



004611575

На правах рукописи

ТИНЬГАЕВ Анатолий Владимирович

**УПРАВЛЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ
ОТХОДОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА
РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ**

Специальность: 06.01.02 – мелиорация, рекультивация и охрана земель

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

28 ОКТ 2010

Москва – 2010

Работа выполнена в отделе природоохранных технологий Всероссийского
научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации
им. А.Н.Костякова (ГНУ ВНИИГиМ) Россельхозакадемии
ФГУП АФ НИИССВ «Прогресс»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Кирейчева Людмила Владимировна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Гостищев Дмитрий Петрович
доктор технических наук, профессор
Никитенков Борис Федорович
доктор физико-математических наук, профессор
Веницианов Евгений Викторович

Ведущая организация: **ФГНУ ВНИИ систем орошения и
сельскохозяйственного водоснабжения
«Радуга»**

Защита состоится «11» ноября 2010 года в 10 часов на заседании
диссертационного совета Д006.038.01 во Всероссийском научно-
исследовательском институте гидротехники и мелиорации им. А.Н.
Костякова по адресу: 127550, Москва, ул. Б.Академическая, д. 44.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ ВНИИГиМ.

Автореферат разослан «7» Октября 2010 года.

И.о. учёного секретаря диссертационного совета,

доктор технических наук *Лериско*

И.Ф. Юрченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Среди экологических проблем в мире и России можно выделить проблему всевозрастающего количества и разнообразия отходов производства и потребления. Ежегодно в мире образуется около $25 \cdot 10^9$ т отходов, из них в России более 3,8 млрд. т. По данным Мирового института природных ресурсов объем сточных вод в настоящее время достиг 14100 км^3 . В России ежегодно образуется более 52 км^3 сточных вод и $1,5 \text{ км}^3$ животноводческих стоков. В отвалах и хранилищах накоплено более 31 млрд. т. твердых отходов, в том числе токсичных. Из-за недостатка полигонов для захоронения и складирования отходов производства распространена практика их вывоза в места неорганизованного складирования, под которые изъято более 100 тыс. га земель (Государственный доклад, 2009; Масаев, Пермяков, 2009). Все это способствует ухудшению экологической обстановки, вызывает загрязнение почв, поверхностных водных объектов, грунтовых вод, воздушной среды.

Вместе с тем, использование органических отходов в качестве нетрадиционных удобрений в сельском хозяйстве позволяет решить несколько проблем. С одной стороны, вместе с отходами в почву поступает органическое вещество и элементы питания в доступных для растений видах, с другой, - решается проблема утилизации отходов, обеспечивающая охрану окружающей среды от загрязнения. Однако, при ненормируемом использовании или некачественной подготовке органических отходов наблюдается развитие негативных процессов: загрязнение, занитрачивание, засоление и осолонцевание почв, снижение их биологической активности за счет развития патогенной микрофлоры, ухудшение водно-физических свойств, миграция поллютантов в подземные воды, смыв в поверхностные водоемосточники. Для предотвращения или снижения негативных последствий использования органических отходов в сельском хозяйстве необходимо разработать методы эффективного управления отходами с учетом особенностей их состава и природно-хозяйственных условий региона, что является актуальной и своевременной задачей научных исследований.

Рабочая гипотеза. Эффективность и безопасность использования органических отходов в качестве нетрадиционных удобрений для повышения плодородия малопродуктивных и деградированных почв может быть достигнута путем разработки современных методов подготовки отходов и технологий их управления на региональном уровне.

Цель и задачи исследований. На основе детального анализа объемов, качества и территориального размещения органических отходов разработать систему поддержки принятия управленческих решений по безопасному их использованию в сельском хозяйстве для восстановления плодородия деградированных и малопродуктивных почв.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

- выполнить анализ формирования и особенностей состава отходов в мире и России;
- изучить состав, территориальное размещение органических отходов, образующихся в Алтайском крае и оценить их качество;
- обосновать возможность использования органических отходов для восстановления деградированных и малопродуктивных земель с целью повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур;
- создать геоинформационную систему мониторинга обращения отходов в регионе с учетом их размещения, агро- и эколого-мелиоративных характеристик почвенного покрова, а также наличия водных объектов;
- разработать математические модели для прогнозирования влияния органических отходов на запасы гумуса в почве, загрязнения почв и грунтовых вод тяжелыми металлами и другими поллютантами;
- разработать модель оптимального распределения органических отходов в сельском хозяйстве региона;
- разработать региональную систему поддержки принятия управленческих решений по использованию органических отходов в сельском хозяйстве.

Методология и методика исследований. Методологической основой являются фундаментальные положения мелиоративной науки, почвоведения и экологии. При проведении исследований использованы принципы системного анализа, позволяющие обеспечить эффективную стратегию изучения объекта исследований. Для решения поставленных задач применены методы математического моделирования, метод двухслойной неявной конечно-разностной схемы, метод Рунге-Куты, симплекс-метод, регрессионный анализ пакета Statistica.

Научная новизна исследований состоит в теоретическом обосновании и практической реализации оптимального использования органических отходов в сельскохозяйственном производстве для восстановления плодородия деградированных земель.

Впервые разработана региональная система поддержки принятия управленческих решений при использовании органических отходов в сельском хозяйстве на примере Алтайского края. Усовершенствована методика прогнозирования запасов гумуса в почве, учитывающая не только процессы гумификации органических отходов и растительных остатков, но и их накопление в почве. Разработана математическая модель миграции тяжелых металлов в почве, учитывающая поступление тяжелого металла с органическими отходами, как в подвижной, так и неподвижной формах, а также переход из одной формы в другую. Впервые предложена математическая модель оптимального использования отходов в регионе с учетом интересов предприятий, формирующих отходы, и возможных

потребителей отходов. Для информационной системы поддержки принятия управленческих решений разработаны состав и структура мониторинга обращения отходов в регионе на базе геоинформационных технологий. На основе многолетних экспериментальных данных получены зависимости влияния органических отходов на микробиологическую активность почвы, урожайность и качество сельскохозяйственных культур.

На защиту выносятся:

-закономерности влияния объемов и компонентного состава органических отходов на микробиологическую активность почвы, урожайность и качество сельскохозяйственных культур.

-научно-методическое обеспечение мониторинга обращения отходов в регионе и его реализация с использованием геоинформационной технологии.

-математические модели прогнозирования динамики запасов гумуса в почве и загрязнения почвы тяжелыми металлами при использовании органических отходов в качестве нетрадиционных удобрений;

-модель оптимизации распределения органических отходов на сельскохозяйственных полях, учитывающая запросы потребителя отходов и возможность их поставки с учетом интересов предприятий и сельхозпроизводителей;

-региональная система поддержки принятия управленческих решений при использовании органических отходов в сельском хозяйстве для Алтайского края.

Практическая значимость. Разработанная региональная система поддержки принятия управленческих решений может быть применена для научно-обоснованного размещения органических отходов на землях сельхозтоваропроизводителей, что позволит повысить урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почв и решить экологическую проблему, связанную с негативным влиянием отходов на окружающую среду. Разработанные математические модели могут быть применены научными и проектными организациями для изучения процессов накопления запасов гумуса и миграции тяжелых металлов в почве, а также использованы в учебном процессе. Система поддержки принятия решений может найти применение при обосновании природоохранных мероприятий и при проведении экологической экспертизы.

Личный вклад автора состоит в анализе и обобщении литературных источников и фондовых материалов по формированию объемов и качества различных видов отходов и оценке возможности их использования в сельском хозяйстве. Автором разработаны эмпирические модели влияния органических отходов на микробиологическую активность почвы, урожайность и качество сельскохозяйственных культур, математические модели и программное обеспечение динамики запасов гумуса и миграции тяжелых металлов, модель оптимизации распределения органических отходов на сельскохозяйственных землях. Разработаны методы эффективного управления отходами в сельском хозяйстве региона с учетом

эколого-мелиоративного и экономического обоснования. Выполнена компьютерная реализация и заполнение информационно-справочной и геоинформационной системы для Алтайского края. Разработана региональная система поддержки принятия управленческих решений при использовании органических отходов в сельском хозяйстве региона. При личном участии автора проводились натурные эксперименты по использованию органических отходов на сельскохозяйственных угодьях Алтайского края.

Апробация результатов диссертационной работы. Результаты исследований и основные положения диссертационной работы были доложены на международных научных конференциях во ВНИИГиМ (Москва, 2006-2009г. г.), Юбилейной международной научно-практической конференции (Барнаул, 2003 г.), международном конгрессе по управлению отходами Вэйстэк (Москва, 2003, 2007, 2009 г.), III российско-монгольской конференции (Бийск, 2004 г.), шестом международном конгрессе Экватэк (Москва, 2004 г.), международной научной конференции в ВНИИА (Москва, 2004 г.), IV съезде Докучаевского общества почвоведов (Новосибирск, 2004 г.), на международной научной конференции посвященной 95-летию со дня рождения академика И.И. Синягина (Новосибирск, 2006), международной научной конференции в МГУП (Москва, 2008 г.), 4-й международной научно-практической конференции «Геопространственные технологии и сферы их применения» (Москва, 2008).

Работа награждена медалью лауреата ВВЦ на агропромышленной неделе (Москва, 2003 г.), премией Алтайского края в области науки и техники за 2004 г. и дипломом федерального агентства геодезии и картографии (Москва, 2008 г.).

Региональная система поддержки принятия управленческих решений при использовании органических отходов в сельском хозяйстве внедрена в Управлении природных ресурсов и охраны окружающей среды Алтайского края.

Публикации. Основные результаты исследований опубликованы в 45 научных работах, в том числе 12 статей в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав и выводов, изложена на 288 страницах машинописного текста, иллюстрирована 57 рисунками, содержит 48 таблиц. Список литературы включает 405 наименований, в том числе 53 на иностранном языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность решаемой проблемы, сформулированы цель и задачи исследований, дана методология и методика проведения исследований, приведены новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе выполнен анализ понятийного аппарата, рассмотрено формирование и особенности состава различных видов органических

отходов, формирующихся в мире и России; приведен опыт использования органических отходов в сельском хозяйстве; изложены требования к качеству отходов, используемых для повышения плодородия почв и предложена концептуальная модель использования органических отходов в качестве нетрадиционных удобрений на региональном уровне.

В настоящее время одним из значимых источников загрязнения природной среды являются разнообразные отходы производства и потребления. Однако до сих пор в мире не существует единой классификации отходов. Отходы различаются как по происхождению (промышленные, сельскохозяйственного производства, коммунально-бытовые, и пр.), агрегатному состоянию (твердые, полужидкие, жидкие, газообразные), так и по классу их опасности для окружающей природной среды (от практически неопасных до чрезвычайно опасных). В настоящей работе автор уделит внимание проблеме формирования, сбора, обезвреживания и использования твердых и жидких органических отходов. *Органические отходы представляют собой остатки сырья, вещества и побочные продукты, образующиеся в результате технологических процессов при производстве продукции или в жизни людей и содержащие органические соединения растительного, животного и промышленного происхождения.* В работе рассматриваются органические отходы, представленные навозом крупного рогатого скота и свинным, птичьим пометом, сточными водами различных предприятий и их осадками. Структура органических отходов представлена на рис.1.



Рисунок 1 – Структура органических отходов.

Твердые органические отходы складываются в отвалах, на полигонах, хранилищах, иловых площадках, несанкционированных свалках, сжигаются или утилизируются. В России в отвалах и хранилищах, полигонах и несанкционированных свалках накоплено около $80 \cdot 10^9$ т. отходов, а под полигонами отходов занято 0,1 млн. га (Государственный доклад, 2009). В США 90% твердых отходов захораниваются на свалках. Захоронение

является наиболее распространенным методом и в Великобритании, где ежегодно около 111×10^6 т. отходов поступает на свалки (Baker, 2005). В 2004 г. 47% отходов в государствах ЕС были захоронены на полигонах и свалках. Для свалок выбираются, как правило, земли не подверженные наводнениям или высокому стоянию грунтовых вод. Защитой от утечек отходов свалки являются их перемешивание с цементом, золой с электростанций, асфальтом или органическими полимерами (Bassis, 2005)

Одним из распространенных методов уничтожения отходов является их сжигание. В государствах ЕС 17% всех отходов ежегодно сжигаются (Оценочные данные Европейской комиссии по охране окружающей среды, 2008). В Великобритании приблизительно 5% бытовых, 2% промышленных и 75% коммерческих отходов сжигаются (Baker, 2005), в США доля сжигаемых отходов составляет 28 млн. т. (Масаев, Пермяков, 2009). В России положительный опыт сжигания осадков сточных вод имеется в Санкт-Петербурге. Строительство завода по сжиганию на Центральной станции аэрации позволило решить проблему, связанную с наращиванием полигонов хранения осадка сточных вод южного бассейна Невы. К середине 90-х гг. общая площадь достигла более 150 га при ежегодном вывозе осадка 219–292 тыс. м³ (Цветков, Куприянов, 2000). В настоящее время весь объем осадков сточных вод Центральной станции аэрации подается на сжигание.

Наиболее эффективным способом сокращения твердых отходов является их использование для получения биогаза и переработка. Согласно данным Статистической службы Европейского союза «Eurostat» за 2006 г., в Австрии, Германии, Нидерландах и в Бельгии объем утилизации отходов составил более 60%. В США, Европе, Японии, Индии применяются методы микробиологической переработки отходов животноводства и осадков сточных вод, позволяющие получать биологический газ и так называемый органический шлам, используемый в качестве удобрения. Полученное удобрение представляет собой однородную полужидкую массу, в которой концентрация питательных веществ увеличивается: валового азота и фосфора почти в 1,7, калия - в 1,3 раза (Сидоренко, 2009; Пахненко, 2007). Для утилизации твердых органических отходов с высоким содержанием концентраций солей тяжелых металлов в России используется их переработка в крупнопористый материал для строительной индустрии (Яковлев, 1999).

Жидкие органические отходы подвергаются очистке, депонируются в нагнетательные скважины или утилизируются. Простейший подход к контролю качества сточных вод - их очистка на источнике формирования. Такой подход используется в Соединенных Штатах, Канаде и Европе, и во многих случаях требуется более высокий уровень технологии очистки (Zerbock, 2003). В настоящее время разработано большое количество перспективных технологий очистки сточных вод и стоков. Схемы отведения и обработки сточных вод промышленных предприятий определяются технологическим процессом, объемом сточных вод, составом загрязнений, а

также требованиями к качеству очищенной воды. При выборе способа очистки учитывают не только состав сточных вод, но и требования, которым должны удовлетворять очищенные воды, а при использовании очищенных сточных вод вторично в производстве - требования конкретных технологических процессов. Эффективность очистки различных методов можно выразить в балльной системе (табл. 1).

Таблица 1. Эффективность различных методов очистки воды (составлена автором с использованием литературных источников (Соколов, 2000; Проскуряков, Шмидт, 1977; Яковлев, 1979; Белоусов, 2009; Кашковский, 2009; Холенберг, 2008,2009 и другие)

Методы очистки воды	Бактерии	Вирусы	Микробн. токсины	Фенолы	Хлор. орган. вещ-ва	Прочие орган. вещ-ва	Ионы тяж.мет	Избыток мин. солей	Сумма баллов
Микрофилтрация	4	2	2	2	2	2	2	2	18
УФ-облучение	5	4	2	2	2	2	2	2	21
Электродиализ	4	2	2	2	2	2	2	5	21
Ультрафилтрация	5	5	2	2	2	2	2	2	22
Ионный обмен	2	2	2	2	2	2	5	5	22
Коагуляция	3	2	3	3	4	3	4	2	24
Серебрение	5	5	3	2	2	2	2	2	23
Йодирование	5	5	4	3	2	2	2	2	25
Кипячение	5	5	5	2	2	2	2	2	25
Хлорирование	5	5	3	3	2	3	2	2	25
Сорбция	3	3	3	4	4	4	4	2	27
Электролиз	5	5	4	4	3	3	2	2	28
Озонирование	5	5	3	5	4	4	2	2	30

По сумме баллов наиболее эффективными методами очистки являются озонирование, электролиз и сорбция. Но наибольший эффект даёт их комплексное применение в различных сочетаниях.

Одним из широко применяемых методов в США является закачка жидких промышленных отходов через нагнетательные скважины в водопроницаемые, подземные геологические слои. Для удаления взвешенных частиц и органических соединений жидкие отходы фильтруются.

Все вышеприведенные методы в какой-то мере решают проблему снижения антропогенной нагрузки на природную среду, однако, учитывая наличие в отходах органических веществ и доступных для растений питательных элементов, в ряде случаев целесообразно использовать их в сельскохозяйственном производстве для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и восстановления плодородия деградированных и малопродуктивных земель.

Вопросам сельскохозяйственного использования органических отходов в качестве удобрений посвящены работы Н.Г. Андреева, М.Ф. Буданова, В.И.

Владимирского, Р.П. Воробьёвой, Д.П. Гостищева, В.Т. Додолиной, И.П. Канардова, Л.Е. Кутепова, В.И. Марьмова, П.Н. Матвеева, Г.Е. Мерзлой, А.М. Можейко, В.М. Новикова, Л.П. Овцова, В.П. Орлова, Н.А. Романенко, Г.П. Седовой, Б.С. Семенова, Л.И. Сергиенко, Н.И. Хлебникова, В.Ф. Шубина и др. В них в качестве основных предпосылок безопасного использования органических отходов в сельском хозяйстве определены сроки и дозы внесения отходов, подбор соответствующих культур, технология и техника внесения, агротехнические приемы возделывания сельскохозяйственных культур.

В основе механизма почвенной утилизации органических отходов лежит поглотительная способность почвы. Исследования, проведенные в различных почвенно-климатических условиях, свидетельствуют о высокой поглотительной способности почв (Марьмов, 1982; Сергиенко, 1987; Diez et al., 1992; Kutera, 1990; Long-term..., 1994). Первичную ступень механизма обеспечивает механическое поглощение. В почвах задерживаются не только крупные, но и коллоидные частицы и даже бактерии, диаметры которых в несколько раз меньше самых малых капилляров. Физико-химическая и химическая поглотительная способность почвы обеспечивает очистку главным образом от минеральных примесей, в результате чего в почве закрепляются многие важные для растений питательные вещества. Растворенные минеральные вещества поглощаются почвой на 60-80% и водорастворимые органические вещества - на 85-95%. В основе химической поглотительной способности почвы заложена способность анионов создавать с катионами нерастворимые соединения или малорастворимые соли, выпадающие в осадок, который примешивается к твердой фазе почвы. Биологическая поглотительная способность почвы обусловлена процессами жизнедеятельности микроорганизмов, находящихся в почве. Попавшие в почву органические вещества подвергаются распаду и разложению вплоть до образования неорганических веществ (процесс минерализации), а также трансформации с образованием органического вещества почвы - гумуса (Органические удобрения..., 1984; Минеев и др., 1993). Использование органических отходов в качестве удобрений, по данным авторов, ведет к увеличению урожайности кормовых культур до 200%.

Однако, при использовании органических отходов в качестве удобрения существует серьезная опасность загрязнения как получаемой продукции, так и окружающей среды различными вредными веществами, поступающими в почву вместе с отходами. В органических отходах нередко наблюдается высокое содержание подвижного минерального азота, солей ТМ и других токсикантов, что вызывает необходимость введения экологических ограничений на использование.

По содержанию основных элементов питания в органических отходах при естественной влажности отмечаются существенные меж- и внутривидовые различия в зависимости от особенностей их получения, переработки и хранения. К высокому (7-10 кг/т) содержанию запасов общего азота относят

подстилочный твердый и бесподстилочный полужидкий птичий помет и безрегентные осадки сточных вод; среднему (4-6 кг/т), - подстилочный навоз крупного рогатого скота (КРС), полужидкий свиной навоз, жидкий помет, регентные осадки сточных вод; низкому (2-4 кг/т), - полужидкий и жидкий навоз КРС, жидкий свиной навоз и очень низкому (менее 2 кг/т), - стоки. В подстилочном помете, полужидком свином навозе и осадках сточных вод преобладает фосфор, подстилочном навозе, полужидком помете и жидком свином навозе - азот и фосфор, полужидком и жидком навозе КРС - азот и калий, жидком помете и стоках - азот. По содержанию макро- и микроэлементов органические отходы существенно различаются между собой.



Рисунок 2 – Концептуальная модель использования органических отходов в сельском хозяйстве

В навозе КРС, птичьем помете не обнаружено элементов, присутствие которых в больших количествах представляло бы серьезную опасность окружающей среде и качеству продукции. Содержание регламентируемых

элементов в них не превышает не только ПДК, предъявляемые к органическим удобрениям, но и, как правило, концентрацию этих элементов в почве. Валовое содержание тяжелых металлов в основном ниже ПДК для осадков сточных вод, лишь в отдельных партиях безреагентных осадков отмечается 2-5-кратное превышение Cr^{+3} , Ni, Cu и Zn, а превышение ПДК (ОДК) для почв по валовым формам достигают 3-20 раз (Cr^{+3} , М Си, Zn, Cd, Sn и Pb) в безреагентных и 2-6 раз (Cr^{+3} Си, Zn, Cd и Sn), по подвижным - соответственно 14-33 (Ni, Cu, Zn и Cd) и 3-19 (Cr^{+3} , Ni, Cu, Zn и Cd) раз, что создает опасность загрязнения ими почвы и растениеводческой продукции (Еськов, 2006; Воробьева, 2004; Усенко, 2000).

Учитывая источники формирования органических отходов, многообразие их состава, наличие химического и биологического загрязнения, предложена концептуальная модель безопасного использования органических отходов в сельскохозяйственном производстве, включающая эколого-мелиоративное и экономическое обоснование использования органических отходов (рис. 2).

Важнейшей составляющей модели является мониторинг обращения органических отходов - комплексная система наблюдений за формированием, объемами и составом органических отходов, оценка и прогноз изменения состояния сельскохозяйственных угодий, а также показатели урожайности. Прогнозами обосновывают нормы и сроки внесения органических отходов и определяют многолетнее воздействие на сельскохозяйственные земли, подземные и поверхностные воды. Оптимизация распределения отходов научно обосновывает применение органических отходов на сельскохозяйственных землях с учетом максимизации дохода сельхозпроизводителей.

Во второй главе приводится теоретическое обоснование возможности использования органических отходов в качестве удобрений.

Ранее проведенными исследованиями (Канардов, 1946,1974; Новиков, 1972, 1975, 1978; Мерзлая, 1963, 2006; Седова, 1982; Буданов, 1956,1970; Воробьева 1995,2007; Давыдов 2000, 2004; Можейко,1958; Усенко, 2000; Додолина, 1970, 2004; Романенко, 1993, 2000; Кирейчева 2002, 2004; Кутепов, 1983; Сергиенко, 1984; Овцов 2006; Гостищев, 2000, 2007; Шуравилин 2000, 2004; Титова 2009, Iyanaga, Yokose, Jenkins 2000; Goldstein 2006) было установлено как положительное влияние органических отходов на урожайность и плодородие почвы, так и отрицательное в виде биологического загрязнения, занитрачивания, засоления, осолонцевания и загрязнения почв тяжелыми металлами. Как известно, основным показателем, определяющим эффективность использования органических отходов в сельском хозяйстве, является урожайность возделываемых культур. По результатам анализа фондовых материалов и литературных источников автором были получены регрессионные зависимости урожайности зеленой массы кормовых культур и зерна пшеницы от

содержания биогенных элементов в почве при внесении органических отходов.

Для зеленой массы кукурузы получено следующее уравнение:

$$Y=4.14X_2+5.65X_3+0.16X_4-39.08X_5-28.57X_6+17.80X_7-27.516, \quad (1)$$

где Y- урожайность зеленой массы кукурузы, т/га; X_2, X_3, X_4 – валовое содержание азота, фосфора, калия в почве после внесения органических отходов, т/га; X_5, X_6, X_7 – содержание подвижных форм азота, фосфора, калия в почве после внесения органических отходов, т/га.

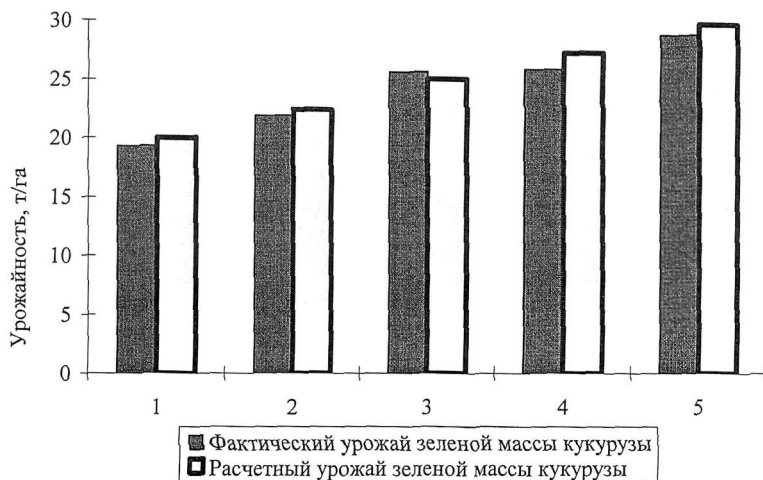
Для зерна пшеницы уравнение имеет вид:

$$Y=-3.7X_1+134.5X_2-24X_3-7.3X_4-28.4X_5+33.2X_6+3.8X_7+4.873, \quad (2)$$

где Y- урожайность зерна, т/га; X_1 - содержание гумуса т/га; X_2, X_3, X_4 – валовое содержание азота, фосфора, калия в почве после внесения органических отходов, т/га; X_5, X_6, X_7 – содержание подвижных форм азота, фосфора, калия в почве после внесения органических отходов, т/га.

Проверка адекватности полученных многочленов выполнена по результатам многолетних исследований, проведенных автором совместно с ФГУП АФ НИИССВ «Прогресс» в Алтайском крае при использовании осадка сточных вод г.Барнаула в ОПХ «Докучаево». При учете урожайности пшеницы и кукурузы было установлено, что на всех вариантах с внесением осадка урожайность выше, чем на контроле, причем прибавка урожайности тем больше, чем выше норма внесения осадка сточных вод (рис. 2).

Величина достоверности аппроксимации (R^2) для урожайности зеленой массы кукурузы и зерна пшеницы составила 0,83 и 0,85, соответственно.



Примечание: 1- контроль; 2 – внесение в почву ОСВ нормой 10 т/га; 3 - внесение в почву ОСВ нормой 30 т/га; 4 - внесение в почву ОСВ нормой 50 т/га; 5 - внесение в почву ОСВ нормой 80 т/га;

Рисунок 2 – Урожайность зеленой массы кукурузы в зависимости от количества вносимых осадков сточных вод (ОСВ).

Наряду с биогенными элементами, влияющими на урожайность сельскохозяйственных культур, в органических отходах содержатся токсичные вещества – тяжелые металлы, мышьяк и другие поллютанты, оказывающие негативное влияние на почвенную микрофлору. Малые концентрации микроэлементов оказывают стимулирующее воздействие на рост бактерий в почве, а повышенные их концентрации оказывают ингибирующее воздействие. Тяжелые металлы особенно токсичны для микробиоты. В загрязненных тяжелыми металлами почвах наблюдается ослабление развития микроорганизмов и энзиматической активности, что приводит к снижению урожайности (Hattori, 1989; Lokwood, 1994; Kabata-Pendias, 1989,2005).

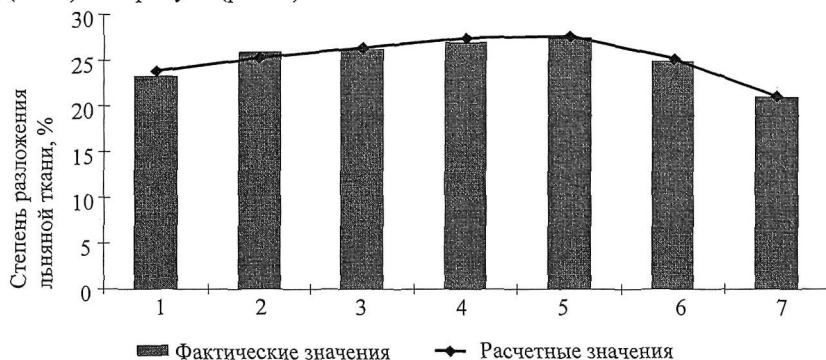
Для оценки изменения почвенной микрофлоры, характеризующей интенсивность и направленность микробиологических процессов, критерием которых служат микробиологическая активность почвы, по результатам анализа фондовых материалов и литературных источников была выявлена зависимость микробиологической активности почвы от количества и качества внесенных в почву твердых органических отходов по разложению льняной ткани. Степень разложения льняной ткани в зависимости от содержания подвижных форм микроэлементов имеет вид:

$$Y = -447,39As^2 + 0,128573Zn^2 - 678,11Pb^2 + 310,045Ni^2 + 4224Cr^2 + 420,74Cd^2 - 758,14, \quad (3)$$

где Y – степень разложения льняной ткани, %; As, Zn, Pb, Ni, Cr, Cd – содержание подвижных форм микроэлементов в почве, %.

Величина достоверности аппроксимации (R^2) составляет 0,97.

Для проверки адекватности зависимости также были использованы результаты многолетних исследований автора и сотрудников ФГУП АФ НИИССВ «Прогресс» в Алтайском крае по использованию осадка сточных вод (ОСВ) г. Барнаула (рис. 3).



Примечание: 1-контроль; 2 – внесение в почву ОСВ нормой 10 т/га; 3 - внесение в почву ОСВ нормой 20 т/га; 4 - внесение в почву ОСВ нормой 30 т/га; 5 - внесение в почву ОСВ нормой 50 т/га; 6- внесение в почву ОСВ нормой 80 т/га; 7 – осадок сточных вод.

Рисунок 3 - Степень разложения льняной ткани в зависимости от подвижных форм микроэлементов за вегетационный период (%).

При внесении в почву осадка сточных вод в объеме до 50 т/га происходит увеличение, микробиологической активности почвы за счет роста бактерий в почве. При большей дозе происходит снижение микробиологической активности вследствие увеличения содержания тяжелых металлов в почве. Микробиологическая активность является важным экологическим ограничением при установлении объема внесения органических отходов в почву.

Еще одним из важнейших экологических показателей влияния органических отходов на почвы являются бактериологическая и гельминтологическая оценка, которые определяют степень загрязнения микроорганизмами и яйцами гельминтов. Животноводческие стоки содержат в большом количестве микроорганизмы, поэтому они при орошении культур в определенные периоды могут представлять эпидемиологическую опасность. Это может оказать отрицательное влияние на санитарное состояние выращиваемых культур, а также на окружающую природную среду за счет возможного выноса микроорганизмов в грунтовые воды при избыточном увлажнении.

Для обеспечения безопасного использования органических отходов в качестве удобрений разработаны следующие требования: применение сточных вод для орошения не должно приводить к ухудшению водно-физических свойств почв; в сточных водах содержание жизнеспособных яиц гельминтов и цисты кишечных патогенных простейших не должно превышать 1 экземпляр в 1 дм³. Орошение сточными водами не допускается на территории I и II поясов зоны санитарной охраны источников централизованного хозяйственно-типового водоснабжения; на территории выклинивания водоносных горизонтов, а также при наличии трещиноватых пород, не перекрытых водоупорным слоем. При использовании на орошение сточных вод уровень грунтовых вод на пашне должен находиться не выше 1,2 м, на сельхозугодиях-1,0 м, в исключительных случаях допускается 0,8 м. Безопасное использование осадков сточных вод в качестве удобрений осуществляется на основе регламента в соответствии с технологической документацией с учетом местных условий, в том числе свойств и гидрологического режима почв, радиационного фона, содержания нормируемых загрязнений в осадках и почве, общего и минерального азота, подвижных форм фосфора и калия, особенностей возделываемых культур. (Овцов, Воробьева, Тиньгаев и др., 2002). Не допускается применять осадки в водоохраных зонах и их прибрежных защитных полосах, а также в пределах особо охраняемых природных территорий; поверхностно в лесах, лесопарках, на сенокосах и пастбищах; на затопляемых и переувлажненных почвах; на территориях с резко пересеченным рельефом, а также на площадках с уклоном в сторону водоема более 3°; в пределах II пояса зон санитарной охраны источников централизованного питьевого водопользования.

При выборе способа и техники полива животноводческими стоками учитывают почвенно-мелиоративные и климатические условия объекта, состав и режим орошения возделываемых культур, размеры и рельеф орошаемой площади, возможность механизации и автоматизации полива, а также санитарно-гигиенические и водоохранные требования. При организации полей орошения животноводческими стоками должны быть получены сведения об эпидемиологической и эпизоотической ситуациях в данной зоне в местных учреждениях санитарно-эпидемиологической и ветеринарной служб. Выполнение вышеуказанных требований позволит предотвратить возникновение инфекционных и инвазионных заболеваний среди населения и животных.

Для накопления, систематизации и анализа информации об источниках органических отходов, объемах и местах их захоронения, границах административных, природных и природно-хозяйственных единиц, почвах, реках, озерах, подземных водах, периодах наблюдения и оценках окружающей среды, качества органических отходов для использования их в сельском хозяйстве автором разработана система мониторинга обращения органических отходов(рис.4).



Рисунок 4 - Принципиальная структура мониторинга обращения органических отходов.

Универсальным инструментом для мониторинга обращения отходов и прогнозирования состояния почвы, водных объектов и подземных является

применение математических методов, вычислительной техники и геоинформационных технологий. Для отображения свойств объектов в структуре геоинформационной системы выделяется информационная модель, база данных, аналитическая база и программный комплекс.

Геоинформационная система (ГИС) мониторинга обращения отходов на региональном уровне разработана в пакете MapInfo Professional (рис. 5).

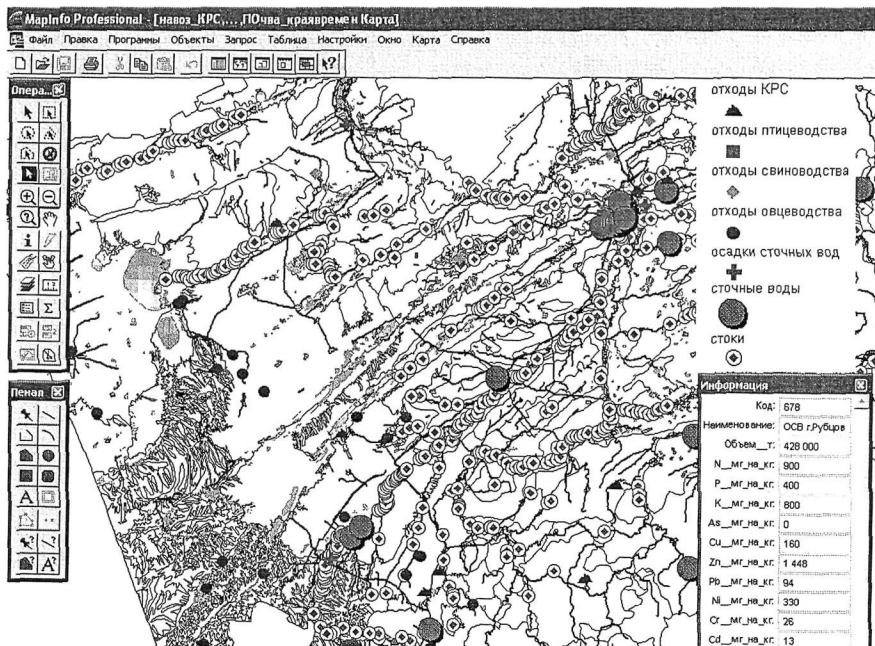


Рисунок 5. Общий вид геоинформационной системы мониторинга обращения отходов в регионе на примере Алтайского края.

ГИС мониторинга обращения отходов в регионе предназначена для наблюдения за объемами, качеством и размещением органических отходов и состоянием окружающей среды, оценки фактического и прогнозного состояния окружающей среды при использовании органических отходов в качестве удобрений. С целью прогнозирования влияния органических отходов на окружающую среду используется комплекс математических моделей.

Третья глава посвящена совершенствованию и разработке моделей прогнозирования влияния органических отходов на агрохимические свойства почв сельскохозяйственных угодий.

Вместе с отходами в почву поступает органическое вещество, которое увеличивает содержание органического вещества почвы, определяющее как эффективное, так и потенциальное ее плодородие.

Моделированием запасов гумуса и его динамики в почве занимались многие российские и зарубежные ученые (Костычев 1886; Бирштейн 1911; Иенни 1948; Wildung et al. 1975; Smith 1979a; 1979b; Bunnell et al. 1977; Hunt 1977; Smith 1979; Гильманов 1978; Базилевич, Гильманов 1985; Образцов 1990, Минеев 1990; Тейт 1991; Малкина-Пых, Пых 1994; Балаев, Петренко 1999; Гайдаш 1999; Groenendijk 1999; Шевчук 2007; Голованов 2007 и др.).

Существующие модели прогнозирования запасов гумуса в почве не в достаточной степени отражают процессы формирования и гумусообразования в системе «органические отходы – почва – растение». Автором усовершенствована модель А.И. Голованова, в которой, наряду с процессами гумификации внесенного органического вещества, учитывается накопление органического вещества, которое на данный момент времени не подверглось гумификации. Это представляется очень важным моментом, так как позволяет обосновывать периодичность и нормы внесения отходов, не допуская ухудшения свойств почв и загрязнения подземных вод.

Первое дифференциальное уравнение модели характеризует изменение запаса гумуса за счет гумификации органических отходов и растительных остатков, а также учитывает потери гумуса. Второе и третье уравнение, соответственно, учитывают изменение содержания в почве органического вещества, органических отходов и растительных остатков, не подвергшихся разложению.

$$\begin{cases} \frac{dG}{dt} = k_{гумо}G_{орг} + k_{гумр}G_{раст} - G_{физ} - (V_{мин} + V_{эр})G \\ \frac{dG_{орг}}{dt} = P - (k_{гумо} + k_{мино})G_{орг} \\ \frac{dG_{раст}}{dt} = R - (k_{гумр} + k_{минр})G_{раст} \end{cases}, \quad (4)$$

где G - запас гумуса в почве, т/га; $G_{орг}$ - содержание в почве органического вещества органических удобрений не подвергшихся разложению (т/га), т/га; $G_{раст}$ - содержание в почве органического вещества растительных остатков не подвергшихся разложению (т/га), т/га; $k_{гумо}$ - изогумусовый коэффициент органических отходов, год⁻¹ (Лозье, Матье, 1998); $k_{мино}$ - коэффициент минерализации органических отходов, год⁻¹ (Лозье, Матье, 1998); P - норма внесения органических отходов, т/га за год; $k_{гумр}$ - коэффициент гумификации растительных отходов, год⁻¹ (Васильев, 1984); $k_{минр}$ - коэффициент минерализации растительных отходов, год⁻¹ (Васильев, 1984); R - выход органического вещества растительных остатков, т/га за год; $V_{мин}$ - коэффициент минерализации гумуса, за период; $V_{эр}$ - коэффициент потери при эрозии, за период; $G_{физ}$ - физические потери гумуса т/га, за год (Голованов, 2007).

$G_{\text{физ}}$ можно оценить, зная его содержание в почвенном растворе, куда переходит наиболее подвижная часть гумуса в виде фульвокислот (Голованов, 2008):

$$G_{\text{физ}} = 0,01gC_r, \text{ т/(га}\cdot\text{год)}, \quad (5)$$

где g – ежегодная промываемость почвы, мм; C_r – растворимость гумуса, кг/м³.

Коэффициент «В» учитывает разложение или минерализацию гумуса ($B_{\text{мин}}$), а также его потери при эрозии ($B_{\text{эр}}$) (Голованов, 2008):

$$B = B_{\text{мин}} + B_{\text{эр}}, \text{ год}^{-1} \quad (6)$$

Коэффициент минерализации гумуса на сельскохозяйственных угодьях зависит от типа почвы.

Коэффициент $B_{\text{эр}}$ связан с интенсивностью эрозии (Голованов, 2008):

$$B_{\text{эр}} = 0,0001W_{\text{эр}}/(\gamma h), \quad (7)$$

где W – масса удаленной почвы, т/га в год; γ – плотность почвы, т/м³; h – слой удаленной почвы, м. По данным А.И. Голованова, коэффициент $B_{\text{эр}}$ для слабо эродлируемых почв равен 0,00125 год⁻¹, для средне эродлируемых – 0,00417 год⁻¹, сильно эродлируемых – 0,00833 год⁻¹.

Для прогнозирования запасов накопления гумуса в почве при использовании органических отходов в качестве удобрений было разработано программное обеспечение. Адекватность модели проверялась на лугово-черноземных почвах Рубцовского района при внесении осадка сточных вод ежегодной нормой 20 т/га. Осадок сточных вод вносили с 1993 по 1996 год. В 1999 году проводили исследования по изменению запаса гумуса в почвенном слое. Почвы среднемошные слабогумусированные среднесуглинистые. Плотность сложения пахотного горизонта составляла 1,17 г/см³. Пористость верхних горизонтов более 50%, максимальная гигроскопичность изменяется в пределах 5,2–7,2%, а наименьшая влагоемкость – 19,8–24,2%. Валовое содержание азота, фосфора и калия в пахотном горизонте, составляли соответственно 0,28; 0,15 и 2,24%. Содержание подвижных форм азота, фосфора и калия – 21,1; 168,4 и 403 мг/кг. Емкость поглощения – 27,8–28,4 мг-экв/100 г. Степень насыщенности основаниями высокая. Осадок сточных вод г. Рубцовска характеризовался содержанием органического вещества 51,7 %, азота общего – 0,92 %, фосфора общего – 0,43 %, калия общего – 0,84 %. По содержанию тяжелых металлов (хрома, свинца, меди, марганца) подсушенный ОСВ относится к 1-й группе в соответствии с ГОСТом Р17.4.3.07-2001– использование без ограничений; по содержанию цинка – ко 2-й группе и по содержанию никеля – к 3-й группе.

Сравнение расчетных запасов гумуса в почве с фактическими результатами агрохимических исследований показало, что коэффициент несходимости Тейла не превышает 25% для каждого из вариантов, что свидетельствует о достаточной адекватности разработанной модели.

Выполненный по модели прогноз запаса гумуса в почве при внесении осадка сточных вод ежегодно в течение первых 4-х лет показал увеличение

гумуса до 7 года, затем наблюдается его снижение (рис. 6). В течение 4 лет в почве накапливаются негумифицированные отходы и происходит загрязнение почвы.



Рис. 6 Прогноз по запасу гумуса в почве Рубцовского района при использовании осадка сточных вод в качестве удобрений первые 4 года.

С целью соблюдения экологических требований был выполнен прогноз изменения запасов гумуса при периодическом внесении осадка один раз в четыре года нормой 20 т/га. Расчеты показали, что в этом варианте не произойдет накопление негумифицированного осадка сточных вод в почве и не произойдет её загрязнение.

Одной из важных оценок влияния отходов на почву и окружающую среду является динамика поступления тяжелых металлов и их миграция в почвенном профиле. При избыточном накоплении часть тяжелых металлов может перейти в растительную продукцию, что вызовет её загрязнение.

Некоторые математические модели миграции представлены в работах А.С. Фрида, А.Б. Рубина, В.Г. Грановского, В.М. Прохорова, А.Н. Николаенко, И.В. Ефремова, Ю.А. Мажайского, Ю.А. Пыха, И.Г. Малкиной-Пых, В.Н. Башкина, С.В. Успенского, А.И. Голованова, S.R. Ramireddygar, R.S. Govindaraju, W. Reihera, L. Breuera, S. Xu и др.

Модели миграции тяжелых металлов можно условно разделить на группы: балансовые, статистические, модели конвективно-диффузионного переноса и вероятностные модели. Рассмотренные в работе существующие модели прогнозирования миграции тяжелых металлов в почве не достаточно полно отражают процессы накопления и миграции тяжелых металлов в системе «органические отходы – почва – грунтовые воды – растение». При использовании твердых и жидких органических отходов в почву поступают

тяжелые металлы (ТМ) как в форме растворимых соединений, так в виде суспензий и нерастворимых соединений, закрепленных на поверхности гумусовых веществ, комплексных соединений с гумусом, гидратированными окислами алюминия, железа, марганца, а также в виде малорастворимых солей. Направленность и интенсивность процессов закрепления металлов в почве определяется характеристиками металлов, составом почвенного раствора, свойствами почвы, факторами внешней среды.

Автором предложена новая модель миграции в почве тяжелых металлов при использовании твердых и жидких органических отходов. В модели, наряду с конвективно-диффузионном переносом тяжелого металла в почвенном растворе, его сорбцией, твердой фазой и выносом растительностью, учитывается поступление тяжелого металла в растворимой и неподвижной форме с органическими отходами, а также переход в почве из неподвижной формы в растворимую форму. Влагоперенос в модели описан известными дифференциальными уравнениями. Концептуальная схема модели миграции тяжелых металлов включает в себя 4 основных блока: органические отходы, почва, грунтовые воды, растительность (рис. 7).

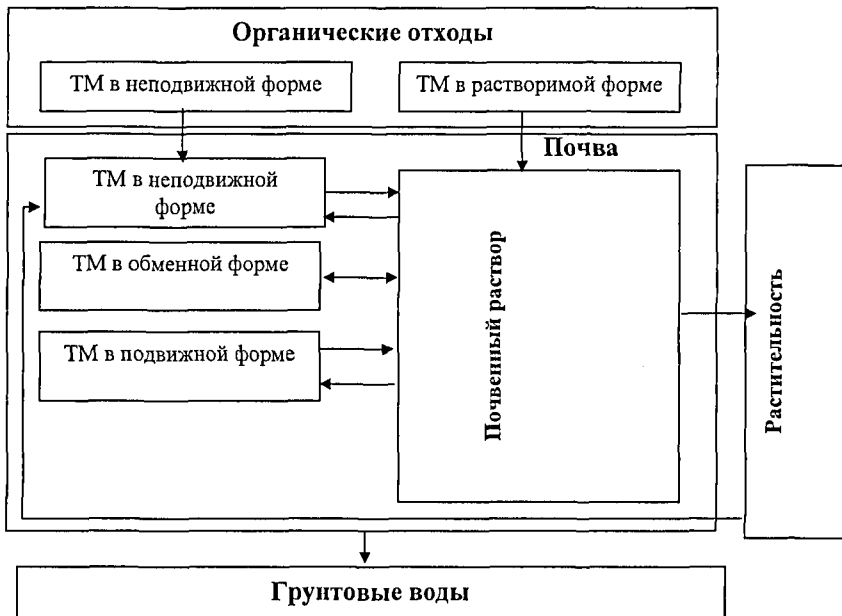


Рис. 7 - Концептуальная схема модели миграции тяжелых металлов в системе «органические отходы – почва – грунтовые воды - растение»

Согласно концептуальной схеме, математическая модель имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(W) \frac{\partial H}{\partial x} \right] - e \\ V = -K(W) \frac{\partial H}{\partial x} \\ \frac{\partial Q_{pf}}{\partial t} = \frac{\partial S_{pr}}{\partial t} - g \frac{\partial Q_{pf}}{\partial x} \\ W \frac{\partial Q_{pr}}{\partial t} = D \frac{\partial^2 Q_{pr}}{\partial x^2} - v \frac{\partial Q_{pr}}{\partial x} - \frac{\partial S_{pr}}{\partial t} - S_p \end{array} \right. \quad (8)$$

где H - обобщенный потенциал почвенной влаги, м; $H = P + x$; P - капиллярный потенциал, м; x - вертикальная координата, м; W - объемная влажность; σ - капиллярная влагоемкость, м⁻¹; $K(W)$ - коэффициент влагопроводности, м/сут; e - функция отбора влаги корнями растений, сут; V - скорость влагопереноса, м/сут; Q_{pf} - содержание ТМ в твердой фазе почвы, мг/кг; Q_{pr} - содержание ТМ в почвенном растворе, мг/кг; S_{pr} - интенсивность перехода ТМ из почвенного раствора в твердую фазу почвы, мг/кг; S_p - интенсивность перехода ТМ из твердой фазы почвы в почвенный раствор, мг/кг; S_r - интенсивность отбора ТМ корнями растений, мг/кг в сут; D - коэффициент конвективной диффузии, м²/сут; g - скорость миграции ТМ сорбированного дисперсным взвешенным веществом, м/сут; t - время, сут. Поглощение тяжелых металлов растениями зависит от их содержания в почвенном растворе:

$$S_p = v Q_{pr}, \text{ где } \beta - \text{ коэффициент поглощения ТМ растениями.} \quad (9)$$

Ввиду малой концентрации тяжелых металлов в почвенных растворах и большой емкости поглощения почвы, можно использовать линейное уравнение изотермической сорбции Генри:

$$S_{pr} = W Q_{pr} / \alpha, \text{ где } \alpha - \text{ коэффициент изотермы сорбции.} \quad (10)$$

Система уравнений была дополнена начальными и граничными условиями. Начальные и граничные условия влагопереноса в почве описывают исходное распределение потенциалов влаги (или влажности) в почве, значения потоков влаги в почве на верхней и нижней границе области расчета (Рекс, Якиревич, 1986).

Начальные и граничные условия содержания тяжелого металла в почве описывают исходное содержание ТМ в почве, изменение содержания ТМ в почве на верхней и нижней границе области расчета:

$Q_{pr}|_{t=0} = Q_{pr0}$; $Q_{pf}|_{t=0} = Q_{pf0}$, где Q_{pr0} , Q_{pf0} - начальная концентрация тяжелого металла в почвенном растворе и твердой фазе почвы, мг/кг;

$D \frac{\partial Q_{pr}}{\partial x} \Big|_{x=L} = V(Q_{pr} - Q_{pm})$ (уравнение Данквертса-Бреннера), где Q_{pm} – концентрация ТМ в органических отходах в растворимой форме (между внесением органических отходов $Q_{pm}=0$).

$\frac{\partial Q_{pr}}{\partial x} \Big|_{x=0} = Q_{pr} + Q_{pm}$, где Q_{pm} – концентрация ТМ в органических отходах в неподвижной форме (между внесением органических отходов $Q_{pm}=0$).

$$\frac{\partial Q_{pr}}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0; \quad \frac{\partial Q_{pr}}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0$$

В модели первое уравнение описывает движение влаги в зонах неполного и полного водонасыщения почвогрунта. Второе уравнение определяет скорость влагопереноса в почве. Третье уравнение характеризует интенсивность изменения неподвижной формы тяжелого металла в почве, а четвертое в почвенном растворе. Для решения системы дифференциальных уравнений использовался метод двухслойной неявно конечно-разностной схемы, заключающийся в сведении системы дифференциальной уравнений, имеющей континуальный характер, к конечной системе уравнений, выражающих данные через несколько соседних точек результата.

Для прогнозирования миграции тяжелых металлов в почве при использовании органических отходов в качестве удобрений и проверки адекватности модели была разработана компьютерная программа. Проверка адекватности модели выполнялась также на лугово-черноземных почвах Рубцовского района при использовании осадка сточных вод нормой 20 т/га.

В качестве критерия оценки достоверности решения предложенной математической модели использован коэффициент несходимости Тейла. Модель считается адекватной, если коэффициент несходимости Тейла не превышает 25%. Сравнение результатов прогноза содержания тяжелого металла, полученных с помощью математической модели, с результатами агрохимических исследований на период 1993-1999 гг., показало, что коэффициент несходимости Тейла не превышает 25% для каждого из вариантов, что свидетельствует о достаточной адекватности предложенной модели и возможности практического применения программы для прогноза миграции тяжелых металлов на длительные промежутки времени.

Результаты натурального и расчетного значения накопления цинка в почве при ежегодном внесении осадка сточных вод г. Рубцовска представлены на рисунке 8.

Выполненный по модели прогноз накопления цинка в почвенном профиле при использовании осадка сточных вод свидетельствует о постепенном увеличении валового содержания Zn в верхнем почвенном слое 0-0,2 м на 20 год внесения в 1,4 раза (рис. 9).

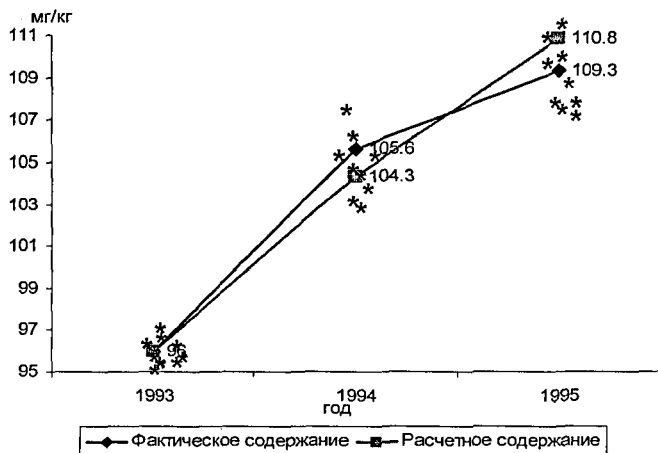


Рис. 8 - Фактическое и расчетное содержание Zn в пахотном слое почвы при ежегодном внесении 20 т осадка сточных вод г. Рубцовска

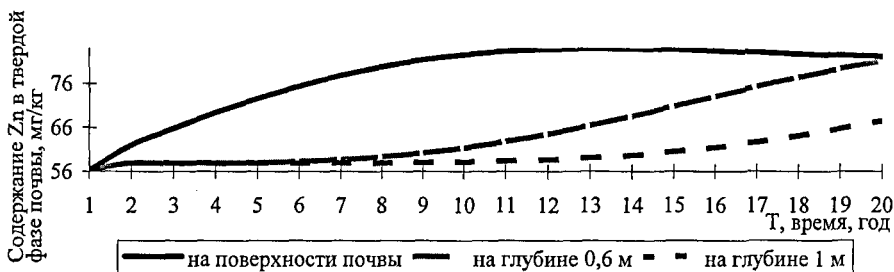
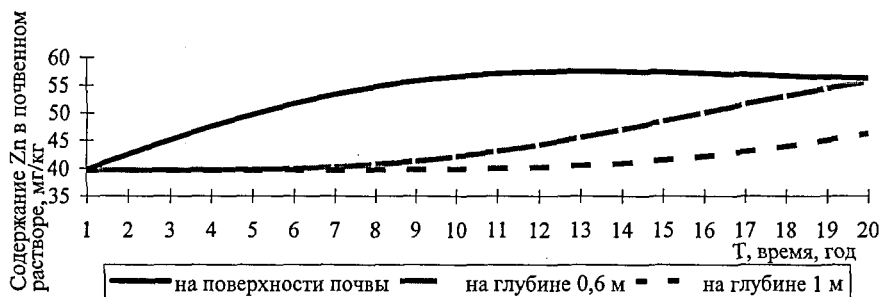


Рис. 9 - Прогноз содержания Zn в почве при ежегодном внесении 20 т осадка сточных вод г. Рубцовска

Прогноз распределения Zn по профилю почвы при ежегодном внесении 20 т/га осадка сточных вод г. Рубцовска на 20 год показал, что содержание цинка в нижних слоях (2 – 2,5 м) практически не изменится.

Таким образом, предложенная математическая модель накопления и миграции тяжелых металлов в почве позволяет не только получать информацию о возможном загрязнении почвенного профиля при использовании в качестве органического удобрения твердых и жидких органических отходов, но и давать рекомендации о периодичности их использования в качестве нетрадиционных органических удобрений.

В четвертой главе, согласно концептуальной модели распределения органических отходов в сельском хозяйстве, дана постановка задачи оптимального использования отходов в регионе с целью увеличения прибыли сельхозтоваропроизводителей и уменьшения затрат предприятий-поставщиков отходов.

Решением аналогичных задач оптимизации размещения сельскохозяйственного производства и использования водных и земельных ресурсов занимались И.С. Ванштейн, И.К. Левит-Гуревич, Г.И. Рузайкин, 1968; Н.И. Дружинин, 1976; В.А. Кардаш, 1966; О.П. Кисаров, 1975; Л.М. Рекс, 2000, И.Ф. Юрченко, 2000; С.Н. Дубенок, 2001. и др.

В работе предложен механизм регулирования обращения отходов в регионе с целью их эффективного использования. Эколого-экономическое равновесие при обращении органических отходов достигается заинтересованностью предприятий, формирующих отходы, безопасно их утилизировать, а сельхозтоваропроизводителей эффективно использовать. Такой подход направлен на создание системы экономической мотивации для перехода региона на использование органических отходов в сельском хозяйстве. Экономическим механизмом регулирования воздействия на окружающую среду предприятиями-источниками органических отходов будет служить внедрение повышенных экологических налогов (штрафных санкций). Использование органических отходов в качестве удобрений сельхозтоваропроизводителем приведет к уменьшению затрат на минеральные удобрения, повышение плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур. Дополнительным стимулом использования органических отходов в сельском хозяйстве для потребителей может послужить взятие части расходов или оплаты за утилизацию предприятием-источником отходов.

При использовании органических отходов в регионе в качестве удобрений одним из весомых аргументов для сельхозтоваропроизводителей будет служить увеличение прибыли, что можно выразить следующей постановкой задачи:

$$\sum_k \sum_q \sum_j \sum_m (D_{kqjm} - P_{kqjm}) \Pi_m U_{qjm} \rightarrow \max, \quad (11)$$

где D_{kqjm} – доход в k -ый период j -ого сельхозпроизводителя при использовании q -ого отхода на m – ом участке с учетом дисконтирования

(уменьшение затрат на минеральные удобрения, повышение урожайности, оплата за утилизацию); P_{kqjm} – расход в k -ый период m -ого участка при использовании единицы q -ого отхода j -ого сельхозпроизводителя с учетом дисконта (доставка и внесение органических отходов на сельскохозяйственные угодья); Π_{jm} – принадлежность m -ого участка l - с/х производителю; U_{qjm} – признак использования q -ого отхода j -ого предприятия на m -ом участке.

$$\Pi_{lm} = \begin{cases} 1, & \text{если } m - \text{ый участок принадлежит } l - \text{с/х производителю} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$U_{qjm} = \begin{cases} 1, & \text{если } q - \text{ый отход } j - \text{ого предприятия используется на } m - \text{ом участке} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Для предприятий - источников отходов критерием к утилизации на сельскохозяйственных угодьях будет служить уменьшение затрат на хранение, уплаты штрафов за негативное воздействие на окружающую среду, сокращение расходов на доочистку жидких отходов от органического вещества и биогенных элементов:

$$\sum_k \sum_q \sum_j \sum_m (R_{kqjm} - D_{kqjm}) U_{qjm} \rightarrow \min, \quad (12)$$

где R_{kqjm} – расход в k -ый период j -ого предприятия при утилизации q -ого отхода на m -ом участке с учетом дисконта (дополнительная подготовка к использованию в сельском хозяйстве, плата за утилизацию сельхозпроизводителю); D_{kqjm} – доход в k -ый период j -ого предприятия при утилизации q -ого отхода на m -ом участке с учетом дисконта (уменьшение затрат на хранение, платы за негативное воздействие на окружающую среду, сокращение расходов на доочистку жидких отходов от органического вещества и биогенных элементов);

Ограничения на содержание i -ого показателя для использования на m -ом участке:

$$X_{iqj} * U_{qjm} \geq O_{\min iqm} \quad (13)$$

$$X_{iqj} * U_{qjm} \leq O_{\max iqm}$$

Ограничение на объём q -ого отхода используемого на m -ом участке:

$$V_{qj} * U_{qjm} \leq N_{qjm} \quad (14)$$

На m -ом участке может использоваться только один вид отхода:

$$\sum_j \sum_m U_{qjm} \leq 1, \quad (15)$$

где X_{iqj} – содержание i -ого показателя q -ого отхода j -ым предприятием; $O_{\min iqm}$ – ограничение на минимальное содержание i -ого показателя q -ого отхода для использования на m -ом участке; $O_{\max iqm}$ – ограничение на максимальное содержание i -ого показателя q -ого отхода для использования на m -ом участке; S_{qjm} – оплата за утилизацию единицы q -ого отхода j -ым предприятием на m -ом участке с/х производителю; Z_{qjm} – затраты за доставку единицы q -ого отхода j -ым предприятием на m -ый участок с/х производителю; V_{qj} – ежегодное количество q -ого отхода у j -ого

предприятия; D_{kqjm} – доход в k -ый период m – ого участка при использовании единицы q -ого отхода j -ого предприятия с учетом дисконта; L_{qjm} – количество периодов при использовании q -ого отхода j -ого предприятия m – ом участке ; N_{qjm} – годовая норма использования q -ого отхода j -ого предприятия на m – ом участке; U_{qjm} – признак использования q -ого отхода j -ого предприятия на m -ом участке.

Затраты за хранение отходов представляют собой расходы на содержание отходов на иловых площадках, буртах или в биологических прудах. Включают земельный налог, заработную плату работников, стоимость энергетических ресурсов и различных вспомогательных материалов. Затраты на подготовку отходов представляют собой расходы на оборудование, механизмы и технологии, амортизационные отчисления, электроэнергию и топливо, заработную плату работников, различные вспомогательные материалы. Исчисление и взимание платы за загрязнение окружающей среды осуществляется на основании положений Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», постановлений Правительства Российской Федерации от 28 августа 1992 г. № 632 «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия».

Задача оптимизации решена модифицированным симплекс-методом, отличительной особенностью которого является то, что на каждом этапе итерации пересчитывается не вся матрица A^{-1} , обратная матрице A , а только та её часть, которая относится к текущему базису A_x . Используемый в работе модифицированный симплекс-метод в мультипликативной форме позволяет повысить точность и скорость расчёта.

С целью оптимального распределения органических отходов в регионе разработано программное обеспечение. В состав программного обеспечения включена база данных и модель оптимального распределения органических отходов на сельскохозяйственных землях, которая является ядром системы поддержки принятия управленческих решений при использовании органических отходов в сельском хозяйстве на региональном уровне.

В пятой главе рассматривается состав и структура региональной модели управления органическими отходами для Алтайского края.

Алтайский край расположен на юго-востоке Западной Сибири. Территория занимает площадь 168 тыс. км². В крае присутствуют почти все природные зоны России— степь и лесостепь, тайга и горы. Равнинная часть края характеризуется развитием степной и лесостепной природных зон. Климат Алтайского края умеренный, переходный к континентальному, формируется в результате частой смены воздушных масс. Абсолютная годовая амплитуда температуры воздуха достигает 90—95 С. Наиболее сухой и жаркой является западная равнинная часть края. К востоку и юго-востоку происходит увеличение осадков от 230 мм до 600—700 мм в год. В почвенном покрове преобладают черноземы, серые лесные и каштановые

почвы, занимающие 88,5% пашни, среди них 77% дефляционно- и эрозивно- опасных земель, много сельскохозяйственных угодий имеют пониженное содержание гумуса и питательных элементов, часть территории загрязнена. В настоящее время содержание гумуса в 75% почв пахотных угодий Алтайского края составляет преимущественно 3–6%. Ежегодно наблюдается тенденция к уменьшению содержания гумуса в черноземах на 0,01–0,03% (Макаренко, 1991; Воронкова, Кундиус, 2001). В крае к 2000 году на 1 га пашни вносилось 1,9 кг д.в. минеральных удобрений и 0,2 т — органических удобрений (Кундиус, 2001). Урожайность зерновых и зернобобовых культур в хозяйствах всех категорий в 1996–2000 гг. составила 8,4 ц/га (Суховеркова, 2009).

С другой стороны, в крае ежегодно формируется 263,4 млн. м³ сточных вод и более 15 млн. м³ животноводческих стоков, накоплено 1,5 млн. т. ОСВ. Накопленные органические отходы позволят повысить плодородие почвы на площади более 25 тыс. га. Основные предприятия - источники органических отходов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные источники органических отходов в Алтайском крае.

Предприятие	Отходы	Годовой объем, тыс.т (м ³)
МУП "Алейскводоканал"	Сточные воды	1543
	Осадки сточных вод	0,42
ООО "Барнаульский водоканал" КОС-2	Сточные воды	51000
	Осадки сточных вод	250
ООО "Барнаульский водоканал" КОС-1	Сточные воды	57000
	Осадки сточных вод	290
МУП "Рубцовский водоканал"	Сточные воды	9000
	Осадки сточных вод	14
МУП "Каменьводоканал"	Сточные воды	1500
	Осадки сточных вод	0,6
ОАО "Алейский маслосыркомбинат"	Сточные воды	257,5
ОАО "Алейский сахарный завод"	Сточные воды	117,3
МУП "Водоканал" г.Новоалтайск	Сточные воды	5544
	Осадки сточных вод	0,84
МУП "СлавгородВодоканал"	Сточные воды	1994
	Осадки сточных вод	0,78
Совхоз "Прутской" Павловский район	Животноводческие стоки	174
МУП "Водоканал" г. Горняк	Сточные воды	1170
	Осадки сточных вод	0,185
МУП "Водоканал" г. Бийск	Сточные воды	17858
	Осадки сточных вод	16
ОАО "Водоканал" г. Белокуриха	Сточные воды	2586
	Осадки сточных вод	0,38
АКГУП "Антипинское"	Свиноводческие стоки	61

В работе приведена оценка основных органических отходов региона.

Городские сточные воды края представлены хозяйственно-бытовыми и смешанными. Хозяйственно-бытовые сточные воды по химическому составу преимущественно гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-хлоридные натриевые, натриево-кальциевые, от слабощелочной до щелочной реакции среды (рН 7,2-9,0), слабоминерализованные (0,65-1,1г/л). В анионном составе преобладают гидрокарбонаты (62,3-481,9 мг/л) и хлориды (134,0-203,2 мг/л), в катионном составе натрий (108,9-412,5 мг/л) и кальций (62,7-123,6 мг/л). Преобладающими солями являются бикарбонат натрия и кальция и хлористый натрий. Содержание окисляющихся веществ (ХПК) в сточных водах 1989-1999 гг. изменялось в пределах 101,3÷1566,2 мгО₂/л на 7,2-56,1% представленных органическими соединениями. Содержание основных элементов питания колебалось в пределах: азота 0-25,5 мг/л, фосфора 0-48,2 мг/л, калия 5,0-23,6 мг/л. Содержание в сточных водах хлоридов (81,9-203,2 мг/л), сульфатов (15,1-130,4 мг/л) и бикарбонатов (183,0-481,9 мг/л) за период 1989-2000 гг., а натрия за 2000 г. (35 мг/л) не превысило рекомендованное. По содержанию биогенных элементов хозяйственно-бытовые сточные воды в целом характеризуются низкой удобрительной ценностью (Додолина, 1978). Сточные воды промышленных предприятий существенно влияют на состав городских сточных вод Барнаула, Бийска и Рубцовска. В свою очередь, химический состав смешанных городских сточных вод по анионно-катионному составу варьируется от гидрокарбонатно-хлоридного, сульфатного до гидрокарбонатного от кальциево-натриевого до натриево-кальциевого в разные годы (по ФГУП АФ НИИССВ «Прогресс», 1992-2006гг. и автора). В среднем это гидрокарбонатно-сульфатные, натриево-кальциевые со слабощелочной реакцией среды (рН 7,3), пресные - по сухому остатку - 0,51 г/л. Нормальная сода отсутствует. Содержание катионов натрия и кальция соответственно составляет 44% и 39% от суммы всех катионов. Преобладающими солями являются бикарбонаты и сульфаты натрия и кальция (Na - 66,4 и Ca-59,1 мг/л.). Высокое содержание натрия предопределяет неблагоприятное соотношение одно- и двухвалентных катионов. Содержание окисляющих веществ в сточных водах после комплексной очистки по показателю ХПК низкое (в среднем 66 мг О₂/л). Характерной особенностью очищенных сточных вод (после КОС) за годы исследований является невысокое содержание в них важнейших элементов питания растений (азота-18,2 мг/л, фосфора - 6,6 мг/л, калия-8,4 мг/л).

Анализируемые сточные воды ($SAR^*_{\text{уточненное}}=3,72$) хорошего качества с маловероятной степенью засоления и осолонцевания почв. Величина ирригационного коэффициента - 24,6 характеризует воду хорошего качества, пригодную для орошения (Стеблер,1976). Содержание некоторых тяжелых металлов в смешанных городских сточных водах превышает предельно допустимые концентрации, предусмотренные требованиями для вод хозяйственно-питьевого водопользования (таблица 5).

В сточных водах маслосыркомбинатов края содержание биогенных элементов варьируется в пределах: азота 14,3 ÷ 50 мг/л; фосфора 8,3 ÷ 44,0 мг/л; калия 28,5 ÷ 80 мг/л. Сточные воды маслосыркомбинатов характеризовались: слабощелочной реакцией среды (рН 7,5), по степени минерализации варьируются от пресных - 0,65 г/л до среднеминерализованных - 2,2 г/л. Содержание органических веществ меняется в пределах (по ХПК) 689,3 до 2240 мгО₂/л.

Таблица 5 - Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в городских сточных водах Алтайского края, мг/л

Элементы	Смешанные городские сточные воды		Хозяйственно-бытовые городские сточные воды		ПДК для хозяйственно-питьевого водопользования
	мин.	мак.	мин.	мак.	
Аллюминий	-	0.3679	-	-	
Бериллий	0.006	0.889	-	-	0.0002
Бор	-	0.5240	0.01	0.03	0.5
Ванадий	0.0109	0.059	0.001	0.03	0.1
Кадмий	0.0047	0.021	-	-	0.001
Кобальт	0.015	0.031	0.001	0.01	0.1
Медь	0.02	0.278	0.001	0.02	1.0
Молибден	0.013	0.049	0	0.002	0.25
Мышьяк	0.094	0.225	0.004	0.01	0.05
Никель	0.055	0.42	0.001	0.1	0.1
Свинец	0.108	0.749	0.0006	0.04	0.03
Селен	0.100	0.16	0.003	0.08	0.01
Стронций	-	0.3570	0.02	0.04	7.0
Хром	0.0073	0.085	0.003	0.09	0.5
Цинк	0.193	3.454	0.003	0.06	1.0

Сточные воды сахарных заводов края по химическому составу характеризуются щелочной реакцией (рН 7,8), высоким содержанием ХПК (в среднем 2852 мг/л), невысоким содержанием взвешенных веществ (252 мг/л) и средней минерализацией (2,47 г/л). Сточные воды по содержанию азота (40,5 мг/л), фосфора (14,2 мг/л) и калия (69 мг/л) относятся к среднеудобренным. По сравнению с другими видами сточных вод, как следует из литературных данных, в них значительно меньше фосфора и калия (Додолина, 1978 г.). В анионном составе солей преобладают бикарбонаты, их величины по С.Я. Сойфер и А.Н. Василенко превысили допустимые пределы. Содержание иона хлора по В.Т. Додолиной несколько превышает рекомендуемые пределы. По другим катионам их содержание находилось в допустимых пределах. Согласно методике С.Я. Бездниной(1999), сточные воды сахарного завода относятся к третьему классу (ограниченно-пригодны) по степени опасности осолонцевания почв и к пятому классу (использовать

небезопасно по опасности засоления почв). Их использование в сельском хозяйстве возможно при более длительном отстаивании, при котором происходит улучшение химического состава сточных вод и проведение поливов экологически допустимыми нормами.

Наибольшей удобрительной ценностью характеризуются осадки сточных вод населенных пунктов и близкие к ним по составу осадки производственных сточных вод многих предприятий пищевой промышленности (таблица 6). Наряду с питательными веществами, в осадках сточных вод, особенно промышленно-бытовых, могут содержаться токсичные вещества – тяжелые металлы, органические соединения, а также яйца гельминтов, патогенная микрофлора, что следует учитывать при использовании их на удобрение.

Таблица 6 - Показатели качества осадков сточных вод городов Алтайского края (на сухое вещество)

Показатель	Единицы измерения	Значение	Методы определения
Органическое вещество, не менее	%	20	ГОСТ 26714-85
Реакция среды (рН _в)	-	6,4-8,0	ГОСТ 26433-85
Влажность	%	50	ГОСТ 26713-85
Азот общий	%	0,3	ГОСТ 26715-85
Фосфор общий	%	0,5	ГОСТ 26261-91
Калий общий	%	0,1	ГОСТ 26261-91
Кальций общий (СаО)	%	0,7	объемно-оксалатный
Магний общий (MgO)	%	0,12	объемно-пирофосфатный
Азот легкогидролиз. (Нл.г.)	мг/кг	300	ГОСТ 26951-86
Фосфор подвижный (P ₂ O ₅)	мг/кг	220	ГОСТ 26204-91
Калий обменный (K ₂ O)	мг/кг	600	ГОСТ 26204-91

Осадок сточных вод городов характеризуется содержанием органического вещества 20 %, азота общего – 0,3 %, фосфора общего – 0,5 %, калия общего – 0,1 % . По содержанию тяжелых металлов осадки различают от вида сточных вод. Смешанные сточные воды формируют осадки с превышением ПДК для тяжелых металлов. Хозяйственно-бытовые сточные воды формируют осадок с содержанием тяжелых металлов не выше, чем в навозе (таблица 7).

По своим агрохимическим и санитарно-токсикологическим показателям многие осадки сточных вод, поступающие от этих городов,

соответствуют требованиям ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 и могут использоваться в качестве удобрения.

Таблица 7 - Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в ОСВ (в сухом веществе)

Показатель	Единицы измерения	Значение		Методы определения
		min-max	среднее	
Свинец (Pb)	мг/кг	12-147	92	атомно-абсорбционный
Кадмий (Cd)	мг/кг	0,1-27,0	5,7	атомно-абсорбционный
Никель (Ni)	мг/кг	17-380	153	атомно-абсорбционный
Хром (Cr)	мг/кг	0-4226	466	атомно-абсорбционный
Цинк (Zn)	мг/кг	56-5846	1596	атомно-абсорбционный
Медь (Cu)	мг/кг	14-1451	310	атомно-абсорбционный
Ртуть (Hg)	мг/кг	0,02-0,42	0,16	-
Мышьяк (As)	мг/кг	1-12	6,5	атомно-абсорбционный
Марганец (Mn)	мг/кг	180-656	393	атомно-абсорбционный
Кобальт (Co)	мг/кг	4,6-103,0	40,0	атомно-абсорбционный
Молибден (Mo)	мг/кг	3,5-5,0	4,3	атомно-абсорбционный

Согласно данным химического анализа, осадки сточных вод г. Барнаула, полученные на канализационных очистных сооружениях КОС-2 (преимущественно от очистки хозяйственно-бытовых сточных вод на искусственно-биологических сооружениях), относятся к I группе по допустимому содержанию тяжелых металлов и являются пригодными для использования в качестве удобрений под различные культуры, кроме овощных, грибов, зеленных, земляники. Осадки сточных вод, получаемые на КОС-1 (преимущественно от очистки промышленных сточных вод), имеют повышенное содержание хрома в отдельных партиях, поэтому отнесены ко II группе с рекомендацией к их использованию под зерновые, зернобобовые, технические и кормовые культуры, а также, наряду с осадками I группы, в зеленом строительстве, промышленном цветоводстве, в лесных и декоративных питомниках, для биологической рекультивации земель.

По содержанию тяжелых металлов все осадки г. Рубцовска пригодны к использованию в качестве удобрения, относятся к I-ой или II-ой группе.

В результате исследования было установлено, что сточные воды и их осадки по санитарно-бактериологическим и санитарно-паразитологическим показателям соответствуют ГОСТу, ограничений к использованию не имеют.

Животноводческие стоки представляют собой смесь экскрементов животных с посторонними примесями, значительно разбавленными водой. Они характеризуются следующими основными физико-химическими показателями: фракционным гранулометрическим составом, влажностью, плотностью, температурой. В пруд – накопитель, а также на поля орошения поступают в основном фракции размером менее 0,25 мм. В состав стоков входит большое количество органических и питательных элементов, необходимых растениям. Химический состав стоков во многом зависит от способа удаления его из помещений ферм. Используемые для утилизации животноводческие стоки характеризуются средней степенью минерализации. Концентрация растворенных веществ по сухому остатку варьируется по годам от 2409 до 5380 мг/л (в среднем 4002 мг/л), а прокаленный остаток от 1418 до 3045 мг/л (среднее 2460 мг/л), что указывает на высокое содержание в свиностоках органических веществ. Это подтверждается данными по химическому потреблению кислорода (ХПК). По годам исследований ХПК варьируется в пределах 11200 – 15805 мг/л и в среднем составляет 13958 мг/л. Из ионов солей в стоках в анионном составе преобладают бикарбонат-ион и хлор-ион, а из катионов – калий и кальций. Реакция свиностоков слабощелочная, близкая к нейтральной (рН – 6,6). Свиноводческие стоки обладают высокой удобрительной ценностью по содержанию элементов питания для растений, так как они содержат: азота 744 мг/л, фосфора 532 и калия 843 мг/л. Соотношение N : P : K = 1,4 : 1,0 : 1,6 является хорошим. Азотсодержащие соединения находятся в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях и могут переходить из одного состояния в другое. Доминирующей формой азота в жидком навозе является аммиачная (82%). Содержащийся в свиностоках фосфор органических соединений используется растениями лучше, чем фосфор минеральных удобрений. Органический растворимый фосфор в бесподстилочном навозе представлен нуклеиновыми кислотами, нуклеотепидами, фосфорилированными сахарами и др. Калий в жидком навозе представлен исключительно растворимой формой и поэтому легко усваивается, он содержится в составе растворимых солей во взвесах и коллоидных частицах.

Полученные данные показали, что по соотношению отдельных ионов животноводческие стоки вполне пригодны для удобрительного орошения. Однако общая минерализация стоков и концентрация взвешенных веществ довольно высокие. Коэффициент ионного обмена по Антипову – Каратаеву составляет более 1, что свидетельствует о пригодности животноводческих стоков. Ирригационный коэффициент по Стеблеру в среднем составляет 6,1, что характеризует стоки как удовлетворительные. Данные по ионно-натриевому отношению (SAR), а также по SAR выверенному, указывают, что

стоки вполне пригодны для орошения, так как они не вызывают ощелачивания почв.

Животноводческие и птицеводческие фермы могут стать источником загрязнения окружающей среды возбудителями инфекционных заболеваний и биогенными веществами. В жидком навозе содержится огромное количество микроорганизмов, вирусов, яиц и личинок гельминтов.

Основным приемом, значительно освобождаящим жидкую фракцию от яиц гельминтов, является выдерживание стоков в отстойниках от 10 дней до 2 месяцев, в зависимости от температуры воздуха. За этот период происходит осаждение яиц на дно водоема в осадок. После отстаивания, осветленные свиностоки необходимо перекачать в накопитель, в котором они должны находиться не менее 6 месяцев, в течение которых происходит обеззараживание (Экологические требования..., 1999).

Санитарно-бактериологическая оценка свиноводческих стоков после их отстаивания при поступлении на пашню, свидетельствует о том, что они не содержат патогенной микрофлоры и яиц гельминтов.

Так, содержание меди в стоках в среднем содержало 0,002 мг/л при ПДК 1,0 мг/л, цинка – 0,001 мг/л, что было меньше ПДК в 1000 раз, кобальта – 0,0002 мг/л при ПДК 0,1, кадмия – 0,0001 мг/л, или в 10 раз меньше ПДК. Из находящихся в стоках тяжелых металлов в наибольшем количестве содержались медь и цинк, а ближе всех к ПДК содержался селен (в 2,5 раза ниже ПДК).

Таким образом, использование органических отходов при их утилизации на сельскохозяйственных полях должно учитывать проведение эффективной предварительной очистки и подготовки. Этим обеспечивается снижение угрозы загрязнения объектов окружающей среды вредными микроорганизмами и токсичными веществами и достигается соблюдение санитарно-гигиенических требований.

С целью контроля использования органических отходов в сельском хозяйстве разработана информационная структура использования органических отходов в сельском хозяйстве, состоящая из предприятий - источников отходов, подготовки отходов, центров сертификации, сельскохозяйственных угодий и мониторинга (рис. 10). Контроль использования органических отходов в сельскохозяйственном производстве осуществляется управлением сельского хозяйства администрации Алтайского края, управлением природных ресурсов и охраны окружающей среды, ЗАО "Алтайагрохимия", центром санитарно-эпидемиологического надзора. Сертификацию органических отходов в качестве удобрений проводят центр агрохимической службы, центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора в Алтайском крае, ООО «АлтайАгроХимСоюз», НИИХИМ, АГАУ. Мониторинг использования органических отходов в качестве удобрений проводит центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора, институт водных и экологических проблем СО РАН, институт экологического мониторинга и

центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Контроль правонарушений использования органических отходов в качестве удобрений осуществляет межрайонная природоохранная прокуратура. Логическим завершением исследований явилось создание системы поддержки принятия управленческих решений при использовании органических отходов в сельском хозяйстве.

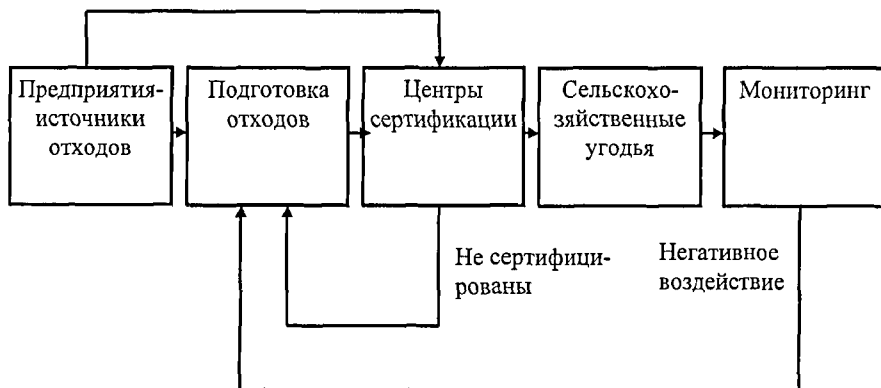


Рисунок 10 - Информационная структура использования органических отходов в сельском хозяйстве

В состав системы входит информационно-справочная система, геоинформационная система региона, система мониторинга обращения органических отходов в регионе, программное обеспечение эффективного распределения органических отходов на сельскохозяйственных землях, математические модели и программное обеспечение.

Функции принятия и реализации решений в СИПР при управлении использованием органических отходов в сельском хозяйстве представлены на рисунке 11.

В систему мониторинга ежемесячно поступает информация об органических отходах и сельскохозяйственных угодьях региона. Производится оценка органических отходов в качестве удобрений и сельскохозяйственных угодий для их использования. Выполняются прогнозы водно-солевого режима, микробиологической активности, накопления азота и гумуса, миграции тяжелых металлов в почве и урожайности сельскохозяйственных культур при использовании органических отходов в качестве удобрений. На основании оценки и прогнозов выдаются рекомендации о возможности использования органических отходов в качестве удобрений, определяются нормы и периоды их внесения, рассчитывается экономическая эффективность использования органических отходов в сельском хозяйстве региона.

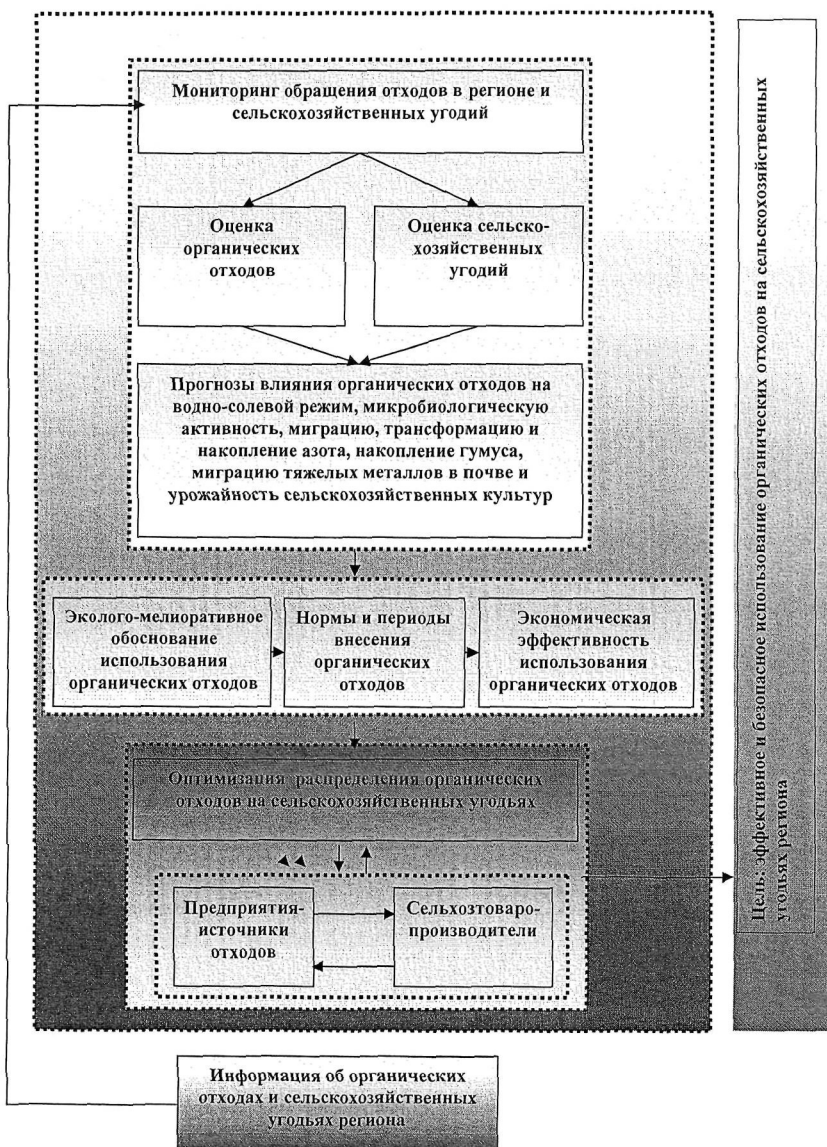


Рисунок 11 - Функции принятия решений в СППР.

По модели оптимизации выбирается оптимальный вариант использования органических отходов в сельскохозяйственных предприятиях региона.

В шестой главе представлены сценарные расчеты по оптимизации использования органических отходов в Алтайском крае с помощью системы поддержки принятия управленческих решений, даны рекомендации по их утилизации, а также приведена оценка экономической эффективности информационной системы управления органическими отходами.

С использованием разработанной системы поддержки принятия решений по управлению органическими отходами проведены сценарные исследования. *Под сценарием понимается описание картины будущего, состоящей из согласованных, логически взаимосвязанных событий и последовательности шагов, с определенной вероятностью ведущих к прогнозируемому эффективному и безопасному использованию органических отходов.* Задача сценарного метода — выработать некоторое общее понимание обращения органических отходов в регионе и их использования в сельском хозяйстве, которое позволит предприятиям и сельхозтоваропроизводителям действовать согласованно для достижения эффективного и безопасного использования органических отходов в регионе. Разрабатывалось несколько сценариев взаимоотношений между предприятиями и сельхозтоваропроизводителями, что позволило проследить возможные последствия выбора того или иного направления развития. При создании базовой логики сценарного исследования в работе использовался индуктивный метод, основанный на выделении наиболее важных компонентов из оптимального распределения. Рассматривались другие версии, отличающиеся от оптимального распределения (отказ предприятий-источников отходов утилизировать отходы, отказ сельхозтоваропроизводителей использовать их в качестве удобрений, пересмотр экономических договоренностей между предприятиями и сельхозтоваропроизводителями).

Сценарий 1. В управление природных ресурсов и охраны окружающей среды обратились МУП "Рубцовский водоканал", совхоз "Прутской", ОАО "Алейский маслосыркомбинат", МУП "Алейскводоканал", АКГУП "Антипинское" по вопросам утилизации органических отходов на сельскохозяйственных угодьях. Автором, совместно с АФ НИИССВ «Прогресс» было проведено эколого-мелиоративное обоснование возможности использования органических отходов в качестве удобрения на землях совхозов "Никольский" и "Лучистый" Рубцовского района, совхоза "Прутской", СПК "Колхоз им. Димитрова", ТОО «Колпаковское», подсобного хозяйства "Алтайхимпрома", АКГУП "Антипинское", которое показало, что органические отходы пригодны к использованию после предварительной подготовки. Капиталовложения, связанные с утилизацией органических отходов совхозов "Никольский" и "Лучистый", берет на себя МУП "Рубцовский водоканал"; СПК "Колхоз им. Димитрова" берет на себя ОАО "Алейский маслосыркомбинат"; ТОО «Колпаковское» берет на себя МУП "Алейскводоканал". Капиталовложения на использование органических отходов в качестве удобрений сельхозтоваропроизводителей

совхоза "Прутской", СПО "АлтайХимПром" и АКГУП "Антипинское" составят 55000 тыс. руб (таблица 8).

Таблица 8 - Планирование использования органических отходов

Сельхозпроизводитель	Отходы	Источник отхода	Капитало- вложения, тыс. руб.	Ежегодные расходы, тыс. руб.	Ежегодные доходы, тыс.руб.
Совхоз "Никольский"	Сточные воды	МУП "Рубцовский водоканал"	0	3000	5680
Совхоз "Лучистый"	Сточные воды	МУП "Рубцовский водоканал"		2500	4500
Совхоз "Прутской"	Животно- водческие стоки	Совхоз"Прутской"	20000	2000	7080
СПК "Колхоз им. Димитрова"	Сточные воды	ОАО "Алейский маслосыркомбинат"	0	25	150
ТОО "Колпаковское"	Сточные воды	МУП "Алейскводоканал"	0	1000	1700
ПХ "Алтайхимпром"	Сточные воды	СПО "АлтайХимПром"	20000	2000	2770
АКГУП"Антипинское"	Свиновод- ческие стоки	АКГУП "Антипинское"	15000	1000	2627

На основании решения задачи оптимальным распределением органических отходов будет использование сточных вод МУП "Рубцовский водоканал" для орошения на землях совхоза "Никольский", животноводческих стоков совхоза "Прутской" на собственных землях, сточных вод ОАО "Алейский маслосыркомбинат" на землях СПК "Колхоз им. Димитрова", сточных вод МУП "Алейскводоканал" на землях ТОО «Колпаковское», сточных вод СПО "АлтайХимПром" на землях ПХ "Алтайхимпрома" и свиноводческих стоков АКГУП " Антипинское " на землях хозяйства. Ежегодная прибыль хозяйств составит 10982 тыс. руб.

Сценарий 2. В связи с возможностью загрязнения грунтовых вод на некоторых участках совхоз «Никольский» отказался использовать для орошения сточные воды МУП "Рубцовский водоканал". Тогда оптимальное распределение сточных вод МУП "Рубцовский водоканал" будет на землях совхоза «Лучистый». Ежегодная прибыль хозяйств при этом сценарии составит 10302 тыс. руб.

Сценарий 3. Для повышения плодородия почвы совхоз «Никольский» согласился использовать осадок сточных вод МУП "Рубцовский водоканал". При этом сценарии ежегодная прибыль хозяйств составит 11700 тыс. руб.

Сценарий 4. МУП "Алейскводоканал" отказался взять на себя часть ежегодных расходов в сумме 500 тыс. руб. Колпаковского

сельскохозяйственного товарищества на использование сточных вод на орошение. Ежегодная прибыль хозяйств составит 11200 тыс. руб.

Сценарные исследования показали, что наибольшая ежегодная прибыль будет получена при третьем сценарии, когда совхоз «Никольский» станет использовать для удобрения осадок сточных вод МУП "Рубцовский водоканал".

Таким образом, разработанная система поддержки принятия управленческих решений при использовании органических отходов в сельском хозяйстве позволяет выбрать наилучшее решение с учетом сложившейся в регионе ситуации. Система внедрена в управлении природных ресурсов и охраны окружающей среды Алтайского края (г. Барнаул). Экономическая эффективность достигается за счёт повышения производительности труда и качества принимаемых решений по сравнению с традиционной технологией. Срок окупаемости компьютерной технологии составил 3 года. Прирост чистого дисконтированного дохода 371526,02 руб.

Выполненная оценка эффективности использования информационной технологии с учётом повышения качества принимаемых решений при использовании органических отходов в сельском хозяйстве показала, что система поддержки принятия решений окупится в первый год эксплуатации. Прирост чистого дисконтированного дохода составит более 5 млн. руб.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Выполненный в работе обзор и анализ формирования и использования отходов показал, что на территории Алтайского края, как и в других промышленных регионах, в настоящее время накоплены миллионы кубометров отходов более 27,6 млн. т на полигонах и картах полей фильтрации, в сельских районах практически отсутствует система канализации сточных вод, на животноводческих комплексах и птицефабриках утилизация стоков не осуществляется, а проблему решают локально, путем накопления стоков в естественных отстойниках, что негативно влияет на экологические и социальные условия.
2. Одним из направлений в решении экологических проблем может стать утилизация органических отходов в качестве удобрения для восполнения питательных веществ почвы и повышения её плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур. Накопленного количества осадка сточных вод достаточно для повышения плодородия почвы на площади более чем 25 тыс. га., что позволит дополнительно получить 2,3 т. к.е./га для развития животноводства.
3. Разработана геоинформационная технология системного мониторинга обращения отходов в регионе с учетом их размещения и агро- и эколого-мелиоративных характеристик почвенного покрова. В состав ГИС включены слои: источники органических отходов, объемы и места их захоронения, границы административных, природных и природно-хозяйственных единиц,

почвы и их характеристики, реки, озера, подземные воды, периоды наблюдений и оценки качества органических отходов для использования их в сельском хозяйстве. Мониторинг позволяет проводить систематический сбор данных об органических отходах, их воздействиях на окружающую среду и изменениях её компонентов для улучшения процесса принятия решений по их использованию в сельском хозяйстве и выработки стратегии.

4. Усовершенствована математическая модель прогноза динамики запаса гумуса в почве. Отличительной особенностью модели является то, что наряду с процессами гумификации органических отходов и растительных остатков учитывается их накопление в почве. С помощью данной модели обосновывается норма и периодичность внесения отходов для недопущения ухудшения свойств почв и загрязнения подземных вод. Адекватность модели проверена на результатах многолетних исследований по использованию осадка сточных вод в Рубцовском районе, отклонение фактических данных от расчетных не более 5%. Результаты расчета показали, что внесение осадка сточных вод один раз в четыре года не приведет к накоплению не разложенного осадка сточных вод в лугово-черноземной почве Рубцовского района. Содержание не разложенного осадка сточных вод в почве будет изменяться с 18 т/га в первый год внесения до 3,4 т/га на четвертый год.

5. Разработана математическая модель миграции тяжелых металлов в почве, в которой наряду с конвективно-диффузионным переносом тяжелого металла в почвенном растворе, его сорбцией твердой фазой и выносом растительностью, учитывается поступление тяжелого металла в подвижной и фиксированной формах с органическими отходами, а также переход из одной формы в другую. Выполненные прогнозы по использованию осадка сточных вод в Рубцовском районе, показали, что внесение осадка сточных вод в течение 20 лет не приведет к накоплению цинка, больше чем ПДК, что согласуется с исследованиями, проведенными АФ НИИССВ «Прогресс».

6. Разработано программное обеспечение по обоснованию оптимального распределения органических отходов на сельскохозяйственных землях, ядром которого является математическая модель оптимизации, позволяющая учитывать интересы предприятий, производящих отходы и сельхозпроизводителей, использующих органические отходы в качестве удобрений.

7. Предложена региональная система поддержки принятия управленческих решений при использовании органических отходов в сельском хозяйстве, включающая информационно-справочную систему, геоинформационную систему мониторинга обращения отходов, программное обеспечение эффективного распределения органических отходов на сельскохозяйственных землях, математические модели водно-солевого режима при использовании в сельском хозяйстве жидких отходов, динамики запаса гумуса, миграции тяжелых металлов, содержания азота. СППР позволяет проводить сценарные исследования для принятия научно-

обоснованных решений по эффективному использованию органических отходов, обеспечивающему существенное улучшение экологической ситуации в регионе. Экономическая эффективность от внедрения СИПР составит более 5 млн. руб. в первый год.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Воробьева Р.П., Тиньгаев А.В. Влияние орошения сточными водами на солевой режим почв //Вестник Алтайского государственного аграрного университета.- 2003.-№2. -С.52-55.
2. Макарычев С.В., Алешина Н.И., Тиньгаев А.В. Трансформация агрохимических свойств черноземов, орошаемых сточными водами (на примере г. Алейска) //Вестник Алтайского государственного аграрного университета. -2007.-№ 9. -С.15 -19.
3. Давыдов А.С., Тиньгаев А.В., Шепталов В.Б. Опыт применения сточных вод для орошения //Вестник Алтайского государственного аграрного университета. -2008. -№12. -С.43-45.
4. Кирейчева Л.В., Тиньгаев А.В. Использование биологических отходов для повышения плодородия сельскохозяйственных угодий на базе ГИС – технологий. //Вестник РАСХН.- 2008.-№6.- С.22-24.
5. Тиньгаев А.В. Системный подход к использованию органических отходов для повышения плодородия почв //Мелиорация и водное хозяйство.-2008. -№5.-С.26 -28.
6. Тиньгаев А.В. Утилизация биологических отходов, образующихся при водоотведении в городах и на предприятиях Алтайского края //Экология и промышленность России.-2009.-№2.-С. 52-55.
7. Кирейчева Л.В., Тиньгаев А.В. Прогнозирование запаса гумуса в почве при использовании биологических отходов в качестве удобрений //Вестник РАСХН.-2009.-№1-С.33-34.
8. Тиньгаев А.В. Влияние органических отходов на содержание тяжелых металлов в почве //Агро XXI.-2009.-№10-12.
9. Кирейчева Л.В.; Тиньгаев А.В. Управление органическими отходами в сельскохозяйственном производстве //Аграрная наука.-2009.-№12.- С.7-9.
10. Кирейчева Л.В.; Тиньгаев А.В. Моделирование миграции тяжелых металлов в почве при использовании органических отходов. //Природообустройство.- 2009.-№3.-С.29-37.
11. Тиньгаев А.В. Региональная система организации использования органических отходов в сельском хозяйстве //Мелиорация и водное хозяйство.-2010.-№1-С.51 -53.
12. Тиньгаев А.В. Перспективы использования органических отходов в качестве удобрений для повышения плодородия почв в Алтайском крае //Агрохимический вестник. 2010.-№2.-С.34-36.

13. Тиньгаев А.В. Оценка влияния осадка сточных вод на урожай зерна и микробиологическую активность //Агрехимический вестник. 2010-№4.-С.38-40.
14. Кирейчева Л.В.; Тиньгаев А.В. Управление использованием органических отходов в сельском хозяйстве на региональном уровне//Плодородие. 2010-№5.-С.2-4.

Методические рекомендации:

15. Овцов Л.П., Воробьёва Р.П., Давыдов А.С., Тиньгаев А.В. и др. Технологический регламент использования осадков сточных вод в качестве удобрения в Алтайском крае. -Барнаул: Алтайский филиал ФГУП НИИССВ «Прогресс», 2002.-32с.

Список свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ:

16. Кирейчева Л.В.; Тиньгаев А.В. Компьютерный программный комплекс региональной системы поддержки принятия управленческих решений при использовании органических отходов в сельском хозяйстве (СППР «Органические отходы»). № 2010615534.

Статьи в научных журналах и трудах международных конференций:

17. Тиньгаев А.В. Оптимизация состава загрязняющих веществ городских сточных вод г.Рубцовска при их использовании на орошение // Экологические проблемы мелиорации (Костяковские чтения): Материалы международной конференции. – М.: Изд-во «Федоровец», 2002.-С. 217 -219.
18. Тиньгаев А.В. Уменьшение сброса загрязняющих веществ с городскими сточными водами // IV научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Материалы конференции. – Рубцовск: РИО, 2002. - С.18 -21.
19. Тиньгаев А.В. Минимизация концентрации вредных веществ в городских стоках //Вопросы мелиорации.- 2002.-№ 3-4.-С.178 – 189.
20. Воробьёва Р.П., Тиньгаев А.В. Проблемы создания прочной кормовой базы при использовании на орошение сточных вод //Современные проблемы и достижения аграрной науки в животноводстве и растениеводстве (Юбилейная международная научно-практическая конференция): Сборник статей. Часть IV. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2003.-С.22 -28.
21. Воробьёва Р.П., Тиньгаев А.В., Шуравилин А.В. Формирование городских сточных вод и технологическое решение охраны окружающей среды г. Рубцовска Алтайского края //3-й международный конгресс по управлению отходами (Вэйстэк): материалы конгресса. –М., 2003.-С.568-569.
22. Тиньгаев А.В. Система поддержки принятия решения по уменьшению сброса загрязняющих веществ с городскими сточными водами // Проекты развития инфраструктуры города. Вып. 3. Водные системы и

благоустройство городской среды / Сб. научных трудов. – М.: Издательство Прима-Пресс-М, 2003.-С. 110-114.

23. Тиньгаев А.В. Удобрительная ценность городских сточных вод, используемых для орошения в Алтайском крае //Применение средств химизации – основа повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения плодородия почв: Материалы 38 международной научной конференции (ВНИИА). –М., ВНИИА, 2004.-С. 247 -249.

24. Воробьева Р.П., Кирейчева Л.В., Тиньгаев А.В. Влияние орошения сточными водами на содержание тяжёлых металлов в почве // Алтай: экология и природопользование: Материалы III российско-монгольской научной конференции.–Бийск:НИЦ БПГУ им. В.М. Шукшина, 2004.- С.5 -10.

25. Кирейчева Л.В., Тиньгаев А.В., Воробьева Р.П. Формирование качества городских стоков для использования на орошение //Шестой международный конгресс. Вода: экология и технология (Экватэк -2004): Материалы конгресса. Часть II. –М., 2004.-С. 758.

26. Тиньгаев А.В. Информационная технология по улучшению качества городских сточных вод для использования их на орошение //Почвы – национальное достояние России: Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов: В 2-х кн. – Новосибирск: Наука-Центр, 2004.–С.579.

27. Кирейчева Л.В., Тиньгаев А.В. Технология для улучшения качества городских сточных вод при их использовании на орошение//Мелиорация и окружающая среда: Труды ВНИИГиМ–М., 2004.

28. Тиньгаев А.В. Прогнозирование возможности использования городских сточных вод на орошение сельскохозяйственных культур// Сборник научных докладов Всероссийской конференции молодых ученых// Ассоциация организаций водохозяйственного комплекса; ФГНУ ВНИИ «Радуга». – Коломна, 2004.–С. 85-91.

29. Воробьева Р.П., Давыдов А.С., Тиньгаев А.В. Экологически-безопасные технологии утилизации отходов //Сибирь XXI век. Материалы регионального совещания по созданию РВПЗ: Сборник трудов (наука, практика). – Барнаул, 2004.-С.178 -187.

30. Тиньгаев А.В. Подготовка городских сточных вод для орошения // Сборник научных докладов Всероссийской конференции молодых ученых; Ассоциация организаций водохозяйственного комплекса; ФГНУ ВНИИ «Радуга». – Коломна, 2005.

31. Тиньгаев А.В. Подготовка и использование сточных вод г. Рубцовска для орошения. // Проблемы рационального природопользования в Алтайском крае. Сборник научных трудов. Барнаул : изд-во АГАУ, 2005.

32. Тиньгаев А.В. Геоинформационная система техногенного загрязнения речных экосистем Алтайского края //Сборник научных трудов ВНИИГиМ – М., 2006.

33. Воробьева Р.П., Тиньгаев А.В. Нетрадиционные удобрения для повышения плодородия почв Сибири // Деятельность академика И.И. Синягина в становлении и развитии Сибирской аграрной науки: Материалы

международной научной конференции, посвященной 95 – летию со дня рождения академика И.И. Сиягина – Новосибирск; РАСХН, Сибирское отделение, 2007.- С.122- 136.

34. Тиньгаев А.В. Информационная технология управления качеством сточных вод на уровне муниципалитета // 5-й международный конгресс по управлению отходами и природоохранным технологиям (Вэйстэк): Материалы конгресса. – М., 2007.-С. 361.

35. Воробьева Р.П., Тиньгаев А.В. Использование биологических отходов в сельскохозяйственном производстве //5-й международный конгресс по управлению отходами и природоохранным технологиям (Вэйстэк): Материалы конгресса. –М., 2007.-С.195 -197.

36. Мерзлая Г.Е., Прянишникова Д.Н., Воробьева Р.П., Тиньгаев А.В. Действие осадков сточных вод на агроценозы однолетних и многолетних трав //5-й международный конгресс по управлению отходами и природоохранным технологиям (Вэйстэк): Материалы конгресса. –М., 2007. - С. 353-354.

37. Воробьева Р.П., Тиньгаев А.В. Изменение сибирских черноземов под воздействием сточных вод // Пространственно-временная организация почвенного покрова: Теоретические и прикладные аспекты. Под ред. Б.Ф. Апарина. - Санкт-Петербург, 2007 - С. 417-419.

38. Давыдов А.С., Воробьева Р.П., Тиньгаев А.В. Экологическое обоснование использования городских сточных вод в орошаемом земледелии Алтайского края //Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов: Материалы международной научно-практической конференции. Часть I. М.: МГУП, 2008.-С. 297-299.

39. Тиньгаев А.В. Информационная система планирования, утилизации и контроля качества биологических отходов для повышения продуктивности агроландшафтов региона//4-я Международная научно-практическая конференция «Геопространственные технологии и сферы их применения». Материалы конференции. –М.: Информационное агентство «ГРОМ», 2008.- С.43-45.

40. Тиньгаев А.В. Управление качеством биологических отходов на уровне муниципалитета//4-я Международная научно-практическая конференция «Геопространственные технологии и сферы их применения». Материалы конференции. –М.: Информационное агентство «ГРОМ», 2008.-С. 45-46.

41. Воробьева Р.П., Тиньгаев А.В., Шепталов В.Б., Никулина О.Н., Алешина Н.И. Технология очистки сточных вод уральской птицефабрики и жилого поселка //Водоочистка, Водоподготовка, Водоснабжение-2008.-№12.

42. Тиньгаев А.В. Утилизация органических отходов, образующихся при водоотведении в городах и на предприятиях Алтайского края //Проекты развития инфраструктуры города. Вып. 8 Перспективные направления развития технологии и проектирования в водохозяйственном комплексе города // Сб. научных трудов.- М.: Прима-пресс Экспо, 2008-С. 146 -153.

43. Тиньгаев А.В.; Алешина Н.И. Повышение урожайности кострца безостого при орошении городскими сточными водами //Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. -2009.-№ 3.-С. 40-44.
44. Тиньгаев А.В. Утилизация органических отходов, образующихся при водоотведении в городах и на предприятиях Алтайского края. //Водоснабжение и канализация, -2009. -№ 5.
45. Тиньгаев А.В. Мониторинг обращения органических отходов в регионе. //Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства. Материалы юбилейной международной научно-практической конференции. Том I. –М., 2009. -С. 189-193.
46. Воробьева Р.П., Тиньгаев А.В, Шепталов В.Б. Естественные методы очистки сточных вод. // Сборник статей «Отходы: экология, технология, ресурсосбережение» VI Международного форума по управлению отходами и природоохранным технологиям «ВэйсТЭК-2009». - Москва, 2009. - С. 68.
47. Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А., Воробьева Р.П., Тиньгаев А.В. Применение компостов из осадков сточных вод для удобрений// Сборник статей «Отходы: экология, технология, ресурсосбережение» VI Международного форума по управлению отходами и природоохранным технологиям «ВэйсТЭК-2009». - Москва, 2009. - С. 147-149.
48. Тиньгаев А.В. Система поддержки принятия управленческих решений при использовании органических отходов в сельском хозяйстве на региональном уровне / Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд: сборник материалов II Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. С.С. Чернова. - Новосибирск: Издательство "СИБПРИНТ", 2010. - 333 с. - С. 317-322.

ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации им. А.Н.Костякова Россельхозакадемии
Москва 124550, ул. Б.Академическая, 44
Подписано к печати 28.09.2010 г. Заказ 47 Тираж 100