

На правах рукописи



**АЛЬ-АХВАЛЬ НЕСРЕН АХМЕД СЕРХАН**

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С  
ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ В РЕСПУБЛИКЕ  
ЙЕМЕН (НА ПРИМЕРЕ Г.САНА)**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (в строительстве и ЖКХ)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» на кафедре «Гражданское строительство и прикладная экология»

**Научный руководитель**

доктор технических наук, профессор  
Сёмин Евгений Геннадиевич

**Официальные оппоненты**

доктор технических наук, профессор  
Журкович Виталий Владимирович,  
генеральный директор ОАО «Автопарк №6  
Спецтранс»(СПб)

кандидат технических наук, доцент  
Байдарашвили Марина Михайловна  
ФГБОУ ВПО ПГУПС, доцент кафедры  
Инженерная химия и естествознание

**Ведущая организация**

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский  
государственный технологический институт  
(технический университет)», СПбГТИ (ТУ)

Защита состоится 12 апреля 2012 г. в 16 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета ДМ 212.229.30 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, гидрокорпус 2, ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Автореферат диссертации доступен на официальном сайте СПбГПУ (<http://www.spbstu.ru/>).

Автореферат разослан « 7 » марта 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



Уманец В.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы и направленность исследований.** Научно-технический прогресс позволил с одной стороны значительно расширить возможности удовлетворения материальных и культурных потребностей человечества, но с другой - усилил техногенное воздействие на окружающую среду. Проблемы взаимоотношений человечества с окружающей средой — это глобальные проблемы современности. Важнейшей глобальной экологической проблемой является проблема загрязнения, разрушения и восстановления окружающей природной среды - проблема охраны окружающей среды.

Геосферы, частью которых является человек, до недавнего времени еще выдерживали нагрузки антропогенного воздействия на них. Но загрязнение геосфер (атмосферы, гидросферы, литосферы) достигло в последние годы глобальных размеров, а компенсационные возможности геосфер уже либо нарушены, либо находятся на пределе. Во многих точках нашей планеты сложилась сложная неблагоприятная экологическая обстановка. Во второй половине XX века возникло большое число различных отраслей экологии, в том числе экология литосферы, экологическая геология (геоэкология), экология большого города и т.д. По определению Федорова М.П., Уманца В.Н. «геоэкология может быть определена как наука об изменениях геосфер под влиянием экологических факторов, включая антропогенные».

Все жизненные ресурсы (воздух, почва, вода, пища, энергия, сырье, различные вещества) человек получает из геосфер, в геосферы человек возвращает отходы: коммунальные (бытовые), производственные (промышленные), строительные и сельскохозяйственные. Следовательно, человек активно действует на окружающую среду (ОС), преобразует и изменяет ее. Ухудшение экологической обстановки наблюдается в последние годы и в Йемене в связи с приростом народонаселения и индустриализацией страны.

К образованию большого объема твердых коммунальных отходов (ТКО) в Йемене всегда относились как к данности, которой невозможно избежать. В столице Йемена г.Сане проблема сбора и вывоза мусора стоит очень остро, и положение только ухудшается, поскольку собирается примерно 50% от общего количества отходов, вывозится примерно 70% собранного мусора (на пожароопасные открытые свалки, находящиеся поблизости от города). С каждым годом отходы накапливаются в больших количествах, оставаясь не вывезенными.

Существующие на территории Йемена полигоны (а фактически свалки) для захоронения ТКО в большинстве своем не удовлетворяют природоохранным требованиям. Они устраиваются без предварительных гидрогеологических исследований территорий, где размещаются, что не обеспечивает принятия правильных проектных решений по защите грунтовых и поверхностных вод. В частности, в них отсутствуют системы отвода, сбора и обезвреживания фильтрата; устройство систем отвода и использования биогаза

также не практикуется, в результате происходит загрязнение водных объектов и атмосферного воздуха.

Согласно оценке Европейского агентства по охране окружающей среды, ежегодно в результате эрозии теряется 5 т почвы на душу населения. За последние двадцать лет количество почвы в Йемене уменьшилось вдвое. Поэтому большое значение имеют вопросы рекультивации земель.

Актуальность и экологическая, социальная и экономическая значимость рассматриваемой проблемы обращения с отходами определили выбор темы данной диссертационной работы.

**Цель диссертационной работы** - разработка системы обращения с твердыми коммунальными отходами в республике Йемен (на примере г. Сана) для минимизации их негативного воздействия на окружающую среду.

**Идея работы:** минимизация негативного воздействия отходов на окружающую среду в республике Йемен должна быть обеспечена путем формирования и развития экономически эффективной и экологически безопасной системы обращения с твердыми коммунальными отходами, обеспечивающей комплексную переработку и утилизацию отходов, а также высокоэффективную очистку фильтратов полигонов хранения отходов.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи исследований:**

- определение и анализ морфологического состава твердых коммунальных отходов в г.Сане;
- анализ факторов воздействия на геоэкологическую среду по составу фильтрата полигона и грунтовых вод;
- поиск оптимальных технологий переработки твердых коммунальных отходов для Йемена (г.Сана) с учетом геоэкологических факторов;
- разработка технологии очистки фильтрата полигона «Аль-Азракейн» с использованием высокоосновных сорбентов-осадителей (ВОСО) отходов цементного производства г.Саны.

#### **Методы исследования.**

В качестве основных методов исследования применялись:

- сбор необходимых данных о фракционном и морфологическом составе твердых коммунальных отходов на источниках образования и на свалке проводился методом ручного сортировочного анализа по методике, разработанной Академией коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова и кафедрой ГСиПЭ ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»;
- выбор технологии переработки ТКО в г. Сана проведен с использованием методов системодинамики (Гусаров В.В., Семин Е.Г., Яковлев В.А.), сравнительных технико-экономических показателей (Мирный А.М.) и методов оценки рисков здоровью человека (Семин Е.Г., Чуркина И.О.), возможности рекультивации земель;
- химический анализ проводился с использованием методов спектрометрии, масс-спектрометрии, индуцированно-связанной плазмы, а также титрометрического метода;

- сорбция примесей проводилась сорбентом (ВОСО) в емкостях (из расчёта 500 г ВОСО на 100 л фильтрата). Имобилизация примесей фильтрата проводилась путем отверждения (цементации) осадка в цементные блоки - цементная технология, либо в обжиговых строительных материалах.

#### **Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

обеспечена использованием общепринятых, методик и методов проведения исследований, подтверждена сходимость экспериментальных данных с теоретическими исследованиями и результатами исследования других авторов.

**Личный вклад автора** заключается в постановке цели, формулировке задач и разработке методик исследований, выполнении теоретических и экспериментальных работ для развития системы обращения с ТКО в республике Йемен (на примере г.Сана), включая определение показателей свойств ТКО, сбор данных от домовладений по проблеме обращения с отходами, анализ состава фильтрата полигона и грунтовых вод, а также эксперимент по очистке фильтрата полигона с использованием ВОСО из местного сырья на основании цементного производства.

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

1. Морфологический состав ТКО в Йемене, определенный путем экспериментальных исследований проб отходов с полигона и из мусоросборных контейнеров домовладений;

2. Динамическая миграция токсичных элементов в колодезную воду, экспериментально установленная автором, приводящая к формированию высокотоксичных техногенных грунтов на расстоянии до 850 м и глубине до 300 м от полигона «Аль-Азракейн»;

3. Выбор оптимальных технологий переработки ТКО в г. Сана при проектировании процесса обращения с твердыми коммунальными отходами.

4. Технология очистки фильтрата полигона «Аль-Азракейн» с использованием высокоосновных сорбентов-осадителей (ВОСО) отходов цементного производства г.Саны с высокой эффективностью очистки .

#### **Научная новизна работы:**

- разработан системный подход к процессу обращения с отходами в Йемене (г.Сана), формализованное описание системы обращения с ТКО, включая анализ факторов воздействия на геоэкологическую среду по составу фильтрата полигона и грунтовых вод.

- впервые получены данные по характеристикам твердых коммунальных отходов г. Саны республики Йемен (норма накопления, прогноз количества образования, морфологический состав, влажность).

- определена динамическая миграция токсичных элементов фильтрата полигона ТКО в колодезную воду, приводящая к формированию высокотоксичных техногенных грунтов на расстоянии до 850 м и глубину до 300 м от полгона «Аль-Азракейн». Впервые установлено, что примеси тяжелых металлов выше ПДК  $Cd^{2+}$  диффундируют на расстояние 220 м и глубину 200 м,  $Cr^{3+}$  на расстояние 390 м и глубину 210 м и  $Ni^{2+}$  на расстояние 850 м и глубину 210 м и попадают в колодезную воду, используемую для питья жителями, живущими вблизи свалки (максимальное расстояние 200 м).

### **Практическая значимость работы:**

- материалы исследования предназначены для построения комплекса системы обращения с отходами в Йемене (на примере г. Сана);
- даны практические рекомендации для выбора оптимальных технологий переработки ТКО в г. Сана при проектировании процесса обращения с твердыми коммунальными отходами;
- предложена технология очистки фильтрата полигона ТКО с использованием высокоосновных сорбентов-осадителей для снятия негативного влияния полигона на грунтовые воды в республике Йемен;
- даны рекомендации по ограничению использования колодезной воды в пищевых целях в зоне влияния полигона хранения отходов.

### **Апробация работы.**

Основные положения работы прошли апробацию на межвузовской научно-технической конференции «XXXVI Неделя науки СПбГПУ» (2008, Санкт-Петербург), IV Международной научной конференции «Восстановление нарушенных природных экосистем» (2011, Украина), IV Международной научно-практической конференции «Экология: образование, наука, промышленность и здоровье» (2011, Белгород), II международной заочной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки» (2011, Тамбов), юбилейной Международной научно-практической конференции «XL Неделя науки СПбГПУ» (2011, Санкт-Петербург), Международной заочной научно-практической конференции «Наука сегодня: теоретические аспекты и практика применения» (2011, Тамбов).

### **Реализация результатов работы:**

- научные и практические результаты работы использованы в программе Агентства по охране окружающей среды Министерства водных ресурсов и окружающей среды республики Йемен для разработки системы обращения с ТКО г. Саны;
- материалы диссертационной работы использованы в учебном процессе Инженерно-строительного факультета Государственного университета г. Саны при подготовке бакалавров по направлению гражданское строительство и прикладная экология.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 17 печатных научных работ, из них 7 - статьи в изданиях, входящих в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации научных результатов диссертационных работ.

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, общих выводов, списка литературы. Диссертация изложена на 126 страницах основного текста, содержит 36 рисунков, 22 таблицы и 2 приложения. В списке литературы приведено 173 источников.

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ:**

Ухудшение экологической обстановки наблюдается в последние годы в Йемене в связи с ростом количества отходов, что обусловлено приростом народонаселения и индустриализацией страны.

Существующие на территории Йемена полигоны (а фактически свалки) для захоронения отходов в большинстве своем не удовлетворяют природоохранным требованиям. Они устраиваются без предварительных гидрогеологических исследований территорий, где размещаются, что не обеспечивает принятия правильных проектных решений по защите грунтовых и поверхностных вод. В столице Йемена г.Сане проблема сбора и вывоза мусора стоит очень остро, и положение только ухудшается, поскольку собирается примерно 50% от общего количества отходов, вывозится примерно 70% собранного мусора (на пожароопасные открытые свалки, находящиеся поблизости от города).

Научные основы и методология решения задач защиты почвы и вод от техногенного загрязнения отходами и обоснование захоронений токсичных строительных и коммунальных отходов в области строительной геоэкологии разрабатывались российскими учеными, среди которых: академик РАН Федоров М.П., академик РАН Рутберг Ф.Г., Вайсман Я.И., чл.-корр. РАН Гусаров В.В., Журкович В.В., Лихачев Ю.М., Систер В.Г., Мирный А.Н., Масликов В.И., Сватовская Л.Б., Семин Е.Г., Бабак Н.А., Яковлев В.А., Уманец В.Н., Шелепчиков А.А., Негуляева Е.Ю., Ивахнюк Г.К. и многие другие.

Крайне важным и актуальным вопросом для республики Йемен является развитие системы обращения с твердыми коммунальными отходами на основе фундаментальных разработок и прикладных исследований российской научной школы в области строительной геоэкологии, технологий комплексной переработки отходов и очистки фильтратов полигонов.

### **Основные защищаемые положения**

**1. Морфологический состав ТКО в Йемене, определенный путем экспериментальных исследований проб отходов с полигона и из мусоросборных контейнеров домовладений .**

Для решения задач диссертационной работы крайне важным вопросом является получение данных о характеристиках твердых коммунальных отходов, которые образуются в домовладениях г. Саны. Природоохранным законодательством республики Йемен, в частности г.Сана, не предусматривается проведение специальных исследований характеристики и свойств отходов. Поэтому данные об отходах производства и потребления отсутствуют.

В рамках диссертационной работы выполнено пилотное исследование морфологического состава ТКО, впервые для г. Саны получены данные по характеристикам ТКО (норма накопления, прогноз количества образования, морфологический состав, влажность).

Определены нормы накопления ТКО, образующихся в г.Сана на одного человека (таблица 1).

Таблица 1 – Нормы накопления ТКО на одного человека в г. Сана (Йемен)

Количество ТКО			
в день		в год	
кг	м <sup>3</sup>	кг	м <sup>3</sup>
0,65	0,00325	234	1,17

Исходя из рассчитанных норм накопления ТКО и прогнозируемой численности населения города Сана определено общее количество ТКО, которое будет накоплено до 2026 г. (рисунок 1).

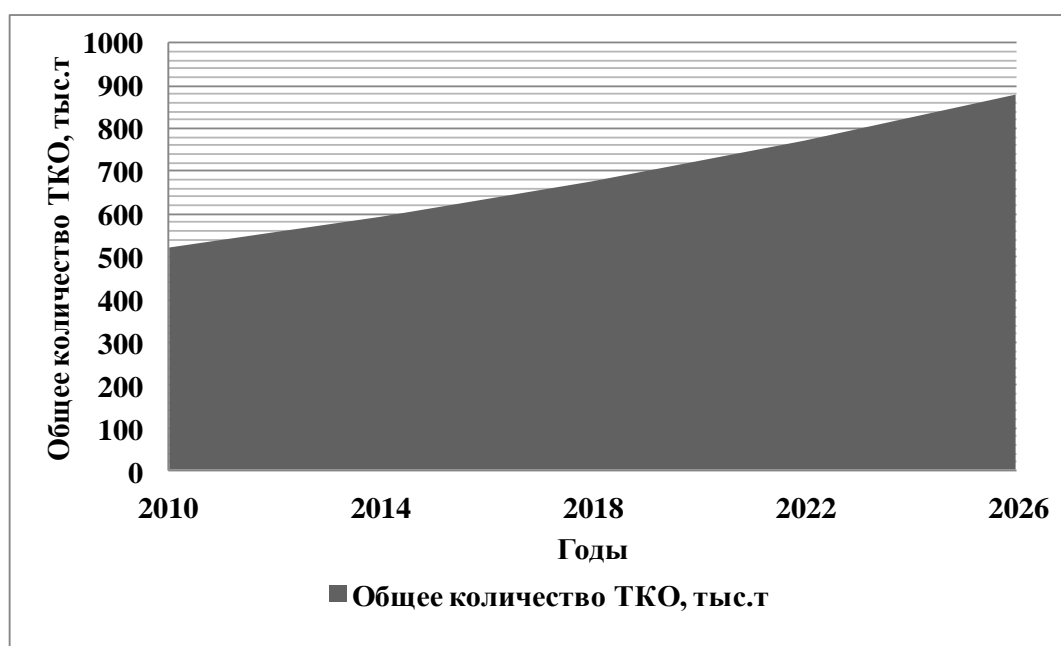


Рисунок 1 – Прогноз общего количества ТКО по г. Сана (Йемен) до 2026г.

Сбор необходимых данных о фракционном и морфологическом составе твердых коммунальных отходов на источниках образования и на свалке выполнен методом ручного сортировочного анализа по методике, разработанной Академией коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова и кафедрой ГСиПЭ ФГБОУ ВПО «СПбГПУ». Результаты исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Морфологический состав ТКО в г. Сана средние значения по объекту № 1(из контейнеров), объекту № 2(с полигона)

№	Компонент	Содержание от общей массы ТКО ( % )		
		Объект № 1	Объект № 2	Средние значения
1	Органические материалы*	54,8	43,2	49
2	Пластиковые материалы	7,7	9,5	8,6



Продолжение таблицы 2

№	Компонент	Содержание от общей массы ТКО ( % )		
		Объект № 1	Объект № 2	Средние значения
3	Металлические отходы	4,8	5,2	5
4	Кости	1,3	1,1	1,2
5	Текстиль	4,1	3,1	3,6
6	Бумага, картон	15,9	17,3	16,6
7	Стекло	3,3	4,9	4,1
8	Кожа, резина	0,9	0,9	0,9
9	Камни, керамика	1,1	5,7	3,4
10	Дерево	0,9	2,1	1,5
11	Отсев менее 15 мм.	1,5	2,9	2,2
12	Не поддающиеся разделению и идентификации	3,7	4,1	3,9
ИТОГО:		100	100	100

\* Свежая трава (кат), остатки: говядина, баранина и мясо птицы, молочная сыворотка, зерно, мука, хлеб, фруктовый и овощной жом, меласса, финики, жир, рыбные отходы, корнеплодные овощи и др.

Установлено, что влажность ТКО г. Сана колеблется в пределах 31- 35 % Результаты сортировочного анализа показали, что органические материалы, составляют практически половину всех отходов. Анализ морфологического состава ТКО г. Саны позволяет предложить технологию компостирования ТКО в основе комплексной переработки отходов для производства органического удобрения, предназначенного для улучшения свойств почв в республике Йемен. Это особенно актуально, так как за последние двадцать лет количество почвы в Йемене уменьшилось вдвое.

**2. Динамическая миграция токсичных элементов в колодезную воду, экспериментально установленная автором, приводящая к формированию высокотоксичных техногенных грунтов на расстоянии до 850 м и глубине до 300 м от полигона «Аль-Азракейн».**

Сегодня в г.Сане нет ни одного специализированного предприятия по комплексной переработке отходов, и практически все они захораниваются на полигоне «Аль-Азракейн». Полигон находится в 16 км от центра города. В настоящее время полигон является государственным предприятием, которое было создано в 1978 году для приема, обезвреживания и захоронения всех видов отходов. Полигон занимает площадь 345 400 м<sup>2</sup>, расположен на северо-западе города вблизи плодородных сельскохозяйственных земель и жилых районов. Фильтрат на полигоне выходит на поверхность и накапливается в углублениях рельефа местности между массивом отходов. Фильтрат формируется в теле полигона в результате инфильтрации атмосферных осадков, отжимных вод, биохимических и химических процессов разложения отходов. Фильтрат полигона представляет опасность в санитарно-

гигиеническом и экологическом отношении, так как характеризуется высоким содержанием токсичных органических и неорганических веществ. Для определения степени опасности фильтрата на свалке Аль-Азракейн для окружающей среды и выбора рациональных методов его обезвреживания требуется знание его химического состава и содержания в нем загрязняющих веществ.

Автором проведено лабораторное исследование образцов фильтрата и грунтовых вод, взятых с полигона отходов г. Сана и его окрестностей. Пробы грунтовых вод брались на расстоянии 10-850 метров от полигона, поскольку есть жилые районы, которые пользуются колодезной водой в качестве питьевой.

При определении химического состава образца использованы методы спектрофотометрического, спектрометрического анализа индуцированно-связанной плазмы и титриметрического анализа. Программа анализа пробы фильтрата включает в себя определение 29 показателей: рН, проводимость, ХПК, БПК<sub>5</sub>, щелочность, а также химических компонентов: азот аммиачный, нитраты, азот нитритный, сульфаты, хлориды и тяжелые металлы - железо, марганец, никель, хром, медь, цинк, кадмий и др. Результаты исследований приведены в таблицах 3 - 4.

Таблица 3 – Состав неорганических загрязнений и их концентрации в фильтрате полигона отходов г.Сана

Показатель	Значение показателя		
	Фильтрат 1	Фильтрат 2	Фильтрат 3
Цвет	Серо- черный	Серо-черный	Серо-черный
рН	6,5	6,8	6,1
Проводимость (УЭП) , (мкСм/см)	27900	27800	27700
Температура , t°	22,9	22,8	22,6
БПК <sub>5</sub> , мг/л	820	816	812
ХПК, мг/л	54400	54200	54000
БПК <sub>5</sub> /ХПК	0,02	0,02	0,02
Щелочность , мг-экв/л	2300	2500	2200
ТДС, мг/л	18135	18070	18050
Взвешенные вещества, мг/л	330	320	310
Концентрация основных ионов и азотных соединений			
Фториды (F) , мг/л	230	217	204
Азот аммиачный (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), мг/л	725	525	325
Азот нитритный (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	0,039	0,039	0,039
Нитраты (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	11,1	11,4	11,6
Хлориды (Cl), мг/л	2459,3	2279,3	2099,3
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ), мг/л	550	500	450

Продолжение таблицы 3

Показатель	Фильтрат 1	Фильтрат 2	Фильтрат 3
Концентрация основных катионов			
Магний (Mg), мг/л	470,36	393,77	313,52
Калий(K), мг/л	1600	1550	1500
Кальций(Ca), мг/л	4000,23	3687,36	3200,21
Марганец (Mn), мг/л	17,5	17	16,8
Железо (Fe), мг/л	26,5	25,5	25
Натрий(Na),мг/л	3700	3600	3500
Концентрация тяжелых металлов			
Никель (Ni ),мг/л	2,95	2,78	2,1
Хром общий (Cr),мг/л	0,169	0,162	0,159
Цинк (Zn), мг/л	6,2	5,8	5,1
Свинец (Pb), мг/л	2,72	2,525	2,31
Кадмий (Cd),мг/л	1,58	1,575	1,52
Медь (Cu),мг/л	13,5	12,8	12
Кобальт (Co),мг/л	4,9	4,8	4,6

Таблица 4 – Химический состав грунтовых вод по данным анализа проб

Показатель	Значение показателя в семи пробах, мг/л							ПДК для ВОЗ**	ПДК для Йемена
	1	2*	3*	4	5	6	7*		
Mn	0.130	0.145	0.117	0.128	0.051	0.050	0.009	0.1-0.5	0.1-0.2
Cu	0.15	0.16	0.12	0.14	0.01	0.02	0.04	1.0-2.0	0.5-1
Fe	0.06	0.52	0.31	0.04	0.019	0.016	0.19	0.3	0.3
Ni	0.045	0.05	0.03	0.039	0.03	0.026	0.025	0.02	0.01
Cr	0.022	0.085	0.065	0.02	0.019	0.016	0.02	0.05	0.05
Zn	0.17	0.18	0.13	0.14	0.11	0.10	0.12	3	5
Cd	0.0028	0.0057	0.0019	0.0025	0.0022	0.0012	0.0010	0.003	0.005
F <sup>-</sup>	1.4	1.75	1.50	1.2	1.0	0.5	0.4	0.5-1.5	0.5-1.5
Pb	0.009	0.019	0.015	0.007	0.006	0.004	0.011	0.01	0.05

\* Скважины, расположенные к северо-востоку от полигона

\*\*Всемирная организация здравоохранения

Анализ полученных данных по исследованию химического состава фильтрата с полигона захоронения отходов г. Сана и грунтовых вод показал:

- в фильтрате содержатся органические соединения, неорганические анионы, более 20 ионов (азотных соединений и тяжелых металлов);
- в пробах подземных вод содержится целый ряд неорганических токсичных химических соединений в концентрациях, превышающих (ПДК) по ионам (кадмий, хром, никель, железо и фторид). На рисунках 2-3 показаны графики изменения концентраций никеля, железа, кадмия, хрома и фторида в грунтовых водах по мере удаления от полигона до 850 м.

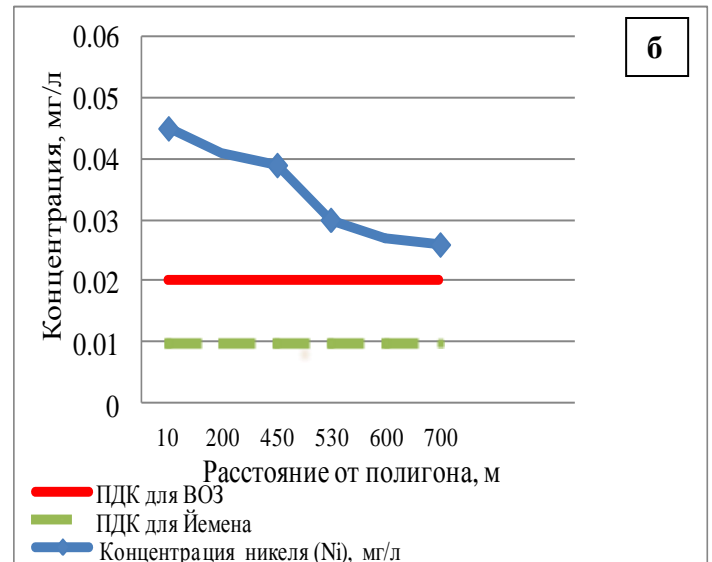
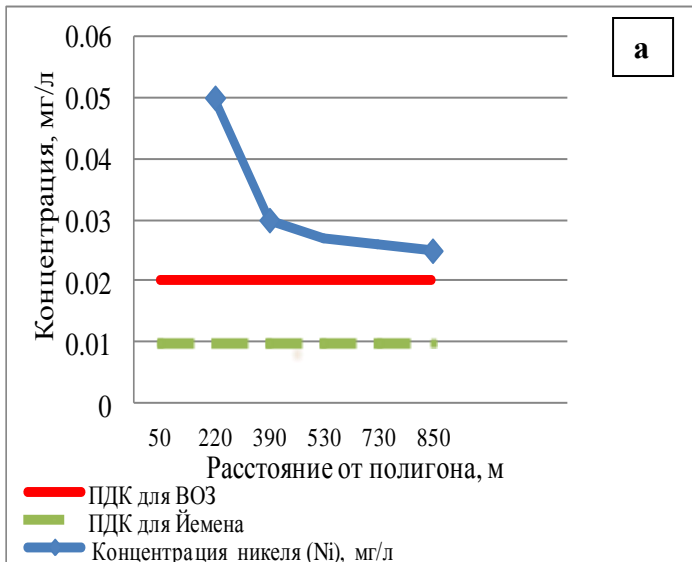


Рисунок 2 – Концентрация никеля в скважинах, расположенных (а) к северо-востоку от полигона, (б) к юго-западу от полигона

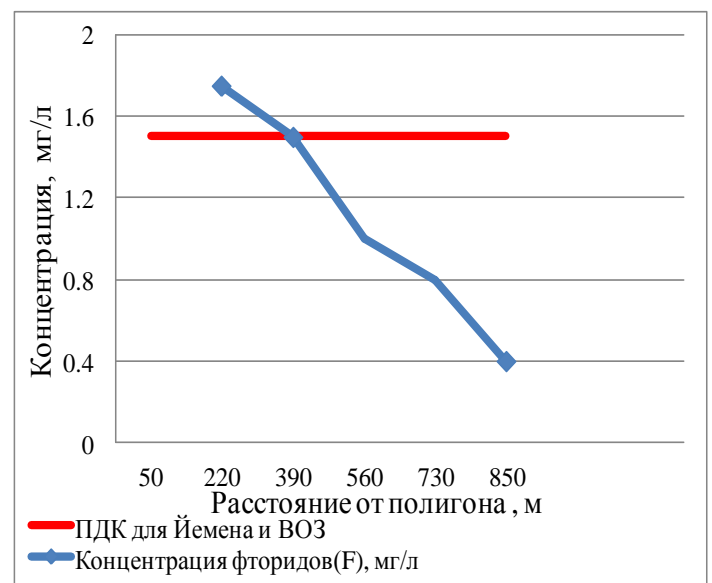
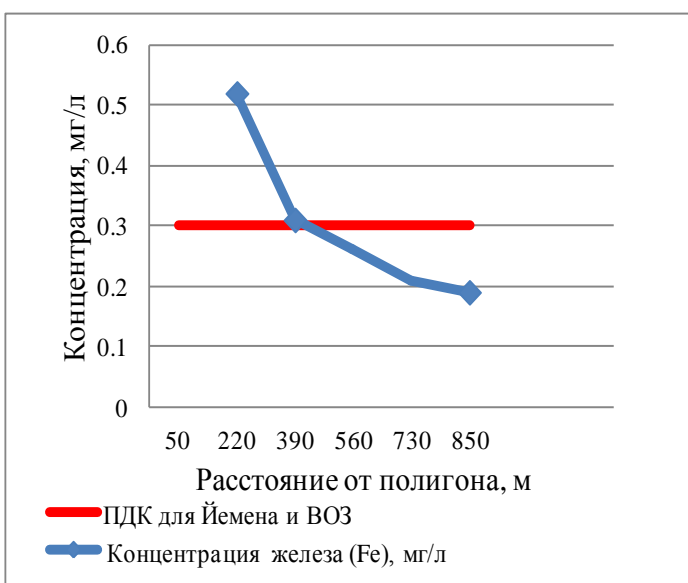
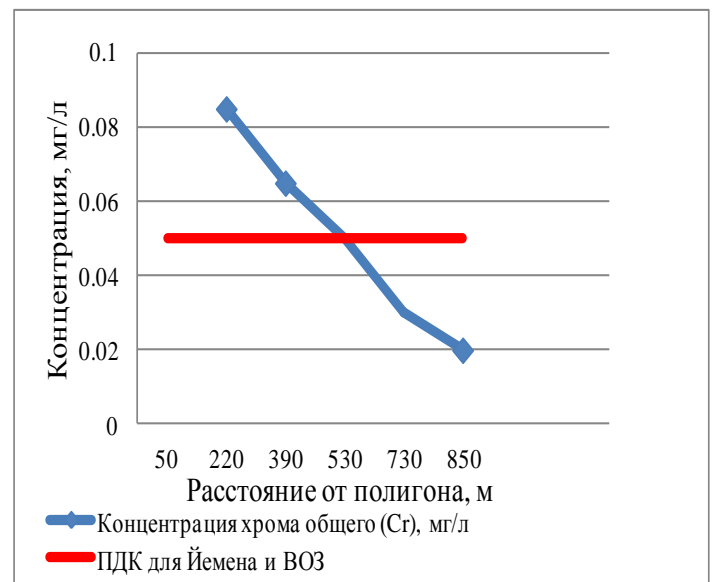
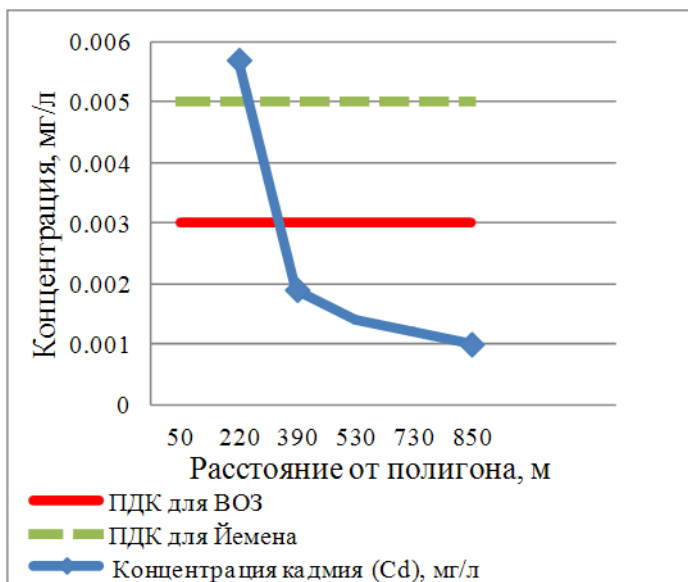


Рисунок 3 – Концентрация тяжелых металлов и фторидов в скважинах, расположенных к северо-востоку от полигона

Определена динамическая миграция токсичных элементов фильтрата полигона ТКО в колодезную воду, приводящая к формированию высокотоксичных техногенных грунтов на расстоянии до 850 м и глубину до 300 м от полигона «Аль-Азракейн». Впервые установлено, что примеси тяжелых металлов выше ПДК  $\text{Cd}^{2+}$  диффундируют на расстояние 220 м и глубину 200 м,  $\text{Cr}^{3+}$  на расстояние 390 м и глубину 210 м и  $\text{Ni}^{2+}$  на расстояние 850 м и глубину 210 м и попадают в колодезную воду, используемую для питья жителями, живущими вблизи свалки (максимальное расстояние 200 м).

Исследования химического состава фильтрата, влияния фильтрата на грунтовые воды свидетельствует о необходимости разработки технологий очистки фильтрата полигона отходов «Аль-Азракейн» и рекомендации по ограничению использования колодезной воды в пищевых целях в зоне влияния полигона хранения отходов.

### **3. Выбор оптимальных технологий переработки ТКО в г. Сана при проектировании процесса обращения с твердыми коммунальными отходами.**

Рассмотрены необходимые условия для планирования системы обращения ТКО для городов Йемена, руководствуясь комплексом критериев для принятия решений: системно—динамических (Семина Е.Г., Гусаров В.В., Яковлев В.А.), эколого-экономических (Мирный А.Н.), ресурсосберегающих, а также критериев оценки риска для здоровья человека.

Данные критерии характеризуют максимальный уровень стабильности системы «техногенное воздействие – окружающая среда» при минимальном производстве энтропии, который обеспечивается одновременным минимумом энергетических затрат и расхода материальных ресурсов на единицу продукции и минимальным значением риска для здоровья человека.

Исследования состава и свойств ТКО г. Саны показали, что органические материалы, составляющие практически половину всех отходов, могут быть использованы в производстве органического удобрения, богатого питательными веществами, которые могут быть добавлены в почвы с целью улучшения их свойств и для увеличения производства сельскохозяйственной продукции. В связи со значительным содержанием органики в мусоре Йемена предложена для внедрения технология мусоропереработки посредством строительства мусороперерабатывающего завода вблизи полигона, аналогичного существующему в г. Санкт-Петербурге МПБО «Завод по механизированной переработке бытовых отходов» (рисунок 4). Определено, что внедрение технологии компостирования позволит получать 216 тыс.т компоста ежегодно, а также рекультивировать 17 км<sup>2</sup> земли в год. Важным условием при этом будет внедрение раздельного сбора экологически безопасных и токсичных отходов.

Предложено разделение органических и неорганических отходов (методом раздельного сбора) и создание станций анаэробного брожения в

малых городах Йемена (Аль-Баеда, Ебб, Марерб, Аль-жоф) для получения компоста и производства биогаза из-за высокой доли органических материалов.

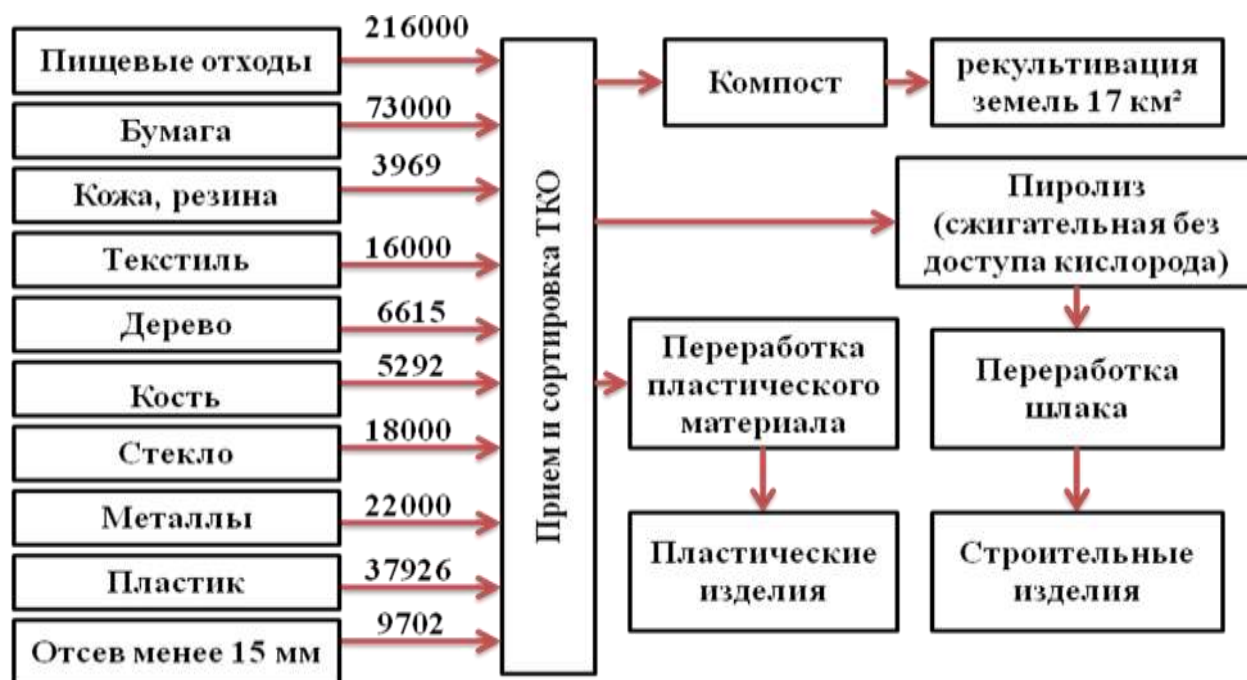


Рисунок 4 – Комплексная система переработки твердых коммунальных отходов на заводе (предлагаемая схема в г. Сана, 441 000 т/г)

Предложено использовать технологии раздельного сбора отходов и выделены фракции (пластик, металл, стекло, текстиль и бумага), производство которых из сырьевых материалов требует больших затрат энергии и ресурсов.

Определен экономический и социально-экологический эффект для завода по комплексной переработке ТКО в г. Сана. Использование вторичного сырья, полученного в результате раздельного сбора отходов, позволит снизить энерго- и водопотребление при производстве данных материалов (таблица 5).

Таблица 5 – Опосредованная экономия энергии и ресурсов и экологический эффект при осуществлении комплексной технологии ТКО в г.Сана

Вид продукции	Выделенная фракция т/г	Энергопотребление, МДж/т	Водопотребление, м³/т	Экономия	
				электроэнергии, МДж/г	воды м³/г
Металл	22045	2000	250	44·10 <sup>6</sup>	6·10 <sup>6</sup>
Стекло	18077	390-480	600	9·10 <sup>6</sup>	11·10 <sup>6</sup>
Текстиль*	15873	3600-9000	2000	143·10 <sup>6</sup>	32·10 <sup>6</sup>
Бумага	73190	2340	1500	171·10 <sup>6</sup>	110·10 <sup>6</sup>
Пластик	37918	10200	500-1000	387·10 <sup>6</sup>	38·10 <sup>6</sup>

\*Текстиль, МДж/1тыс.м<sup>2</sup>.  
Рекультивировать 17 км<sup>2</sup> земель

Подтверждено, что предложение о строительстве завода по сжиганию отходов в йеменских городах неэффективно из-за диоксинов, образующихся в результате сжигания отходов. В качестве альтернативы сжиганию для обезвреживания медицинских отходов предложено использовать принципиально новый метод утилизации опасных отходов - метод «энергетических плазменных технологий», разработанный академиком РАН проф. СПбГПУ Рутбергом Ф.Г. Плазменный реактор перерабатывает до 200 кг отходов в час.

Подчеркнута важность реализации концепции «ноль отходов» в Йемене, раскрыта общая концепция «ноль отходов» для принятия к осуществлению принципов этой стратегии в условиях республики Йемен, включая создание агентств, ответственных за внедрение этой стратегии и достижение поставленных задач; одобрение правовой ответственности производителей; запрещение мусоросжигательных заводов как средства управления отходами; развитие индустрии воспроизводства ресурсов; стимулирование населения к снижению производства отходов и участию для решения проблемы экологически безопасного обращения с отходами.

С целью анализа состояния и формирования системы обращения с ТКО в г. Санае (Йемен) проведено анкетирование домовладений по изучению социального участия в обращении ТКО с последующим анализом его результатов. Выборка охватывала 100 домов (по 10 домов от каждого района) с общим числом жителей около 1 тысячи человек, что удовлетворяет критериям репрезентативности по числу жителей г. Саны. Установлено 17 различных фактов об участии населения в системе обращения с ТКО – время, способ сбора и хранения, частота выноса бытовых отходов из домовладений; отношение населения к качеству услуг по вывозу отходов, предел желательной платы за вывоз отходов и прочие. В результате исследований установлено, что 93% опрошенных жителей готовы участвовать в раздельном сборе ТКО.

#### **4. Технология очистки фильтрата полигона «Аль-Азракейн» с использованием высокоосновных сорбентов-осадителей (ВОСО) отходов цементного производства г.Саны с высокой эффективностью очистки.**

Рассмотрена технология очистки фильтрата полигона с использованием разработок кафедры «Городское строительство и прикладная экология» СПбГПУ, автором предложена система очистки фильтратов с полигонов с использованием высокоосновных сорбентов-осадителей (ВОСО) отходов цементного производства г. Саны, основанная на физико-химических процессах, протекающих в электроположительных и электроотрицательных фазах этих растворов.

Отходы цементного производства (циклонные остатки) представляют собой мелкодиспергированный порошок, имеющий в своем составе CaO до 45,9%, SiO<sub>2</sub> до 22%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 8%, K<sub>2</sub>O до 7,3%, MgO до 3,5%, Na<sub>2</sub>O до 5,25%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 5,71% , TiO<sub>2</sub> до 1%.

Разработанная технология позволяет производить очистку жидких отходов тяжелых металлов с большой эффективностью, которая позволяет затем направить очищенные воды в оборотное водопотребление, сокращая расход природных водоресурсов. Полученные после очистки осадки-шламы концентрируются и далее направляются на захоронение по штатным технологиям или на переработку для извлечения нужных ценных компонентов.

Таблица 6 – Количественный состав примесей в фильтрах полигона отходов г. Сана до и после очистки

Наименование компонентов	Концентрация компонента в фильтрате , мг/дм <sup>3</sup>	Концентрация компонента в пробе после очистки , мг/дм <sup>3</sup>	ПДК для Йемена
рН	6,8	6,5	6,5 - 8,5
Взвешенные вещества	320	20	-
Азот аммиачный	525	1,60	-
Нитраты	11,4	2,1	50
Азот нитритный	0,039	0,031	-
Хлориды	2279,3	590	600
Сульфаты	500	400	400
БПК <sub>5</sub>	816	5,0	5,0
Марганец	17,0	0,08	0,1
Калий	1550	1100	-
Кальций	3687,36	150	200
Магний	393,77	120	-
Железо	25,5	0,3	0,3
Натрий	3600	500	400
Никель	2,78	0,009	0,01
Хром общий	0,162	0,01	0,05
Свинец	2,525	0,03	0,05
Кадмий	1,575	0,005	0,005
Медь	12,8	0,6	0,5-1
Нефтепродукты	0,80	0,14	-
Карбонат-ион	3050	200	-

Исследования показали, что концентрации компонентов фильтрата после очистки удовлетворяют требованиям по ПДК для Йемена. Анализ полученных данных свидетельствует о высокой эффективности высокоосновных сорбентов-осадителей для очистки фильтратов полигона отходов с эффективностью очистки более 99%, что согласуется с таковыми для городов Санкт-Петербурга, Москвы, Воронежа.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научная и практическая задача разработки системы обращения с твердыми коммунальными отходами республики Йемен (на примере г. Сана) для защиты геоэкологической среды региона от загрязнения.

### Основные научные и практические выводы:

1. Определен морфологический состав твердых коммунальных отходов в г. Сана. Впервые для г. Саны получены данные по характеристикам ТКО (норма накопления, прогноз количества образования, морфологический состав, влажность). Результаты сортировочного анализа показали, что органические материалы, составляют практически половину всех отходов (49% в среднем), бамаги и картона содержится 16,6%, пластиковых материалов 8,6 %, металл 5%. Доля остальных компонентов составляет менее 5%. Анализ морфологического состава ТКО г. Саны позволяет предложить технологию компостирования ТКО в основе комплексной переработки отходов для производства органического удобрения, предназначенного для улучшения свойств почв в республике Йемен.

2. Анализ факторов воздействия на геоэкологическую среду по составу фильтрата полигона и грунтовых вод позволил установить динамическую миграцию токсичных элементов в колодезную воду, приводящую к формированию высокотоксичных техногенных грунтов на расстоянии до 850 м и глубину до 300 м от полигона «Аль-Азракейн». Впервые установлено, что примеси тяжелых металлов выше ПДК  $Cd^{2+}$  диффундируют на расстояние 220 м и глубину 200 м,  $Cr^{3+}$  на расстояние 390 м и глубину 210 м и  $Ni^{2+}$  на расстояние 850 м и глубину 210 м и попадают в колодезную воду, используемую для питья жителями, живущими вблизи свалки (максимальное расстояние 200 м).

Исследования химического состава фильтрата, влияния фильтрата на грунтовые воды показали необходимость разработки технологий очистки фильтрата полигона отходов «Аль-Азракейн» и ограничение использования колодезной воды в пищевых целях в зоне влияния полигона хранения отходов.

3. Определены оптимальные технологии переработки твердых коммунальных отходов для Йемена (г. Сана).

В связи со значительным содержанием органики в мусоре Йемена предложена для внедрения технология мусоропереработки посредством строительства мусороперерабатывающего завода вблизи полигона, аналогичного существующему в г. Санкт-Петербурге МПБО «Завод по механизированной переработке бытовых отходов». Определено, что внедрение технологии компостирования позволит получать 216 тыс. т компоста ежегодно, а также рекультивировать 17 км<sup>2</sup> земли в год.

Определен экономический и социально-экологический эффект для завода по комплексной переработки ТКО в г. Сана. Использование вторичного сырья,

полученного в результате раздельного сбора отходов, позволит снизить энерго- и водопотребление при производстве данных материалов.

Рекомендован принципиально новый метод утилизации опасных отходов - метод «энергетических плазменных технологий», разработанный академиком РАН проф. СПбГПУ Рутбергом Ф. Г.

С целью анализа состояния и формирования системы обращения с ТКО в г. Санае (Йемен) проведено анкетирование домовладений по изучению социального участия в обращении ТКО. Установлено 17 различных фактов об участии населения в системе обращения с ТКО – время, способ сбора и хранения, частота выноса бытовых отходов из домовладений; отношение населения к качеству услуг по вывозу отходов, предел желательной платы за вывоз отходов и прочие. В результате исследований установлено, что 93% опрошенных жителей готовы участвовать в раздельном сборе ТКО.

4. Разработана технология очистки фильтрата полигона «Аль-Азракейн» с использованием высокоосновных сорбентов-осадителей (ВОСО) отходов цементного производства г. Саны. Разработанная технология позволяет производить очистку жидких отходов от тяжелых металлов с большой эффективностью, которая позволяет затем направить очищенные воды в оборотное водопотребление, сокращая расход природных водоресурсов. Показана высокая эффективность высокоосновных сорбентов-осадителей для очистки фильтратов полигона отходов с эффективностью очистки более 99 %, что согласуется с таковыми для городов Санкт-Петербурга, Москвы, Воронежа. Полученные после очистки осадки-шламы концентрируются и далее направляются на захоронение по штатным технологиям или на переработку для извлечения нужных ценных компонентов.

## **Основные положения диссертации опубликованы в 17 работах.**

### **Публикации по перечню ВАК**

1. Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г. Решение проблемы ТБО в Йемене: первые шаги // Экология и жизнь. – 2010. – № 4. – С. 34-35.
2. Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г. Оценка влияния твердых коммунальных отходов на загрязнение окружающей среды (на примере Йемена) // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. – 2010. – № 2. – С.209-215.
3. Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г. Влияние фильтрата полигона отходов на загрязнения грунтовых вод в городе Санае (Йемен) // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Сер. «Естеств. науки». – 2011. – № 2. – С. 122-125.
4. Аль-Ахваль Н.С. Экологические выгоды от переработки твердых отходов в Йемене // Вопросы современной науки и практики. Сер. « Биология. Экология. Бионанотехнологии». – Тамбов, 2011. – Вып. 2.– С. 42-44.
5. Аль-Ахваль Н.С. Анализ существующей системы обращения с твердыми коммунальными отходами в Йемене // Экология и промышленность России. – М., 2011. – С. 54-56.
6. Аль-Ахваль Н.С. Определение морфологического состава твердых коммунальных отходов в г. Сана (Йемен) // Вестн. Тамбов. ун-та.– 2011. – Т. 16, вып. 3. – С. 928-931.

7. Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г. Характеристики фильтрата и грунтовых вод загрязнения на полигоне твердых отходов в городе Сана, Йемен // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. – 2011. – № 3. – С. 203-211.

#### **Публикации в других изданиях**

8. Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г. Йемен: обращение с бытовыми отходами в Сана // Твердые бытовые отходы. – 2011. – № 6. – С. 76-79.

9. Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г. Стратегия развития переработки твердых коммунальных отходов в республике Йемен (г. Сана) // Восстановление нарушенных природных экосистем : Материалы 4-й Междунар. науч. конф. – Донецк, 2011. – С. 29-31.

10. Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г. Переработка отходов и снижение негативного влияния полигона на грунтовые воды в республике Йемен (г. Сана) // Экология: образование, наука, промышленность и здоровье : Материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород, 2011. – С. 6-8.

11. Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г. Участие населения в обращении твердых коммунальных отходов (ТКО) в Йемене (г.Сана) // Актуальные проблемы науки : Материалы 2-й Междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Тамбов, 2011. – С. 21-22.

12. Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г. Вопросы рекультивации обработки земли в Йемене путем использования компоста // Неделя науки 40 : Материалы юбил. междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2011. – С. 415-416.

13. Аль-Ахваль Н.С., Цибиногин А.А., Семин Е.Г. Расчет нормативов образования отходов Петроградского района // Неделя науки 40 : Материалы юбил. междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2011. – С. 416-417.

14. Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г., Аль-Дабхани А.А. Комплексная система обращения с отходами в Йемене : Учеб. пособие. – Сана (Йемен), 2010. – 37 с.

15. Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г. Жилищно-коммунальное хозяйство Йемена // Жизнь и безопасность. – 2011. – № 3-4. – С. 66-72.

16. Al-Ahwal N.S., Semina K.E., Tihomirova E.G. et al. Recovery of ceramic compositions with high merits on the basis of slags and fly ashes by burning activated sludge // Неделя науки 36 : Материалы Всерос. межвуз. науч.-техн. конф. – СПб., 2008. – С. 119-120.

17. Al-Ahwal N.S., Semin E.G. The analysis of landfill leachate pollution in Sana'a city (Yemen) // Неделя науки 40 : Материалы юбил. междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2011. – С. 417-418.