

На правах рукописи

СЕЛИВАНОВА Светлана Викторовна

**СТАТИКА И ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ИММОБИЛИЗАЦИИ
ОТХОДОВ МЕГАПОЛИСА**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

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

**Санкт-Петербург
2004**

Работа выполнена на кафедре «Инженерное обеспечение городского хозяйства» ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Научный руководитель - д.т.н., профессор Семин Евгений Геннадиевич

Официальные оппоненты: д.т.н., Журкович Виталий Владимирович
к.т.н., Вдовиченко Василий Дмитриевич

Ведущая организация – ГОУ ВПО
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет)».

Защита состоится 2004 г. в _____ часов
на заседании диссертационного совета Д 212.229.17
при ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, ПГК, ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке ГОУ «СПбГПУ».

Автореферат разослан « _____ » мая 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Орлов В.Т.

Актуальность работы. Функционирование биосоциальной системы (городов, мегаполисов и т.д.) подразумевает тесно взаимосвязанное решение вопросов социального развития, экономического роста и поддержания приемлемого потенциала окружающей среды.

Полноценная система, обеспечивающая нормальное существование человеческого общества (в целом биоты), должна учитывать техногенные процессы, связанные с функционированием социума, освобождение от отходов, генерируемых жизнедеятельностью человека, и возвращение системы в равновесное, устойчивое состояние.

Наиболее важным условием перехода к устойчивому развитию является предотвращение выброса вредных отходов в литосферу, атмосферу, гидросферу. Вредные вещества, вырабатываемые в ходе хозяйственной деятельности человека, не включаются в биологические циклы и накапливаются в биосфере, приводя к нарушению устойчивости и разрушению биосферы.

Поиск соединений, которые могли бы иммобилизовать, т.е. изолировать от биосферы вредные вещества, такие как тяжелые, цветные металлы, радионуклиды и редкоземельные элементы, является актуальной задачей. Актуальность и социально-экономическая значимость рассматриваемой проблемы определили выбор темы данной диссертационной работы.

Целью диссертационной работы является разработка иммобилизаторов и технологий, позволяющих изолировать от биосферы тяжелые, цветные металлы, радионуклиды и редкоземельные элементы (р.з.э.) методами цементной и керамической технологии для решения геоэкологических задач и обеспечения экологической безопасности природной среды.

В соответствии с поставленной целью сформулированы следующие **задачи:**

- разработать технологические приемы для иммобилизации тяжелых, цветных, радиоактивных металлов и редкоземельных элементов на

основе керамической и цементной технологии с использованием недефицитных материалов;

- изучить статику и динамику процессов, сопровождающих иммобилизацию в строительные материалы тяжелых, цветных, радиоактивных металлов, редкоземельных элементов, а так же целого ряда коммунальных отходов ;

Объектами исследования в диссертационной работе являются коммунальные золы, это - золы от сжигания активного ила (К.З.), золы энергетики (от сжигания углей, сланцев (С.З.)), а так же производственные, хозяйственно-бытовые стоки, фильтраты полигонов.

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

- изучены кинетика и механизм формирования гидратированных силикатов и алюминатов в присутствии тяжелых, цветных металлов, радионуклидов, р.з.э. и прочих ингредиентов, содержащихся в опасных жидких отходах, фильтратах вод полигонов твердых отходов, в интервале температур $313 \div 353$ К;
- разработаны научные основы механизма действия высокоосновных сорбентов-осадителей (ВОСО) с использованием отходов производства – сланцевых зол, зол от сжигания углей, отходов цементного производства.
- определены оптимальные параметры синтеза строительных материалов гидратационного твердения (35 % - глины, 65 % – золы, 3 % - сульфата кальция) и обжиговых (80 % - золы, 20 % - извести); найдено соотношение: 50 % - КЗ и 50 % - СЗ без добавления сульфата кальция, при котором получают кирпичи гидратационного твердения со свойствами, близкими к материалам, полученным на основе использования чистого оксида кальция (извести).

Практическая ценность:

- разработанная технология отверждения и осаждения опасных примесей использована для очистки жидких опасных отходов полигона «Красный Бор»;

- предложенная технология с использованием ВОСО применялась для очистки фильтратов (стоков) полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) (Воронеж, Москва, Санкт-Петербург), красильных и кожевенных предприятий, металлургических заводов (Корея, Россия) с высокой эффективностью очистки (до 99 %);

Результаты исследований могут быть использованы при очистке промышленных стоков металлургических и механических заводов, предприятий текстильной промышленности, кожевенных производств, а так же бытовых стоков.

Достоверность научных результатов обоснована результатами экспериментальных исследований, аналитическими данными, полученными с помощью спектрофотометрического, масс-спектрометрического, хроматографического, термогравиметрического, рентгенофазового, ИК-спектрального, формально-кинетического, хромато-масс-спектроскопического методов анализов.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на IV международной конференции «Акватерра» (Санкт-Петербург, 2001), XXIX-XXX неделе науки СПбГТУ в 2001-2002 г.г., международной конференции «Проблемы энергоресурсосбережения и экологии» (Санкт-Петербург, 2002), международной научно-технической конференции «Технология, строительство и эксплуатация инженерных систем» (Санкт-Петербург, 2002), третьей международной конференции «Химия высокоорганизованных веществ и научные основы нанотехнологии» (Санкт-Петербург, 2001), конференции «Новые достижения в химии и технологии материалов» (Санкт-Петербург, 2002), второй всероссийской конференции «Химия поверхности и нанотехнология» (Санкт-Петербург, 2002), на конференции по экологии (г. Турку, Финляндия, 2002), совещании по отходам (г. Котка, Финляндия, 2003), IV Всероссийской конференции

“Фундаментальные исследования в технических университетах” (Санкт-Петербург, 2003), Научно-практической конференции “Обращение с отходами. Материалы природоохранного назначения” (Санкт-Петербург, 2003), 6-ой Международной конференции “Экономика, экология и общество России в 21 столетии” (Санкт-Петербург, 2004).

Автором лично:

- разработана структурная модель иммобилизации тяжелых и цветных металлов, позволившая рекомендовать коммунальные золы для использования в производстве строительных материалов;
- определены оптимальные параметры синтеза строительных материалов гидратационного твердения и обжиговых; найден оптимальный состав вяжущего с использованием зол энергетики, при котором получают кирпичи гидратационного твердения со свойствами, близкими к материалам, полученным на основе использования чистого оксида кальция.
- установлен механизм работы очистителей (иммобилизаторов). Найден и обоснован сорбент-очиститель жидких фаз с новыми свойствами, включающий операции сорбции, осаждения, коагуляции и определяющий работу высокоосновных сорбентов-осадителей.

Часть публикаций выполнена совместно со студентами по линии НИРС, у которых автор был руководителем по дипломному проектированию.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 печатных работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, приложения и выводов, изложена на 180 страницах машинописного текста, содержит 32 рисунка, 8 схем, 24 таблицы. Библиографический список цитируемой литературы включает 214 наименований.

Содержание работы. Во введении обоснована актуальность темы, поставлена цель диссертационной работы, сформулированы основные задачи исследований.

В первой главе диссертационной работы анализируются экологические проблемы мегаполиса, обосновывается необходимость разработки мероприятий по снижению негативных экологических последствий от природно-техногенных процессов и явлений в биосфере.

Изучению состояния природной среды под влиянием процессов урбанизации посвящены труды многих ученых: Вернадского В.И., Алесковского В.Б., Андреева В.В., Арефьева Н.В., Бекренева А.В., Гусарова В.В., Данилевича Я.Б., Ивахнюка Г.К., Коликова В.М., Кондратьева К.Я., Козлова А.И., Корнеева В.И., Осипова В.И., Прозорова Л.Л., Сватовской Л.Б., Семина Е.Г., Сычева М.М., Тарасова Б.Г., Тролла К., Трофимова В.Т., Федорова М.П., Шульмана С.Г., и других.

В первой главе предложена схема современного мегаполиса, состоящая из триады систем: «литосфера – техногенно-измененная литосфера – мегаполис – система обращения с отходами – биота», «гидросфера - техногенно-измененная гидросфера – мегаполис – система очистки стоков – биота», «атмосфера - техногенно-измененная атмосфера – мегаполис – система очистки газовых выбросов – биота» (рис.1.), определяющих антропогенную нагрузку на геосферу и границы возможных техногенных изменений.



Рис. 1. Природно-антропогенная система.

Рассмотрены пути снижения техногенной нагрузки на биосферу путем разработки и внедрения технологических приемов, включающих иммобилизацию вредных примесей и токсикантов. Под иммобилизацией в диссертационной работе понимается полное изолирование, консервация вредных примесей, которые прочно связываются в породообразующие минералы, и при хранении не способствуют загрязнению биосферы.

Во второй главе изложены сведения о материалах и методах исследования и даны характеристики промышленных объектов, включающих: Полигон «Красный Бор», полигоны твердых бытовых отходов городов Санкт-Петербурга, Воронежа, Москвы.

Объектами исследования служили оксидные материалы, синтезированные с использованием керамических методов и методов соосаждения, с применением химических реактивов квалификации ХЧ, ЧДА, ОСЧ. Образцы готовились по известной твердофазной технологии, включающей перетирание оксидов в спиртовой среде с последующим обжигом в высокотемпературной печи в интервале 1000÷2000 К.

Реакции формирования гидросиликатов кальция в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ изучались в ячейках из молибденового стекла емкостью 300 см³ в термостатированных условиях при 303, 333, 353 К и продолжительностях до 30 суток. В работе использовался широкий комплекс физических и физико-химических исследований, включающих рентгеноспектральный анализ, методы рентгенофазового, рентгеноструктурных анализов, термогравиметрии, ИК-спектроскопии и пикнометрии.

Обработка динамических параметров реакций твердофазного синтеза проводилась по известным уравнениям формальной кинетики. Лианеризация функций, выбор уравнений и расчет кажущейся энергии активации процессов формирования полученных фаз, проводился с использованием ЭВМ.

Жидкие отходы Полигона “Красный Бор” и фильтраты полигонов твердых бытовых отходов исследовались методами хромато-масс-спектроскопического определения на хромато-масс-спектрометре QP-5000 фирмы “Shimadzu”.

Изучение элементного состава и концентраций присутствующих в исследуемой пробе веществ проводилось при помощи метода спектрометрического анализа индукционно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим регистрированием на приборе ICP MS 2 фирмы Micromass.

Для вскрытия механизма сорбции с использованием ВСО изучались модельные химические реакции в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ в присутствии основных примесей, содержащихся в жидких объектах.

Взвешенные вещества, сухой остаток, прокаленный остаток, ХПК и БПК, концентрации всех видов азота, сульфат, фосфат и хлорид ионов определялись при помощи аттестованных стандартных методик.

Промышленные испытания проводились с использованием опасных отходов Полигона «Красный Бор», полигонов твердых бытовых отходов городов Санкт-Петербурга, Воронежа, Москвы, а также жидких отходов ряда российских предприятий, республики Корея и морские отходы города Турку (Финляндия).

В третьей главе представлены результаты разработки способов утилизации коммунальных и производственных отходов с использованием технологии вяжущих. Проанализированы золы от сжигания активного ила (городов Санкт-Петербурга, Усть-Каменогорска, Пскова, Оренбурга, Страсбурга, Москвы) и золы от сжигания углей и сланцев с высоким содержанием оксида кальция. Установлено, что в ряде случаев коммунальные золы содержат тяжелые и цветные металлы в концентрациях, превышающих ПДК. На модельных системах изучены статика и динамика процессов твердофазного взаимодействия в системах, содержащих оксиды кальция,

кремния и алюминия в присутствии оксидов тяжелых и цветных металлов. Динамические параметры твердофазных реакций оценивались с использованием уравнения Гинстлинга-Броунштейна

$$(1 - 2/3\alpha) - (1 - \alpha)^{2/3} = k\tau ;$$

а с участием жидкой фазы применялось уравнение Авраами-Ерофеева

$$[- \ln (1 - \alpha)]^{1/3} = k\tau ;$$

где k - константа скорости реакции, τ - время (мин.), α - степень превращения.

Установлено, что присутствующие в коммунальных золах тяжелые и цветные металлы иммобилизируются при сгорании топлива в процессах формирования золы. Водные вытяжки из суспензий в системе $\text{CaO} - \text{SiO}_2$ содержали концентрации тяжелых металлов значительно ниже ПДК. Тяжелые металлы иммобилизируются и входят в состав химически малоактивных пороодообразующих минералов. Изучены базовые реакции формирования гидросиликатов кальция в системах $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ при 303, 333, 353 К и продолжительностях до 30 суток в присутствии примесей тяжелых, цветных металлов, органической фазы и радионуклидов Co^{60} , Sr^{90} . Установлено, что в процессе реакции образуются фазы, близкие к тобермориту, для которых характерно наличие в структуре пустот, и которые обладают большой изоморфной емкостью по отношению к примесям. Показано, что тяжелые, цветные металлы, радионуклиды и органические соединения аналитически связываются в указанные силикаты по двум механизмам (примеси изоморфно входят в состав тоберморита; примеси образуют поверхностные химические соединения Алесковского). Предложено использовать высокоосновные отходы производства и энергетики в качестве ВОСО, способных в силу своей природы осаждать широкую номенклатуру неорганических, органических соединений и нефтепродуктов.

В четвертой главе рассмотрены вопросы применения отходов мегаполиса в производстве строительных материалов. Показано, что

большинство коммунальных зол благодаря своему гранулометрическому составу, могут хорошо использоваться в производстве строительных обжиговых и гидратационного твердения материалов. Таблицы 1 и 2 содержат технические характеристики строительных материалов, полученных с использованием зол от сжигания активного ила городов Санкт-Петербурга, Усть-Каменогорска, Пскова, Оренбурга, Страсбурга. Анализ приведенных результатов свидетельствует, что полученные строительные материалы могут быть использованы для малоэтажного строительства. Рассмотрены вопросы использования осадка природных вод для производства керамзита, силикатных и обжиговых кирпичей, высокоглиноземистого цемента. Определены оптимальные параметры синтеза строительных материалов гидратационного твердения (35 % - глины, 65 % – золы, 3 % - сульфата кальция) и обжиговых (80 % - золы, 20 % - извести) рисунки 2, 3. Найдено соотношение: 50 % - КЗ и 50 % - СЗ без добавления сульфата кальция, при котором получают кирпичи гидратационного твердения со свойствами, близкими к материалам, полученным на основе использования чистого оксида кальция (извести).

Таблица 1.

Технические характеристики строительных материалов гидратационного твердения

Состав вяжущего, % массовые			Прочность при сжатии, МПа									
Зола от сжигания активного ила	Известь	CaSO ₄ % сверх 100% шихты	Санкт-Петербург		Страсбург		Псков		Оренбург		Усть-Каменогорск	
			1 сут.	28 сут.	1 сут.	28 сут.	1 сут.	28 сут.	1 сут.	28 сут.	1 сут.	28 сут.
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
40	60	3	-	20,0	-	23,0	-	12,5	-	17,5	-	-
45	55	3	-	21,5	-	24,0	-	13,5	-	19,0	-	-
50	50	3	-	23,5	-	26,5	-	15,0	-	22,0	-	-
60	40	3	-	28,0	-	31,5	-	19,5	-	27,0	-	-
65	35	3	-	32,0	-	35,0	-	23,5	-	31,0	-	-
70	30	3	23,0	36,0	24,0	39,1	20,0	28,0	23,0	36,0	-	-
80	20	3	26,0	44,0	30,0	44,0	23,0	38,0	30,0	40,0	23,0	37,1
90	10	3	22,0	30,9	-	32,0	-	29,1	-	29,5	-	-
50	С.З. 50	-	21,0	33,0	22,0	39,0	24,0	40,0	26,0	34,0	24,0	35,0

Таблица 2.

Свойства обжиговых строительных материалов

Соотношения компонентов, % массовые		Свойства образцов после обжига										
		Морозостойкость, количество циклов попеременного замораживания и оттаивания, не менее	Санкт-Петербург		Страсбург		Псков		Оренбург		Усть-Каменогорск	
Глина	Зола от сжигания активного ила		Сжатие МПа	Водопоглощение, %	Сжатие МПа	Водопоглощение, %	Сжатие МПа	Водопоглощение, %	Сжатие МПа	Водопоглощение, %	Сжатие МПа	Водопоглощение, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	50	25	38,0	13,0	38,0	14,1	37,0	15,0	40,0	13,1	-	-
35	65	25	70,0	12,8	70,0	11,0	66,0	11,0	68,0	10,0	66,0	11,0
25	75	Не определялось	49,0	11,9	56,0	10,0	52,0	10,0	54,0	10,0	-	-

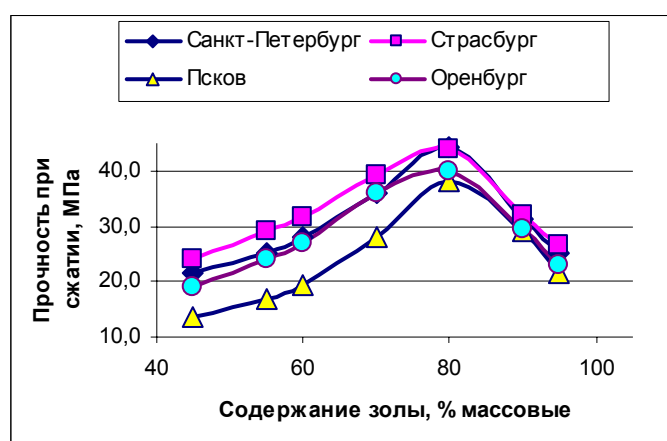


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии от состава вяжущего для строительных материалов гидратационного твердения.

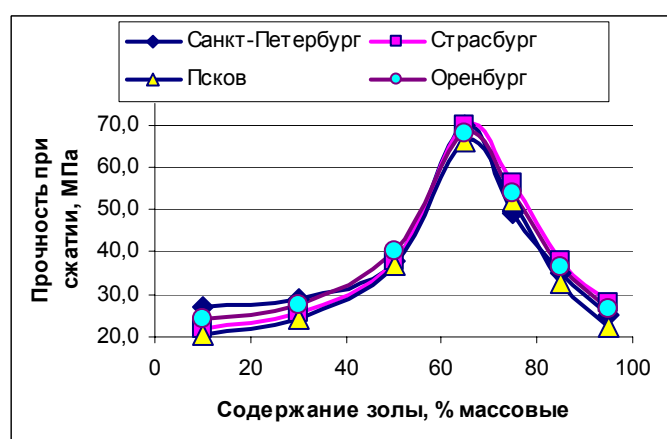


Рис. 3. Зависимость прочности при сжатии от состава шихты для обжиговых строительных материалов.

В пятой главе Показана значимость использования высокоосновных сорбентов осадителей (ВОСО) для решения задач в геоэкологических цепочках “литосфера (гидросфера)” – “техногенно-измененная литосфера (гидросфера)” – “мегаполис” – “предприятия по очистке стоков” – “биота”. Рассмотрены вопросы практической реализации исследований для очистки опасных жидких отходов (стоков) Полигона “Красный Бор” с использованием высокоосновных сорбентов осадителей в вариантах полного отверждения жидких отходов и стадийного сорбционного осаждения очистки стоков до необходимых параметров сброса, при помощи отделения твердой фазы от жидкости и с последующим отверждением осадков (рис. 3).

Показана эффективность технологии очистки фильтратов полигонов твердых бытовых отходов и стоков кожевенных заводов, металлургических предприятий, красильного и химических производств, хозбытовых стоков с использованием высокоосновных сорбентов осадителей (таблица 3). Предложенная технология очистки стоков с использованием ВОСО апробирована в промышленном масштабе на предприятиях Санкт-Петербурга, Москвы, Воронежа, Турку (Финляндия), Сеула и Ансана (Корея).



Рис. 4. Схема проведения процесса ступенчатой иммобилизации опасных примесей Полигона «Красный Бор»

Таблица 3.

Количественные показатели химического анализа фильтратов полигонов твердых бытовых отходов городов Санкт-Петербурга, Воронежа и Москвы до и после очистки
5,8 – данные Московского государственного унитарного предприятия «Промотходы»;

№ п/п	Наименование компонентов	Значение определяемой физической величины до очистки мг/дм ³			Проба после очистки мг/дм ³			ПДК для Санкт-Петербурга
		Москва	Санкт-Петербург	Воронеж	Москва	Санкт-Петербург	Воронеж	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	рН (ед. рН)	7,8	7,05	8,45	6,7	7,0	7,03	7,0
2	Цветность	1000°	800°	900°	60°	10°	10°	-
3	Взвешенные	157	2000	2348	10	-	-	-
4	Нефтепродукты	0,71	0,2	0,95	0,12	0,01	0,05	0,3
5	Хлорид-ион	2800	350	465	2100	340	343	350,0
6	Сульфат-ион	490	35,0	32,7	820	30,0	29,2	-
7	Карбонат-ион (НСО ₃)	1820	1820	-	180	150	153	-
8	Нитрат-ион	19,4	1600	1860	2,74	2,6	3,1	-
9	Нитрит-ион	0,097	14,0	12,5	0,094	0,1	0,1	-
10	Аммоний-ион	491	590	530	66	1,8	1,6	-
11	Медь	0,23	0,323	0,320	0,05	0,02	0,025	-
12	Железо (общ.)	2,96	36,0	34,0	0,02	0,3	0,27	0,3
13	Свинец	0,05	0,22	0,19	0,005	0,02	0,013	0,03
14	Хром (общ.)	0,14	0,31	0,29	0,004	0,01	0,013	-
15	Никель	0,34	0,31	0,28	0,008	0,05	-	0,1
16	Марганец	0,10	1,32	1,20	0,05	0,05	-	0,1
17	Кальций	190	243	240	10	20	17	-
18	Магний	140	80	76	80	40	35	-
19	Калий	460	55	> 50	350	50	48	-
20	Натрий	1700	153	> 50	950	150	143	-
21	БПК ₅ мг/л О ₂ /дм ³	7,2	68	74	4,9	3,0	3,0	3,0
22	Сухой остаток (ксп)	6700	800	9962	5300	800	780	1000,0

Выводы

В диссертационной работе разработаны научно-технологические решения, позволяющие существенно повысить эффективность защиты литосферы, атмосферы и гидросферы от техногенного воздействия мегаполиса. При этом повышение эффективности защиты биосферы достигается за счет сочетания двух процессов, сопровождающих функционирование высокоосновных сорбентов-осадителей, процессов сорбции и химического взаимодействия. И рассмотрены варианты иммобилизации тяжелых, цветных металлов, органических соединений и радионуклидов при использовании коммунальных зол в производстве строительных материалов.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Предложена схема современного мегаполиса, включающая триаду систем:

«литосфера – техногенно-измененная литосфера – мегаполис – система обращения с отходами – биота», «гидросфера – техногенно-измененная гидросфера – мегаполис – система очистки стоков – биота», «атмосфера – техногенно-измененная атмосфера – мегаполис – система очистки газовых выбросов – биота», определяющих техногенную нагрузку на геосферу и границы возможных техногенных изменений. Показано, что снижение техногенной нагрузки на геосферу возможно путем внедрения приемов, включающих иммобилизацию, т.е. полное изолирование, консервацию вредных примесей и токсикантов, которые прочно связываются в породообразующие минералы, и при хранении не способствуют загрязнению биосферы.

2. Разработаны способы утилизации зол от сжигания активного ила с использованием технологии вяжущих веществ и керамики с получением широкой номенклатуры строительных материалов. Показано, что присутствующие цветные и тяжелые металлы в золах иммобилизируются в процессе их термообработки, установлено, что ионы тяжелых и цветных металлов входят в катионную или анионную подрешетки породообразующих минералов и теряют свою активность, т.е. они иммобилизируются в химически стойкие твердые растворы. Получен кирпич гидратационного твердения с содержанием коммунальной золы до 80% и извести – 20%, прочность при сжатии 44 МПа; кирпич, содержащий 50 % коммунальной золы и 50 % сланцевой золы, прочность при сжатии 40 МПа; обжиговый кирпич, содержащий 35 % глины и 65 % коммунальной золы, прочность при сжатии 70 МПа.

3. Проанализирована широкая номенклатура высокоосновных отходов (углей, сланцев, циклонных остатков цементного производства и т.д.), изучена статика и динамика базовых реакций формирования гидросиликатов кальция в модельных системах в присутствии неорганических и органических примесей. Установлено, что природа формирования гидросиликатов кальция независимо

от примесей аналогична протекающей в процессах гидратации цемента; показано, что полученные гидросиликаты кальция фазы переменного состава со структурой тоберморита, обладают большой изоморфной емкостью способствующей поглощению тяжелых, цветных металлов и радионуклидов. Предложено использовать высокоосновные отходы энергетики в качестве высокоосновных сорбентов-осадителей-иммобилизаторов, способных в силу своей природы, сорбировать и осаждать широкую номенклатуру неорганических, органических соединений, нефтепродуктов и радионуклидов с высокой эффективностью очистки: Be^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , - эффективность очистки более 98 %; Cr^{3+} , Cr^{6+} , Cu^{+} , Ni^{2+} , Co^{2+} с эффективностью очистки 96 ÷ 98 %.

4. Технология с использованием высокоосновных сорбентов-осадителей реализована на жидких отходах полигонов «Красный Бор» и фильтраатах полигонов твердых бытовых отходов, предложена модификация технологии очистки включающая первичное осаждение, отделение очищенной воды, с последующим отверждением остатка от фильтрации стоков до необходимых параметров сброса с отделением твердой фазы от жидкости и последующим отверждением осадков, позволившая в 90 раз уменьшить расход высокоосновных сорбентов-осадителей.

Автор выражает глубокую благодарность академику РАН Я.Б. Данилевичу за многолетнее сотрудничество и помощь. Автор также выражает признательность профессору В.М. Коликову и профессору М.А. Михалеву за ценные советы.

Основное содержание диссертационной работы отражено в следующих публикациях:

1. Козлов А.И., Селиванова С.В., Семина К.Е., Крек И.А., Семин Е.Г., Данилевич Я.Б. Очистка сточных вод с использованием техногенных отходов // Тез. Докл. к IV международной конференции «Акватерра», СПб, 2001, С. 88.

2. Семин Е.Г., Федоров С.В., Бербеницкая Т.И., Селиванова С.В., Семина К.Е. Формирование поверхностных фаз Алесковского на поверхности сложнооксидных композиций на основе гексаалюминатов элементов II группы и р.з.э. // Тез. Докл. к 3-ей Международной конференции «Химия высокоорганизованных веществ и научные основы нанотехнологии», СПб, 2001, С. 523-525.
3. Семин Е.Г., Лихачев Ю.М., Селиванова С.В., Лыгина О.Е., Федоров С.В., Федоров П.М., Семина К.Е. Статика динамика процессов адаптации вредных примесей в коммунальных золах в строительные материалы // Сб. Комплексная переработка ТБО - наиболее передовая технология. РАН, СПб, 2001, С. 146-179.
4. Семин Е.Г., Чуркина И.О., Селиванова С.В. Эффективность очистки фильтрата полигонов // Тез. Докл. к Международной научно-технической конференции «Технология, строительство и эксплуатация инженерных систем», СПб, 2002, С. 167-169.
5. Попова Я.А., Семина К.Е., Селиванова С.В., Семин Е.Г. Комплексная переработка осадков станции водоподготовки г. Москва // Тез. докл. к XXX Юбилейной неделе науки СПбГТУ, СПб, 2002, С. 46.
6. Семина К.Е., Селиванова С.В., Яковлев В.А. Вопросы контейнеризации тяжелых и цветных металлов в керамику и бетон // Тез. докл. к XXX Юбилейной неделе науки СПбГТУ, СПб, 2002, С. 46-47.
7. Сергеев Ю.О., Лещинская О.С., Селиванова С.В., Яковлев В.А., Семин Е.Г. Технология отверждения жидких отходов полигона «Красный Бор» // Тез. докл. к XXX Юбилейной неделе науки СПбГТУ, СПб, 2002, С. 47.
8. Яковлев В.А., Семин Е.Г., Селиванова С.В., Колыванова Е.В., Семина К.Е. Изучение процессов взаимодействия оксидов в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ в присутствии примесей различной природы // Сб. материалов конференции «Новые достижения в химии и технологии материалов», СПб, 2002, С. 32.

9. Семин Е.Г., Селиванова С.В., Семина К.Е., Данилевич Я.Б. Роль поверхностных фаз при сорбции тяжелых металлов и радионуклидов // Тез. Докл. ко Второй Всероссийской конференции «Химия поверхности и нанотехнология», СПб, РИО СПбГТИ (ТУ), 2002, С. 214.
10. Лихачев Ю.М., Семин Е.Г., Селиванова С.В., Семина К.Е., Данилевич Я.Б. Переработка ТБО как решение геоэкологической задачи// РАН, СПб, 2001, 8 с.
11. Семин Е.Г., Селиванова С.В., Лыгина О.Е., Семина К.Е. Адаптация зол от сжигания активного ила к строительным материалам. Материалы научно-практической конференции «Обращение с отходами. Материалы природоохранного назначения». Изд. СПб, 2003, С. 11-12.
12. Семин Е.Г., Селиванова С.В. Синтез гидросиликатов кальция в системах $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ в присутствии примесей тяжелых металлов и органических соединений. Материалы научно-практической конференции «Обращение с отходами. Материалы природоохранного назначения». Изд. СПб, 2003, С. 22-23.
13. Семин Е.Г., Селиванова С.В., Семина К.Е., Данилевич Я.Б. Физико-химические основы технологии очистки стоков высокоосновными сорбентами-осадителями. Материалы научно-практической конференции «Обращение с отходами. Материалы природоохранного назначения». Изд. СПб, 2003, С. 23.
14. Селиванова С.В. Статика и динамика процессов иммобилизации отходов мегаполиса. Материалы научно-практической конференции «Экономика, экология и общество России в 21 столетии». Изд. СПб, 2004, 2 с.