

На правах рукописи

ЛИХАЧЕВ Юрий Михайлович

**МЕХАНИЧЕСКАЯ И БИОТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ
ОТХОДОВ КАК КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**Санкт-Петербург
2002**

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном техническом университете

Научный руководитель: д.т.н., профессор Семин Е.Г.

Научный консультант: д.т.н., профессор, академик РАН Данилевич Я.Б.

Официальные оппоненты:

д.т.н., проф. Коликов Всеволод Михайлович

к.т.н., с.н.с. Сидоренко Геннадий Иванович

Ведущая организация:

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технологический университет).

Защита состоится 2001 г. в _____ часов
на заседании диссертационного совета Д 212.229.17
в Санкт-Петербургском государственном техническом университете по адресу:
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул. д. 29, ПГК, ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного технического университета

Автореферат разослан

Ученый секретарь
диссертационного совета

Орлов В.Т.

Актуальность темы

Экологические проблемы приобретают глобальный масштаб, затрагивая интересы различных государств и постепенно перерастая в экологические катастрофы, острота и глубинная сущность которых еще не осознана человечеством. В связи с этим важно обратить внимание на те сферы, которые осуществляют геоэкологическое равновесие на планете, и в первую очередь на литосферу. Литосфера – область сосредоточения природных минеральных ресурсов, необходимых для функционирования и развития человечества, как биологического вида и общественной социальной структуры, поэтому на рубеже 21 века было закономерно формирование экологической геологии (геоэкологии), изучающей все многообразие в системах «литосфера – человек», «литосфера – биота», «техногенно-измененная литосфера – биота», «литосфера – инженерное сооружение – биота». При такой конструкции систем техногенные источники воздействия учитываются опосредованно через техногенные изменения литосферы.

Борьба с техногенными отходами представляет собой одну из важнейших проблем экологии и, в частности, геоэкологии. Это определяется тем, что в последнее десятилетие перед человечеством возникли проблемы загрязнения и экологической деградации биосферы, связанные с накоплением промышленных и бытовых отходов.

Проблема охраны окружающей среды от загрязнения бытовыми и промышленными отходами одна из важнейших в жизни современного общества и является основной при функционировании современных мегаполисов. От успешного решения этой проблемы во многом зависит дальнейший прогресс в оздоровлении среды обитания жителей городов.

Управление отходами - один из определяющих факторов в обеспечении продвижения к более экологически надежному и устойчивому развитию общества, поэтому в нашей стране и зарубежных странах уделяется большое внимание этой проблеме. Цель всех концепций по обезвреживанию отходов - защитить здоровье человека и окружающую среду от опасных последствий, связанных со сбором, транспортировкой, переработкой и захоронением отходов. В политике управления отходами можно выделить четыре основных направления:

- предотвращение образования отходов;
- рециклинг и вторичное использование отходов;
- сжигание всех горючих не утилизируемых фракций твердых бытовых отходов (ТБО);
- безопасное размещение не утилизированных отходов.

Имеющиеся технические решения в области переработки ТБО и включающие пять основных методов переработки (компостирование, сжигание, сортировка, анаэробное разложение, складирование на полигонах) не универсальны. В настоящее время в России критерий оптимальности

технических решений в области переработки ТБО формируется главным образом на основе экономических приоритетов и не учитывает социально-экологических последствий от реализации различных вариантов технологий утилизации твердых бытовых отходов. Актуальность и недостаточная проработанность критериальных параметров выбора и социально-экологической значимости той или иной технологии определили выбор темы данной диссертационной работы. При этом решение этой актуальной проблемы базировалось на огромном накопленном опыте отечественной технологии переработки ТБО, используемой в городе Санкт-Петербурге.

Целью диссертационной работы является разработка концептуальных основ переработки ТБО в мегаполисе и исследование наиболее эффективной технологии переработки ТБО для комплексного решения элементов геоэкологических задач и землепользования.

Для реализации цели работы выполнено:

- рассмотрено многообразие процессов переработки бытовых отходов в системах «техногенно - измененная литосфера – биота», «литосфера- инженерное сооружение – биота» на примере природоохранного предприятия по переработке ТБО и оценен возможный вклад таких предприятий в процессы деградации литосферы;
- разработана и предложена концепция переработки и размещения ТБО в мегаполисах с использованием методов системодинамики и накопленного опыта существующего производства;
- разработана на базе существующих методологий и производства новая комплексная технология, полностью решающая проблему переработки ТБО в Санкт-Петербурге, без дополнительного землеотвода для новых производств по переработке ТБО и полигонов твердых отходов. Комплексная технология твердых бытовых отходов включает в себя: доставку ТБО, селективный разбор ТБО с выделением компостируемой и сжигательной фракций ТБО, биокомпостирование органической (компостируемой) фракции ТБО, сжигание выделенной сжигательной фракции ТБО, нейтрализацию и утилизацию зольных отходов;
- определены оптимальные параметры биокомпостирования органической части ТБО;

Объектами исследования в диссертационной работе являются: комплексная технология ТБО и ее отдельные звенья, позволяющие реализовать цели и задачи данной работы на базе исследуемого производства (Опытного завода МПБО), в границах существующего землеотвода и при помощи наработанного научно-исследовательского материала за весь период функционирования завода и полигона твердых отходов.

На защиту выносятся следующие основные положения, определяющие ее научную новизну:

- разработаны и научно обоснованы оптимальные параметры биокомпостирования компостируемой части ТБО для репродуктивного восстановления почв;
- предложен способ получения биокомпостов из муниципальных отходов, который основан на активизации ферментационных процессов переработки компостируемой фракции отходов за счет введения микробных ассоциаций, способствующих повышению качества компостов (увеличение содержания общего азота на 1%, а общего фосфора на 0,7%).
- разработана технология комплексной переработки ТБО, сочетающая в себе преимущества различных методов переработки ТБО и улучшающая состояние окружающей природной среды в Санкт-Петербурге;
- разработан способ утилизации зол от сжигания ТБО с последующим ее использованием в обжиговых строительных материалах при содержании глины - 50-25%, золы - 50-75% и обжиге при 1000°C.
- определена термодинамическая вероятность химических реакций (оценены значения изобарно-изотермических потенциалов) в системах оксидов, составляющих золу после сжигания ТБО -SiO₂-Al₂O₃-CaO-MgO-ZnO-FeO-CdO-NiO-Cr₂O₃-HgO (более 150 реакций); изучена статика и динамика твердофазных реакций формирования порообразующих минералов, показано, что тяжелые и цветные металлы входят в структуру порообразующих минералов и не выщелачиваются в слабокислых и щелочных растворах, что доказало возможность нейтрализации золы после сжигания ТБО с последующим использованием ее для производства строительных материалов;

Практическая ценность:

Результаты проведенных исследований ориентированы на использование их при реконструкции Опытного завода МПБО с учетом всего накопленного опыта функционирования предприятия и концептуальных разработок обращения с ТБО в мегаполисе.

Все практические рекомендации, полученные в результате проведенных исследований, использованы:

- в проекте реконструкции и расширения Опытного завода МПБО с увеличением объемов механизированной переработки ТБО в 2,5 раза с использованием комплексной технологии переработки ТБО. Эта технология позволяет снизить нагрузки на действующие полигоны твердых отходов и не допустить использования земель под новые полигоны и мусороперерабатывающие предприятия вокруг Санкт-Петербурга, тем самым предотвратить ухудшение состояния окружающей среды.
- при апробации способа получения биокомпостов из компостируемой фракции ТБО, позволившей интенсифицировать процесс ферментации и сократить период переработки твердых отходов на 25% (12 часов) по сравнению с существующим проектным режимом на исследуемом предприятии;
- при разработке усовершенствованной технологии утилизации зол от сжигания ТБО с переводом их в устойчивые соединения (силикаты или

кристаллические структуры) с последующим использованием для производства строительных материалов. Преимущество данной технологии состоит в отсутствии необходимости захоронения коммунальных зол на полигонах токсичных отходов;

- при разработке нового способа получения биокомпостов с возможностью использования их для рекультивации земель и полигонов ТБО.

Достоверность научных результатов обоснована:

- в теоретических исследованиях – общепринятыми апробированными исходными положениями;
- в экспериментальных исследованиях – проведением спланированных экспериментов; применением современной измерительной аппаратуры и полнотой экспериментальных исследований структурных, физико-механических и технических свойств материалов;
- соответствием результатов полученных теоретических решений и натуральных экспериментальных данных автора.

Апробация работы.

Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на экологических неделях Санкт-Петербурга (1996-2000), на заседании Северо-западной региональной ассоциации (1999), на российско-датском семинаре (1998, Валаам - Кизи - Санкт-Петербург), на научных чтениях «Белые ночи» (1998, Санкт-Петербург), на международной конференции «Технология энергосбережения, строительство и эксплуатация инженерных систем» (2000, Санкт-Петербург), на конференции «Безопасность и экология Санкт-Петербурга» (2000, Санкт-Петербург), на конференции молодых ученых, аспирантов и соискателей СПбГТУ (1997-2001), на симпозиуме по компостированию отходов, Канада, 1999. “West Nich 99”, Proceeding of 9th Intern Conference FAO Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, Italy, 2000. На международной конференции «Микробная экотехнология для переработки органических и сельскохозяйственных отходов» Санкт-Петербург, 2000. Материалы диссертации нашли свое отражение в обзоре «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге за 1990-1999 годы» Санкт-Петербург, 2000, 516 с.

Личный вклад автора.

Вклад автора в работы, выполненные в соавторстве и включенные в диссертацию, состоял в непосредственном участии на всех этапах исследования: постановке задачи, опытах по синтезу и определению характеристик образцов, в анализе и интерпретации экспериментальных данных, установлении закономерностей и формулировке результатов, включенных в диссертацию.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 35 печатных работ, тезисов, сообщений, два учебных пособия и три монографии, получено 2 авторских свидетельства.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, 24 рисунков, 5 схем, 34 таблиц, списка цитируемой литературы (159 наименований), изложена на 137 страницах машинописного текста.

Содержание работы. Во введении дана краткая характеристика проблемы, обоснована ее актуальность, поставлена цель диссертационной работы, определены основные задачи исследования, отражена научная новизна полученных результатов, их практическая ценность и апробация, изложена структура содержания материала диссертации.

В первой главе диссертационной работы рассмотрено современное состояние проблемы обращения с отходами в нашей стране и за рубежом.

Проанализировано большинство технологических схем переработки ТБО. С использованием методов социально-экономической оценки технологий утилизации ТБО (Мирный И.А.), эколого-системного подхода и системодинамики (Яковлев В.А., Гусаров В.В., Семин Е.Г.) рассмотрены и предложены критериальные параметры технологий ТБО, которые легли в основу концепции обращения с отходами в мегаполисах (Федоров М.П., Флоринская Т.Н., Семин Е.Г.).

Экономически обоснована необходимость реконструкции и расширения Опытного завода МПБО, которая определяется рядом социально-эколого-экономических факторов:

- глобальностью, масштабностью и нерешенностью самой проблемы переработки бытовых отходов, как в нашей стране, так и за рубежом;
- наибольшей потенциальной готовностью самого исследуемого завода по переработке бытовых отходов, его наибольшей продвинутостью в решении стоящих задач в сфере переработки ТБО;
- стабилизацией темпов генерации ТБО в Санкт-Петербурге;
- необходимостью улучшения качества выпускаемого компоста как готового товарного продукта для репродуктивного восстановления биоты почв;
- комплексным социально – эколого - экономическим требованием о том, что захоронение на данный момент 3/4 ТБО на свалках недопустимо;
- нарастанием социальной напряженности по поводу ухудшения санитарного состояния города;
- возможностью возвращения в биоту основной массы органической составляющей ТБО;
- рециклингом значительной части объема ТБО, т.е. решением задач ресурсо- и энергосбережения и опосредованного уменьшения техногенной нагрузки на литосферу.

Рассмотрены социально-эколого-экономические последствия реконструкции и расширения Опытного завода МПБО на систему жизнедеятельности населения. Дана комплексная оценка возможных последствий воздействия проектируемого объекта на эколого-экономическое и геоэкологическое развитие территории и условия жизнедеятельности населения.

Такая оценка воздействия проектируемой хозяйственной деятельности на условия жизнеобеспечения населения базируется на массиве информации, включающем:

- социально-экономические показатели реконструируемого объекта;
- социально-экономические и геоэкологические показатели территории;
- результаты экологической экспертизы реконструируемого объекта;
- экспертные оценки специалистов.

С использованием методов системного подхода и системодинамики разработаны и предложены концептуальные основы выбора технологии ТБО. Показано, что любой процесс гомогенизации ТБО, например, смешивание различных по происхождению, химическому и фазовому составу, изменение микро - и макроструктуры ТБО, перевод их в жидкое или газообразное состояние и т. п., приводит к разупорядочению системы - существенному повышению ее энтропии - и, следовательно, активизирует деградиционные процессы в эволюции системы.

В связи с тем, что стабильное стационарное состояние гуманитарной системы, обменивающейся со средой энергией, веществом, информацией и т. п. реализуется при условии минимума производства энтропии системы, то в качестве одного из возможных критериев выбора оптимальной схемы переработки ТБО может стать минимум производства энтропии в процессе переработки ТБО. Следуя этому критерию, можно выбрать такую схему переработки ТБО, которая обеспечивает максимальный уровень стабильности антропогенной системы – «литосфера-инженерное сооружение – биота».

С использованием рассмотренного подхода проведена оценка уровня производства энтропии сопровождающих все известные технологические схемы переработки ТБО. Принимая во внимание относительно одинаковую сумму затрат на большинство известных технологий переработки ТБО, показано, что процесс переработки ТБО с минимумом производства энтропии не должен включать побочные процессы (ухудшение экологической обстановки, загрязнение атмосферы, поверхностных и грунтовых вод и т. д.), которые резко нивелируют низкий темп прироста энтропии. Оптимальный технологический цикл (низкий темп прироста энтропии) переработки ТБО включает:

- сортировку ТБО;
- выделение компостируемой (органической) фракции ТБО с одновременным извлечением полезных для рециклинга составляющих ТБО на станциях перегрузки, либо в процессе переработки ТБО на заводе;
- осуществление рециклинга отходов;
- биокомпостирование органических отходов;
- термическую переработку выделенной сжигательной фракции ТБО с получением тепла или электроэнергии;
- получение нового функционального продукта с включением его в трофическую цепь (процесс производства негэнтропии);

Анализ данных таблицы 1 позволяет отметить, что наименьшая деградация литосферы наблюдается в результате осуществления переработки ТБО комплексным методом.

Таблица 1

Экологические аспекты технологий обезвреживания и утилизации ТБО

Экологические аспекты	Складирование на полигонах	Сжигание с утилизацией тепла	Компостирование	Комплекс компостир. и сжигание некомпост. фракций	Изготовление гранулированного топлива
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Качественный показатель, включающий прирост энтропии ΔS , усл.ед.	-	100	40	10	80
Удельный прирост в год, усл. ед.	<<1	100	40	10	80
Брутто прирост, усл. Ед	≈80	100	40	10	80

В главе II рассмотрены физико-химические характеристики методик исследования процессов, проходящих при термической переработке ТБО и аэробном компостировании ТБО.

Для синтеза объектов исследования в настоящей работе изучались оксиды элементов II - IV групп таблицы Д.И. Менделеева, тяжелые и цветные металлы, содержащиеся в коммунальных золах (после термической переработки ТБО), марки ХЧ (химически чистый). Исследуемые образцы готовили путем твердофазного спекания, термообработку осуществляли в печи с Pt - нагревателем, температуру измеряли Pt/Rh термопары с точностью $\pm 5^\circ$, в интервале 700 - 1600 °С. Рентгенофазовый анализ (РФА) осуществлялся методом порошка на дифрактометре ДРОН - 3. Комплексный термографический анализ (ДТА) проводили на термоанализаторе (ДГ - 2В) фирмы Шимадзу до температур 1000°С. ИК спектры снимались на спектрометре UR - 20 в области длин волн 400 - 1200 см⁻¹. Формально кинетический анализ проводился по известным уравнениям формальной кинетики. Расчет энергии активации процессов формирования проводился по уравнению Аррениуса.

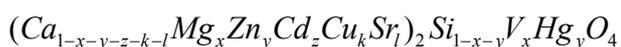
Процесс аэробного компостирования изучали на пилотной установке (ВНИИ Микробиологии г. Пушкин), состоящей из трех модулей объемом 40 литров с варьированием различных параметров (температура, влажность, использование биологических добавок). В качестве биологически - активных добавок использовали микробные удобрения бамил и пудрет. Влияние полученных из ТБО компостов на урожай растений изучали в вегетационном опыте с райграсом. Опыт проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в сосудах, вмещающих по 3 кг испытуемой массы. Урожай зеленой массы учитывали в 2 укоса на 24-й и 48-й день. Учет общей численности аммонифицирующих бактерий проводили методом поверхностного посева на чашки Петри. Отбор газовых проб проводили шприцем из отводной трубки ферментера, далее определяли содержание углекислого газа на газовом хроматографе Хром-4. Содержание общего азота в компосте определяли по «Кьельдалю» на автоматическом анализаторе Kjeltex - Auto (фирма «Tecator»), содержание тяжелых металлов в компостах и растениях определяли на атомно -

адсорбционном спектрометре. Промышленные испытания проводили на существующем оборудовании завода.

Технология термической переработки ТБО с последующим использованием золы для производства строительных материалов и технология компостирования исследовались подробно, т.к. они являются основными составляющими комплексной технологии переработки ТБО.

В третьей главе представлены результаты изучения статики и динамики процессов контейнеризации вредных примесей, содержащихся в коммунальных золах*, в конкретные строительные материалы. Показано, что основными фазами неорганической составляющей конкретных коммунальных зол (КЗ) являются фазы, реализующиеся в системе $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}(\text{MgO}) - \text{Fe}_2\text{O}_3$ с примесями свинца, хрома, кадмия, цинка, кобальта, меди на уровне ПДК, либо превышающие таковую в несколько раз (Zn). Проведена оценка изобарно-изотермических потенциалов более чем в 150-ти реакциях формирования силикатов, алюмосиликатов и их твердых растворов. Установлено, что в процессе термообработки, либо гидратационного отверждения, тяжелые и цветные металлы (Zn, Cd, Hg, Co, Ni, Pb, Cr, Cu, Mn, Be, V) могут входить в анионную или в катионную часть структуры силикатов и алюмосиликатов. Указанные примеси приобретают химическую инертность и не выщелачиваются слабыми кислотами и основаниями. Изучена динамика твердофазных реакций в системе $\text{CaO}(\text{MgO}), \text{Al}_2\text{O}_3(\text{Fe}_2\text{O}_3) - \text{SiO}_2$ в интервале 700 - 1000 °С.

Изучена кинетика формирования мета- и ортосиликатов элементов II группы и алюмосиликатов элементов II группы. Показано, что ортосиликаты цинка и кальция обладают значительной изоморфной емкостью по отношению к цветным и тяжелым металлам. В результате термообработки образуется целая серия твердых растворов типа



или



либо на основе других соединений в соответствии с известными диаграммами состояний.

Анализ экспериментальных данных позволил установить, что почти все нежелательные элементы, содержащиеся в коммунальных золах твердых бытовых отходов, могут быть активно замаскированы в силикаты и алюмосиликаты, либо более сложные соединения - путем вхождения их в кристаллические структуры с приобретением устойчивых свойств к действию слабых кислот и оснований.

Интересным аспектом применения золы является возможность использования ее в качестве составной части стеновых камней для малоэтажного гражданского и промышленного строительства. В качестве исходных компонентов брали не гашеную дисперсную известь, золу и полуводный гипс в

* В качестве коммунальных зол выбраны золы от сжигания ТБО.

различных соотношениях. Состав вяжущего представлен: 70% золы, 30% извести и CaSO_4 - 5% сверх стопроцентной шихты. Образцы готовили методом пластического формования при соотношении вяжущего и кварцевого песка 1 : 3 . Образцы проходили гидротермальную обработку при 90° в течении пяти часов при скорости подъема температуры 20° в час. Данные испытаний прочности при сжатии приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Состав вяжущего, % массовый			Удельная поверхность $\text{см}^2/\text{г}$	Прочность при сжатии, Мпа	
Зола ТБО	Известь	CaSO_4 % сверх 100 % шихты		1 сут.	28 сут.
70	30	5	4300	16,6	25,1
			5800	22,6	35,8
			9000	18,4	22,3
80	20	5	4300	17,3	30,3
			5800	21,9	33,8
			7000	26,3	44,1
			8800	13,4	25,3
90	10	5	4500	17,2	26,2
			6000	21,6	31,3
			9100	16,0	21,2

Рассмотрена возможность использования золы и в обжиговых строительных материалах. В работе исследованы составы при следующем соотношении компонентов: глина - 50-25% (по объему), зола - 50-75% (по объему). Подготовленную шихту увлажняли до 9% и прессовали при 5 МПа. Обжиг осуществляли при 1000°C . Основные показатели образцов приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Соотношения компонентов, % объемные		Свойства образцов после обжига		
Глина	Зола ТБО	сж., мПа	Водопогло- щение, %	Морозостойкость кол-во циклов попеременного замораживания и оттаивания.
50	50	35,09	16,3	25 (не менее)
35	65	65,5	13,8	25 (не менее)
25	75	51,0	12,7	не определялось

Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что большинство коммунальных зол можно адаптировать к широкой номенклатуре строительных

материалов, к таким, как силикатный камень, силикатные и керамические кирпичи, сырье для производства вяжущего, добавки в асфальтобетон и т.д.

В четвертой главе изложены результаты разработки метода интенсификации процессов ферментации муниципальных отходов с целью получения биокомпостов для репродуктивного восстановления почв. Метод основан на введении в компостируемую массу ТБО биоактиваторов - микробных удобрений: бамила, полученного при биологической переработке свиного навоза и пудрета, который образуется при переработке птичьего помета в ИК лучах.

Введение активных биодобавок уменьшает период компостирования на 12 часов. Активизация разложения органических веществ при ферментации обусловлена увеличением количества термофильных целлюлозолитических бактерий в 10-20 раз по сравнению с вариантом без биоудобрений. В результате температура компостируемой массы совместно с биоактиваторами возрастала на 3-5° , а период ферментации сокращался на 10-12 часов.

Компост, полученный с помощью биоактиваторов, обогащен как азотистыми, так и гумусовыми соединениями, содержит повышенное количество бактерий р. *Bacillus*, многие из которых являются рост-стимулирующими и обладают способностью подавлять фитопатогенную микрофлору.

Партии биокомпостов с введением биоактиваторов в компостируемую фракцию ТБО (КФ-ТБО) получали на пилотной установке состоящей из трех модулей, каждый объемом 40 литров. Из ТБО выделялись вторичное сырье (бумага, металл, пластмасса, стекло), компостируемая органическая фракция и фракция для термообработки в соответствии со схемой переработки ТБО на реконструируемом заводе.

Влияние биоактиваторов изучалось в динамике. Пробу биокомпостов отбирали с интервалом 12 часов в течение 2-х суток. В образцах определяли влажность, зольность, содержание углерода, общего и аммонийного азота, подвижных гумусовых веществ, численность отдельных физиологических групп микроорганизмов, контролировали температуру компостируемой массы и состав отходящих газов, кроме того, процесс компостирования оценивали по соотношению мезофильных и термофильных бактерий - коэффициенту термофильности.

Качество готового компоста характеризовалось следующими показателями: углерод, азот (общий, аммонийный, нитратный), соотношение C/N , зольность, а так же степень гумификации. Влияние полученных компостов на урожай растений изучали в вегетационном опыте с райграсом. Исследования позволили установить, что внесение в ТБО бамила и пудрета оказало положительное влияние на численность и активность именно тех эколого-трофических групп микроорганизмов, которые ответственны за биodeградацию органических веществ - целлюлозоразрушающих и аммонифицирующих. Так через 48 часов опыта численность таких групп микроорганизмов в контроле 380, с бамилем 8800 с пудретом 5100 КОЕ/1. В процессе ферментации неизбежно происходит потеря органического вещества ТБО. Однако не следует рассматривать этот процесс как негативный, т.к. органическое вещество компостов более стабильно и

гумифицировано, что положительно влияет на их агрохимические характеристики. Экспериментальные партии компостов оценивались по их влиянию на урожай райграсса. Внесение компостов увеличивало урожай зеленой массы райграсса на 21-33% по сравнению с почвой без компоста.

Наибольшая прибавка установлена в варианте КФ - ТБО + бамил.

В сухой массе растений определялось содержание тяжелых металлов. Использование компостов не приводило к увеличению концентрации тяжелых металлов в растениях. Во всех случаях концентрации тяжелых металлов были значительно ниже ПДК.

Введение микробных удобрений (бамил и пудрет) в компостируемую фракцию твердых бытовых отходов при ферментации оказало положительное влияние на интенсивность процесса компостирования отходов, главным образом за счет изменений в микробном сообществе, ведущем биоферментацию. В результате были получены компосты высокого качества, обогащенные общим и подвижным азотом, гумусовыми веществами и полезной микрофлорой. На основании полученных результатов можно говорить о снижении длительности процесса ферментации без ухудшения качества получаемых компостов. Готовые компосты возможно использовать не только в озеленении и сельскохозяйственном производстве, но и в процессе рекультивации непродуктивных земель, так как они не только восстанавливают биоту почвы, но и значительно повышают урожай, не приводя к загрязнению продукции тяжелыми металлами.

В пятой главе излагаются основы комплексной технологии переработки ТБО, обосновывается необходимость реконструкции производства (на котором проводились исследования) путем модернизации технологического передела со значительным увеличением производительности предприятия, без дополнительного землеотвода и остановки производства.

Завод спроектирован и построен отечественными специалистами с использованием зарубежного опыта и не только по тому времени, но и сейчас является передовым предприятием, даже по общеевропейским стандартам.

Концептуально отработка технической схемы механизированной переработки ТБО на заводе ориентирована на максимально полезное использование бытовых отходов, на отношение к ним как к источнику сырья. В результате товарной продукцией завода были: компост, металлолом и пирокарбон. Компост имеет гигиенический сертификат качества.

Существующая технологическая схема Опытного завода МПБО указана ниже (См. схема 1):

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА Опытного завода механизированной переработки бытовых отходов

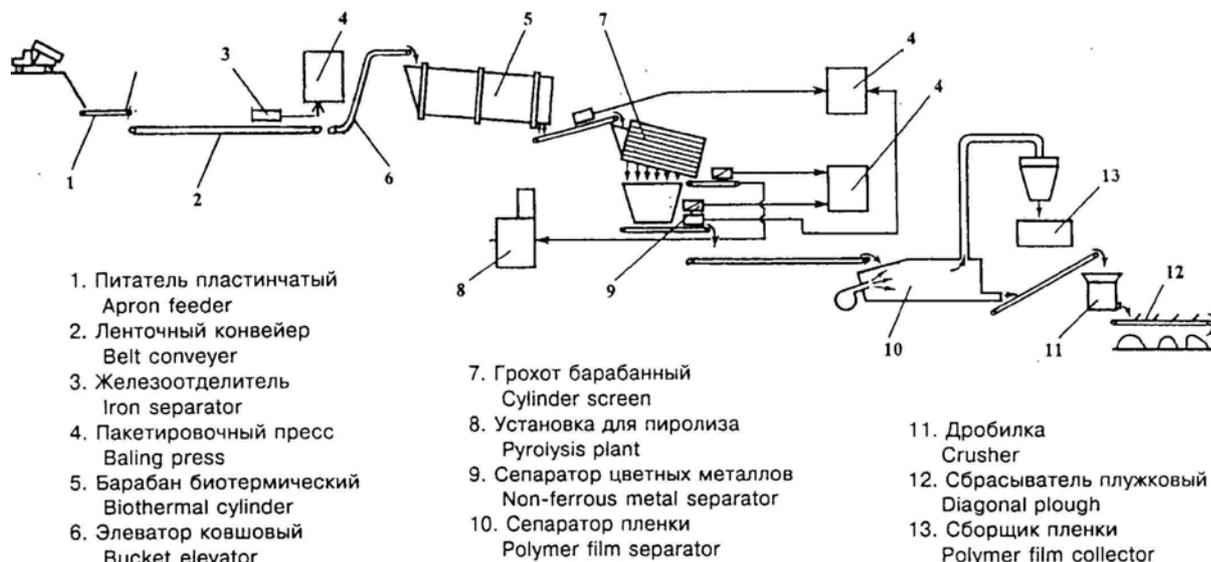


Схема 1.

На Опытном заводе МПБО успешно используется свой оригинальный промышленный метод обезвреживания твердых бытовых отходов с переработкой их биотермическим методом в органическое удобрение (компост) и термической переработкой (пиролиз) некомпостируемых остатков с получением углеродосодержащего продукта — пирокарбона.

В результате этого процесса получается парогазовая смесь и твердый углеродистый остаток — пирокарбон. Из пиролизной печи пирокарбон поступает на охлаждение и дальнейшую обработку, а парогазовая смесь для охлаждения и разделения — в тепломеханическую часть установки. Окончательными продуктами пиролиза являются пирокарбон, смола и газ.

В настоящее время ряд факторов диктует необходимость постановки вопроса о реконструкции и расширении Опытного завода МПБО.

Реконструкция необходима: во-первых, завод находится в эксплуатации более 30 лет. В настоящее время отмечается почти полный износ оборудования, что в свою очередь привело к резкому увеличению эксплуатационных затрат и снижению эффективности работы завода в целом.

Во-вторых, возросшие нормативные требования по охране окружающей среды ограничили область использования компоста и снизили эффективность применяемой технологии. Ранее производимый заводом компост реализовывался полностью. Сейчас половина вырабатываемого компоста отправляется на полигон, как изолирующий и рекультивирующий материал. Остальная часть

используется, на основе полученного в ГЦ ГСЭН Санкт-Петербурга гигиенического сертификата, в качестве органического удобрения для городского озеленения и лесного хозяйства, а также для использования в качестве биотоплива. Обновление оборудования и дальнейшее совершенствование технологического процесса позволят улучшить качество получаемого компоста и обеспечить его использование для нужд сельского хозяйства, что будет сопряжено с увеличением спроса на эту продукцию.

В-третьих, такой постановки вопроса требует сложившаяся критическая ситуация с обезвреживанием ТБО в южной части города, где расположены завод МПБО и полигон твердых бытовых отходов. Срок эксплуатации указанного полигона ограничен при сохранении темпов захоронения отходов на нем.

В-четвертых, такой постановки вопроса требует как все возрастающее социальное напряжение, вызванное ухудшением санитарной очистки города, так и социально-экономическая ситуация проблемы отходов в целом и необходимость нового подхода к ее решению.

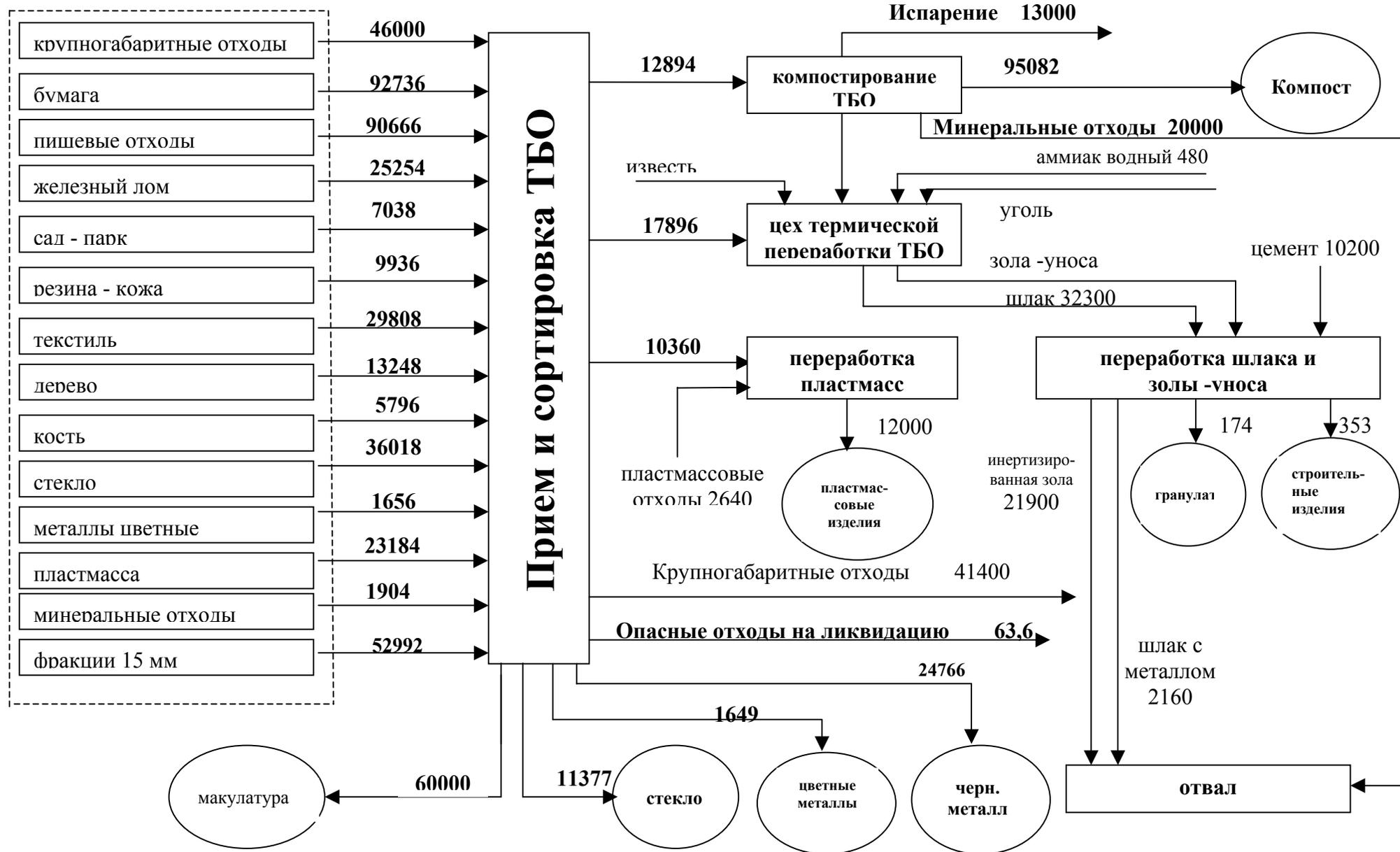
Исследованная в диссертации комплексная технология переработки ТБО позволяет решить следующие социальные и экологические задачи (в рамках реконструкции и расширения Опытного завода МПБО):

- комплексно решить проблемы ТБО в Санкт-Петербурге, обеспечить рециклинг ценных компонентов ТБО, сократить использование земель под новые объекты мусоропереработки, уменьшить воздействие существующего предприятия по переработке ТБО на окружающую природную среду (атмосферный воздух, почву), улучшить санитарное состояние в Санкт-Петербурге, полностью решить проблему механизированной переработки твердых бытовых и других отходов;
- значительно повысить качество компоста путем увеличения в нем содержания биологически активной массы и уменьшения различных примесей и тяжелых металлов и использование его для рекультивации земель;
- довести уровень объемов механизированной переработки твердых бытовых и других отходов в Санкт-Петербурге до 2,9 млн. м³/год, снизив нагрузку на действующие полигоны в 2 раза, и тем самым улучшить экологическую обстановку в Санкт-Петербурге и его пригородах;
- обеспечить собственные нужды завода в электро- и теплоэнергии, получаемых в процессе термической переработки отходов;
- обеспечить нейтрализацию зол после сжигания ТБО для производства строительных материалов;
- создать высокоэффективную технологическую базу для организации селективного сбора мусора и минимизации отходов в Санкт-Петербурге;
- создать производство по комплексной переработке твердых отходов с использованием отечественного и зарубежного опытов мусоропереработки на месте действующего производства без его остановки;

Рис.2

Принципиальная схема комплексной технологии переработки ТБО (460 тыс.т.ТБО/год)

ТБО 460 000



- обеспечить проведение единой технической, экономической и экологической политики в области обращения с ТБО;
- усовершенствовать систему финансирования работ по переработке отходов, снизить размер дотаций из городского бюджета в этой области.

Количество, состав ТБО, а также потоки их распределения по стадиям переработки комплексным методом представлены на рис.2

Выводы

1. Рассмотрено многообразие процессов в системах «техногенно-измененная литосфера – биота», «литосфера – инженерное сооружение – биота» на примере природоохранного предприятия по переработке ТБО и качественно оценен возможный вклад таких предприятий в процессы деградации литосферы.

2. С использованием существующих методологий, практического опыта и технологий ТБО проведен сравнительный анализ различных способов переработки ТБО с применением методов системодинамики и системного подхода. Установлено, что одним из возможных критериев выбора оптимальной схемы переработки ТБО может стать критерий минимума производства энтропии, процесс переработки ТБО с минимумом производства энтропии не должен включать побочные процессы ухудшения геоэкологической обстановки, загрязнения атмосферы, поверхностных и грунтовых вод, которые резко нивелируют низкий темп прироста энтропии.

Оптимальный технологический цикл (низкий темп прироста энтропии) включает: сортировку ТБО;

- выделение компостируемой (органической) фракции ТБО с одновременным извлечением полезных для рециклинга составляющих ТБО на станциях перегрузки, либо в процессе переработки ТБО на заводе;
- осуществление рециклинга отходов;
- биокомпостирование органических отходов;
- термическую переработку выделенной сжигательной фракции ТБО с получением тепла или электроэнергии;
- получение нового функционального продукта с включением его в трофическую цепь (процесс производства негэнтропии);

Показано, что наименьшая деградация в системе «техногенно - измененная литосфера – биота» наблюдается в результате осуществления переработки ТБО комплексным методом.

3. С целью рассмотрения вопросов контейнеризации цветных и тяжелых металлов в процессе термообработки изучена статика и динамика процессов твердофазного взаимодействия составляющих ингредиентов зол от сжигания ТБО, впервые получены изобарно-изотермические потенциалы реакций; исследована кинетика процессов взаимодействия основных компонентов коммунальных зол в присутствии цветных и тяжелых металлов; установлено, что нежелательные примеси цветных и тяжелых металлов (Be, Cd, Hs, Pb, Sr, Ba, Co,

Cr и др.) внедряются в кристаллические решетки основных компонентов золы (CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO и т.д.) и не подвергаются выщелачиванию в слабокислых и щелочных растворах, концентрации элементов в смывных водах не превышают кларки природных вод.

4. Разработаны модульные технологии утилизации зол от сжигания ТБО (как составная часть комплексной технологии переработки ТБО) в конкретные марки строительных материалов:

- в качестве составной части стеновых блоков для малоэтажного, промышленного и гражданского строительства;
- в технологии производства обжиговых строительных материалов и т.д.

5. Отработаны на твердых бытовых отходах условия выделения органической фракции для оптимального процесса компостирования с параллельным отбором из ТБО макулатуры, черных и цветных металлов, пластмасс, стекла и осуществление этих процессов на производственных линиях завода.

6. Разработан новый способ получения биокомпостов из муниципальных отходов, который основан на активизации ферментационных процессов переработки компостирующих отходов за счет введения микробных ассоциаций, способствующих повышению качества компостов (увеличение содержания общего азота на 1%, а общего фосфора на 0,7%), повышающих урожай сельскохозяйственных культур на 30% и обеспечивающих восстановление биоты почвы.

7. Создан единый комплекс производства по переработке ТБО, включающий отдельную сборку ТБО, выборку полезных для рециклинга составляющих ТБО, биоразложение органических отходов, термическую переработку ТБО или выделенной сжигаемой фракции для получения энергии для нужд производства и обеспечивающий низкий уровень деградации в системе «литосфера – инженерное сооружение – биота».

Основное содержание диссертационной работы отражено в следующих публикациях:

1. Баев А.С., Лихачев Ю.М., Пегова И.С., и др. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге за 1990-1999 год // Под ред. Баева А.С.-СПб 2000 г., 515 с.
2. Баев А.С., Флоринская Т.М., Лихачев Ю.М. и др. Единая политика обращения с отходами в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // Изд. Наука, СПб 2000 г., 151 с.
3. Яковлев В.А., Пегова И.С., Лихачев Ю.М., Семин Е.Г., Козловская Е.Ф. Удельные валовые нормативы накопления твердых бытовых отходов, образующихся в результате деятельности стационарных предприятий торговли на территории г. Санкт-Петербурга // Уч. метод. пособие - СПб, изд. "Нева", 2000 г., 58 с.

4. Яковлев В.А., Пегова И.С., Лихачев Ю.М., Семин Е.Г. Комплексная оценка состояния природоохранной деятельности в крупных урбанистических центрах // СПб, изд. СПбГТУ 1999, 85 с.
5. Баев А.С., Лихачев Ю.М. и др. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2000 году // СПб, 2001, 446 с.
6. Семин Е.Г, Лихачев Ю.М., Полуэктов В.В., Федоров П.М. Система обращения ТБО в городе Санкт-Петербурге. // Вестник госпитальной инженерии № 1, СПб, 1997, с.13-23.
7. Яковлев В.А, Семин Е.Г., Пегова И.С, Лихачев Ю.М., Иоффе М.И. Рециклинг полимеров при переработке ТБО // Кн. Безопасность и экология. ч.2: СПбГТУ, 1999., с.164-165.
8. Яковлев В.А., Семин Е.Г., Пегова И.С., Лихачев Ю.М., Никитина Ю.В. Эколого -экономический анализ системы обращения с твердыми бытовыми отходами // Кн. Безопасность и экология, ч.2., СПбГТУ, 1999, с.189 - 190.
9. Гусаров В.В., Семин Е.Г., Лихачев Ю.М. Система проектирования в решении проблем переработки ТБО // Кн. Технология энергосбережения и эксплуатация инженерных систем. СПб. Изд.-во СПбГТУ. Тез. докл. к Межд. Практ. Конф. 2000, с. 66 - 68.
10. Семин Е.Г., Лихачев Ю.М., Федашко М.Я. Реконструкция завода МПБО, как основа энерго и ресурсосбережения // Кн. Технология энергосбережения и эксплуатация инженерных систем. СПб., Изд.-во СПбГТУ. Тез. докл. к Межд. Конф. 2000, с. 119-120.
11. Пегова И.С., Семин Е.Г., Лихачев Ю.М., Чуркина И.О. Рециклинг полимеров при переработке ТБО // Кн. Технология энергосбережения и эксплуатация инженерных систем. СПб. Изд.-во СПбГТУ. Тез. докл. к Межд. Практ. Конф. 2000, с. 140- 141.
12. Лихачев Ю.М. Обеспечение экологической безопасности населения СПб от загрязнений ТБО // Безопасность и экология Санкт-Петербурга. ч.1, СПб, 1999, с. 138-140.
13. Пегова И.С., Семин Е.Г., Лихачев Ю.М., Федашко М.Я. Реконструкция МПБО как основа энерго и ресурсосбережения // Тез. докл. к Международному форуму ТЭК России., СПб., 2000, с. 116.
14. Лихачев Ю.М., Архипченко И.А., Федашко М.Я. Способ переработки твердых бытовых отходов в компост. Патент РФ от 27.01.98г № 2103246.
15. Лихачев Ю.М., Архипченко И.А. Технология совместной утилизации бытового мусора и активного ила очистных сооружений // Сб. трудов международного совещания: "Энергосберегающие технологии в охране окружающей среды", 1996, 5 с.

16. Arkhipchenko I.A., Likhachev Y.M., Fedashko M.Y. The process for combined treatment of solid municipal wastes and sludges for producing biogas. "Use of municipal organic waste" 23-25 nov. 1998 Iokioinen., p. 97.
17. Архипченко И.А., Лихачев Ю.М., Федашко М.Я. Технология получения биогаза из смеси активного ила и твердых бытовых отходов // Сб. трудов международной конференции по управлению отходами., М., 1999, 7 с.
18. Arkhipchenko I.A., Likhachev Y.M., Fedashko M.Y. Application of microbial biofertilizers for intensification of the process of municipal composting. Proceeding of International Composting Symposium. Halifax, Canada, 2000 p. 10-14.
19. Likhachev Y.M. Arkhipchenko I.A., Fedashko M.Y., Orlova O.V. Application of microbial communities for intensification of the process of municipal wastes fermentation. Proceeding of 9 th International Conference FAO Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. Gargnano, Italy, 2000, p. 12 .
20. Архипченко И.А., Лихачев Ю.М., Орлова О.В., Федашко М.Я. Применение микробных удобрений для интенсификации процесса ферментации муниципальных отходов // Экология и промышленность России, 2000 № 7, с16-19.
21. Likhachev Y.M., Orlova O.V. Application of microbial biofertilizers for intensification of the process of municipal wastes composting/ In proceeding: International Conference "Microbial ecotechnology in processing of organic and agricultural, Italy, 2000, p. 34.
22. Архипченко И.А., Лихачев Ю.М. Процессы переработки муниципальных отходов с получением высококачественных биокомпостов // Тез. докл. к Международному форуму ТЭК России. СПб, 2000, 5 с.
23. Архипченко И.А., Лихачев Ю.М. 30-летие I-го в России и СНГ Опытного завода МПБО // Тез. док. к Международн. форуму ТЭК России. СПб, 2000, 6 с.
24. В.А.Яковлев, Ю.М. Лихачев, В.В.Гусаров, К.В.Гусаров, Я.Б.Данилевич, И.С. Пегова, Е.Г.Семин. Выбор оптимальных технологий переработки твердых бытовых отходов // Кн. Комплексная переработка твердых бытовых отходов – наиболее передовая технология. РАН, СПб, 2001, с. 45-61.
25. Лихачев Ю.М. Способ обработки бытовых отходов. Патент РФ от 02.02.99 г № 2161542.
26. Лихачев Ю.М., Федашко М.Я., Пегова И.С. . Реконструкция завода МПБО как основа ресурсо- и энергосбережения и эксплуатация инженерных систем // СПб, СПбГТУ 2000 с. 46-47.
27. Лихачев Ю.М., Семин Е.Г., Федоров С.В., Селиванова С.В. Статика и динамика процессов утилизации зол от станций сжигания активного ила и ТБО // Тез. докл. к XXIX неделе науки СПб, СПбГТУ, 2001 с.38-39.
28. Лихачев Ю.М., Семин Е.Г., Селиванова С.В. Федашко М.Я. и др. Анализ и оценка зарубежного опыта обращения с твердыми бытовыми отходами // Кн. комплексная переработка ТБО - наиболее передовая технология. РАН, СПб, 2001 с. 72-88.

29. Лихачев Ю.М., Семин Е.Г., Федашко М.Я. Анализ существующей системы обращения с отходами в Санкт-Петербурге // Кн. комплексная переработка ТБО - наиболее передовая технология. РАН, СПб 2001 с. 89-112.
30. Лихачев Ю.М., Архипченко И.А., Орлова О.В. Применение микробных биоудобрений для интенсификации процесса ферментации муниципальных отходов // Кн. комплексная переработка ТБО - наиболее передовая технология. РАН, СПб 2001, с. 113-125.
31. Лихачев Ю.М., Семин Е.Г., Селиванова С.В., Федоров С.В., Федоров П.М., Лыгина О.Е., Семина К.Е. Статика динамика процессов адаптации вредных примесей в коммунальных золах в строительные материалы // Кн. комплексная переработка ТБО - наиболее передовая технология. РАН, СПб, 2001, с.146-179.
32. Лихачев Ю.М., Семин Е.Г., Пегова И.С. Обоснование необходимости реконструкции и расширения Опытного завода МПБО с использованием комплексной технологии // Кн. комплексная переработка ТБО - наиболее передовая технология. РАН, СПб, 2001, с.180-218.
33. Лихачев Ю.М., Федашко М.Я. Экономические аспекты переработки твердых бытовых отходов // Доклад на семинаре «Экология большого города». СПб, 2001, с.65-74.
34. Лихачев Ю.М., Федашко М.Я., Федоров П.М. 30-летний опыт работ лучшего мусороперерабатывающего завода России // Материалы второго международного конгресса по управлению отходами ВэйстТэк-2001, Москва, 2001, с.112-113.
35. Лихачев Ю.М., Семин Е.Г., Селиванова С.В., Семина К.Е., Данилевич Я.Б. Переработка ТБО как решение геоэкологической задачи// РАН, СПб, 2001,8с.