Глушанкова Ирина Самуиловна. Очистка фильтрационных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов на различных этапах жизненного цикла : Дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.04 : Пермь, 2004 331 c. РГБ ОД, 71:05-5/162

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**На правах рукописи**

**ГЛУШАНКОВА ИРИНА САМУИЛОВНА**

**ОЧИСТКА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ вод полигонов ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

**05.23.04 — водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов**



**Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук**

Научный консультант: д. мед. н., профессор, зав. кафедрой охраны окружающей среды ПермГТУ

**Я.И. Вайсман**

**ПЕРМЬ 2004**

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение

Глава 1. Теоретический анализ процессов формирования фильтрацион- ных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов и существующих технологий их очистки

1. Основные факторы, влияющие на физико-химический состав и объем фильтрационных вод полигонов ТБО
2. Морфологический состав ТБО
3. Жизненный цикл полигона
4. Водный баланс полигона ТБО
5. Технология складирования ТБО и инженерная инфраструктура

полигона

1. Предварительная обработка отходов
2. Характеристика химического состава фильтрационных вод ф 1.2.1. Органические соединения
3. Неорганические соединения
4. Химический состав фильтрационных вод полигонов ТБО, находящихся на различных этапах жизненного цикла
5. Микробиологический состав фильтрационных вод

*Л*

^ 1.4. Анализ существующих технологий очистки фильтрационных

вод

Глава 2. Характеристика объектов и методов исследования

1. Анализ условий образования и состав фильтрационных вод полигона ТБО г. Перми *\* 2.2. Анализ условий образования и состав фильтрационных вод

полигона ТБО г. Чусового

1. Выбор модельных растворов и методов очистки фильтрационных вод

Глава 3. Моделирование процессов формирования фильтрационных вод. Прогнозирование химического состава фильтрационных вод на

различных этапах жизненного цикла полигона ТБО 91

* 1. Термодинамическая модель процессов деструкции

биоразлагаемых фракций ТБО 95

^ 3.2. Кинетическая модель процесса формирования и прогноза

состава фильтрационных вод. 101

1. Анализ подвижности ионов металлов в фильтрационных водах на различных этапах жизненного цикла полигона ТБО

Глава 4. Исследования возможности применения деструктивных мето- '• дов очистки фильтрационных вод полигонов захоронения ТБО

1. Биохимические методы очистки фильтрационных вод 111
2. Очистка фильтрационных вод в анаэробных условиях 111
3. Очистка фильтрационных вод в аэробных условиях 120
4. Применение озонирования для очистки фильтрационных вод 126
5. Свойства озона и механизмы его воздействие на органиче-ские примеси сточных вод 126
6. Экспериментальные исследования очистки фильтрационных

вод озонированием 130

Глава 5. Сорбционные, ионообменные и биосорбционные методы

очистки фильтрационных вод 138

1. Закономерности сорбции органических веществ фильтра­ционных вод 138
2. Характеристика пористой структуры углеродных материалов 139

*99* 5.1.2. Закономерности адсорбции растворенных органических

веществ из водных растворов углеродными сорбентами 146

1. Экспериментальные исследования сорбционной очистки фильтрационных вод 155
2. Сорбционные методы очистки фильтрационных вод от ионов тяжелых металлов 174
3. Исследование сорбционной очистки фильтрационных вод от гидратированных ионов металлов

180

184

196

**200**

**200**

203

203

213

223

223

230

243

243

251

1. Исследования очистки фильтрационных вод от комплексных ионов металлов
2. Биосорбционные методы очистки фильтрационных вод
3. Закономерности доочистки фильтрационных вод в модельных прудах

Глава 6. Применение реагентной коагуляции, гальванокоагуляции и ультрафильтрации для очистки фильтрационных вод

1. Применение методов реагентной коаіуляции для очистки фильтрационных вод
2. Применение метода гальванокоагуляции для очистки фильтрационных вод
3. Теоретический анализ процесса и выбор оптимальных условий очистки фильтрационных вод
4. Экспериментальные исследования очистки фильтрационных вод методом гальванокоагуляции
5. Мембранные методы очистки воды
6. Характеристика мембранных методов очистки

сточных вод и выбор мембранных материалов для очистки

1. Закономерности очистки воды на керамических мембранных материалах

Глава 7. Комплексные технологии очистки фильтрационных вод.

Рекомендации по выбору методов и технологий очистки фильтрационных вод на различных этапах жизненного цикла полигона ТБО.

1. Критерии и граничные условия применения исследованных методов очистки фильтрационных вод на различных этапах жизненного цикла полигона ТБО
2. Комплексные технологии очистки фильтрационных вод

7.2.1 .Варианты технологий очистки фильтрационных вод

проектируемых полигонов и полигонов, находящихся на стадии активной эксплуатации 251

1. Варианты комплексных технологий очистки фильтрационных

вод полигонов ТБО, находящихся на рекультивационном и пострекультивационном этапах 257

1. Технологии очистки фильтрационных вод малых населенных

пунктов 262

1. Выбор технологической схемы очистки фильтрационных вод • для конкретного полигона 266

Глава 8. Технические решения по очистке фильтрационных вод поли­гонов ТБО 278

[Выводы 293](#bookmark28)

Литература 297

жл Приложения 324

*т*

%

**ВВЕДЕНИЕ**

Основным способом санитарной очистки городов и населенных пунктов от твердых бытовых отходов (ТБО) в нашей стране остается захоронение их на полигонах и свалках, где в течение десятков лет протекают сложные физико-химические и биохимические процессы разложения отходов, сопровождающиеся эмиссиями загрязняющих веществ в окружающую среду.

Одной из крупных нерешенных экологических и социальных проблем урбанизированных территорий является снижение негативного воздействия полигонов захоронения и свалок твердых бытовых отходов (ТБО) на объекты гидросферы, обусловленного фильтрационными водами (ФВ).

ФВ образуются за счет влажности отходов, инфильтрации атмосферных осадков, биохимических процессов, сопровождающихся образованием воды, и характеризуются высоким (в сотни раз превышающим ПДК) содержанием токсичных органических и неорганических веществ. Они опасны в санитарно-эпидемиологическом отношении, так как содержат патогенные бактерии и микроорганизмы.

На протяжении всего жизненного цикла полигона ТБО, состоящего из следующих основных этапов: эксплуатационного, рекультивационного, пострекультивационного, ассимиляционного ФВ являются источником загрязнения поверхностных и подземных вод.

Обеспечение необходимого санитарного состояния населенных пунктов и охраны водных объектов требуют разработки эффективных методов и технологий очистки фильтрационных вод полигонов ТБО.

Особенности формирования ФВ, их сложный химический состав, изменяющийся на протяжении жизненного цикла полигона, значительное отличие от промышленных и муниципальных сточных вод вызывают необходимость разработки методологических и концептуальных подходов решения этой проблемы, что становится особенно актуальным в связи с тенденцией к закрытию, рекультивации старых свалок и строительству современных полигонов.

Анализ существующих технологий очистки фильтрационных вод, показал, что для этой цели могут быть использованы различные биохимические - аэробная и анаэробная очистка и физико-химические методы - коагуляция, флокуляция, сорбция на активных углях (АУ), микро- и ультрафильтрация, обратный осмос, озонирование, электрохимическое окисление, ультрафиолетовое излучение.

В этой связи возникает проблема выбора методов и технологий очистки ФВ вод в зависимости от этапа жизненного цикла полигона ТБО, мощности объекта, климатических особенностей региона и др., которая может быть решена на основании исследования процессов формирования химического состава и объема ФВ, экспериментального обоснования применения биохимических и физико-химических методов очистки ФВ.

Диссертационная работа посвящена решениям прикладных задач в области создания эффективных технологий очистки ФВ полигонов захоронения ТБО крупных и малых населенных пунктов на различных этапах их жизненного цикла, позволяющим осуществлять реконструкцию действующих полигонов ТБО, а также разрабатывать гибкие блочно­модульные технологические схемы очистки для проектируемых объектов.

Работа базируется на исследованиях процессов деструкции ТБО, образования ФВ, проведенных специалистами Венского технического университета (P.Brunner, N. Mache), агентства по охране окружающей среды США (US Environmental Protection Agency — M. Barlaz, R. Ham, H. Belevi, P. Baccini), Академии коммунального хозяйства (Н.Ф. Абрамов и др.), кафедры охраны окружающей среды ПермГТУ (Я. И. Вайсман, В.Н. Коротаев, J1.B. Рудакова), работах специалистов НИИ ВОДГЕО, ИКХиХВ АН Украины, институтов РАН и Вузов, направленных на решение проблемы очистки сточных вод биохимическими и физико-химическими методами (С.В. Яковлев, В.Н. Швецов, И.В. Скирдов, В.В. Найденко, А.Д. Смирнов, B.JI Драгинский, А.М. Когановский и др.) и собственных исследований в области очистки сточных вод, проведенных в 1986-2003 г.г.

Работа является обобщением результатов исследований, выполненных в рамках госбюджетных НИР: региональной программа «Экология Западного Урала» № 01970002206, «Научное обоснование и разработка эколого­гигиенических критериев оценки отходов производства и потребления для выбора оптимальной стратегии их утилизации, обезвреживания и уничтожения № 01940001427, «Разработка и создание элементов научно- методического и технического обеспечения системы мониторинга на урбанизированных территориях»: № 01970004985.

**Цель и задачи работы**

Целью работы является научное обоснование методов и технологий очистки фильтрационных вод полигонов захоронения ТБО на различных этапах жизненного цикла полигона и разработка эффективных технических решений по ликвидации эмиссии загрязняющих веществ в подземные и поверхностные водоемы.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Исследование условий образования фильтрационных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов, выявление основных факторов, влияющих на объем, физико-химический и микробиологический состав ФВ.
2. Анализ существующих технологий очистки ФВ и разработка принципов выбора методов и технических решений по ликвидации эмиссии загрязняющих веществ в подземные и поверхностные водоемы.
3. Исследование химического состава ФВ полигонов ТБО, находящихся на различных этапах эксплуатации, с использованием методов химического и физико-химического анализа.
4. Проведение термодинамического и кинетического анализа процессов биодеструкции фракций ТБО и создание модели прогноза химического состава ФВ в зависимости от этапа жизненного цикла полигона, позволяющей принимать практические решения при выборе метода и технологии очистки ФВ.
5. Исследование эффективности применения различных деструктивных (биохимических, окислительных) и физико-химических (гальванокоагуляция, сорбция, ионный обмен, биосорбция, ультрафильтрация) методов очистки фильтрационных вод на модельных и реальных растворах и обоснование критериев и граничных условий применения каждого метода.
6. Разработка технических решений и технологий очистки ФВ полигонов захоронения ТБО крупных и малых населенных пунктов на различных этапах жизненного цикла.
7. Разработка эколого-технико-экономических критериев и методов выбора оптимального варианта технологической схемы очистки ФВ.

**Научная новизна** заключается в основных положениях теоретического, методологического и технологического характера.

* Разработана модель прогноза изменения химического состава фильтрационных вод в зависимости от этапа жизненного цикла полигона, позволяющая принимать практические решения при выборе методов и технологий очистки фильтрационных вод.
* Установлены закономерности и механизмы очистки фильтрационных вод от органических высоко- и низкомолекулярных, а также коллоидных соединений, комплексных и гидратированных ионов металлов методами озонирования, гальванокоагуляции, сорбции, ионного обмена, биосорбции и ультрафильтрации.
* Выявлена взаимосвязь физико-химических свойств органических примесей воды и параметров пористой структуры углеродных материалов в процессах сорбционной очистки. Установлено, что адсорбция низкомолекулярных органических ароматических соединений протекает по объемному механизму в микропорах углеродных сорбентов, определена зависимость сорбционной емкости от размера микропор. Для очистки фильтрационных вод от низкомолекулярных ароматических соединений необходимо использовать микропористые активные угли (АУ) с размером микропор 0,45-0,5 нм и объемом микропор не менее 0,2 см3/г. Установлено, что адсорбция гуминовых соединений и гуматов металлов (железа (II), меди (II)) на углеродных материалах протекает на поверхности мезо- и крупных супермикропор АУ по монослойному механизму и для их извлечения необходимо использовать мезопористые углеродные материалы с объемом мезопор не менее 0,12 см3/г.
* Выявлены закономерности очистки фильтрационных вод биосорбционными методами, предложено использование

углеродсодержащих отходов, каменноугольного и металлургического шлаков, коры длительного срока хранения в качестве загрузочных материалов биосорбционного фильтра.

* Обоснована принципиальная возможность применения керамических мембран на основе карбида кремния и сиалонов для очистки сточных воды полигонов ТБО от высокомолекулярных и окрашенных примесей.
* Определены критерии и граничные условия применения методов интенсивной биохимической очистки, сорбции, озонирования, гальванокоагуляции для очистки фильтрационных вод на различных этапах жизненного цикла полигона ТБО.

**Практическая значимость** результатов исследования:

* разработаны рекомендации по очистке фильтрационных вод полигонов захоронения ТБО на различных этапах жизненного цикла полигона ТБО;
* разработаны рекомендации по расчету эмиссий с полигонов захоронения ТБО;
* технические решения по очистке фильтрационных вод использованы при проектировании полигонов ТБО и ПО городов: г.г. Перми, Краснокамска, Березники и рекультивации объектов захоронения ТБО и ПО

г. Пермь, и г. Чусового; г. Санкт-Петербурга.

* разработана конструкция биосорбционного многослойного фильтра для очистки ФВ.
* результаты исследований использованы при разработке учебного пособия и лекционного курса «Физико-химические методы защиты биосферы» для студентов специальности «Охрана окружающей среды и рационального использования природных ресурсов».

Новизна и практическая значимость разработок подтверждена патентами

РФ.

Результаты исследований докладывались и обсуждались на всесоюзной конференции «Углеродные адсорбенты и их применение в промышленности» (Пермь, 1987), зональном научно-техническом семинаре: “Синтез

неорганических сорбентов и применение их для очистки сточных вод” (Челябинск, 1990), научно-практической конференции «Керамические материалы: производство и применение» (Москва, ВИМИ, 2001), 2-ом и 3-ем Международном конгрессе по управлению отходами (Москва,2001,2003 гг.), XV международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» (Тамбов,2002), Международном конгрессе «Вода: экология и технология» ЭКВАТЭК- 2002 (Москва,2002), годичной сессии Научного Совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогелогии « Сергеевские чтения » (Москва, 2003).

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Закономерности условий формирования химического состава и объема фильтрационных вод полигонов захоронения ТБО.
2. Модель прогноза изменения химического состава ФВ (по ХПК) в зависимости от этапа жизненного цикла полигона.
3. Закономерности и механизмы очистки фильтрационных вод от органических высоко- и низкомолекулярных, а также коллоидных соединений, комплексных и гидратированных ионов металлов методами озонирования, гальванокоагуляции, сорбции, ионного обмена, биосорбции и ультрафильтрации.
4. Принципы и критерии выбора методов очистки ФВ на различных этапах жизненного цикла полигона ТБО.

Комплексные технологии очистки на различных этапах жизненного цикла полигона ТБО.

выводы

1. На основании проведенного теоретического и экспериментального анализа процессов разложения ТБО и условий образования ФВ выявлена взаимосвязь химического состава и объема ФВ от морфологического состава ТБО, этапа жизненного цикла, водного баланса полигона ТБО. Установлены индикаторные показатели загрязнения ФВ: pH, соотношение величин **БПК**5**/ХПК,** содержание ионов железа (общее) и цинка (II), по которым можно определить этап жизненного цикла полигона. Разработана модель прогноза изменения состава ФВ (по показателю **ХПК)** на протяжении жизненного цикла полигона, основанная на результатах термодинамического и кинетического анализа процессов анаэробной деструкции ТБО и методах математического моделирования. Модель верифицирована при исследовании анаэробного разложения отходов на модельных установках и анализе химического состава ФВ полигона ТБО г. Перми.
2. Анализ отечественного и зарубежного опыта очистки ФВ позволил разработать концептуальные подходы выбора методов и технологий очистки ФВ, включающие разработку технических решений адекватных этапу жизненного цикла полигона, техническому состоянию объекта и климатическим особенностям региона; маневренность в управлении процесса очистки при изменении объема и состава ФВ, что возможно при использовании блочно-модульных технологий; использование в технологиях отходов производств, обладающих сорбционными и коагулирующими свойствами и др.
3. Исследования химического состава фильтрационных вод полигонов захоронения ТБО г. Перми, г. Чусового позволили установить:

• в ФВ содержатся более 40 органических соединений, неорганические анионы, более 20 ионов тяжелых металлов; значения основных санитарных показателей (ХПК, БПК5> цветность,, солесодержание, хлориды) в ФВ превышены в 10-100 раз. ФВ содержат токсичные примеси 3 и 4 классов

опасности: хлорсодержащие ароматические соединения, фенолы,

полифенолы, хлороформ, ионы свинца, меди и др.;

* оценка токсичности ФВ полигона ТБО г. Перми «Софроны» методом биотестирования показала, что они относятся к гипертоксичным;
* отсутствие системы сбора и очистки ФВ приводит к накоплению в теле полигона ионов тяжелых металлов и формированию высокотоксичных техногенных фунтов, что осложняет освоение рекультивированных земель в народнохозяйственных целях.

1. Установлено влияние ФВ полигона ТБО г. Перми «Софроны» на качество подземных и поверхностных вод.
2. Установлены закономерности озонирования ФВ, оптимальные дозы озона при очистке и граничные условия применения метода:

* при озонировании происходит снижение цветности ФВ в результате деструкции гумусовых веществ, полностью разрушаются фенолы; образующиеся продукты способны сорбироваться в микропорах активных углей АУ;
* при сорбционной очистке ФВ обработанных озоном (доза озона 50 мг/ дм3) установлена зависимость сорбционной емкости АУ от объема микропор;
* использование озонирования целесообразно для предварительной очистки ФВ, образующихся на стадии метаногенеза (ХПК не более 2000 мг О/дм3), при этом обработка ФВ небольшими дозами озона (50-100 мг/дм3 в зависимости от исходного значения ХПК) позволяет на 70-80 % снизить цветность воды, полностью удалить запах, хлорсодержащие ароматические соединения, и на стадии доочистки ФВ, образующихся в ацетогенной фазе биодеструкции отходов, для обеззараживания и удаления трудноокисляемых низкомолекулярных соединений, а также остаточной цветности и запаха воды.

1. На основе исследования влияния параметров пористой структуры углеродных сорбентов на эффективность очистки ФВ от низкомолекулярных ароматических соединений и высокомолекулярных гумусовых веществ разработаны требования к пористой структуре материалов применительно к очистке ФВ. Реализация сорбционной технологии возможна с использованием многослойных фильтров, содержащих микропористые углеродные сорбенты с размером микропор 0,45-0,5 нм и объемом микропор не менее 0,2 см3/г и мезопористые сорбенты с объемом мезопор не менее 0,12 см3/г.
2. Установлены закономерности очистки ФВ биосорбционным методом и разработана конструкция биосорбционного многослойного фильтра, содержащего кору длительного срока хранения, шлак, сорбент-Н, отход АУ, диатомит, гравий. Окислительная мощность биосорбционного фильтра по ХПК составляет 7-8 кг/ м3-сут (Патент РФ № 2186618 от 10.08. 2001).
3. Установлены закономерности процесса гальванокоагуляции ФВ с использованим в качестве токопроводящих материалов отходов производств (стального и/или алюминиевого скрапа и сорбента-Н). Определены оптимальные соотношения токопроводящих элементов: для гальванопары сорбент-Н - стальной скрап - 1:2; для гальванопары сорбент-Н - алюминиевый скрап —1:1. Эффективность очистки по ХПК составляла 60-80 %, концентрация ионов металлов в очищенной воде не превышала 0,01 мг/л.
4. Установлена зависимость производительности и селективности карбидкремниевых и сиалоновых мембран от размера канальных пор и размера ассоциатов высокомолекулярных соединений в растворе. Керамические мембраны на основе карбида кремния с диаметром канальных пор 300-400 нм эффективны при очистке воды от высокомолекулярных соединений, размеры ассоциатов которых могут изменяться от 1,4 нм до 10- 100 нм. Фильтр на основе сиалонов с размерами канальных пор 1,2-1,3 мкм эффективен при очистке воды от высокомолекулярных комплексных соединений.
5. Определены граничные условия применения исследованных методов очистки ФВ на различных этапах жизненного цикла полигона ТБО; разработаны комплексные технологии очистки ФВ крупных и малых населенных пунктов на различных этапах жизненного цикла полигона ТБО, учитывающие техническое состояние российских полигонов ТБО. Рекомендации по очистке ФВ, утвержденные на федеральном и региональном уровнях, могут быть использованы при разработке технологий очистки ФВ проектируемых и рекультивируемых полигонов, а также реконструкции действующих.
6. Разработана методика выбора технологии очистки ФВ полигона ТБО с учетом требований к качеству очистки ФВ и экономических возможностей, основанная на методе системного анализа с элементами динамического программирования. При разработке методики использованы технико­экономический критерий - эффективность очистки и технико-экологический критерий — разность между годовыми приведенными экономическими затратами и предотвращенным экологическим ущербом.

Разработаны технические решения по очистке ФВ рекультивируемого полигона ТБО «Софроны» и проектируемого полигона ТБО г. Перми, рекультивируемой свалки ТБО г. Чусового. Элементы разработанных технологий очистки фильтрационных вод использованы при проектировании полигонов ТБО г. Березники и г. Чайковского, г.Санкт-Петербурга.