (низ). В дно бака вмонтировались краны для сбора фильтрата. В качестве

носителя микробной биоплёнки использовали дробленый гранит, который укладывался в два слоя: первый толщиной 10 см размером 20-25 мм, второй - 10 см гранита размером 6-10 мм. На гранитный слой наносили древесные опилки толщиной 10 см.

В качестве субстрата для дождевых червей использовали слой «садовой земли». Площадь зоны вермифильтра составляла 0,11 м², а объём - 0,011 м³. Величину популяции дождевых червей на один бак рассчитывали таким образом, чтобы их численность составила 10 000 взрослых особей/м².

Первая установка для вермифильтрации имела общий рабочий объём 40 л, общий пустой объём - 22,4 л. Фильтры промывали перед экспериментами отстоянной в течение суток водопроводной водой в течение 3 дней.

Для подачи сточной воды использовались баки ёмкостью 30 л, из которых они поступали на слой вермифильтра капельно через перфорированные ПВХ-трубки. Скорость фильтрации определялась в зависимости от эффективности очистки сточных вод и физиологического состояния червей в зоне вермифильтра. Влажность в зоне вермифильтра не превышала 75-80%.

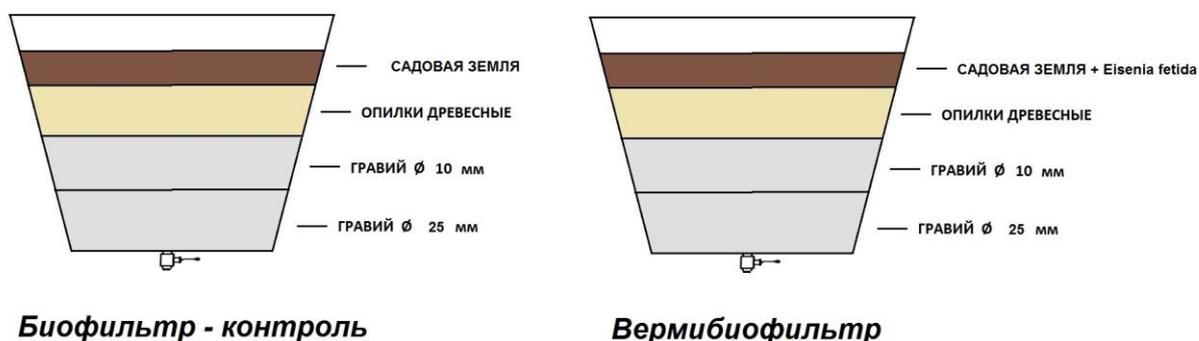


Рис. 1 – Схема первой лабораторной установки для вермифильтрации сточных вод.

На первом этапе исследований мы оценивали эффективность вермифильтрации технических сточных вод молокозавода в зависимости от содержания в них органических веществ. По результатам анализов исследований были сформированы две группы: в первой - величины БПК находились в диапазоне от 150 до 350 мг О²/дм³; во второй – от 800 до 1500 мг О²/дм³.

Таблица 1.

**Эффективность вермифльтрации промышленных сточных вод
молокозавода с низкой нагрузкой по содержанию органических веществ
(БПК – в диапазоне от 150 до 350 мг О²/дм³)**

Показатели	Фильтрат контроль	Вермифильтрат опыт
Азот общий, мг/дм ³	72 ± 12	23 ± 11 *
БПК ₅ , мг О ² /дм ³	213 ± 30	107 ± 17*
ХПК, мг О ² /дм ³	499 ± 81	254 ± 52*
Фосфор общий, мг/дм ³	30 ± 14	3 ± 2*
ОВВ, мг/дм ³	133 ± 20	70 ± 15*
pH	7,0	7,2

Примечания: * – статистически значимые отличия при $p < 0,05$; данные в таблицах представлены средними арифметическими и их стандартными ошибками.

Результаты, представленные в таблице, 1 позволяют заключить, что при оптимально подобранных параметрах скорости фильтрации и количества компостных червей, эффективность вермифльтрации оцениваемая по основным показателям составляет около 50% для БПК₅, ХПК, общего азота и ОВВ.

На показатели БПК и ХПК, удаление аммиака и общего азота влияют высота упаковочных слоёв в вермифилт্রে, определяющая уровень кислорода (Akhanan и др., 2013). Регулировка высоты слоя может влиять на величину популяции дождевых червей (Molina и др., 2013). Упаковка и высота слоёв фильтрующих материалов являются решающими факторами для удаления биогенных веществ при вермифльтрации (Zhao и др., 2009). Было показано, что изменение высоты вермифилт্রে оказывает существенное влияние на уровни удаления общего фосфора, на численность популяции дождевых червей и актиномицетов, (Wang и др., 2014).

На следующем этапе эксперимента мы оценивали возможность использования технологии вермифльтрации для сточных вод с высоким содержанием органических веществ, обладающих максимальной удобрительной активностью. Результаты этого эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2.

**Эффективность вермифльтрации промышленных сточных вод
молокозавода с высокой нагрузкой по содержанию органических
веществ (БПК – в диапазоне от 800 до 1500 мг O²/дм³)**

Показатели	Фильтрат контроль	Вермифильтрат опыт
Азот общий, мг/дм ³	146 ± 21	65 ± 23*
БПК ₅ , мг O ² /дм ³	1238 ± 150	575 ± 117*
ХПК, мг O ² /дм ³	2416 ± 251	1351 ± 150*
Фосфор общий, мг/дм ³	50 ± 5	25 ± 13
ОВВ, мг/дм ³	599 ± 61	287 ± 47*
pH	5,9 – 6,2	6,3 – 6,5

Примечания: * – статистически значимые отличия при p<0,05.

Результаты эксперимента показывают, что технология вермифльтрации может успешно использоваться для сточных вод с очень высоким уровнем содержания органических веществ, когда показатель БПК₅ находится в диапазоне величин от 1000 до 1500 мг O²/дм³.

Высокая эффективность процесса вермифльтрации выявленная на первом этапе эксперимента, определение оптимальных соотношений популяции червей и соотношения компонентов фильтра позволило перейти к решению основных задач:

1. Оценить эффективность вермифльтрации муниципальных сточных вод. г. Владимира культурой *Eisenia fetida* в режиме стационарного многодневного мониторинга.

2. Изучить технические и экономические предпосылки для использования электрохимически активированной воды «Анолит АНК» для дезинфекции вермифильтрата.

3. Разработать проект технологии вермифльтрации муниципальных и хозяйственных сточных вод для Султаната Оман.

Конструкция лабораторной установки для длительной вермифльтрации сточных вод. С целью изучения динамики эффективности вермифльтрации в условиях многодневного эксперимента, достижения более эффективного процесса очистки сточных вод была создана установка где суммарная высота слоёв биофильтра составляла 45 см при соотношении высоты к диаметру 1,18. Для этого была использована пластиковая ПВХ канализационная труба диаметром 16 см. Она была распилена на отдельные части длиной по 105 см, в которые были вклеены

заглушки с вмонтированными в них кранами.

Изменение высоты упакованных слоёв в вермифильтрующей установке может непосредственно повлиять на показатели ХПК, удаление аммиака $\text{NH}_3\text{-N}$ и общего азота, так как регулирование высоты упаковочных слоёв в вермифилтре приводит к различным аэробно-анаэробным процессам в микросреде (Akhavan и др., 2013). Кроме того, рост и размножение дождевых червей связаны с влажностью системы, вентиляцией фильтрующего материала и уровня метаболизма дождевых червей. Регулировка упаковки высоты слоя может влиять на ключевые факторы вермифльтрации. Высота слоёв фильтрующих материалов является решающим фактором для удаления токсикантов (Zhao и др., 2009). Было показано, что изменение высоты вермифилтра оказывает существенное влияние на уровни БПК и ХПК, содержание общего фосфора, на численность популяции дождевых червей и численность актиномицетов. Высокая эффективность удаления поллютантов, активность дождевых червей и численность микроорганизмов достигались, когда суммарная высота слоёв фильтрующих материалов была не менее 60 см.

В качестве наполнителя вермифилтра был использован строительный щебень, который был отмыт водой, просушен на воздухе и фракционирован на ситах с разным диаметром ячеек. На дно такой установки помещался слой щебня (25 см) размером частиц 20-25 мм, затем следующий слой (25 см) частиц размером 4-10 мм, затем слой (25 см) частиц менее 4 мм, затем слой опилок (15 см). В верхний слой садовой земли заселяли популяцию дождевых червей (150 взрослых особей).

Рабочая зона лабораторной установки составляла 100 см при диаметре 16 см. Соотношение высоты рабочей зоны установки к её диаметру составило 6,25.

Общий объём установки составлял 19,0 л, пустой объём – 9,2 л. Схема установки представлена на рисунке 2.

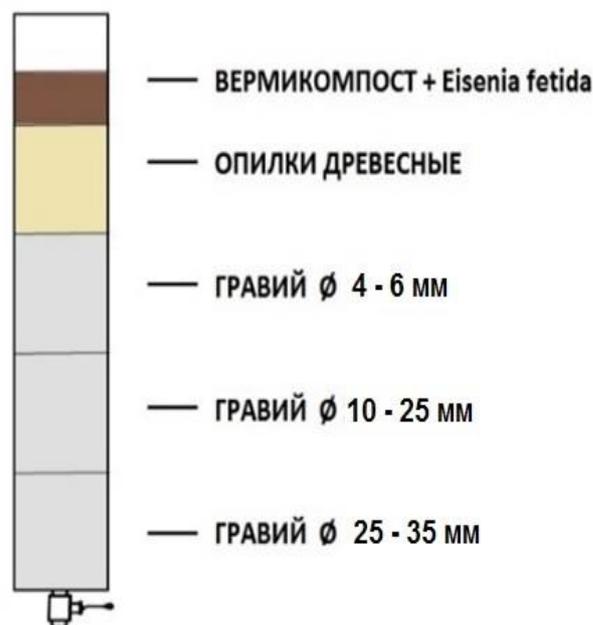


Рис. 2 – Схема лабораторной установки для вермифильтрации сточных вод в многодневном эксперименте.

Для того, чтобы установка по вермифильтрации работала более эффективно, через нее пропускали сточные воды в течение одной-двух недель. Это способствовало обрастанию наполняющих материалов биоплёнкой из микроорганизмов. Скорость пропускания сточных вод в этом эксперименте регулировалась таким образом, чтобы влажность вермифилтрат не превышала 80%.

Таблица 3.

Эффективность очистки муниципальных сточных в процессе многодневной вермифильтрации.

Показатели	Фильтрат контроль	Вермифилтрат опыт
Азот общий, мг/дм ³	146 ± 12	65 ± 11 *
БПК ₅ , мг O ² /дм ³	213 ± 30	107 ± 17*
ХПК, мг O ² /дм ³	499 ± 81	254 ± 52*
Фосфор общий, мг/дм ³	19 ± 6	16 ± 5
ОВВ, мг/дм ³	260 ± 35	18 ± 15*
рН	7,0-7,5	7,2-7,5
Цвет	серый	светло-коричневый
Запах	сильный неприятный	отсутствует
Фекальные колиформы (КОЕ/100 мл)	> 10 ⁶	10 ³

Примечания: * – статистически значимые отличия при p<0,05.

Сточные воды поступали на слой вермифильтра капельно через перфорированные ПВХ-трубки. Скорость фильтрации определялась в зависимости от эффективности очистки сточных вод и физиологического состояния червей в зоне вермифильтра. Результаты представлены в таблице 3.

Результаты, представленные в таблице 3 позволяют заключить, что при оптимально подобранных параметрах скорости фильтрации и количества компостных червей, эффективность вермифильтрации в колонках с сформированной микробиотой, оцениваемая по величинам ОВВ, БПК₅ и ХПП составляет от 45 до 60%. Показатель КОЕ/100 снижается на 3 порядка.

В процессе вермифильтрации происходит экстракция водорастворимых веществ из зоны вермифильтра органической и неорганической природы, включая гуминовые вещества. Поэтому вермифильтрат имеет коричневый цвет (рис. 3).



Рис. 3 – Муниципальные сточные воды г. Владимира до (слева) и после прохождения вермифильтра (справа).

Было показано, что необходимо в течение первых трёх недель пропускать сточные воды для акклиматизации дождевых червей в зоне вермифильтра, колонизации микроорганизмами фильтрующих материалов и обрастания их биоплёнкой. После периода акклиматизации установка начинала ежедневно работать в течение 6 часов в день при комнатной температуре. Уменьшение содержания общего азота составляло от 16 до 55% (Arora et al., 2016).

В наших экспериментах в течение одной недели были достигнуты хорошие результаты очистки муниципальных сточных вод по основным показателям качества воды: ХПК, БПК₅ и ОВВ.

Полученные в результате экспериментов результаты позволяют заключить, что эффективность процесса вермифильтрации возрастает при пропускании через установку сточной воды в течение 7 дней в результате обрастания наполняющих ее материалов биопленкой из микроорганизмов. Вермикультура в составе вермифилтра при взаимодействии с почвенными микроорганизмами, иммобилизованными на биофилтре, удаляет из сточных вод органические и неорганические загрязнители в результате их поглощения и биодegradации. Технология вермифильтрации может успешно использоваться для сточных вод с высоким уровнем содержания органических веществ, когда показатель БПК находится в диапазоне величин от 1000 до 1500 мг O₂/дм³.

Определение фитотоксичности и ростовых свойств вермифилтра. С целью определения фитотоксичности и ростовых свойств очищенной вермифильтрацией препарата сточной воды был проведен тест на проращивание семян. Для этого взяли по 50 штук семян тритикале, поместили равномерно на фильтровальную бумагу в чашки Петри диаметром 10 см и добавили 5 мл вермифилтра. Контроль - вода. Чашки покрывали крышками и оставляли при комнатной температуре на 5 суток. По окончании взвесили общую сырую биомассу проростков и длину самих проростков, исключая пять наименьших значений. Результаты опытов представлены в таблице 4 и на рисунке 4.



Рис. 4 – Опыт по проращиванию семян тритикале. Слева семена замочены в вермифилтре, справа – контроль.

**Влияние вермифилтрат на скорость проращивания семян тритикале
(n = 50).**

Пробы	Сырая биомасса проростков, г	Средняя длина проростка, мм
Контроль	2,9 ± 1,1	58,6 ± 17,7
Вермифилтрат	3,8 ± 1,8*	81,1 ± 24,7*

Примечания: * – статистически значимые отличия при $p < 0,05$.

Считается, что снижение размера корней или проростков на 70% является признаком фитотоксичности, а увеличение этих параметров на 20% - признаком роста стимулирующих препаратов. Из результатов, представленных в таблице 4, следует, что вермифилтрат сточных вод обладает рост стимулирующей активностью для семян тритикале.

Использование электрохимически активированной воды Анолит АНК для удаления остаточной микрофлоры в вермифилтрате. Для уменьшения вредного воздействия на окружающую среду удаление патогенов из сточных вод следует придавать особое значение. Поэтому процессы дезинфекции имеют решающее значение для работы очистных сооружений. Дезинфекция традиционно осуществляется путем хлорирования, что значительно снижает уровень патогенов, но могут представлять серьезную опасность для здоровья человека в результате образования побочных продуктов. Озон является мощным дезинфицирующим средством, но он представляет собой нестабильное соединение, которое разлагается очень быстро.

Облучение УФ-светом является наиболее эффективным методом для дезинфекции, однако затраты, связанные с этим способом, высоки, и поэтому потребность в недорогом и эффективном способе дезинфекции давно существует. Использование электро-активированной воды Анолит АНК является новым, безопасным и дешевым способом для дезинфекции сточных вод.

В вермифилтрат сточной воды добавляли электро-активированную воду анолит АНК в соотношениях: 99:1 и 95:5. Результаты представлены в таблице 5.

Влияние электро-активированной воды «Анолит АНК» на титр фекальных колиформ

Пробы	Титры фекальных колиформ, КОЕ/100 мл
Сточная вода - контроль	$\geq 10^6$
Сточная вода после вермифилтрации	10^3
Сточная вода после вермифилтрации + Анолит 1%	10^2
Сточная вода после вермифилтрации + Анолит 5%	0

Из данных таблицы 5 следует, что «Анолит АНК» в диапазоне концентраций от 1 до 5% ингибирует рост кишечной палочки.

Использование электро-активированной воды «Анолит АНК» является новым, безопасным и дешевым способом для дезинфекции сточных вод. Технология дезинфекции вермифилтратата на основе использования электро-активированной воды «Анолит АНК» может оказаться весьма востребованной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последнее время возрастает интерес к использованию технологии очистки сточных вод с помощью вермифилтрации. Учитывая все более и более жесткие критерии и требования к качеству воды при очистке и утилизации сточных вод, технология вермифилтрации имеет ограничения. Необходимо проведение дальнейших исследований с целью усовершенствования технологии. Направления дальнейших исследований могут быть следующими:

1. Выбор вида дождевых червей. В будущем больше внимания должно уделяться правильному выбору видов дождевых червей, способных поглощать большие количества органических веществ из сточных вод и быть устойчивыми к высоким уровням влажности в среде обитания, при высоких концентрациях поллютантов, к пониженным температурам, экстремальным значениям рН среды и токсичным соединениям натрия и других элементов.

2. Подбор фильтрующих материалов. Некоторые фильтрующие материалы, которые обладают высокой адсорбционной способностью и могут эффективно улучшать процессы удаления поллютантов, должны быть

испытаны и применены в составе вермибиофильтров. Например, в арабских странах можно будет использовать такие растительные отходы, как кокосовое волокно и измельченная сушеная скорлупа кокосовых орехов и сухие пальмовые листья.

Технология вермифилтрации не является альтернативой очистки сточных вод в аэротенках, это способ получения технической воды, пригодной для ирригации, обогащенной органическими веществами, продуктами метаболизма дождевых червей. Результаты исследований показывают, что вермифилтрация может использоваться в качестве альтернативы традиционным способам очистки сточных вод.

В нашем исследовании ставилась задача разработать рекомендации для внедрения технологии вермифилтрации хозяйственных и бытовых сточных вод для Султаната Оман. Анализ современных тенденций в развитии этих технологий позволил заключить, что все известные лабораторные, пилотные и промышленные установки функционируют в режиме ручного управления. Это является основным недостатком, так как отсутствует возможность контроля основных качественных параметров (t , pH, mS, O_2) очищаемых сточных вод в реальном масштабе времени, и, как следствие этого, отсутствие возможности управлять автоматически технологическим процессом очистки сточных вод в зависимости от качественных, количественных и режимных параметров технологического процесса.

Была поставлена задача разработать автоматизированную систему вермифилтрации по очистке сточных вод, которая бы обеспечивала минимальные затраты физического труда и времени при очистке сточных вод в зависимости от типа сточных вод, мощности и конструктивного исполнения установки; контролирования режимов гидравлического удерживания и гидравлической нагрузки в системе; контролирования самого процесса очистки сточных вод по основным её показателям; обеспечения максимальной простоты, надежности и безопасности; получения требуемой производительности установки с оптимальными параметрами процесса очистки сточных вод и достижения высокой экономичности и экологичности самой установки и обслуживаемого объекта.

Данная задача решается нами за счет того, что установка для очистки сточных вод с помощью технологии вермифильтрации дополняется блоком информационных технологий при использовании автогенераторных измерительных преобразователей и системы управления, осуществляющего сбор, хранение и анализ информации методами статистики с целью выявления корреляционных связей измеренных АИП в реальном масштабе времени.

Установка снабжается датчиками температуры, рН-метрии, электропроводности и концентрации растворённого кислорода (t , рН, mS , O_2), которые в свою очередь включаются в автоматизированную систему для измерения основных показателей очищаемых сточных вод в реальном масштабе времени, которые поступают в блок информационных технологий, выполненный на базе ПЭВМ, состоящий из вычислительно-логического блока, формирующего управляющие сигналы для систем регулирования качественных параметров процесса очистки (рис. 5).

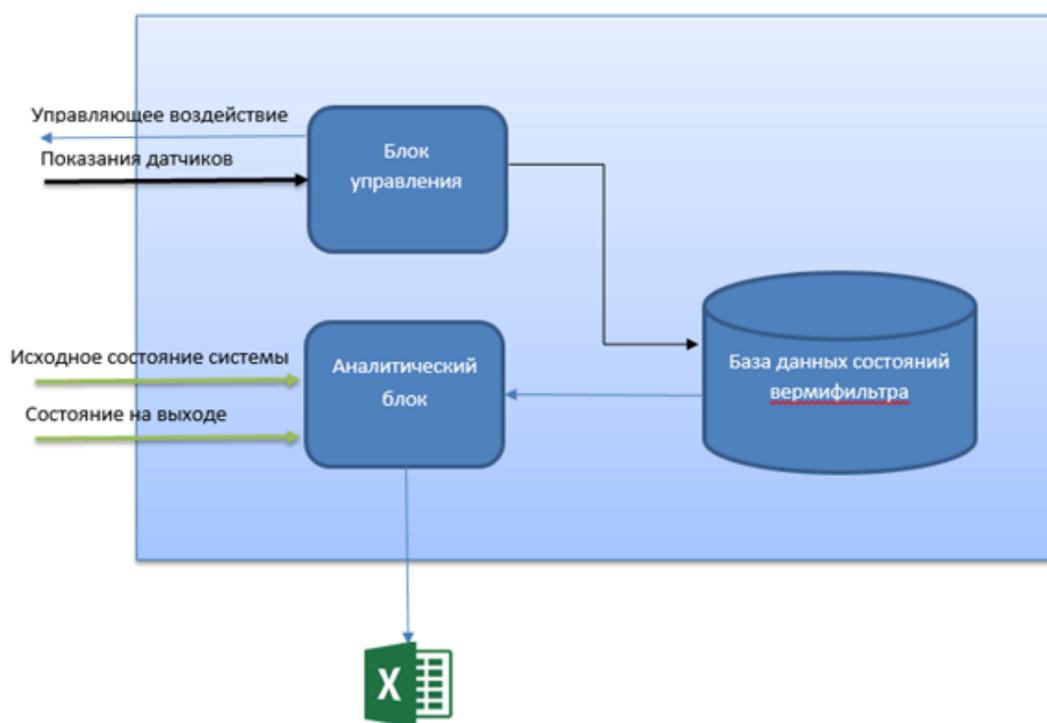


Рис. 5 – Схема компонентов автоматизированной системы управления параметрами установки.

Эта автоматизированная модель вермифильтрующей установки относится к области биотехнологии, в частности к биологической очистке сточных вод, и может быть использована для обеспечения оптимального управления пилотными и промышленными установками вермифильтрации в

коммунальном хозяйстве городов, поселков и различных отраслях промышленности и сельского хозяйства для очистки бытовых и промышленных сточных вод (Патентная заявка на полезную модель Титов И. Н., Салех Х.М., Лысова Е.К., Фарзах Фаваз Салим Фатах).

Преимущества, недостатки и ограничения технологии очистки сточных вод с помощью вермифильтрации. Многими исследователями считается, что технология вермифильтрации способна предложить реально экономически эффективный и удобный способ очистки различных видов сточных вод - от бытовых до промышленных. С её помощью возможно обеспечить замкнутую систему очистки сточных вод, так как вермифильтрат, может быть повторно использован для ирригации, а другое вторичное использование полученного вермикомпоста - в качестве побочного агрономически ценного продукта и, следовательно, может быть звеном в органической цепочке рынка удобрений. Поэтому часть затрат на эту технологию может быть компенсирована за счет повторного использования вермифильтрованной воды и вермикомпоста. Технология вермифильтрации имеет потенциал для решения очистки сточных вод и водного кризиса одновременно и имеет значительные преимущества по сравнению с традиционными процессами очистки сточных вод.

Вермикультура в составе вермифилтра при совместном взаимодействии с почвенными микроорганизмами, иммобилизованных на биофилтре, способна в результате механизмов поглощения и биодegradации удалять из сточных вод органические и неорганические загрязнители по таким важнейшим показателям качества воды как БПК₅ более, чем на 90%, ХПК — на 80-90%, растворённые вещества на 90-92% и ОВВ на 90-95%.

Технология вермифильтрация способна обеспечить устойчивый способ очистки различных типов сточных вод. Однако необходимо проведение более детальных исследований, чтобы повысить эффективность вермифильтрующих систем и сделать их надежной и эффективной коммерческой технологией.

Изучение потенциально вредных микроорганизмов до и после переработки сточных вод также желательно, так как большая часть сточных вод содержит вредные патогены, и имеется необходимость анализировать их, прежде чем обработанная вода может быть повторно использована.

Системы вермифильтрации зависят от живущих в них сообществ, то есть компостных червей и микробов, которые перерабатывают отходы. Такие факторы, как виды компостных червей, климатические условия, состав сточных вод и скорость загрузки и время удерживания сточных вод, являются наиболее важными в отношении производительности системы. Результаты научных исследований показывают, что вермифильтрация может настоятельно рекомендоваться для сельских населенных пунктов, небольших общин и малых предприятий, производящих органические сточные воды в качестве альтернативы традиционным способам очистки сточных вод при условии, что условия будут благоприятными для роста компостных червей.

Несмотря на то, что система вермифильтрации является низко стоимостным и экологически безопасным и выгодным способом очистки сточных вод, при более тщательном рассмотрении и анализе каждого аспекта этой системы становится очевидным то, что этот способ является не таким уж и простым, как это кажется некоторым исследователям. Включение вермикультуры в состав биофильтра приводит к усложнению обеспечения и поддержания оптимальных условий функционирования системы для самой высокой производительности и эффективности. Такие факторы, как температура, уровни влажности и содержание кислорода, гидравлическая нагрузка и время гидравлического удерживания чрезвычайно важны для выживания популяции дождевых червей, чтобы гарантировать высокое качество очищенных сточных вод.

Технология вермифильтрации может быть рентабельным, экономичным и удобным процессом без образования осадков сточных вод и без выделения неприятно пахнущих газов. Любые нетоксичные сточные воды от домашних хозяйств, коммерческих организаций или промышленных предприятий могут успешно перерабатываться с помощью дождевых червей, а сама технология может быть также отработана для переработки специфических видов сточных вод. Она может использоваться децентрализованно отдельными производствами для того, чтобы снизить нагрузку на очистные сооружения.

Выводы:

1. В условиях жаркого климата, дефицита водных ресурсов и при небольших объемах сточных вод вермифильтрация может использоваться в

качестве альтернативы традиционным способам очистки сточных вод. Внедрение технологии вермифльтрации в муниципальных и частных хозяйствах является актуальной задачей для Султаната Оман вследствие ограниченности его водных ресурсов.

2. Установлено, что одним из важнейших параметров продуктивного функционирования установки для вермифльтрации является скорость подачи сточных вод, регулируемая на основе мониторинга влажности вермифилтра, которая не должна превышать 80%.

3. Эффективность процесса вермифльтрации возрастает при пропускании через установку сточной воды в течение 10-14 дней, что способствует обрастанию наполняющих ее материалов биопленкой из микроорганизмов.

4. Вермикультура в составе вермифилтра при совместном взаимодействии с почвенными микроорганизмами, иммобилизованными на биофилтре, способна в результате механизмов поглощения и биодegradации удалять из сточных вод органические и неорганические загрязнители и улучшать такие важнейшие показатели качества воды как БПК₅ - более, чем на 90%, ХПК — на 80-90%, растворённые вещества на 90-92% и ОВВ на 90-95%. Исчезновение неприятного запаха является очевидным преимуществом применяемой технологии.

5. Результаты эксперимента показывают, что технология вермифльтрации может успешно использоваться для сточных вод с очень высоким уровнем содержания органических веществ, когда показатель БПК находится в диапазоне величин от 1000 до 1500 мг О₂/дм³.

6. Использование электро-активированной воды «Анолит АНК» можно оценить, как новый безопасный и дешёвый способ дезинфекции сточных вод.

7. Разработана автоматизированная система удалённого мониторинга для управления очисткой сточных вод с помощью вермифльтрации с использованием беспроводных датчиков, способных в режиме on-line передавать значения важнейших параметров (РН, температура) на мобильные устройства в целях своевременного регулирования технологического процесса.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК РФ

1. Титов И.Н., **Фарзах Фаваз Салим Фатах**, Н.П. Ларионов, В.М. Кан. Технология вермифильтрации – эффективный метод очистки бытовых и промышленных сточных вод. Обзор // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова. 2014, №1. Стр. 58-70.
2. Титов И.Н., **Фарзах Фаваз Салим Фатах**, Ларионов Н.П. Очистка муниципальных сточных вод г. Владимира с помощью технологии вермифильтрации для получения дезинфицированной воды, пригодной для ирригации // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова. 2017, № 4, Стр. 5-8.
3. Титов И.Н., **Фарзах Фаваз Салим Фатах**, Ларионов Н.П. Очистка муниципальных сточных вод г. Владимира с помощью технологии вермифильтрации // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова. 2017, № 4, Стр. 9-11.

Статьи в других научных изданиях

4. Титов И.Н., **Фарзах Фаваз Салим Фатах**, Белкин К.Б., Салех Х.М., Ларионов Н.П. / Очистка сточных вод г. Владимира с помощью технологии вермифильтрации // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов по материалам V Международной научной экологической конференции, посвященной 95-летию Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина, 28-30 марта 2017 г., Краснодар: КубГАУ, 2017. Стр. 144-150.
5. Титов И. Н., Салех Х.М., Лысова Е.К., **Фарзах Фаваз Салим Фатах**. Автоматизированная система вермифильтрации для очистки сточных вод. Патентная заявка на полезную модель РФ № 030416 от 19.05.2016 г.
6. Мельник І.П. Дощові черв'яки: наукові аспекти вирощування і практичне застосування. Монографія / І.П. Мельник, Н.М. Колісник, І.А. Шувар, В.М. Сендецький, І.М.Тітов, **Фарзах Фаваз Салім Фатах**. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2015. – 444 с. ISBN 978-966-286-071-9
7. Титов И.Н., **Фарзах Фаваз Салим Фатах**. Инновационная биотехнология вермифильтрации для очистки сточных вод. Обзор // Материалы Международной научно-практической конференции

«Инновационные агротехнологии и средства механизации для развития органического земледелия», 2-3 декабря 2015, Рязань. Стр. 58-65. ISBN 978-5-87021-066-7

8. Titov I.N. Innovative Technology of Vermifiltration for the Treatment of Domestic and Industrial Wastewater. Review/ I.N. Titov, **Farzah Fawaz Salim Fatah** // Abstracts X International Symposium «Environmental, Engineering-Economic & Legal Aspects for Sustainable Living», 01.12 – 01.12.2015. Hannover, Germany. P. 73-74. ISBN 978-3-00, ISSN- 2193-3871.

9. Титов И.Н., **Фарзах Фаваз Салим Фатах**. Вермифльтрация – инновационная биотехнология очистки сточных вод (обзор) // Материалы IV Международной научной экологической Конференции «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства», 24-25 марта 2015 года, Краснодар. Ч. II. Стр. 244-248. ISBN 978-5-94672-889-8

10. Титов И.Н., **Фарзах Фаваз Салим Фатах**, Ларионов Н.П. Технология вермифльтрации – эффективный метод очистки бытовых и промышленных сточных вод // Материалы VIII Международного Конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития», Москва, 17-20 марта 2015 г. ISBN 5-7237-0372-2

11. Титов И.Н., **Фарзах Фаваз Салим Фатах**, Ларионов Н.П. Инновационная технология вермифльтрации для очистки бытовых и промышленных сточных вод // Материалы XI Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ-2014, 1-3 июля 2014, Владимир-Суздаль, Россия. Стр. 292-296.

12. Титов И.Н., **Фарзах Фаваз Салим Фатах**, В.М. Кан. Инновационная технология очистки сточных вод с помощью вермифльтрации. Обзор // Техногенно-экологична безпека та цивільний захист (Україна, Київ). 2014, 7. Стр. 137-142.