

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Сәтбаев Университеті

Институт Химических и Биологических Технологий

Кафедра Химической и Биохимической Инженерии

Казбекова Алина Нурлановна

Планирование и оптимизация эмиссии фильтрата на полигонах ТБО

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Специальность 5В070100 – Биотехнология

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Сәтбаев Университеті

Институт Химических и Биологических Технологий

Кафедра Химической и Биохимической Инженерии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
Химической и Биохимической
Инженерии

Доктор химических наук, доцент

_____ Елигбаева Г.Ж

“ _____ ” _____ 2020 г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: " Планирование и оптимизация эмиссии фильтрата на полигонах
ТБО "

по специальности 5В070100– Биотехнология

Выполнила

Казбекова А.Н.

Научный руководитель
канд. с/х. наук, доцент,
ассоц. профессор

_____ Джамалова Г.А.

" _____ " _____ 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Сәтбаев Университеті

Институт Химических и Биологических Технологий

Кафедра Химической и Биохимической Инженерии

Специальность 5В070100 – Биотехнология

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
Химической и Биохимической
Инженерии
Доктор химических наук, доцент

_____ Елигбаева Г.Ж.

"21" мая 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающейся: *Казбековой АLINE Нурлановне*

Тема: *"Планирование и оптимизация эмиссии фильтрата на полигонах ТБО"*

Утверждена приказом Ректора Университета № 1163–б от "16" октября 2020 г.

Срок сдачи законченной работы "14" мая 2020 г.

Исходные данные к дипломному проекту

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

а) проведение теоретических исследований по изучению ключевых технологических свойств ТБО;

б) изучение факторов, влияющих на эмиссию биогаза на полигонах твердых бытовых отходов на основе метода математического планирования;

в) оптимизация на полигонах твердых бытовых отходов процесса эмиссии фильтрата в зависимости от исследуемых факторов.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): *представлены 8 слайдов в презентации проекта.*

Рекомендуемая основная литература *состоит из 39 наименований.*

ГРАФИК
подготовки дипломной проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Обзор литературы «Полигон ТБО как техногенно сформированный геологический объект»	30.03.2020	Выполнено
2 Материал и методика исследований	10.04.2020	Выполнено
3 Результаты и обсуждения	03.05.2020	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Разделы 1-3 дипломного проекта	Г.А. Джамалова канд. с/х. наук, доцент, ассоц. профессор	25.04.2020	
Нормоконтролер	Г.А. Джамалова канд. с/х. наук, доцент, ассоц. профессор	25.04.2020	

Научный руководитель _____ Джамалова Г.А.

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Казбекова А.Н.

Дата "25" апреля 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Тема дипломной работы. Планирование и оптимизация эмиссии фильтрата на полигонах ТБО.

Объект исследования: фильтрат полигона твердых бытовых отходов.

Цель дипломной работы: планирование и оптимизация эмиссии фильтрата в свалочном теле полигона ТБО.

Для достижения цели решались следующие *задачи*:

1 Провести теоретические исследования по изучению ключевых технологических свойств ТБО.

2 На основе метода математического планирования изучить факторы, влияющие на эмиссию биогаза на полигонах твердых бытовых отходов.

3 Оптимизировать на полигонах твердых бытовых отходов процесс эмиссии фильтрата в зависимости от исследуемых факторов.

Результаты исследования. В дипломной работе в экспериментальной части показаны результаты, полученные при изучении влияния независимых факторов (ХПК, БПК, рН, инфильтрационное питание, ООУ) на эмиссию фильтрата в процессе разложения органических отходов в составе ТБО на полигоне. Установлено, что наиболее существенными факторами для фильтратгенеза являются X_2 (ХПК, 1500 мг $O_2/дм^3$), X_3 (рН, 6) и X_4 (q, 0,0003 м/сут). При оптимизации исследуемых переменных процесса биоразложения X_1 (БПК, 200 мг $O_2/дм^3$), X_2 (ХПК, 1500 мг $O_2/дм^3$), X_3 (рН, 6), X_4 (q, 0,0003 м/сут) и X_5 ($C_{общ}$, 60 %), фильтрат образование находится в пределах максимума (24,82 %) от водного баланса свалочного тела полигона ТБО.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, свалочное тело, полигон, фильтратгенез, пятифакторный эксперимент.

Структура дипломной работы. Дипломная работа включает результаты исследований, выполненные на основе теоретических и расчетно-экспериментальных методов. Теоретическая часть дипломной работы проведена на основе изучения 39 научных, научно-методических и учебно-методических работ. Экспериментальная часть работы отражает результаты, выполненные на основе математического планирования и оптимизации показателей, полученных от лабораторных экспериментов за период с 2008 по 2019 г. Всего в дипломной работе представлено 6 таблиц, 15 рисунков. Дипломная работа выполнена на 32 страницах цифрового формата.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыстың тақырыбы. ҚТҚ полигондарында фильтрат эмиссиясын жоспарлау және оңтайландыру.

Зерттеу объектісі: қатты тұрмыстық қалдықтар полигонын сүзу.

Дипломдық жұмыстың мақсаты: ҚТҚ полигонының қоқыс денесіндегі сүзгілердің эмиссиясын жоспарлау және оңтайландыру.

Мақсатқа жету үшін келесі *міндеттер* шешілді:

1 ҚТҚ негізгі технологиялық қасиеттерін зерттеу бойынша теориялық зерттеулер жүргізу.

2 Математикалық жоспарлау әдісі негізінде қатты тұрмыстық қалдықтар полигондарында биогаз эмиссиясына әсер ететін факторларды зерттеу.

3 Қатты тұрмыстық қалдықтар полигондарында зерттелетін факторларға байланысты фильтрат эмиссиясының процесін оңтайландыру.

Зерттеу нәтижелері. Дипломдық жұмыста эксперименталды бөлімде полигондағы ҚТҚ құрамындағы органикалық қалдықтардың ыдырауы процесіндегі фильтрат эмиссиясына тәуелсіз факторлардың (ОХТ, ОБТ, рН, инфильтрациялық қорек, ЖОК) әсерін зерттеу кезінде алынған нәтижелер көрсетілген. Фильтратгенез үшін ең маңызды факторлар Х2 (ОХТ, 1500 мг о/дм³), х3 (рН, 6) және х4 (q, 0,0003 м/тәул) болып табылатыны анықталды. Биологиялық ыдыраудың зерттелетін ауыспалы процесін оңтайландыру кезінде Х1 (ОБТ, 200 мгО₂/дм³), Х2 (ОХТ, 1500 мг о/дм³), Х3 (рН, 6), х4 (q, 0,0003 М/тәулік) және х5 (Собщ, 60 %), сүзгіштің пайда болуы ҚТҚ полигонының қоқыс денесінің су балансынан максимум (24,82 %) шегінде болады.

Түйінді сөздер: қатты тұрмыстық қалдықтар, қоқыс денесі, полигон, фильтратгенез, бес факторлы эксперимент.

Дипломдық жұмыстың құрылымы. Дипломдық жұмыс теориялық және есептік-эксперименталды әдістер негізінде орындалған, зерттеу нәтижелерін қамтиды. Дипломдық жұмыстың теориялық бөлімі 39 ғылыми, ғылыми-әдістемелік және оқу-әдістемелік жұмыстарды зерттеу негізінде жүргізілді. Жұмыстың эксперименттік бөлігі 2008 жылдан бастап 2019 жылға дейінгі кезеңде зертханалық эксперименттерден алынған көрсеткіштерді оңтайландыру және математикалық жоспарлау негізінде орындалған нәтижелерді көрсетеді. Дипломдық жұмыста барлығы 6 кесте, 15 сурет ұсынылған. Дипломдық жұмыс сандық форматтағы 32 бетте орындалған.

ANNOTATION

Topic. Planning and optimization of filtrate emissions at solid waste landfills.

Object of study: the filtrate of the solid waste landfill.

Objective: planning and optimization of filtrate emissions at solid waste landfills.

To achieve the goal, the following *tasks* were solved:

1 Conduct theoretical research on the study of the key technological properties of solid waste.

2 Based on the method of mathematical planning, study the factors affecting the biogas emission at solid waste landfills.

3 To optimize the process of filtrate emission at solid domestic waste landfills, depending on the factors studied.

Results. In the work in the experimental part shows the results obtained by studying the influence of independent factors (COD, BOD, pH, infiltration nutrition, TOC) on the filtrate emission during the decomposition of organic waste in solid waste at the landfill. It has been established that the most significant factors for filtrate genesis are X2 (COD, 1500 mg O₂ / dm³), X3 (pH, 6) and X4 (q, 0.0003 m / day). When optimizing the studied variables of the biodegradation process, X1 (BOD, 200 mgO₂ / dm³), X2 (COD, 1500 mg O₂ / dm³), X3 (pH, 6), X4 (q, 0.0003 m / day) and X5 (General, 60%), the filtrate formation is within the maximum (24.82%) of the water balance of the landfill body.

Key words: municipal solid waste, landfill, filtrate, five-factor experiment

The structure of the work. The diploma includes research results based on theoretical and computational-experimental methods. The theoretical part of the work was carried out on the basis of the study of 39 scientific, scientific, methodological and educational works. The experimental part of the work reflects the results obtained on the basis of mathematical planning and optimization of indicators obtained from laboratory experiments for the period from 2008 to 2019. In total, thesis presents 6 tables and 15 figures. The diploma was done on 32 pages of digital format.

СОДЕРЖАНИЕ

	9
Введение	
1 Обзор литературы по теме «Полигон твердых бытовых отходов как техногенно сформированный геологический объект»	10
1.1 Твердые бытовые отходы, условия образования, классификация и свойства	10
1.1.1 Твердые бытовые отходы: определение и условия образования	10
1.1.2 Твердые бытовые отходы: морфологический состав	11
1.1.3 Органические отходы: понятие и классификация	11
1.1.4 Приоритетные методы переработки твёрдых бытовых отходов	13
1.1.5 Твердые бытовые отходы и его теплотехнические свойства	14
1.1.6 Экологические требования к отходам	14
1.2 Характеристика полигона твердых бытовых отходов	15
1.2.1 Классификация полигонов ТБО	16
1.2.2 Структурные элементы полигона ТБО	17
1.2.3 Экологические требования к полигонам ТБО	17
1.3 Образование фильтрата на полигоне твердых бытовых отходов	18
1.3.1 Особенности образования фильтрата на полигонах ТБО	18
1.3.2 Методы устранения фильтрата на полигоне ТБО	19
2 Материал и методика исследований	21
3 Результаты и обсуждение	22
Заключение	28
Библиографический список литературы	29

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Твердые бытовые отходы являются на сегодня визитной карточкой мегаполиса. Чем выше в иерархии экономики стоит мегаполис, тем больше количества твердых бытовых отходов данный мегаполис производит. В этой связи можно с уверенностью утверждать, что проблема, связанная с процессами управления твердыми бытовыми отходами в пространстве (от начала сбора их в локальных контейнерах до поступления их на промышленные технологические площадки либо для централизованного обезвреживания на полигонах ТБО, либо использования его отдельных компонентов в виде вторичного сырья для переработки) и во времени (биоразложение ТБО в свалочном теле полигона; фильтратгенез, метаногенез; процессы очистки и обезвреживания фильтрата и биогаза) актуально.

Объект исследования: фильтрат полигона твердых бытовых отходов.

Цель дипломной работы: планирование и оптимизация эмиссии фильтрата в свалочном теле полигона ТБО.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1 Провести теоретические исследования по изучению ключевых технологических свойств ТБО.

2 На основе метода математического планирования изучить факторы, влияющие на эмиссию биогаза на полигонах твердых бытовых отходов.

3 Оптимизировать на полигонах твердых бытовых отходов процесс эмиссии фильтрата в зависимости от исследуемых факторов.

Практическое значение. Исследования, направленные на изучение, методами математического планирования и оптимизации, процессов эмиссии фильтрата на техногенно-геологическом уровне, позволяют не только спрогнозировать процесс эмиссии фильтрата, образующегося в процессе биоразложения твердых бытовых отходов в свалочном теле полигона, но и выполнить различные инженерно-технические коммуникации для сбора, обезвреживания, очистки фильтрационных вод свалочного тела полигона, кроме того найти дополнительные возможности по использованию уже очищенного фильтрата для производственных или хозяйственных нужд конкретного полигона твердых бытовых отходов.

Количественные показатели дипломной работы. Дипломная работа включает результаты исследований, выполненные на основе теоретических и расчетно-экспериментальных методов. Теоретическая часть дипломной работы проведена на основе изучения 39 научных, научно-методических и учебно-методических работ. Экспериментальная часть работы отражает результаты, выполненные на основе математического планирования и оптимизации показателей, полученных от лабораторных экспериментов за период с 2008 по 2019 г. Всего в дипломной работе представлено 6 таблиц, 15 рисунков. Дипломная работа выполнена на 32 страницах цифрового формата.

1 Обзор литературы по теме «Полигон твердых бытовых отходов как техногенно сформированный геологический объект»

1.1 Твердые бытовые отходы, условия образования, классификация и свойства

1.1.1 Твердые бытовые отходы: определение и условия образования

К твердым коммунальным (бытовым) отходам (ТКО; ТБО) относят:

1) отходы, которые образуются физическими лицами:

- в жилых помещениях,
- в процессе потребления,
- на образовательных, культурных и промышленных объектах как вспомогательные отходы;

2) изделия и товары, утратившие в процессе их использования, свои потребительские свойства [1, 4 с.].

На схеме рисунка 1 представлена классификация твердых бытовых отходов.

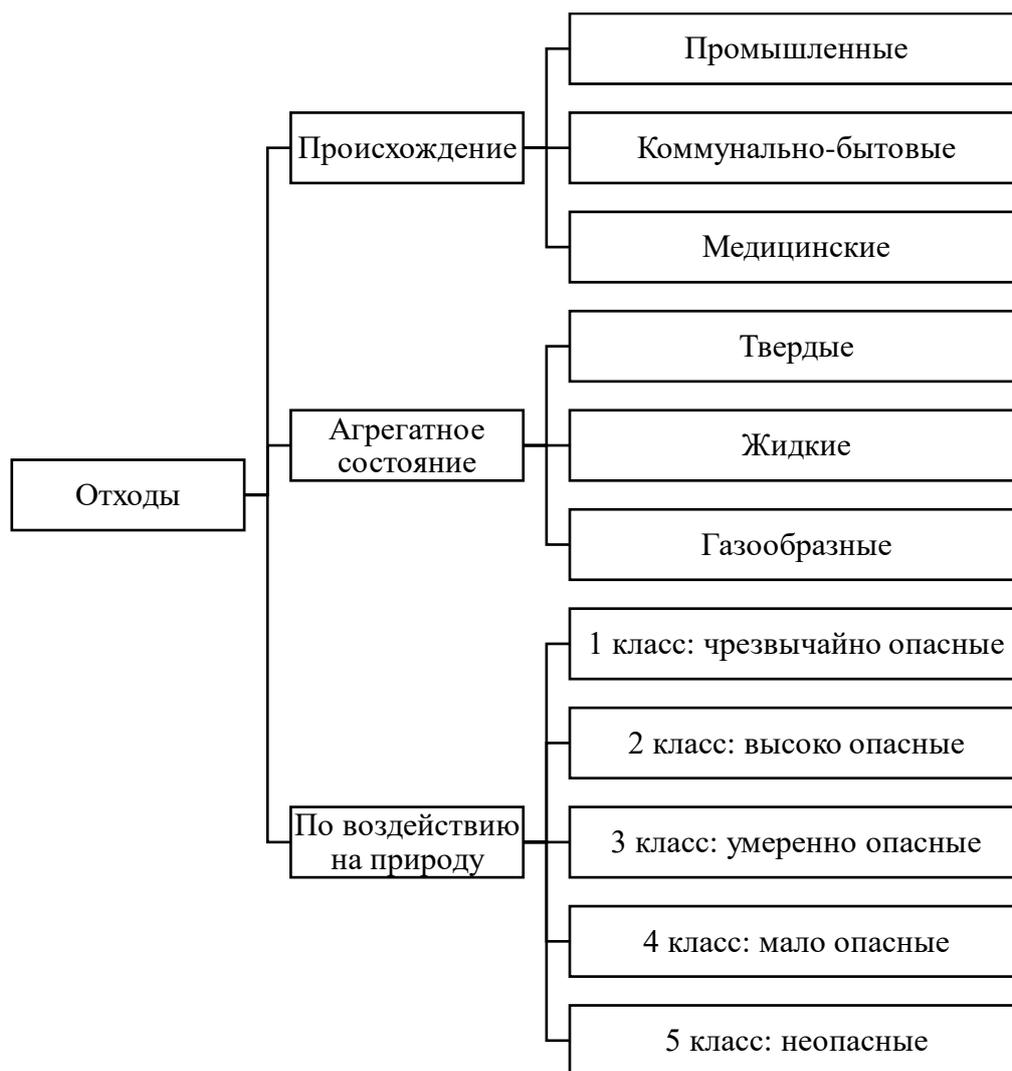


Рисунок 1 – Классификация твердых бытовых отходов

Как видно из схемы, что представлено на рисунке 1, отходы делят по происхождению на три класса, физическому состоянию – на три класса [2, 7 с.], по степени токсичности на природную среду – на пять классов [3]

1.1.2 Твердые бытовые отходы: морфологический состав

По морфологическому признаку в ТБО различают компоненты, представленные в виде схемы на рисунке 2.

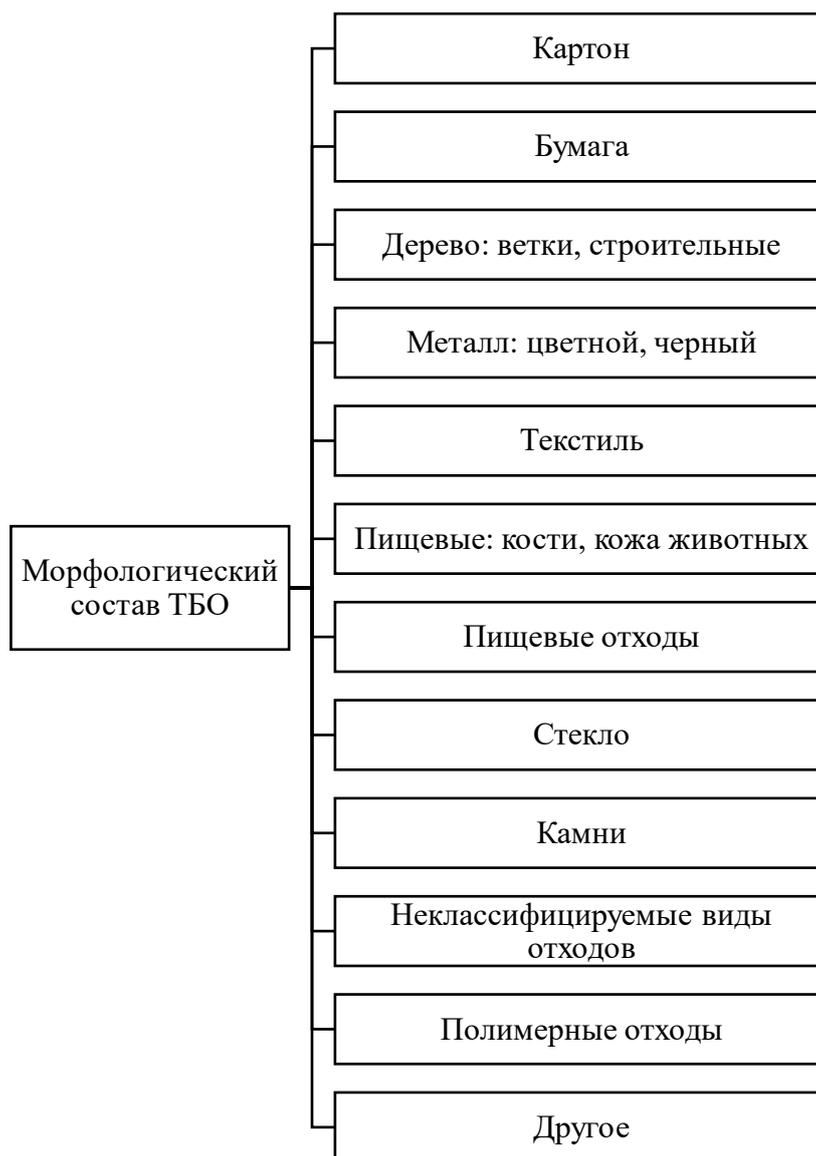


Рисунок 2 - Твердые бытовые отходы: морфологический состав [4, 6 с.]

Как видно из схемы рисунка 2, большая часть отходов в составе ТБО, это органические отходы.

1.1.3 Органические отходы: понятие и классификация

Органические отходы считаются важным источником энергии, поскольку они могут быть эффективно преобразованы в энергию с помощью ряда физических, химических и биотехнологических методов [5, 124 с.].

Классификация органических отходов представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 - Классификация органических отходов [6]



Рисунок 4 - Органические отходы, годные для компостирования

Как видно из рисунка 3, органические отходы классифицируются:

- 1) по происхождению:
 - бытовые,
 - промышленные,
 - сельскохозяйственные;

2) по физическому состоянию:

- жидкие, к ним относят сточные воды,
- полужидкие текучие – это ОСВ, полужидкий навоз,
- твердые – это твердые бытовые отходы (ТБО), пищевые и сельскохозяйственные отходы, в т.ч. подстилочный навоз [6].

Элементный состав отходов складывается из углерода (С), азота (N), фосфора (Р) и других микроэлементов [7, 27 с.].

Органические отходы, годные для компостирования представлены в виде схемы на рисунке 4.

Как видно из рисунка 4, органические отходы, годные для компостирования, делят на садово-парковые, сельскохозяйственные и пищевые [8, 73 с.].

1.1.4 Приоритетные методы переработки твёрдых бытовых отходов

Приоритетные методы переработки твёрдых бытовых отходов в виде схемы показаны на рисунке 5.

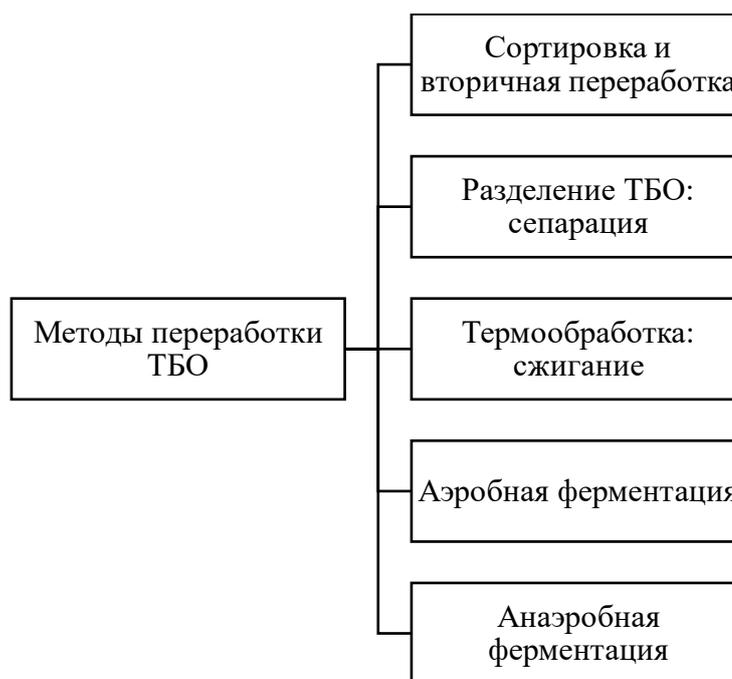


Рисунок 5 - Приоритетные методы переработки твёрдых бытовых отходов

В дополнение к рисунку 5 следует отметить, что:

1) сортируют отходы автоматически двумя подходами - прямой и косвенной. В первом случае используются свойства материала (магнитная восприимчивость, электропроводность, плотность для разделения тяжелых сред), во втором - используются датчики для обнаружения наличия и выявления местонахождения вторсырья в отходах [9];

2) сжигание практикуют, перед вывозом на свалку (полигон), для уменьшения объема ТБО [10, С.11-14];

3) при ферментации необходимо использовать биокатализаторы и биорегуляторы, тогда производят компост при аэробной ферментации (технология компостирования) и биогаз при анаэробной ферментации (технология промышленного метаногенеза) [11]:

- технология компостирования востребована благодаря термофильным бактериям, которые способны биологически производить тепло в целях санитарного очищения компостируемой массы [12],

- технология промышленного метаногенеза, т.е. технологически регулируемого анаэробного процесса биоразложения органических отходов в целях производства одноуглеродных соединений - CO_2 и CH_4 , позволяет сократить эксплуатационные расходы, свойственные таким методам переработки, как утилизация, сжигание и депонирование отходов в грунт [13].

1.1.5 Твердые бытовые отходы и его теплотехнические свойства

Влажность, теплотворность и зольность – это ключевые технологические свойства ТБО [14, с.126].

Факторы, влияющие на влажность ТБО:

- влажность воздуха,
- атмосферные осадки,
- принятая в регионе система сбора (общий, отдельный),
- морфологический состав ТБО, т.к. для одних компонентов влажность имеет высокие показатели (пищевые отходы 60-70 %), для других – ими можно пренебречь (стекло, балласт) [15].

Зольность (содержание (в %) на безводную массу негорючего остатка) складывается из минеральных примесей топлива при его полном сгорании [15].

Теплотворная способность оценивается количеством теплоты, что выделяется при полном сгорании вещества [15].

1.1.6 Экологические требования к отходам

Три уровня опасности отходов (Зеленый - индекс G; Желтый - индекс A; Красный - индекс R) [16] установлены в целях:

- соответствия Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением,

- осуществления с ТБО таких мероприятий, как транспортировка, утилизация, хранение и захоронение, устанавливаемых в соответствии с Базельской конвенцией о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением.

На рисунке 6 в виде схемы представлены требования [17], выполнение которых нужно обязательно учитывать при проектировании структур и объектов, при эксплуатации которых, в обязательном порядке, образуются отходы.

На производственных объектах сбор и временное хранение (временное размещение) отходов [18] проводится:

- 1) на специальных площадках (местах) в соответствии с классом и уровнем опасности (степень токсичности);
- 2) собирают, по мере их накопления и в соответствии с классом опасности, в специально предназначенную тару.

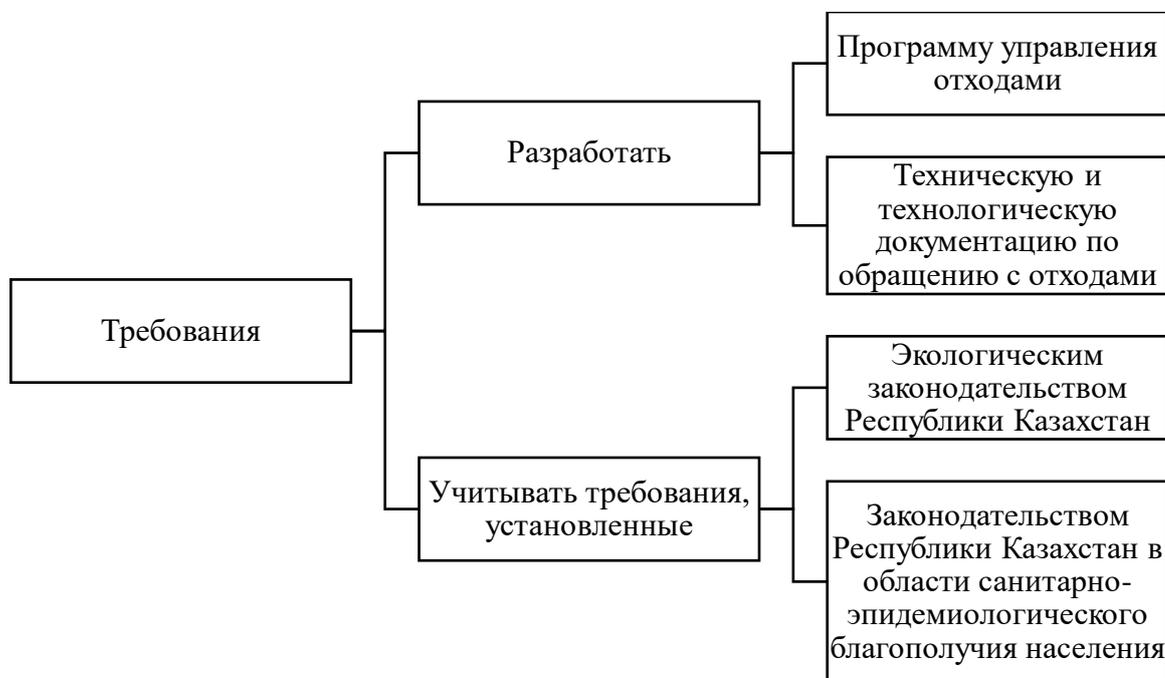


Рисунок 6 – Требования к проектной документации, которые следует учитывать при проектировании структур и объектов [17]

1.2 Характеристика полигона твердых бытовых отходов

Полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) [19, 262 с.; 20] согласно:

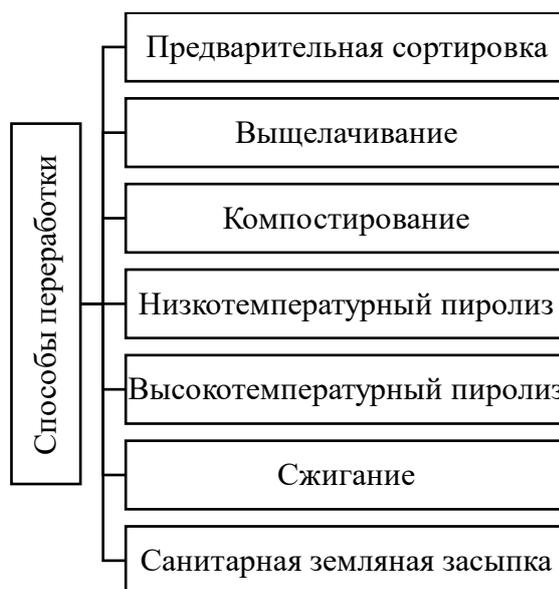


Рисунок 7 - Способы переработки ТБО [21]

1) инженерным требованиям представляют собой:

- техническое сооружение,
- техногенные геологические объекты с прогнозируемыми законами развития, определяемые, с одной стороны, размерами полигонов, условиями их эксплуатации, составом отходов, с другой, физико-географическими условиями мест складирования и, с третьей стороны, характером микробиологических процессов, происходящих в толще отходов;

2) санитарно-эпидемиологическим требованиям:

- предназначены для изоляции и обезвреживания ТБО,
- гарантируют санитарно-эпидемиологическую безопасность населения.

Способы переработки ТБО, как это видно из рисунка 7, различаются существенно, но всех их, как отметил Гуман О.М. [21, 193 с.], объединяет то, что «отходы как были, так и остаются, зато их качество значительно ухудшается».

При депонировании ТБО в грунт, многообразные по составу отходы при контакте с геологической (грунтовой) средой претерпевают сложные химико-биохимические трансформации [22], в результате которых в окружающую среду выделяются продукты их разложения в жидком, твердом и газообразном состоянии.

ТБО менее вредны по сравнению с продуктами их разложения, прежде всего, фильтрата, т.к. в его составе содержатся как опасные, так и неопасные соединения (ядовитый для окружающей среды фильтрат) [23].

1.2.1 Классификация полигонов ТБО

Согласно Экологического кодекса РК [24], полигон для размещения отходов может быть отнесен, как это показано на рисунке 8, к одному из трех классов.



Рисунок 8 – Классы полигонов для размещения отходов [24]

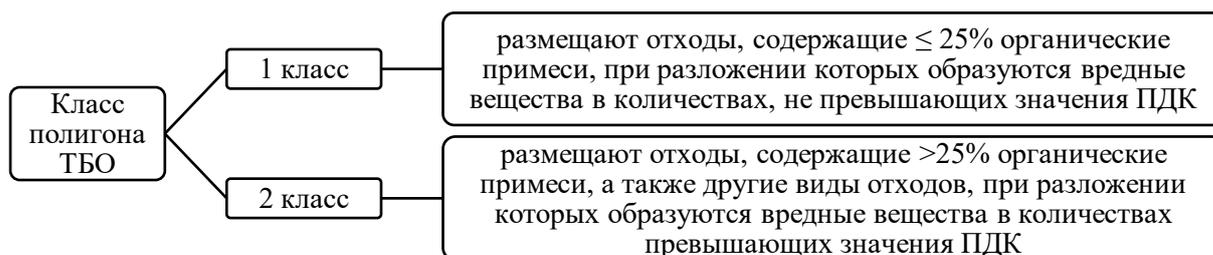


Рисунок 9 – Классификация полигонов по видам принимаемых отходов

По видам принимаемых отходов, как это показано на рисунке 9, полигоны ТБО классифицируют на два класса [25, С.6].

Как видно из рисунков 8 и 9, полигоны классифицируют на классы в зависимости от вида отходов (опасные, неопасные, твердые бытовые отходы) и содержания органических веществ в составе отходов (больше или меньше 25 %).

1.2.2 Структурные элементы полигона ТБО

Дизайн полигона включает в себя проектирование физических элементов полигона, а также инженерно-технических оперативных систем коммуникации [26].

Элементы полигона ТБО представлены в виде схемы на рисунке 10.



Рисунок 10- Элементы полигона ТБО [18, 25]

Как видно из рисунка 10, полигон включает три основных элемента, при этом проект полигона должен учитывать такие факторы, как данные о количестве и качестве отходов; решения по вопросам обезвреживания, утилизации и захоронения; о последствиях воздействия продуктов разложения на природную среду; о мероприятиях по охране объектов природной среды; методиках определения вредных веществ в природной среде.

1.2.3 Экологические требования к полигонам ТБО

Места захоронения отходов являются экологически опасными объектами. Полигон, предупреждения их негативного воздействия на окружающую среду, должен быть оборудован системой мониторинга выбросов (свалочный газ) и

фильтрата, образующихся в депонированных отходах [17]. Полигоны для захоронения отходов располагаются за пределами населенного пункта [18].

1.3 Образование фильтрата на полигоне твердых бытовых отходов

1.3.1 Особенности образования фильтрата на полигонах ТБО

Фильтрат на свалках и полигонах ТБО [27, С. 25-26]:

1) образуется:

- на участке захоронения,
- в процессе утилизации ТБО,
- путем просачивания атмосферных осадков,
- за счет биохимических процессов;

2) в толще свалочного тела:

- образует зону полного водонасыщения.
- обогащается токсичными веществами.

Токсичные вещества фильтрата являются продуктами разложения ТБО.

Основные компоненты фильтрата представлены на рисунке 11.



Рисунок 11 - Основные компоненты фильтрата свалочного тела полигона ТБО [28]

Не исключено, что с фильтратом происходит вынос бактерий:

1) кишечных инфекционных заболеваний (брюшного тифа, паратифа, дизентерии);

2) туберкулеза, столбняка, газовой гангрены, сибирской язвы [29].

Источниками образования фильтрационных вод, как это показано на рисунке 12, являются атмосферные осадки, влажность самих отходов и влага, выделяемая при биохимическом разложении органических отходов. При этом различают «молодой» и «старый» фильтрат, различающиеся по химическим и микробиологическим показателям.



Рисунок 12 - Источники образования фильтрационных вод на полигоне ТБО [30]

1.3.2 Методы устранения фильтрата на полигоне ТБО

На полигонах ТБО [31]:

1) для очистки фильтрата создаются локальные техногенные накопители, которые:

- исключают негативное влияние фильтрата на объекты окружающей среды – микробиоту, почву, воды (грунтовые, поверхностные),
- обеспечивают снижение токсичности фильтрата до уровня требований к стокам для технической цели использования;

2) обезвреживание фильтрата проводят за счет:

- вначале разрушения содержащихся в нем токсичных органических соединений,
- затем перевода оставшихся загрязнений в безопасную форму.

Если в фильтрате содержание органических примесей высококонцентрировано, то рекомендуют на начальном этапе очистке использовать биохимический метод его обработки [31].

Методы очистки фильтрата полигона ТБО показаны на рисунке 13.

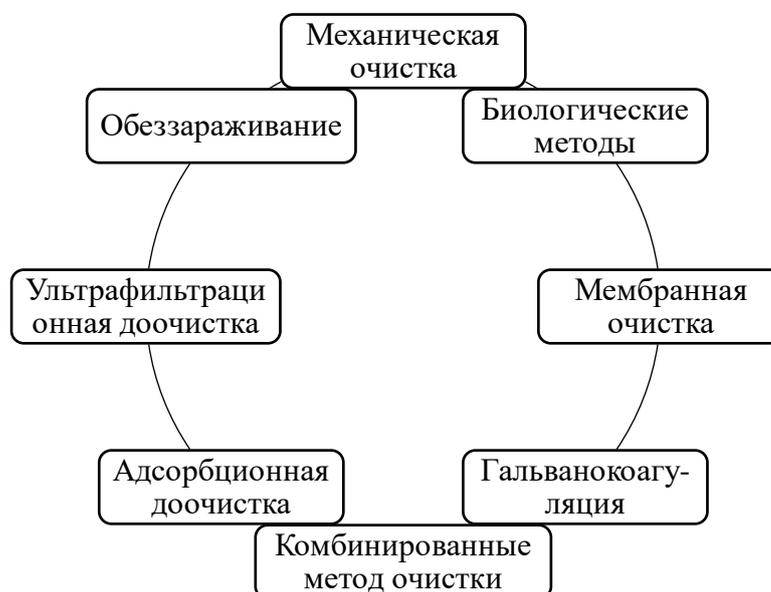


Рисунок 13 – Методы очистки фильтрата

Как видно из рисунка 13, прежде чем очистить фильтрат он проходит последовательно несколько стадий очистки и доочистки [32]

После очистки и обеззараживания, уже не токсичный безвредный для окружающей среды фильтрат полигона ТБО:

- либо сбрасывается в городскую канализационную систему,
- либо используется полигоном ТБО для технических нужд [33]

Основным мероприятием для уменьшения количества фильтрата на полигоне ТБО является строительство над новым свалочным телом водонепроницаемого экрана, который будет препятствовать инфильтрации атмосферных осадков. Образующийся таким образом поверхностный сток, стекающий по откосам полигона, не сбудет соприкасаться с отходами и, поэтому будет относиться к условно чистым [34].

2 Материал и методика исследований

Объект исследования: фильтрат полигона твердых бытовых отходов.

Методика исследования. Планирование 5-ти факторного эксперимента на основе изучения физико-химических процессов биоразложения ТБО дает возможность раскрыть эмпирическую зависимость образования фильтрата в свалочном теле полигона ТБО от влияния рассматриваемых факторов. Результат основан на методе нелинейной множественной корреляции [35-38], рассчитываемый на основе применения латинских квадратов и составления многофакторной (пятифакторной) матрицы планирования, где задаются уровни ($p=5$) рассматриваемых факторов ($n = p^2=25$), генерируемые областью факторного пространства.

В эксперименте были приняты основные для фильтратгенеза при биоразложении свалочного тела ТБО факторы:

- X_1 (БПК, $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$),
- X_2 (ХПК, $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$),
- X_3 (рН),
- X_4 (q , м/сут) и
- X_5 ($C_{\text{общ}}$, %).

В таблице 1 даны области факторного пространства.

Таблица 1 - Область факторного пространства

Факторы	Уровни факторов				
	1	2	3	4	5
X_1 – БПК, $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	200	1150	2100	3050	4000
X_2 – ХПК, $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$	1000	4500	8000	11500	15000
X_3 – рН	6	6,5	7	7,5	8
X_4 – Инфильтрационное питание (q), м/сут	0,00030	0,00033	0,00036	0,00039	0,00042
X_5 – Общий органический углерод ($C_{\text{общ}}$), %	25	33,75	42,5	51,25	60

Критерием полноты протекания процесса фильтратгенеза при биоразложении органических компонентов ТБО в свалочном теле полигона (функция Y_p , как зависимая величина) служит степень трансформации исходных веществ в конечный продукт – фильтрат (H_2O) и метан (CH_4).

По результатам ранее проведенных опытов [39] из экспериментально выявленных значений степени превращения вещества (Y , %) в фильтрат была составлена выборка (5-ти факторная матрица) по методике, проработанной в исследованиях [37, 38]. После обнаружения закономерностей для определения значимости рассматриваемых частных функций на основе метода наименьших квадратов была проведена аппроксимация, затем выведено обобщенное уравнение ($Y_{\text{об}}$), которое анализируется (R и t_R) на адекватность в целях обнаружения оптимальных условий для фильтратгенеза при биоразложении свалочного тела полигона ТБО в целях предотвращения техногенного влияния фильтрата на природную среду.

3 Результаты и обсуждение

По исследуемым факторам $X_1 - X_5$ составлена матрица планирования (таблица 2) на основе латинского квадрата. Матрица включает 25 экспериментов ($n = p^2$, где $p = 5$), в которой распределены независимые факторы X_1, X_2, \dots, X_5 по уровням 1–5.

Таблица 2 - Фактор матрицы планирования эксперимента

№ опыта	X_1		X_2		X_3		X_4		X_5		Эмиссия фильтрата %
	Уров	Зн	Уров	Зн	Уров	Зн	Уров	Зн	Уров	Зн	
1	1	200	1	1000	5	8	4	0,00039	3	42,5	25
2	1	200	2	4500	4	7,5	3	0,00036	2	33,75	31
3	1	200	3	8000	3	7	5	0,00042	1	25	27
4	1	200	4	11500	2	6,5	1	0,00030	5	60	29
5	1	200	5	15000	1	5	2	0,00033	4	51,25	28
6	2	1150	1	1000	5	8	4	0,00039	3	42,5	26
7	2	1150	2	4500	4	7,5	3	0,00036	2	33,75	33
8	2	1150	3	8000	3	7	5	0,00042	1	25	32
9	2	1150	4	11500	2	6,5	1	0,00030	5	60	35
10	2	1150	5	15000	1	5	2	0,00033	4	51,25	29
11	3	2100	1	1000	5	8	4	0,00039	3	42,5	30
12	3	2100	2	4500	4	7,5	3	0,00036	2	33,75	27
13	3	2100	3	8000	3	7	5	0,00042	1	25	33
14	3	2100	4	11500	2	6,5	1	0,00030	5	60	26
15	3	2100	5	15000	1	5	2	0,00033	4	51,25	30
16	4	3050	1	1000	5	8	4	0,00039	3	42,5	32
17	4	3050	2	4500	4	7,5	3	0,00036	2	33,75	31
18	4	3050	3	8000	3	7	5	0,00042	1	25	28
19	4	3050	4	11500	2	6,5	1	0,00030	5	60	27
20	4	3050	5	13000	1	5	2	0,00033	4	51,25	35
21	5	4000	1	1000	5	8	4	0,00039	3	42,5	26
22	5	4000	2	4500	4	7,5	3	0,00036	2	33,75	33
23	5	4000	3	8000	3	7	5	0,00042	1	25	26
24	5	4000	4	11500	2	6,5	1	0,00030	5	60	25
25	5	4000	5	15000	1	5	2	0,00033	4	51,25	29

На основе полученной выборки экспериментальных данных рассчитывают частные функции (Y_1, Y_2, \dots, Y_5), которые описывают влияние рассматриваемых факторов на эмиссию фильтрата (таблица 3, 4).

Таблица 3 - Расчет значение частных функций

№ фактора	1	2	3	4	5	Уср
X_1	25	26	30	32	26	
	31	33	27	31	33	
	27	32	33	28	26	

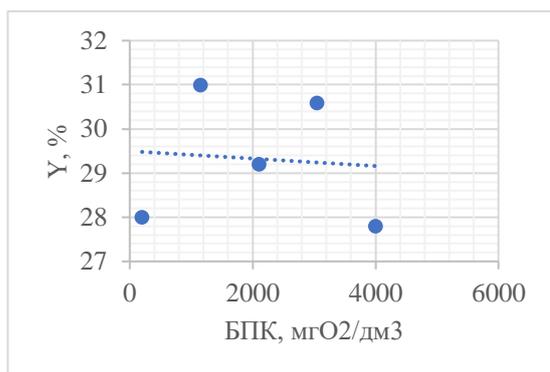
	29	35	26	27	25	
	28	29	30	35	29	
Σ	28	31	29,2	30,6	27,8	29,32
X ₂	25	31	27	29	28	
	26	33	32	35	29	
	30	27	33	26	30	
	32	31	28	27	35	
	26	33	26	25	29	
Σ	27,8	31	29,2	28,4	30,2	29,32
X ₃	28	29	27	31	25	
	29	35	32	33	26	
	30	26	33	27	30	
	35	27	28	31	32	
	29	25	26	33	26	
Σ	30,2	28,4	29,2	31	27,8	29,32
X ₄	29	28	31	25	27	
	35	29	33	26	32	
	26	30	27	30	33	
	27	35	31	32	28	
	25	29	33	26	26	
Σ	28,4	30,2	31	27,8	29,2	29,32
X ₅	27	31	25	28	29	
	32	33	26	29	35	
	33	27	30	30	26	
	28	31	32	35	27	
	26	33	26	29	25	
Σ	29,2	31	27,8	30,2	28,4	29,32

Таблица 4 - Расчет экспериментальных значений частных функций X/Y

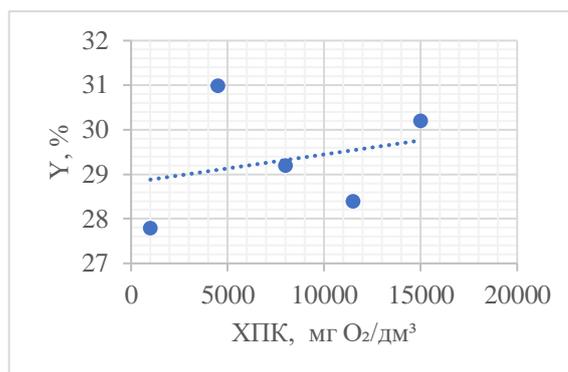
Факторы	Уровни факторов				
	1	2	3	4	5
X ₁ – БПК, мгО ₂ /дм ³	200	1150	2100	3050	4000
Y, %	28	31	29,2	30,6	27,8
X ₂ – ХПК, мг О ₂ /дм ³	1000	4500	8000	11500	15000
Y, %	27,8	31	29,2	28,4	30,2
X ₃ – pH	6	6,5	7	7,5	8
Y, %	30,2	28,4	29,2	31	27,8
X ₄ – Инфильтрационное питание (q), м/сут	0,00030	0,00033	0,00036	0,00039	0,00042
Y, %	28,4	30,2	31	27,8	29,2
X ₅ – Общий органический углерод (C _{общ}), %	25	33,75	42,5	51,25	60
Y, %	29,2	31	27,8	30,2	28,4

На основе полученных экспериментальных данных приведен рисунок 14, где представлены точечные графики: изучение влияния рассматриваемых независимых факторов (X₁ (БПК, мгО₂/дм³), X₂ (ХПК, мг О₂/дм³), X₃ (pH), X₄ (q,

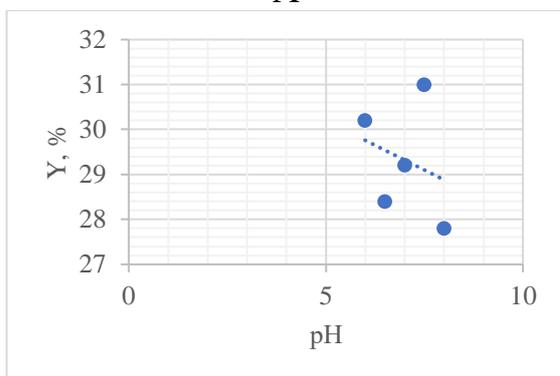
м/сут) и X_5 ($C_{\text{общ}}$, %) на фильтратгенез при биоразложении свалочного тела полигона ТБО, % образования фильтрата.



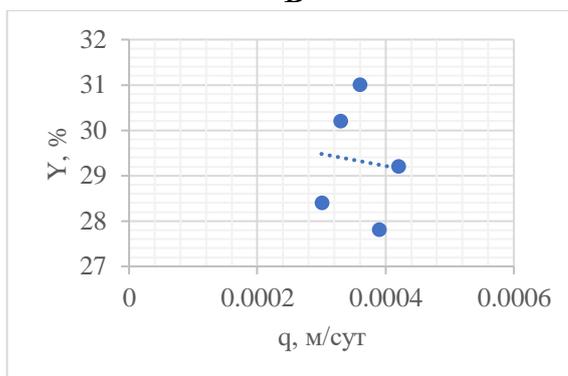
А



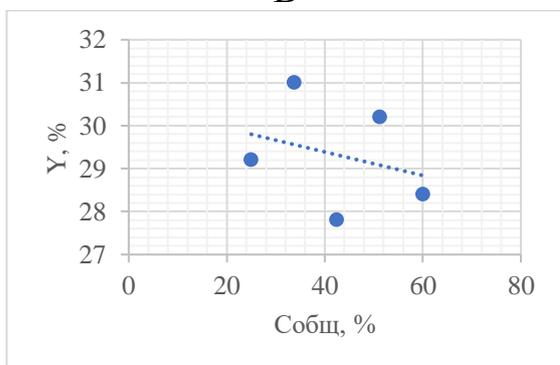
Б



В



Г



Д

Рисунок 14 - Выборка на точечные графики: изучение влияния рассматриваемых независимых факторов (X_1 (БПК, мгО²/дм³), X_2 (ХПК, мг О₂/дм³), X_3 (рН), X_4 (q, м/сут) и X_5 ($C_{\text{общ}}$, %) на фильтратгенез при биоразложении свалочного тела полигона ТБО, % образования фильтрата

В таблице 5 показаны Расчетные значения и аппроксимация исследуемой функции

Таблица 5 - Расчетные значения и аппроксимация исследуемой функции

№	X_1			
	X	Y	X^2	XY
1	200	28	40000	5600
2	1150	31	1 322 500	35650
3	2100	29,2	4 410 000	61320
4	3050	30,6	9 302 500	93330
5	4000	27,8	16 000 000	111200

Σ	10500	146,6	31 075 000	307100
№	X_2			
	X	Y	X^2	XY
1	1000	27,8	1000 000	27800
2	4500	31	20 250 000	139500
3	8000	29,2	64 000 000	233 600
4	11500	28,4	132 250 000	326 600
5	15000	30,2	225 000 000	453 000
Σ	40000	146,6	443000000	1 180 500
№	X_3			
	X	Y	X^2	XY
1	6	30,2	36	181,2
2	6,5	28,4	42,25	184,6
3	7	29,2	49	204,4
4	7,5	31	56,25	232,5
5	8	27,8	64	222,4
Σ	35	146,6	247,5	1025,1
№	X_4			
	X	Y	X^2	XY
1	0,00030	28,4	0,00000009	0,00852
2	0,00033	30,2	0,0000001089	0,009966
3	0,00036	31	0,0000001296	0,01116
4	0,00039	27,8	0,0000001521	0,010842
5	0,00042	29,2	0,0000001764	0,012264
Σ	0,0018	146,6	0,000000657	0,052752
№	X_5			
	X	Y	X^2	XY
1	25	29,2	625	730
2	33,75	31	1 139,0625	1 046,25
3	42,5	27,8	1 806,25	1 181,5
4	51,25	30,2	1 547,75	1 547,75
5	60	28,4	1 704	1704
Σ	212,5	146,6	6 822,0625	6 209,5

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n}$$

$$X_1 \quad b = \frac{5 \times 307100 - 10500 \times 146,6}{5 \times 31075000 - 10500^2} = -0.00008421052 = -0,00008$$

$$a = \frac{146,6 + 0.00008421052 \times 10500}{5} = 29,496842092 = 29,5$$

$$X_2 \quad b = \frac{5 \times 1180500 - 40000 \times 146,6}{5 \times 443000000 - 40000^2} = 0.00006260162 = 0,00006$$

$$a = \frac{146,6 - 0,00006260162 \times 40000}{5} = 28,81918704 = 28,82$$

$$X_3 \quad b = \frac{5 \times 1025,1 - 35 \times 146,6}{5 \times 247,5 - 35^2} = -0,44$$

$$a = \frac{146,6 + 0,44 \times 35}{5} = 32,4$$

$$X_4 \quad b = \frac{5 \times 0,052752 - 0,0018 \times 146,6}{5 \times 0,00000657 - 0,0018^2} = -2666,66666667 = -2666,67$$

$$a = \frac{146,6 - 2666,66666667 \times 0,0018}{5} = 28,36$$

$$X_5 \quad b = \frac{5 \times 6209,5 - 212,5 \times 146,6}{5 \times 6822,0625 - 212,5^2} = 0,0095057572 = 0,0095$$

$$a = \frac{146,6 - 0,0095057572 \times 212,5}{5} = 28,916005319 = 28,92$$

На основе метода наименьших квадратов определены теоретические алгебраические значения для исследуемых частных функций (таблица 6).

Таблица 6 - Теоретические алгебраические значения для функций

Фактор	$Y = a + b \times X$
X_1 – БПК, мгО ₂ /дм ³	$29,5 - 0,00008 \cdot X_n$
X_2 – ХПК, мг О ₂ /дм ³	$28,82 + 0,00006 \cdot X_n$
X_3 – pH	$32,4 - 0,44 \cdot X_n$
X_4 – Инфильтрационное питание (q), м/сут	$28,36 - 2666,67 \cdot X_n$
X_5 – Общий органический углерод (C _{общ}), %	$28,92 + 0,0095 \cdot X_n$

$$Y_{n1} = 29,5 - 0,00008 \times 200 = 29,48$$

$$Y_{n1} = 29,5 - 0,00008 \times 1150 = 29,41$$

$$Y_{n1} = 29,5 - 0,00008 \times 2100 = 29,33$$

$$Y_{n1} = 29,5 - 0,00008 \times 3050 = 29,26$$

$$Y_{n1} = 29,5 - 0,00008 \times 4000 = 29,18$$

$$Y_{n2} = 28,82 + 0,00006 \times 1000 = 28,88$$

$$Y_{n2} = 28,82 + 0,00006 \times 4500 = 29,09$$

$$Y_{n2} = 28,82 + 0,00006 \times 8000 = 29,3$$

$$Y_{n2} = 28,82 + 0,00006 \times 11500 = 29,51$$

$$Y_{n2} = 28,82 + 0,00006 \times 15000 = 29,72$$

$$Y_{n3} = 32,4 - 0,44 \times 6 = 29,76$$

$$Y_{n3} = 32,4 - 0,44 \times 6,5 = 29,54$$

$$Y_{n3} = 32,4 - 0,44 \times 7 = 29,32$$

$$Y_{n3} = 32,4 - 0,44 \times 7,5 = 29,1$$

$$Y_{n3} = 32,4 - 0,44 \times 8 = 28,88$$

$$Y_{n4} = 28,36 - 2666,67 \times 0,00030 = 27,56$$

$$Y_{n4} = 28,36 - 2666,67 \times 0,00033 = 27,48$$

$$Y_{n4} = 28,36 - 2666,67 \times 0,00036 = 27,4$$

$$Y_{n4} = 28,36 - 2666,67 \times 0,00039 = 27,32$$

$$Y_{n4} = 28,36 - 2666,67 \times 0,00042 = 27,24$$

$$Y_{n5} = 28,92 + 0,0095 \times 25 = 29,16$$

$$Y_{n5} = 28,92 + 0,0095 \times 33,75 = 29,24$$

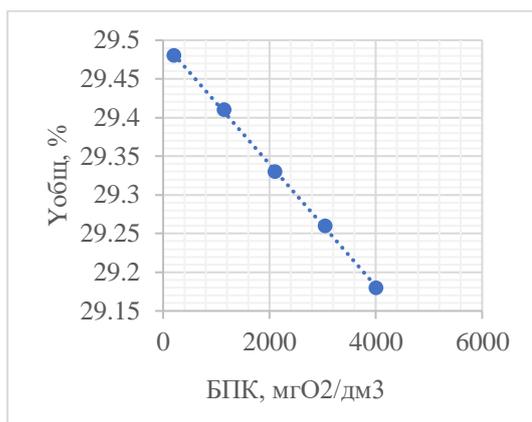
$$Y_{n5} = 28,92 + 0,0095 \times 42,5 = 29,32$$

$$Y_{n5} = 28,92 + 0,0095 \times 51,25 = 29,41$$

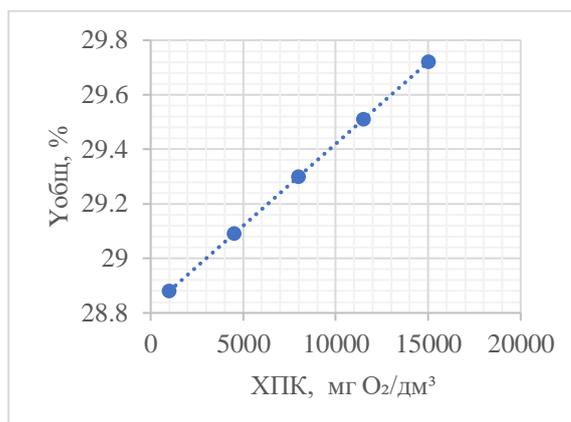
$$Y_{n5} = 28,92 + 0,0095 \times 60 = 29,49$$

На рисунке 15 показаны особенности развития фильтратгенеза ($Y_{общ}$, %) при биоразложении органических отходов в свалочном теле полигона ТБО при

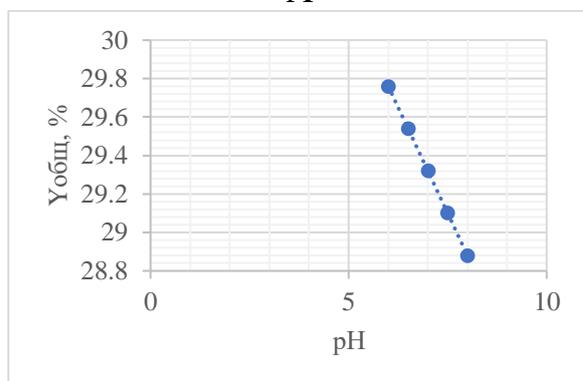
влиянии таких факторов, как X_1 (БПК, мгО₂/дм³), X_2 (ХПК, мг О₂/дм³), X_3 (рН), X_4 (q, м/сут) и X_5 (С_{общ}, %).



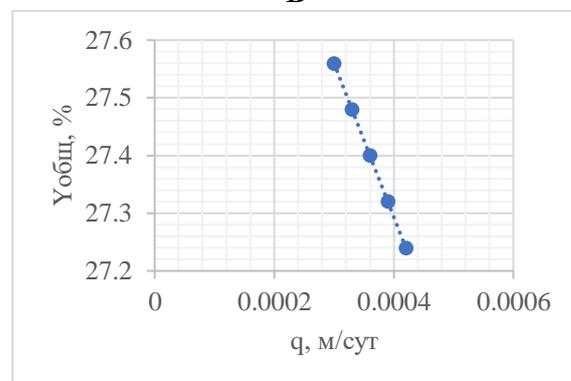
А



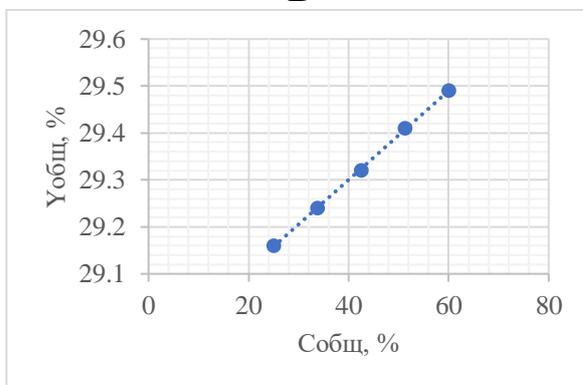
Б



В



Г



Д

Рисунок 15 - Выборка на точечные графики: изучение влияния рассматриваемых независимых факторов (X_1 (БПК, мгО₂/дм³), X_2 (ХПК, мг О₂/дм³), X_3 (рН), X_4 (q, м/сут) и X_5 (С_{общ}, %). на фильтратгенез при биоразложении свалочного тела полигона ТБО, % образования фильтрата

Как показали расчетные данные теоретических значений (рисунок 1), функция Y_2 , Y_3 и Y_4 , независимо влияющие на факторы X_2 , X_3 и X_4 , сильнодействующие для фильтратгенеза при биоразложении органических отходов в свалочном теле полигона ТБО, поскольку характеризуются ярко выраженной крутизной при изменении в интервале для фильтратгенеза 28,88 % - 29,72 %, 28,88 % - 29,76 % и 27,24 % - 27,56 % соответственно. При этом необходимо отметить, что выраженные изменения фильтратгенеза для рассматриваемых функций рассчитаны в интервале сотых долей, следовательно, опыт характеризуется высокой точностью к обнаружению закономерностей в системе фильтратгенеза при биоразложении свалочного тела полигона ТБО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влажность, теплотворность и зольность – это ключевые технологические свойства ТБО.

Фильтрат на свалках и полигонах ТБО :

1) образуется:

- на участке захоронения,
- в процессе утилизации ТБО,
- путем просачивания атмосферных осадков,
- за счет биохимических процессов;

2) в толще свалочного тела:

- образует зону полного водонасыщения.
- обогащается токсичными веществами.

Токсичные вещества фильтрата являются продуктами разложения ТБО.

Выводы. Установлено, что наиболее существенными факторами для фильтратгенеза являются X_2 (ХПК, 1500 мг $O_2/дм^3$), X_3 (рН, 6) и X_4 (q, 0,0003 м/сут). При оптимизации исследуемых переменных процесса биоразложения X_1 (БПК, 200 мг $O^2/дм^3$), X_2 (ХПК, 1500 мг $O_2/дм^3$), X_3 (рН, 6), X_4 (q, 0,0003 м/сут) и X_5 ($C_{общ}$, 60 %), фильтрат образование находится в пределах максимума (24,82 %) от водного баланса свалочного тела полигона ТБО.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Васильева Е.А. Технология обращения с твердыми коммунальными отходами: учебное пособие/ Е.А. Васильева, А. В. Левин.-Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. - 61 с.

2 Игнатъева Л. П. Гигиенические аспекты обращения с бытовыми отходами (сбор, транспортировка, обезвреживание): учебное пособие / Л. П. Игнатъева, М. О. Потапова. – Иркутск: ИГМУ, 2016. – 72 с.

3 Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан № 187 от 23 апреля 2018 года. Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к сбору, использованию, применению, обезвреживанию, транспортировке, хранению и захоронению отходов производства и потребления.

4 Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов: учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько [и др.]. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 100 экз. – 188 с.

5 Wang J. Biohydrogen Production from Organic Wastes:book/ J.Wang, Y. Yin.- Singapore: Green Energy and Technology,2017.- с.442 с.

6 Ножевникова А.Н. Микробные процессы в биотехнологии окружающей среды. Биологическая обработка органических отходов. Ремедиация загрязненных почв // Экология микроорганизмов / под ред. А.И. Нетрусова. М.: Наука, 2004. – 272 с.

7 Polprasert C. Organic Waste Recycling Technology and Management: book/ C. Polprasert.- 3rd Edition.- IWA Publishing, 2007. — 538 p.

8 Компостирование твердых органических отходов производства и потребления. Вермикомпостирование: монография; под ред. Я.И. Вайсмана. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 557 с.

9 Gundupalli S. P. A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling/ S. P. Gundupalli, S. Hait, A. Thakur// Waste Management/-2017.-pp.56-74.

10 Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов: учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько [и др.]. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015.– 188 с.

11 Мухамедова Н. Б. Анализ современных технологий сортировки твердых бытовых отходов/ Н. Б.Мухамедова, Ш.М. Абдукаримова// Достижения науки и образования/-2019.- С.15-16.

12 Jędrzszak A. Composting and fermentation of biowaste - advantages and disadvantages of processes/ A. Jędrzszak// Civil and environmental engineering reports. - 2018.- № 28 (4). -p.72-87.

13 Yesil H. Anaerobic fermentation of organic solid wastes: volatile fatty acid production and separation/ H. Yesil, A. E. Tugtas, A. Bayrakdar and B. Calli// Water Science & Technology. -2014.- p. 2132-2138.

14 Ильиных Г.В. Оценка теплотехнических свойств твердых бытовых отходов исходя из их морфологического состава/ Г.В. Ильиных// Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2013.- № 3. С. 125-137

15 Ильиных Г.В. Ресурсный потенциал хвостов ручной сортировки твердых бытовых отходов/ Г.В. Ильиных, Е.А. Устьянцев, Я.И. Вайсман // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Урбанистика. – 2012. – № 4. – С. 143–152.

16 Приказ Министра охраны окружающей среды Республики Казахстан от 31 мая 2007 года N 169-п. Об утверждении Классификатора отходов. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 2 июля 2007 года N 4775.

17 Экологический кодекс Республики Казахстан: Кодекс Республики Казахстан № 212-III от 9 января 2007 года.

18 Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан № 187 от 23 апреля 2018 года. Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к сбору, использованию, применению, обезвреживанию, транспортировке, хранению и захоронению отходов производства и потребления.

19 Туман О. М. Гидрогеохимическая модель полигона ТБО/О. М. Туман, И. А. Долинина //Известия Уральского государственного горного университета. -2003.- С. 262-274.

20 Хазанов Л.Г. Полигон твердых бытовых отходов как техногенный геологический объект/Л.Г. Хазанов//Сергеевские чтения: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. -2003.- С. 195-197.

21 Гуман О.М. Геомеханические модели полигонов твердых бытовых отходов на среднем Урале/ О.М. Гуман//Известия Уральского государственного горного университета.-2004.- С. 193-195.

22 Шарова О.А. Экологический мониторинг на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов/ О.А. Шарова, А.Н. Бармин//Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные наук. -2013.-№ 22. – С. 166-169.

23 Meegoda Jay N. Landfill Design and Operation/Jay N. Meegoda, H. Nettiarachchi, P.Nettiaratchi// Sustainable Solid Waste Management.-2016.- С.577-604.

24 Экологический кодекс Республики Казахстан: Кодекс Республики Казахстан № 212-III, 09.01.2007.

25 Дружакина О.П. Проектирование полигонов твердых бытовых отходов: учебное пособие/ О.П. Дружакина. - Ижевск: Издательство «Удмуртский университет», 2016. – 28 с.

26 Meegoda Jay N. Landfill Design and Operation/Jay N. Meegoda, H. Nettiarachchi, P. Nettiaratchi// Sustainable Solid Waste Management. -2016.- С.577-604.

27 Сметанин В. И. Образование фильтрата на свалках и полигонах ТБО/ В. И. Сметанин, А. К. Стрельников, В. В. Пчёлкин// Природообустройство. -2014.- №3.- С. 25-28

28 Бабурина Т. А. Экологическая оценка негативного влияния сточных вод полигона ТБО (фильтрата) на окружающую среду / Т.А. Бабурина// Вопросы науки и образования.-2017.-№6 (7).- С. 177-178.

29 Ступина Н.Н. Влияние полигонов и свалок на состояние водных ресурсов/ Н.Н. Ступина//Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. - 2003.- № 2.- С. 239-240.

30 Гаджикеримов В.В. Природоподобные технологии очистки фильтрационных вод, образующихся на полигонах ТКО/ В.В. Гаджикеримов, О.Ю. Белова, Д.В. Карелин // Экономика строительства и природопользования.- 2019.- С.67-76.

31 Коньгин А. А. Комплексная технология очистки фильтрата полигонов захоронения твердых бытовых отходов/ Коньгин А. А.// Academia. Архитектура и строительство.-2011.-№4.- С.105-109.

32 Солодовник М.В. Существующие технологии очистки фильтрационных вод полигонов твердых бытовых отходов/ М.В. Солодовник//Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.-2007.-№3.- С.70-73.

33 Платонова О.А. Рекомендации по обработке фильтрата ТБО мусоросжигательных заводов/ О.А. Платонова// Вестник МГСУ.-2010.-№4.- С.214-221.

34 Титов А.В. Очистка фильтрата и поверхностного стока на полигонах коммунальных отходов (на примере свалки с. Аликово чувашской республики)/ А.В. Титов// Новейшие исследования в современной науке: опыт, традиции, инновации: Сборник научных статей по материалам VI Международной научной конференции.-2018.- С. 25-29.

35 Джамалова Г.А., Ивахнюк Г.К. Количественный и качественный состав фильтрата, получаемого из биореактора при ускоренной биодеградациии твердых бытовых отходов //Известия СПбГТИ(ТУ), № 24 (50), СПб- 2014.С.73-77.

36 Джамалова Г.А. Анализ изменчивости химического состава фильтрата и эмиссии биогаза при интенсивном анаэробном разложении твердых бытовых отходов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 7-4. – С. 669-674.

37 Джамалова Г.А. Математическое планирование эмиссии биогаза и фильтрата в процессе интенсивного анаэробного разложения твердых бытовых отходов в биореакторе // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21861> (дата обращения: 06.04.2020).

38 Джамалова Г.А. Математическое планирование выхода продуктов биоразложения твердых бытовых отходов в зависимости от протокола загрузки биореактора // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21293> (дата обращения: 06.04.2020).

39 Project No.516732. Project acronym: NISMIST. Project title: Management of environmental risks associated with landfills in seismically active regions in the New Independent States (NIS) of Central Asia. 2008. 91 p.