

На правах рукописи

Негуляева Екатерина Юрьевна

**Оптимизация системы обращения с твердыми коммунальными отходами
как фактор безопасности геоэкологической среды**

Специальность 25.00.36 - Геоэкология

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2005

Работа выполнена на кафедре “Экологические основы природопользования”
ГОУ ВПО “Санкт-Петербургский государственный политехнический университет”

Научный руководитель: д.т.н., профессор, чл.-кор. РАН Федоров Михаил Петрович

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор Семин Евгений Геннадиевич
к.т.н., старший научный сотрудник Шепелева Антонина Васильевна

Ведущая организация: Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр
экологической безопасности РАН

Защита состоится " ____ " июня 2005 г. в ____ часов на заседании
диссертационного совета Д212.229.17 при ГОУ ВПО “Санкт-Петербургский
государственный политехнический университет” по адресу: 195251, Санкт-Петербург,
Политехническая ул., д. 29, гидрокорпус -II (ПГК), ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО “Санкт-
Петербургский государственный политехнический университет”.

Автореферат разослан " ____ " мая 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Орлов В. Т.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Тема диссертационной работы относится к области геоэкологии в части обоснования безопасного обращения с отходами производства и потребления, а также разработки методов оценки экологической безопасности существующих и создаваемых технологий утилизации и захоронения отходов.

Актуальность выбранной темы определяется следующими факторами:

- рост количества отходов потребления на душу населения РФ, значительно превышающий естественную аккумулялирующую способность природной среды мегаполисов и пригородных территорий (более 90% ежегодно образующихся в городах РФ твердых коммунальных отходов (ТКО) депонируется на санкционированных свалках и полигонах);

- изменение морфологического состава смешанных жилищных отходов в сторону увеличения доли опасных фракций, пластмасс и многокомпонентных материалов, влияющее на качество продуктов переработки ТКО и повышающее риск загрязнения природной среды токсичными выбросами и вторичными отходами утилизации;

- необходимость минимизации отходов, поступающих на захоронение, обусловленное дефицитом земельных ресурсов в районах крупных мегаполисов, а также загрязнением природной среды от полигонов хранения ТКО в виде жидких и газообразных выделений свалочных масс.

Работа выполнялась в соответствии с федеральными, региональными и международными программами:

Проект “Экспедиция для геоэкологических исследований районов складирования и переработки бытовых отходов” (№ E0185) Федеральной Целевой Программы “Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки” (ФЦП “Интеграция”), 2001 г.

Проект “Прогноз состояния окружающей среды полигонов хранения твердых бытовых отходов в Санкт-Петербурге” в рамках программы конкурсных проектов Санкт-Петербурга в сфере научной и научно-технической деятельности по направлению экология, 2002 г.

Проект “Международное и региональное научно-техническое сотрудничество по обоснованию систем обращения с твёрдыми бытовыми отходами” (№ 257 – 1440) по научной программе Минобразования РФ “Государственная поддержка региональной научно-технической политики высшей школы и развитие её научного потенциала”, 2001-2002 гг.

Проект “Предподготовка и безопасное размещение твердых бытовых отходов (ТБО) и осадков сточных вод (ОСВ) для защиты окружающей среды” (ICA2-СТ-2000-10040) в рамках научно-исследовательской программы Еврокомиссии INCOCOPERNICUS-2, 1999-2003 гг.

Проект “Разработка плана природоохранных мероприятий при обращении с бытовыми отходами Санкт-Петербурга” (LIFE02 TCY/ROS/039) в рамках программы Еврокомиссии ЛАЙФ, 2002 – 2005 гг.

Целью работы является разработка методики обоснования природоохранных мероприятий в многовариантной концепции развития системы обращения с ТКО для обеспечения геоэкологической безопасности урбанизированной среды.

Основные задачи:

- классификация источников образования и потоков ТКО, исследование морфологического состава несортированных жилищных отходов на источниках образования;
- разработка системного подхода к процессу обращения с отходами, формализованное описание системы обращения с ТКО, включая анализ факторов воздействия на геоэкологическую среду существующих систем обращения с отходами;
- адаптация метода многофакторного анализа и многокритериальной оценки сложных природно-технических систем к задаче оптимизации системы обращения с отходами в условиях крупных мегаполисов РФ;
- разработка информационного обеспечения решения задачи оптимизации на основе комплекса натуральных наблюдений, лабораторного и математического моделирования.

Объектами исследования являются потоки твердых коммунальных отходов в г. Санкт-Петербурге, полигон хранения твердых отходов, система обращения с отходами от этапа сбора до захоронения на специальных полигонах.

Предметом исследований является морфологический состав несортированных жилищных отходов, поступающих на утилизацию; параметры загрязнения природной среды жидкими и газообразными выделениями от полигонов хранения ТКО; имитационная модель системы обращения с ТКО.

В основу базовой методологии разработки оптимизации параметров системы обращения с ТКО для защиты геоэкологической среды от загрязнения положена теория формирования и развития сложных природно-технических систем (ПТС), обеспечивающих устойчивые связи между природным комплексом и источником антропогенной нагрузки. Данная теория была разработана Федоровым М.П. и получила широкое распространение в задачах оценки эффективности энергетических водохозяйственных комплексов.

Методы исследований. Для формализованного описания системы обращения с отходами использован метод имитационного моделирования, применяемый в задачах управления сложными ПТС. С целью информационного обеспечения задачи (для анализа и оценки показателей загрязнения окружающей среды) разработан комплексный метод многоканального сбора данных, включающий натурные исследования на полигонах захоронения ТКО, метод лабораторного

моделирования биохимических процессов разложения ТКО в имитационном биореакторе. Сбор данных о фракционном и морфологическом составе смешанных жилищных отходов на источниках образования проводился методом ручного сортировочного анализа. План проведения эксперимента основывается на методике определения физико-химических свойств бытового мусора, разработанной Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова с учетом международных методик по уточнению состава городских жилищных отходов. Определение биохимических показателей жидких и газообразных выделений свалочных масс в лабораторном эксперименте на базе АЛК “Биореактор” проводилось по стандартным методикам с использованием потенциометрического, титриметрического, масс-спектрометрического и других методов.

Личный вклад автора в получение результатов натуральных и лабораторных исследований состоял в работе по созданию автоматизированного лабораторного комплекса (АЛК) “Биореактор” на этапе его оснащения оборудованием и разработки методики проведения эксперимента; в техническом обеспечении и участии в проведении натурального эксперимента по бурению скважин на полигоне ТКО “Южный” для обустройства газовых коллекторов, отбора керна свалочного грунта и проб фильтрата, смесей ТКО и добавок для последующего исследования на АЛК “Биореактор”; в разработке методики, организации и участии в выполнении эксперимента по определению морфологического состава несортированных жилищных отходов на местах их образования.

Анализ результатов международного опыта по обращению с твердыми отходами коммунального хозяйства и современным технологиям снижения воздействия отходов на геоэкологическую среду выполнен в период научной стажировки в Научном центре GKSS (Геестахт, Германия) и кафедре Управления отходами и городской техники Технического университета Гамбург-Харбург (Германия) в период 1995 – 2001 гг.

Основные положения диссертационных исследований, выносимые на защиту:

- выполнена уточненная классификация источников накопления твердых коммунальных отходов;
- разработана методика критериально-факторного анализа для оптимизации системы обращения с ТКО на основе комплексной оценки экологической безопасности геоэкологической среды;
- получены данные о морфологическом составе несортированных жилищных отходов в Санкт-Петербурге;
- определены показатели качества геоэкологической среды в системе обращения ТКО на основе лабораторного моделирования.

Научная новизна заключается в

- адаптации метода многофакторного анализа и многокритериальной оценки сложных ПТС к задаче оптимизации системы обращения с ТКО для обеспечения экологической безопасности геоэкологической среды;

- разработке комплексного подхода для многоканального информационного обеспечения задачи оптимизации системы обращения с отходами, включающего натурные исследования, лабораторный эксперимент и математическое моделирование.

Практическая значимость результатов. Результаты диссертационной работы применимы для укрупненных расчетов технико-экономического обоснования параметров системы обращения с ТКО; выбора оборудования для отдельного сбора и методов утилизации ТКО; обоснования природоохранных мероприятий по снижению загрязнений от свалок и полигонов ТКО; в учебном процессе для специальностей “Инженерная защита окружающей среды” и “Городское строительство и хозяйство”.

Внедрение результатов исследований. Основные положения методики критериально-факторного анализа для выбора оптимальной схемы обращения с ТКО были использованы при разработке Плана природоохранных мероприятий при обращении с муниципальными отходами Санкт-Петербурга (проект Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга и программы ЕС Лайф) на этапах: Задание II “Существующий состав бытовых отходов и обращение с ними”, Задание IV “Разработка ТЭО “Плана природоохранных мероприятий для обращения с муниципальными твердыми отходами Санкт-Петербурга”.

Материалы диссертационных исследований использованы при подготовке программ по учебным курсам “Обращение с отходами” и “Процессы и аппараты защиты окружающей среды” (в разделе “Классификация общих и специальных методов переработки твердых отходов”) для специальности “Инженерная защита окружающей среды” в СПбГПУ.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях и научно-практических семинарах, в том числе: “Фундаментальные исследования в технических университетах» (СПбГПУ); Политехнический симпозиум “Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона”; конференция “Передовые технологии в сфере обращения с отходами: опыт, практика, концепция развития”, посвященная 30-летию со дня основания МПБО-1 в Санкт-Петербурге; международная конференция “Акватерра”; научно-практический семинар “Предподготовка и безопасное размещение твердых бытовых отходов для защиты окружающей среды” (университет Падуя, Италия); ряде рабочих совещаний международной группы экспертов Проекта “Разработка Плана

Природоохранных мероприятий при обращении с твердыми бытовыми отходами в Санкт-Петербурге”.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 151 странице, включает 15 таблиц и 38 рисунков. Список использованной литературы содержит 185 наименований, из них 40 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цели и задачи в области исследований геоэкологии, определены основные положения, выносимые на защиту, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена обзору научных трудов специалистов и ученых, работающих в области геоэкологии и безопасного обращения с отходами: Абрамова Н. Ф., Арефьева Н. В., Венцюлиса Л. С., Донченко В. К., Лихачева Ю. М., Масликова В. И., Мирного А. Н., Разнощика В. В., Семина Е. Г., Скорика Ю. И., Cossu R., Stegmann R. и многих других.

Выполнен анализ существующей практики сбора, технологий переработки и захоронения ТКО в РФ и за рубежом; приводится классификация отходов хозяйственно-бытовой деятельности, входящих в состав ТКО; определены основные характеристики несортированных жилищных отходов; разработана классификация источников образования ТКО; рассмотрена концепция системного подхода к утилизации отходов.

Анализ действующих нормативных документов позволяет отметить появление нового определения отходов хозяйственно-бытовой деятельности – твердые коммунальные отходы (ТКО), заменившего общепринятое распространенное определение – твердые бытовые отходы (ТБО). В связи с тем, что большая часть диссертационной работы была выполнена до утверждения дополнений к Федеральному классификационному каталогу отходов (Приложение к приказу МПР РФ от 30 июля 2003 г. N 633), в диссертации используются оба определения.

К ТКО относятся: смешанные отходы, накапливающиеся в жилом фонде (ТБО), крупногабаритные отходы (КГО) от населения и от организаций, коммерческие отходы (упаковка и мусор от предприятий розничной и оптовой торговли), отходы строительства и ремонта, прочие. Недостатком существующей системы учета ТКО является отсутствие таких категорий, как сортированные жилищные отходы (металл, стекло, бумага, текстиль, упаковка) и опасные (проблемные) бытовые отходы. Анализ источников образования ТКО позволяет выделить две основные группы: жилой фонд и прочие объекты. Вклад источников жилого фонда в поток ТКО является определяющим: на их долю приходится до 70% от общей массы собираемых отходов,

остальные 30% распределяются между прочими объектами городского хозяйства.

Ряд авторов подтверждает, что концентрация загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду с различными выбросами и выделениями в процессе утилизации, переработки и захоронения смешанных жилищных отходов, определяется их характеристиками, в частности морфологическим составом. Путем изменения морфологического состава ТКО (например, посредством селективного сбора, сепарации и последующей отдельной утилизации проблемных компонентов, пластмассы, пищевых и растительных фракций) возможно минимизировать количество опасных вторичных отходов сжигания, повысить качество компостов, снизить риски загрязнения природной среды от полигонов хранения твердых отходов.

Обзор литературы показал, что вопросам исследования и оценки потоков ТКО до сих пор уделяется недостаточное внимание. Так, оценке и обоснованию актуальных норм накопления ТКО посвящено много работ и исследований, а при описании морфологического, фракционного или компонентного составов ТКО приводятся ссылки на справочные данные многолетней давности. Перечень компонентов морфологического состава ТКО, приводимый в методических рекомендациях, необходимо уточнить в соответствии с изменениями, произошедшими в составе ТКО за последние 5–10 лет. Так, например, в отдельную группу должны быть выделены так называемые “проблемные компоненты” (содержащие вещества II–III класса опасности).

Обзор современных технологий снижения воздействия отходов на геоэкологическую среду показывает, что к приоритетным направлениям в данной области относятся: разработка способов минимизации количества образующихся ТКО, а также создание технологий управления процессами биодegradации свалочного грунта в полигонах ТКО для снижения их загрязняющего потенциала. Анализ основных этапов жизненного цикла полигонов ТКО показал, что наибольшее воздействие на геоэкологическую среду происходит после закрытия и рекультивации полигона. Вынос вредных веществ из полигона ТКО в окружающую среду может продолжаться десятки и сотни лет до его полной адаптации к естественным условиям геоэкологической среды. Разрабатываемые природоохранные технологии направлены как на интенсификацию процессов биодegradации (для сокращения жизненного цикла полигона), так и на снижение уровня загрязнения путем замедления процессов биодegradации ТКО в полигоне. В связи с этим актуальной остается проблема разработки методов и моделей для оценки и прогнозирования характеристик биохимических процессов загрязняющих эмиссий полигонов ТКО на долгосрочные периоды.

Во второй главе описаны основные положения методики критериально-факторного анализа системы обращения с отходами. В качестве методологической основы для решения оптимизационных задач обращения с отходами предложено использовать теорию формирования и развития сложных ПТС, представляющих собой устойчиво взаимодействующие геосистему и

технический объект. Взаимодействие между ними происходит за счет обмена веществом, энергией и информацией. В качестве обратных связей рассматривается процесс изменения геоэкологических показателей.

Приводятся методические аспекты определения характеристик ТКО, разработанные для сбора данных о морфологическом и фракционном составах несортированных жилищных отходов.

Применительно к задаче оптимизации системы обращения с отходами в работе предложена структурная схема имитационной модели следующего вида (рис. 1).

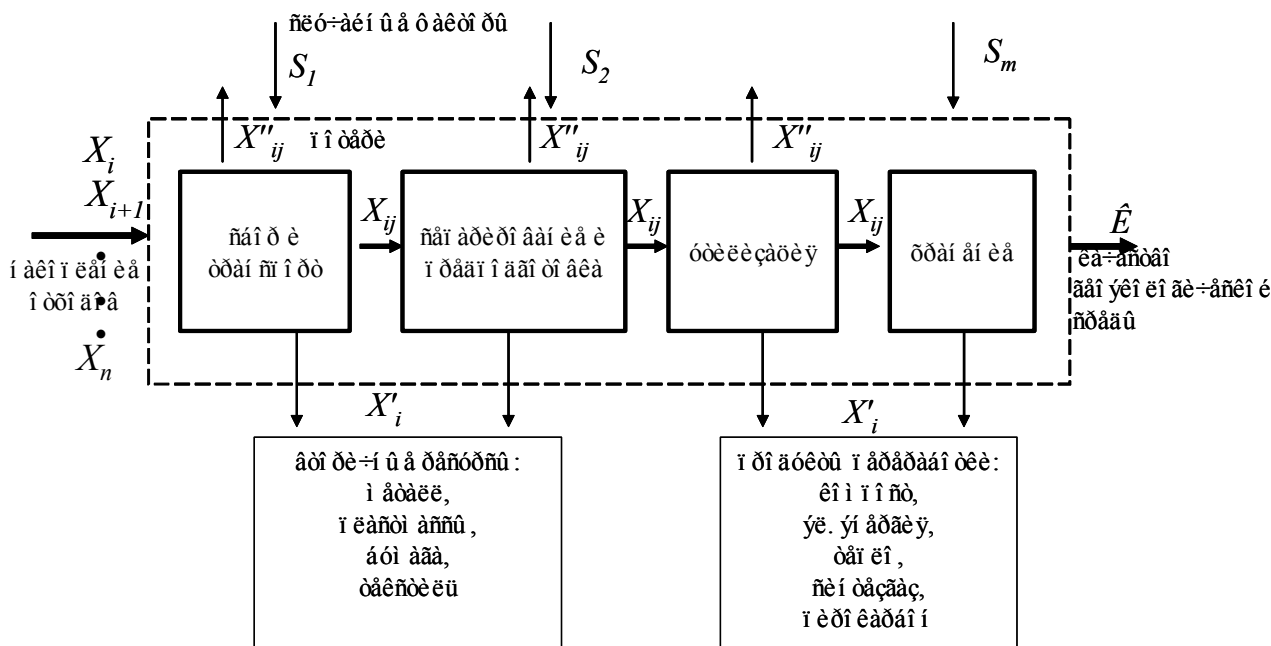


Рис. 1.Формализованное описание системы обращения с ТКО

В общем виде имитационная модель может быть представлена следующим выражением

$$K=F(X, S), \tag{1}$$

где F – функциональное отображение процессов утилизации ТКО; $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ – независимые переменные на входе в модель (количество отходов, поступающих в рециклинг, на сепарацию, сжигание и т.д.); $S(S_1, S_2, \dots)$ – переменные, характеризующих влияние случайных (неизвестных) факторов; K – критерий качества геоэкологической среды.

В первом приближении зависимость (1) может быть представлена в виде линейного уравнения регрессии:

$$K=K_0+\alpha_1X_1+\alpha_2X_2+\dots+\alpha_nX_n, \tag{2}$$

где K_0 – среднее значение функции; α_i – коэффициенты регрессии.

Коэффициенты регрессии определяются методом многофакторного планирования экспериментов. Программа полного факторного эксперимента предусматривает 2^n расчетных вариантов.

$$X_i = X_i^* \pm \Delta X_i, \quad (3)$$

где X_i^* – базисное значение переменной; ΔX_i – шаг изменения переменной.

В нормированном виде независимую переменную X можно представить в виде управляемого фактора Z_i , определяемого как

$$Z_i = \frac{X_i - X_i^*}{\Delta X_i}. \quad (4)$$

При изменении независимой переменной X_i , на ΔX_i соответствующий фактор Z_i принимает значения $Z_i = \begin{cases} +1 \\ -1 \end{cases}$. В общем виде значения коэффициентов регрессии α_i в уравнении (2) определяются по формулам:

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{j=1}^m K_j}{m}; \quad \alpha_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^m Z_{ij} K_j}{m}, \quad (5);(6)$$

где Z_{ij} – значение i -го фактора в j -м расчетном варианте; m – число вариантов плана факторного эксперимента.

Интегральный показатель качества геоэкологической среды может быть представлен в следующем виде:

$$K = \sum_{i=1}^n v_i e_i \rightarrow \max, \quad (7)$$

где e_i – относительный локальный показатель нагрузки на окружающую среду; v_i – коэффициент важности локального показателя; $\sum_{i=1}^n v_i = 1$.

Для «прямых» показателей:
$$e_i = \frac{y_i - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}}, \quad (8)$$

где y_i – абсолютный показатель; $y_i \rightarrow \max$ – наилучшее значение абсолютного локального показателя; $y_i \rightarrow \min$ – наихудшее значение абсолютного локального показателя.

Для «обратных» показателей:
$$e_i = \frac{y_{\max} - y_i}{y_{\max} - y_{\min}}, \quad (9)$$

где $y_i \rightarrow \min$ – наилучшее значение абсолютного локального показателя; $y_i \rightarrow \max$ – наихудшее значение абсолютного локального показателя. В табл. 1 приведен перечень показателей, на основе которых формируется общий критерий.

Реализация моделей (2, 7) связана с получением достоверной информации как о функционировании всей технологической цепочки системы обращения с отходами, так и о последствиях их утилизации в окружающей геоэкологической среде и как результат в экономике и социуме. Таким образом, информационное обеспечение моделей (2, 7) представляется отдельной

довольно сложной задачей, обусловленной большим количеством измеряемых параметров и длительными сроками наблюдений. Для ее решения в диссертации предлагается комплексный подход, объединяющий натурные исследования, а также математическое и лабораторное моделирование геотехнических процессов при обращении с ТКО (рис. 2).

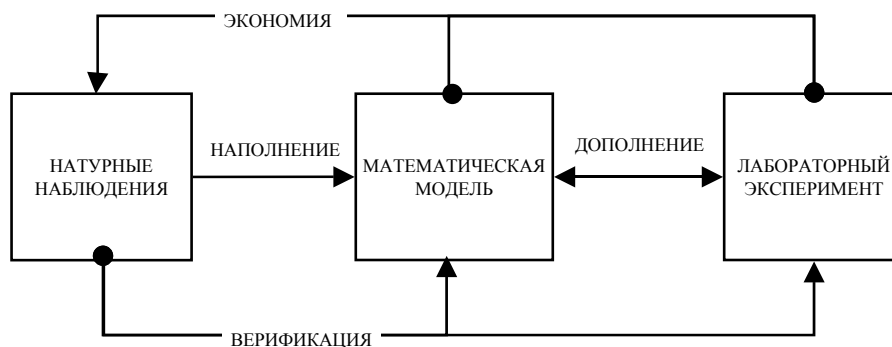
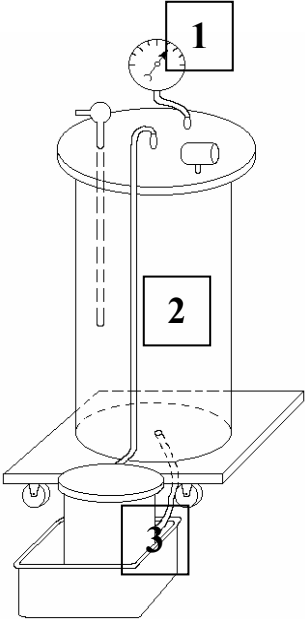


Рис. 2. Многоканальная система информационного обеспечения задачи

Для количественной оценки локальных экологических критериев (y_i) в работе предлагается использование метода лабораторного моделирования процессов биодegradации ТКО на базе автоматизированного лабораторного комплекса “Биореактор” (АЛК “Биореактор”), созданного в СПбГПУ для исследования экологически безопасной переработки и захоронения твердых бытовых отходов. АЛК “Биореактор” предназначен для моделирования процесса биохимического разложения (ферментации) ТКО, происходящего на полигонах и свалках. Он включает в себя климатическую комнату (термокамеру), в которой размещаются стальные контейнеры особой конструкции – биореакторы, загружаемые отходами различного механического и физико-химического состава. Биореакторы оснащены контрольно-измерительной аппаратурой, системами оборота фильтрата, отвода биогаза и проботбора. Комплекс позволяет воспроизвести аэробные и анаэробные условия полигона в лабораторном масштабе, обеспечивает необходимый температурный режим, влажность и прочие параметры. При этом методикой предусматривается ускорение временного масштаба: процессы биодegradации, протекающие в естественных условиях десятки лет, на лабораторной установке отображаются за 3 – 6 месяцев работы. Комплекс позволяет определять механический и физико-химический состав утилизируемых ТКО, характеристики эмиссий фильтрата и биогаза.

В работе “Биореактор” рассматривается в виде упрощенной модели (1), поскольку процессы, происходящие внутри него при разложении ТКО, требуют специальных биохимических исследований, выходящих за рамки данной работы. Перечень показателей, определяемых в лабораторном эксперименте, представлен в табл. 1.

**Перечень показателей качества геосистемы, определяемых
в лабораторном эксперименте на АЛК “Биореактор”**

Точки отбора проб: 1. Биогаза; 2. Субстрата; 3. Фильтрата.	Критерии:	Субстрат	Фильтрат	Биогаз
		Кислотность (рН)	×	×
Электропроводимость		×	×	
Влажность		×		
Азот общий (N _{общ})		×	×	
Азот аммонийный (NH ₄ -N)		×	×	
Нитраты (NO ₃ -N)		×	×	
Потери при прокаливании		×		
Общий органический углерод C _{общ}		×	×	
Карбонаты (ТIC)		×	×	
Тяжелые металлы: Pb, Cd, Zn, Cr, Ni, As, Cu, Hg		×	×	
Взвешенные вещества (SM)			×	
Химическое потребление кислорода (ХПК)			×	
Биологическое потребление кислорода (БПК ₅)			×	
Нитриты (NO ₂ -N)			×	
Фосфаты (PO ₄ ²⁻)			×	
Фосфор общий (P _{общ})			×	
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)			×	
Метан (CH ₄)				×
Углекислый газ (CO ₂)				×
Кислород (O ₂)				×
Диоксид азота (N ₂ O)			×	
Водород (H ₂)			×	
Объем биогаза			×	

В третьей главе приведены результаты апробации методики оптимизации параметров системы обращения с отходами для безопасности геоэкологической среды.

1. Показаны результаты исследования морфологического состава части ТКО, относящейся к жилищным отходам, на источниках их образования. Натурные эксперименты по определению морфологического состава ТКО на местах первоначального накопления были проведены на двух контейнерных площадках для сбора ТКО, обслуживающих в целом более 1000 чел. Сортировочный анализ проводился на суточном объеме накопления ТКО, выгружаемом из мусоропроводного коллектора, или двухсуточном объеме накопления ТКО из контейнера (объемом 6 м³). По принятой в РФ стандартной классификации при сортировочном анализе учитывались следующие компоненты ТКО: бумага, пищевые отходы, дерево, текстиль, кости, кожа и резина, пластмасса,

металл (черный и цветной), стекло, камень, уголь, отсев менее 15 мм, и прочее (неразличимые части).

Фракционный состав определялся путем последовательного просеивания проб ТКО через систему сит с размерами ячеек (мм): 100x100, 80x80, 40x40, 15x15, 10x10.

Для определения морфологического состава проводилась ручная сортировка оставшихся на каждом сите непросеянных частей по всем интересующим группам материалов. Группы материалов взвешивались отдельно, полученные результаты, отнесенные к общему весу, суммировались из однотипных фракций с каждого сита. Содержание каждой составной части отходов определялось в процентном соотношении по весу к отходам естественной влажности.

Результат сбора данных по двум контейнерным площадкам представлен в табл. 2.

Таблица 2

Морфологический состав несортированных жилищных отходов

№	Название компонента	Содержание от общей массы, %	
		Объект № 1	Объект № 2
1	Бумага	29	27
2	Полимерные материалы, пластмассы	7	17
3	Пищевые отходы	20	14
4	Текстиль	5	5
5	Стекло	9	12
6	Камень, керамика	3	1
7	Металл черный	4	2
8	Металл цветной	1	1
9	Кожа, резина	2	1
10	Дерево	2	10
11	Кость	1	0
12	Отходы садово-паркового хозяйства	2	1
13	Прочее	1	0
14	Отсев менее 15 мм	14	9
	Всего	100	100

2. Определенный интерес для анализа морфологического состава отходов и выбора технологии их переработки представляет его моделирование в виде распределения. На основе данных о среднегодовом морфологическом составе ТКО Санкт-Петербурга подобрана функция распределения плотностей вероятности фракций ТКО для анализа и расчетов. На основе проведенных расчетов построен график плотности вероятности по рангам фракций ТКО (рис. 3).

В общем виде функция распределения фракций ТКО имеет следующий вид:

$$y = \frac{a}{\operatorname{arctg} \frac{b}{a}} \frac{1}{a^2 + x^2}, \quad (10)$$

где $y(x)$ – плотность вероятности распределения отходов; b – количество учитываемых фракций отходов; x – порядковый номер ранга фракции; a – коэффициент неравномерности.

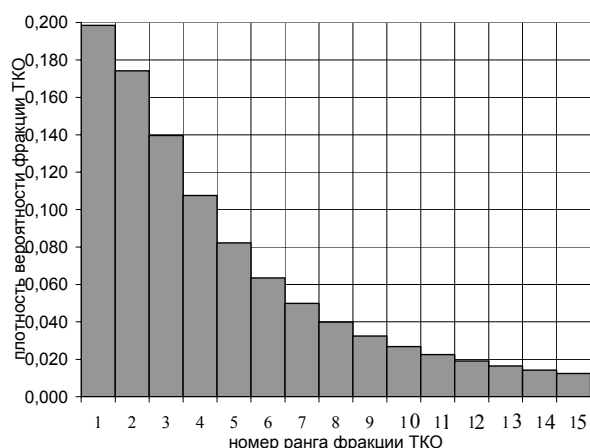


Рис. 3. Распределение ТКО по составу фракций

Номерам ранга на графике соответствуют следующие виды фракций:

- | | | |
|---------------------|--------------------|-------------------------|
| 1 – бумага; | 6 – текстиль; | 11 – смет с территории; |
| 2 – пищевые отходы; | 7 – черный металл; | 12 – керамика; |
| 3. – отсев 15 мм; | 8 – камень; | 13 – кость; |
| 4 – стекло; | 9 – дерево; | 14 – цветной металл; |
| 5 – пластмасса; | 10 – резина; | 15 – прочее. |

Значение параметра a определялось методом последовательных приближений. Анализ коэффициента a в формировании кривой плотности вероятности распределения фракций показал, что при увеличении коэффициента кривая выравнивается, стремясь принять форму отрезка. Такая форма описывает равномерное распределение веса фракций. Если коэффициент a стремится к нулю, то кривая резко убывает, в этом случае фракции отходов будут распределены неравномерно. Для различных значений a рассматривается комбинация технологий. Отсюда возникает необходимость оценки изменения вклада в загрязнение окружающей среды полигонами хранения твердых отходов при изменении морфологического состава ТКО.

3. Методом лабораторных наблюдений на установке АЛК “Биореактор” получены значения параметров нагрузки на окружающую среду от трех смесей ТКО: образец отходов, депонированных на полигоне ТКО «Южный» (БР1); смесь 3:1 (по массе) необработанных ТКО и компоста из этих ТКО (БР2) и смесь 4:1 (по массе) необработанных ТКО и высушенного в условиях вакуума осадка сточных вод городских очистных сооружений (БР3). На рис. 4. показано изменение концентраций БПК₅ (мг/л) в фильтрате исследуемых образцов отходов.

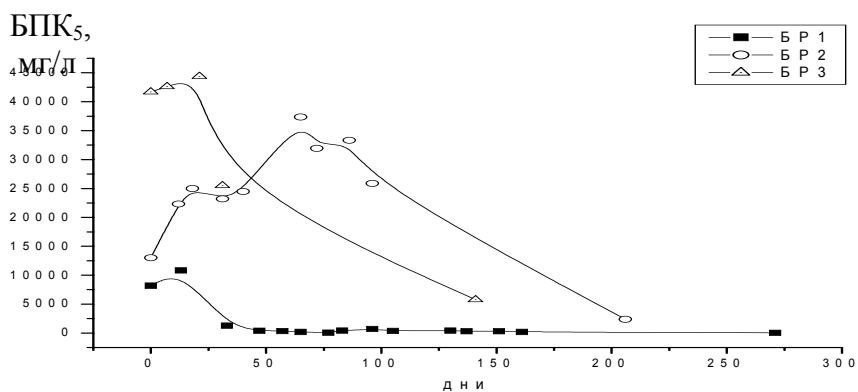


Рис. 4. Графики изменения БПК₅ в трех биореакторах (БР1, БР2, БР3)

На основе данных эксперимента по формуле (9) рассчитаны относительные показатели качества геоэкологической среды в системе обращения ТКО. Результаты расчета использованы при определении оптимального варианта системы обращения с ТКО по методике критериально-факторного анализа.

4. Выбор оптимального варианта системы обращения с ТКО в Санкт-Петербурге выполнен на основе упрощенного расчета по методике критериально-факторного анализа. Оптимизируемым параметром является количество ТКО, поступающих на различные виды переработки и захоронение. В качестве критерия оптимизации в расчете принят интегральный показатель нагрузки на геоэкологическую среду от ТКО различного морфологического состава следующего вида:

$$N_j = V_{пj} \cdot E_j \longrightarrow \min, \quad (11)$$

где $V_{пj}$ – доля отходов, направляемых на захоронение в полигон ТКО при реализации варианта j ;

E_j – интегральный показатель загрязнения окружающей среды ТКО с морфологическим составом, соответствующим варианту j , определен по формуле:

$$E_j = \sum_{i=1}^n v_i e_{ij}, \quad (12)$$

e_{ij} – относительный локальный показатель загрязнения окружающей среды от ТКО при реализации варианта j (определен на основе экспериментальных данных по формуле для «обратных» показателей (9)); v_i – коэффициент важности локального показателя (в расчете для всех показателей принят равным 1); j – номер факторного эксперимента; i – номер показателя загрязнения геоэкологической среды от ТКО; n – количество учитываемых показателей загрязнения от ТКО.

Показатель $V_{пj}$ складывается из доли объема ТКО, направляемых на полигон без переработки, с учетом количества остаточных продуктов утилизации соответственно каждому рассматриваемому варианту.

$$V_{пj} = V_{бп} + V_{рец} + V_{комп} + V_{сжиг}, \quad (13)$$

где $V_{бп}$ – доля объема ТКО, поступающих на полигон без переработки;

$V_{рец}$ – отходы сепарации ТКО, поступающие на полигон (в % от объема переработки);

$V_{комп}$ – отходы компостирования ТКО, поступающие на полигон, (в % от объема переработки);

$V_{сжиг}$ – отходы сжигания ТКО, поступающие на полигон, (в % от объема переработки).

В расчете рассмотрены следующие технологические схемы утилизации ТКО:

- рециклинг – компостирование – захоронение,
- рециклинг – компостирование – сжигание - захоронение,
- рециклинг – сжигание – захоронение.

В результате расчета сделан вывод о том, что оптимальным для защиты геоэкологической среды является вариант системы обращения с ТКО, в соответствии с которым устанавливаются следующие параметры (в % от объема общего потока ТКО):

- 25% – лимит ТКО, поступающих на полигоны без переработки;
- 25% – доля полезных материалов, возвращаемых в рециклинг;
- 25% – квота предприятий компостирования;
- 25% – квота предприятий сжигания;

Существующая система обращения с ТКО в Санкт-Петербурге требует реорганизации в части снижения нагрузки на природную среду и оптимального соотношения разных технологий переработки ТКО.

ВЫВОДЫ

1. Проведена новая классификация источников образования ТКО на основе уточнения современного состояния жилищно-коммунального сектора.

2. Выполнено исследование морфологического состава части ТКО, относящейся к жилищным отходам.

3. Разработаны основные положения методики оптимизации параметров системы обращения с отходами, направленной на выполнение условий безопасности геоэкологической среды.

4. Предлагается использовать адаптированный метод многофакторного анализа для технико-экономического обоснования системы обращения с ТКО, учитывающий комплексный характер воздействия на качество геоэкологической среды.

5. Методом лабораторного моделирования получены характеристики загрязняющих эмиссий от полигонов ТКО для прогноза качества геоэкологической среды в системе обращения с отходами на период биоактивности свалочных отложений.

6. Результаты исследований внедрены при разработке Плана природоохранных мероприятий при обращении с муниципальными отходами Санкт-Петербурга (проект Комитета природопользования и экологической безопасности СПб в рамках программы ЕС Лайф) и в учебном процессе СПбГПУ.

Задачами дальнейших исследований являются:

- разработка методики для прогнозирования изменения морфологического состава ТКО;
- развитие методов управления процессами биодegradации полигонов ТКО на основе композиционных смесей с использованием АЛК “Биореактор”.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Федоров М. П., Чусов А. Н., Негуляева Е. Ю. Экологическая безопасность при обращении с ТКО в Ленинградской области // РАН “Региональная экология”. 2004, N 3-4 (23). С. 94-99.
2. Замараева В. С., Негуляева Е. Ю., Чусов А. Н. Проблема сбора исходных данных при оптимизации системы обращения с твердыми бытовыми отходами // Материалы науч.-практ. конф. и семинара “Формирование технической политики инновационных наукоемких технологий”. СПб: Изд-во Политехнического университета, 2004. С. 54–60.
3. Федоров М. П., Козлов В. Н., Чусов А. Н., Негуляева Е. Ю. Концепция природоохранных мероприятий при обращении с отходами в крупных мегаполисах // Материалы 8-й Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы “Фундаментальные исследования в технических университетах”, 26-27 мая 2004 г. СПб: СПбГПУ, 2004. С. 14-15.
4. Негуляева Е. Ю. Оптимизация системы обращения с отходами для защиты геоэкологической среды // Материалы 8-й Всероссийской конф. по проблемам науки и высшей школы “Фундаментальные исследования в технических университетах”, 26-27 мая 2004 г., СПб: СПбГПУ, 2004. С. 286.
5. Дружинин Д. А., Негуляева Е. Ю., Чусов А. Н. Математическое моделирование природно-технических систем // Материалы 8-й Всероссийской конф. по проблемам науки и высшей школы “Фундаментальные исследования в технических университетах”, 26-27 мая 2004 г., СПб: СПбГПУ, 2004. С. 55.
6. Блинов Л. Н., Чусов А. Н., Негуляева Е. Ю., Замараева В. С. Обращение с отходами – составная и неотъемлемая часть экологически ориентированных курсов при подготовке и переподготовке специалистов в технических университетах // Материалы конф. “Обращение с твердыми бытовыми и промышленными отходами” в рамках международного строительного форума “Интерстройэкспо”. СПб, 2004. С. 64-65.
7. Негуляева Е. Ю. Состояние и перспективы систем обращения с муниципальными твердыми отходами в России // Материалы семинаров Политехнического симпозиума “Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона” / Под ред. к.ф.-м.н. В. Ю. Рудь. СПб, 2003. С. 31-32.
8. Замараева В. С., Негуляева Е. Ю. Рекультивация полигонов хранения отходов для восстановления городских территорий // Материалы науч. - практ. конф. “Формирование технической политики инновационных наукоемких технологий”. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2003. С. 54 – 61.
9. Атрашенок В. П., Масликов В. И., Негуляева Е. Ю., Пименов А. Н., Ванкевич Р. Е., Королев И. А. Разработка информационно-аналитической системы “Полигоны ТБО России”// Материалы V Международной конф. “Акватerra”. СПб, 12-15 ноября 2002. С. 27.

10. Негуляева Е. Ю. Экологическая безопасность в системе обращения с отходами // Сборник тезисов и статей IV международной конф. “Экобалтика”. СПб, 21-23 октября 2002 г. С. 63.
11. Negulaeva E. Y., Atrashënok V. P., Cheremisin A. V. Legislation and Status of Landfills in Russia // Conference Proceedings for the Project “Pre-Treatment and Safe Disposal of Municipal Solid Waste and Waste Water Sludge for Environmental Protection”- PSDWSEP -funded by the European Commission under the Fifth Framework Programme Confirming the International Role of Community Research (Copernicus 2) 20th of June 2002 Padova, Italy edited by S. Gierow, Technical University Hamburg-Harburg, Germany. P. 1-12.
12. Федоров М. П., Негуляева Е. Ю. Экологическая безопасность при обращении с отходами // Материалы V Международной конф. “Акватерра”, 13-16 ноября 2001 г., СПб. С. 176.
13. Федоров П. М., Негуляева Е. Ю., Покровская Е. Р. Исследование и моделирование биохимических процессов, происходящих в полигонах твердых бытовых отходов // Комплексная переработка твердых бытовых отходов – наиболее передовая технология: Сборник трудов / Под ред. акад. РАН Я. Б. Данилевича, проф. Е. Г. Семина. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001, С. 62-71.
14. Негуляева Е. Ю. Методологические аспекты моделирования биохимических процессов в толще свалок твердых бытовых отходов с целью защиты окружающей среды // Материалы V Всероссийской конф. по проблемам науки и высшей школы “Фундаментальные исследования в технических университетах”, 8-9 июня 2001 г. СПб: Изд-во СПбГТУ, С. 236-237.
15. Негуляева Е. Ю. Международный опыт обращения с бытовыми отходами: возможность его применения в РФ, перспективы сотрудничества // Материалы конф. “Передовые технологии в сфере обращения с отходами: опыт, практика, концепция развития”, посвященной 30-летию Санкт-Петербургского Опытного завода механизированной переработки бытовых отходов. СПб, 27-29 сентября 2000 г. С. 14-15.
16. Федоров М. П., Негуляева Е. Ю. Основные аспекты системного подхода при оценке надежности и экологической безопасности природно-технических систем // Труды международной научно-практической конф. “Системный анализ в проектировании и управлении”, 14-16 июня 2000 г. СПб: Нестор, 2000. С. 219–220.
17. Yelistratov V., Maslikov V., Pokrovskaya E., Negulaeva E. and Fedorov P. Composite environmentally safe power engineering technologies for utilization of solid municipal waste // “Green energetics: From the modern technology to a new philosophy” - proceedings from the Fourth International Seminar 9.-10.December, 1998, Petrosavodsk, Russia, University of Joensuu, Faculty of Forestry, Tiedonantoja 103, 2000. P. 125–131.