

На правах рукописи

БЕЛОЗЁРОВА Татьяна Ивановна

**РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗОЛОТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА**

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Архангельск – 2006

Диссертационная работа выполнена в Институте экологических проблем Севера Уральского отделения Российской академии наук
(г. Архангельск)

Научный консультант: доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук Юдахин Феликс Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Кнатько Василий Михайлович (г. Санкт-Петербург);

доктор биологических наук, профессор Евдокимова Галина Андреевна (г. Апатиты)

Ведущая организация: Институт геоэкологии Российской академии наук, г. Москва

Защита диссертации состоится «16» июня 2006 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 002.105.01 в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН (ИХТРЭМС КНЦ РАН) по адресу: Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Ферсмана 26а, Академгородок, зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института химии и технологии редких элементов (ИХТРЭМС КНЦ РАН) г. Апатиты, а так же на сайте <http://www.ksc.ru/ictr.html>

Автореферат разослан: « ____ » _____ 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук

Громов П.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов в наши дни относятся к наиболее актуальным. Одним из основных направлений в деле защиты природы является курс на безотходную и малоотходную технологию. Проблема взаимовлияния токсических выбросов в окружающую среду и растительности занимает особое место. Экологический подход к изучению этой проблемы требует, чтобы и загрязнители, и растения рассматривались не сами по себе, а как испытывающие взаимное влияние. Такой методологический прием оказался довольно эффективным при разработке научных основ борьбы с негативным влиянием загрязнения среды на растительный мир и поиске путей более полного использования возможностей живой природы нейтрализовать промышленные загрязнители и оказывать оздоравливающее действие на окружающую среду.

Не менее важной остается проблема утилизации твердых промышленных отходов и изоляции их накопителей. Так, одним из наиболее опасных источников загрязнения водного и воздушного бассейна в г. Северодвинске является золоотвал ТЭЦ-1, первая секция которого к настоящему времени заполнена. Это создает угрозу прорыва дамбы и аварийного сброса золошлаковой пульпы в Никольское устье Северной Двины. Кроме того, золоотвал оказывает вредное воздействие на окружающую среду, загрязняя атмосферу вследствие пыления его поверхности и гидросферу – вследствие миграции токсичных элементов в грунтовые воды.

Традиционным способом изоляции золоотвалов и других накопителей промышленных отходов является отсыпка природного растительного грунта на их поверхность с последующим высевом многолетних трав. В связи с дефицитом плодородных почв и их высокой стоимостью такой способ рекультивации для Северодвинской ТЭЦ-1 неприемлем.

В то же время практически не используются для рекультивации ценные в этом плане местные отходы – избыточный активный ил очистных сооружений. Известно, что ил очистных сооружений содержит значительное количество органических веществ, необходимых для роста растений. Оптимально подобранное сочетание указанных выше отходов позволило бы восстановить нарушенную хозяйственной деятельностью человека площадь золоотвала и разместить промышленные отходы 4-го класса опасности.

Таким образом, совместная утилизации золы, активного и карбидного илов дает возможность уменьшить объемы накопителей отходов, предотвратить загрязнение атмосферы и гидросферы, а также восстановить природный ландшафт нарушенных территорий.

Объект исследований – золоотвал Северодвинской ТЭЦ-1, площадью 26 га и емкостью 2 млн. м³. Золоотвал равнинного вида, обвалован по периметру площадки ограждающими дамбами.

Цель исследований – разработка технологий, позволяющих ограничить или полностью предотвратить миграцию загрязняющих веществ в атмосферу и гидросферу от хранилища золошлаковых отходов тепловых электростанций на примере золоотвала Северодвинской ТЭЦ-1.

Для реализации этой цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Определить возможность формирования плодородного гумусового горизонта на поверхности отслужившей секции золоотвала с использованием золы и обезвоженного активного ила, а также оценить возможность использования полученной смеси для рекультивации.

2. Проанализировать интенсивность миграции в растения ионов тяжелых металлов и определить время снижения концентрации тяжелых металлов в биомассе трав, выращенных на золоотвале, до максимально допустимого уровня (МДУ).

3. Предложить оптимальную технологию рекультивации территории золоотвала с учетом видоспецифических данных о миграции тяжелых металлов в растения.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использован комплекс методов, включающих: анализ и обобщение научной и фондовой литературы по исследуемому направлению и региону; экспертно-аналитическая система анализа и обработки показателей факторов, влияющих на миграцию ионов тяжелых металлов в растения и возможность использования смесей золы и ила для рекультивации; проведение опытно- производственных работ. Анализ смесей производился в лаборатории филиала Санкт-Петербургского морского технического университета («Севмашвтуз»), анализ растений – в центральной лаборатории Севмашпредприятия.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование возможности консервации и рекультивации золоотвалов ТЭЦ при использовании местных материалов, в частности активного ила канализационных очистных сооружений.

2. Наивысшие показатели плодородия при умеренной фитотоксичности наблюдаются при сочетании золы и активного ила в пропорции 4:1 и 2:1.

3. При выращивании растений на смесях золы и активного ила происходит миграция тяжелых металлов преимущественно в корневые системы растений. При создании сомкнутого растительного покрова тяжелые металлы необменно поглощаются подземными частями растений, что исключает их миграцию в атмосферу и гидросферу.

4. Технология, основанная на использовании субстратов из активного ила канализационно очистных сооружений и золы, позволяет решить экологическую проблему частичной утилизации токсических отходов и уменьшить объемы накопителей.

Научная новизна результатов исследований. Впервые проведена комплексная оценка токсичности субстратов, полученных при смешивании золы и обезвоженного активного ила очистных сооружений на основе анализа биомассы растений. Показана возможность снижения фитотоксичности субстратов,

содержащих тяжелые металлы, при выращивании травянистых растений без их последующей утилизации. Опытным путем и методом математического моделирования определен период снижения токсичности субстрата до максимально допустимого уровня. Выявлены и количественно оценены особенности поглощения тяжелых металлов различными видами растений. На основании комплексной оценки полученных результатов отработана технология рекультивации золоотвала с использованием золошлаковых отходов и обезвоженного активного ила.

Обоснованность и достоверность результатов исследований подтверждаются:

- обширным практическим материалом (исследование с 1999 года) лабораторных, полевых работ и камеральной обработки данных;
- применением современных методов исследования и математического моделирования;
- апробацией на научных конференциях и семинарах;
- практической реализацией полученных результатов.

Практическое значение результатов исследований:

Данные, полученные при анализе растительной биомассы растений, являются основой для разработки рекомендаций по выращиванию растений с целью снижения токсичности субстратов.

Разработанная технология рекультивации золоотвала позволяет вовлекать в хозяйственный оборот антропогенно нарушенные земли. Это будет способствовать мобилизации потенциала земель, что особенно важно в условиях Севера.

Предложенные культурно-технические мероприятия дают возможность экологизировать землепользование с применением щадящих агротехнических мероприятий.

Научно обоснованная и экспериментально подтвержденная методика совместного использования золы и активного ила позволяет рекомендовать ее в качестве одного из перспективных способов решения таких экологических проблем, как

- уменьшение ущерба окружающей среде за счет снижения загрязнения атмосферы, поверхностных и подземных вод;
- уменьшение объемов накопителей отходов;
- частичная утилизация токсичных отходов канализационно-очистных сооружений.

Реализация результатов исследований. Результаты исследования используются:

- для рекультивации I секции золоотвала Северодвинской ТЭЦ-1 ОАО «Архэнерго»;
- в преподавании курсов «Экология и рациональное природопользование», «Экологическая химия» и «Техногенные системы и экологический риск» на отделениях экологии и природопользования естественно–

географического факультета Поморского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Апробация работы и публикации. Основные результаты исследований докладывались и получали положительную оценку:

- *на Международных конференциях* – XIII Ломоносовские международные чтения (Архангельск, 2001); Международный экологический форум стран Баренц-региона «Экология Северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения» (Архангельск, 2002); «Экология – 2003» (Архангельск, 2003); «Экологическое образование и экологическая наука; проблемы и сотрудничество» (Архангельск, 2004);
- *на региональных научно-технических конференциях и семинарах:* «Экология: проблемы и программы» (Северодвинск, Архангельская область, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004).

По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, библиографического списка из 99 наименований. Объем диссертации составляет 154 страницы машинописного текста, 17 рисунков и 70 таблиц.

Фактические материалы и личный вклад автора. В период исследований автором были заложены пробные площади на территории золоотвала Северодвинской ТЭЦ-1. Был проведен отбор проб субстратов и растительного материала. Проведен агрохимический анализ субстратов и биомассы растений. Сделаны математические расчеты изменения содержания кадмия и хрома в надземной массе растений. Проведены лизиметрические исследования проб грунтовых вод.

Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю – члену-корреспонденту РАН, профессору Ф.Н. Юдахину – за внимание к работе и оказание поддержки. Автор считает своим долгом выразить благодарность кандидату сельскохозяйственных наук О.А. Бурковой за творческое общение, за помощь в работе.

Содержание работы

Глава 1. Аналитический обзор существующих способов рекультивации в России и за рубежом

Рассмотрены теоретические и практические вопросы рекультивации – восстановления земель с помощью комплекса биологических, инженерно-мелиоративных и экологических мероприятий, имеющих целью создание и ускоренное формирование на площадях, испытавших воздействие техногенеза, оптимальных культурных ландшафтов с высокой продуктивностью, имеющих значительную социальную и хозяйственную ценность.

Выполнен анализ существующих решений рекультивации нарушенных земель в России и за рубежом (Сердюкова О.С., Чекакина Е.В., Шабаль В.Н.,

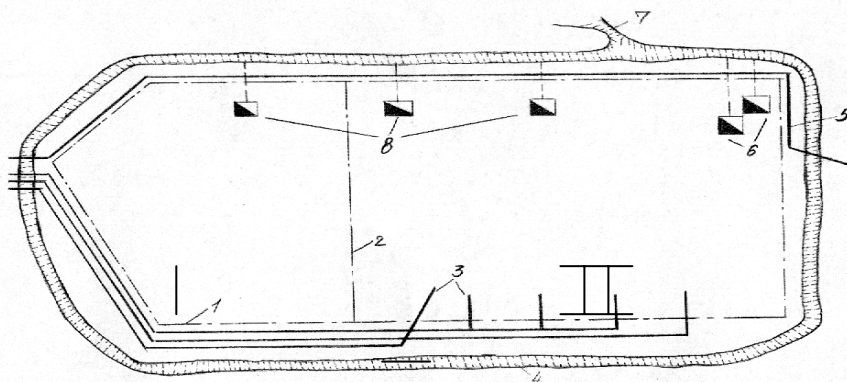
Jochimsen M.E.A., Environ Y., Grundmann Jan., Иванов В.Б., Добровольский В.В., Заручевных И.Ю. и др.). Одно из таких решений – совместная утилизация золы и избыточного активного ила в качестве искусственного грунта. Такое использование данных отходов может внести основной вклад в решение проблемы снижения их объемов в накопителях, поскольку применение золы и ила в промышленности и в сельском хозяйстве имеет ряд ограничений. Например, в активном иле очистных сооружений г. Северодвинска содержание тяжелых металлов превышает ПДК.

Глава 2. Характеристика объекта исследований

В главе дано описание современного состояния золоотвала Северодвинской ТЭЦ-1.

Северодвинская ТЭЦ-1 расположена в г. Северодвинске у устья р. Северная Двина (Архангельская обл.). Основной вид топлива – каменный уголь Интинского месторождения зольностью до 31%.

Первая секция золоотвала площадью 26 га и ёмкостью около 875 тыс. м³ заполнена в 1987 г., из неё в настоящее время периодически производится отбор золошлаков на реализацию. Сброс золошлаковой пульпы производится во вторую секцию, которая имеет площадь 54 га и ёмкость 1,5 млн. м³. Резервной секции нет (рис. 1).



М 1:20000

Рис. 1. Схема золоотвала Северодвинской ТЭЦ-1:

1 – ось ограждающей дамбы; 2 – ось разделительной дамбы; 3 – пульповыпуски; 4 – дренажная канава; 5 – пульпопровод; 6 – рабочие водосбросные колодцы; 7 – водоотводящий канал; 8 – законсервированные водосбросные колодцы.

Даже после прекращения сброса золы первая секция золоотвала продолжает оставаться источником загрязнения атмосферы и гидросферы. Высыхающие золошлаки состоят в основном из пылеватых фракций, поэтому легко поднимаются и переносятся ветром далеко за пределы хранилища. Для предотвращения пыления золоотвал заполняют морской водой. В результате водный бассейн загрязняется инфильтрационными водами (рис.2). Переполненный золоот-

вал создаёт также постоянную угрозу возникновения чрезвычайной ситуации вследствие высокого давления золошлаков на дамбу. Снизить экологическую опасность золоотвала можно в принципе двумя путями: либо полностью вывезти и утилизировать накопившиеся отходы, либо провести рекультивацию на месте. Первый путь в настоящее время представляется нереализуемым. Следовательно, золоотвал нужно рекультивировать.

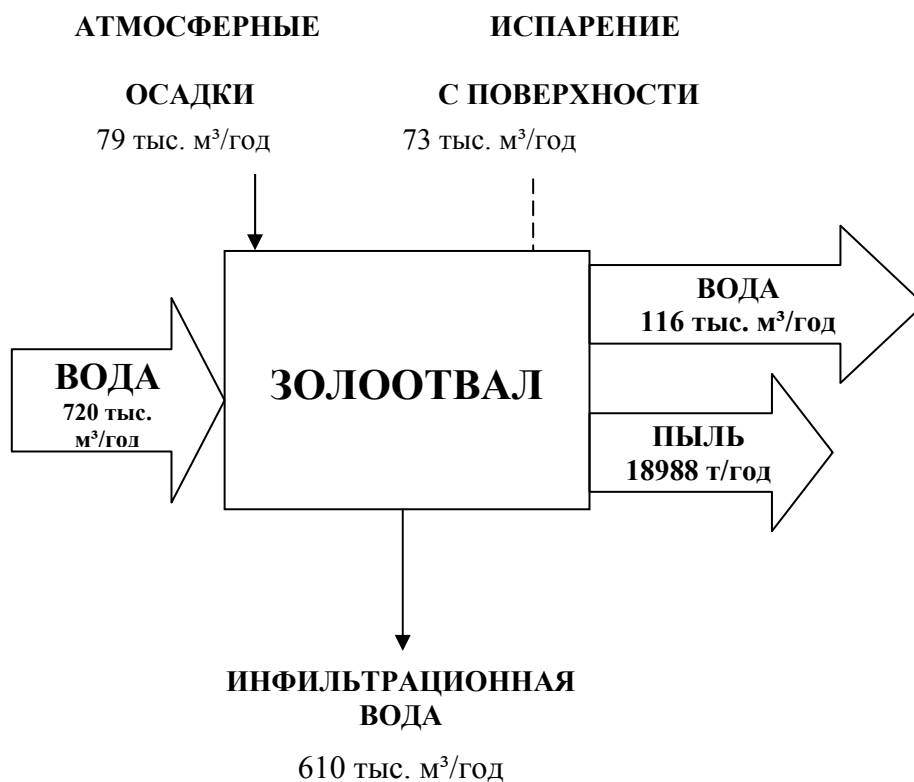


Рис. 2. Материальный баланс существующего золоотвала.

Для рекультивации золоотвалов можно использовать плодородную почву, торф, иловые отложения. Выбор материала зависит от его доступности и от агроклиматических условий региона. На Севере неприемлем распространённый способ восстановления нарушенных земель, основанный на предварительном снятии плодородного слоя, его складировании и последующем нанесении на отработанные отвалы, так как это удорожает рекультивационные работы. В большинстве случаев для восстановления плодородия используют те материалы, которые не нужно транспортировать из отдалённых районов. В частности, предлагается использовать в качестве рекультивантов промышленные отходы.

Осадки городских сточных вод (ОСВ), выделяемые в процессе биологической и механической очистки, загрязнены токсичными ионами тяжёлых металлов и болезнетворными организмами. Но ОСВ содержат также и ряд ценных органических и неорганических компонентов.

Центральной лабораторией Севмашпредприятия в Северодвинске был проведён химический анализ обезвоженного активного ила канализационных очистных сооружений (КОС) (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав ила канализационных очистных сооружений

№ п/п	Материал	Влажность, %	Содержание элементов, мг/кг							
			Ni, п. ф.	Cr, п. ф.	Pb		Mn, п. ф.	Zn, п. ф.	Cd, в. с. п.	
					в. с	п.ф.			ф.	п.
1	Ил КОС левая сторона, верх	90	1,4	3,0	47	2,8	25,0	61,0	22,0	4,4
2	Ил КОС левая сторона, низ	88	3,1	2,6	52,8	1,6	28,3	57,6	28,8	5,4
3	ПДК для почвы	-	4	6	32	6	140	23	отс.	отс.
	Превышение ПДК для почвы	-	-	-	1,1 - 1,6	-	-	2 - 2,7	-	-

Примечание: п. ф. – подвижная форма; в. с. – валовое содержание; КОС – канализационные очистные сооружения.

Из таблицы следует, что обезвоженный активный ил имеет превышение ПДК по валовому содержанию свинца и подвижной форме цинка.

Золошлаковые отходы. Зола – неоднородная, от слабовлажной до водонасыщенной, серого цвета; содержание частиц крупнее 0,25 мм – до 25%, то есть преобладают пылеватые фракции. Коэффициент фильтрации 5,03 м³/сут., поэтому значительная часть зольных вод фильтруется и уходит в направлении естественного стока, что способствует миграции подвижных элементов.

Научно-исследовательским проектно-технологическим институтом химической мелиорации почв (НИПТИМ) дана оценка микроэлементного состава золы Северодвинской ТЭЦ-1 (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав и степень загрязнения золы

Химический элемент	Содержание, мг/кг	Степень загрязнения	Химический элемент	Содержание, мг/кг	Степень загрязнения
Хром	<20	Ниже кларка	Цинк	50	Ниже кларка
Медь	70	Выше кларка	Рубидий	40	Ниже кларка
Мышьяк	80	Сильная	Кадмий	<50	Сильная
Железо	66500	Слабая	Вольфрам	<100	Сильная
Кобальт	35	Слабая	Свинец	<50	Слабая
Никель	120	Слабая	Сурьма	<10	Средняя
Бром	<10	Слабая	Марганец	4000	Слабая

Содержание питательных веществ в золе золоотвала недостаточное и их соотношение не обеспечивает нормальный рост растений. Азот практически отсутствует, крайне мало фосфора, избыточно много калия и кальция. Из-за недостатка одних и избытка других питательных элементов перед тем, как приступить к озеленению золоотвала, в него необходимо внести азот и фосфор.

Таким образом, факторами, ограничивающими развитие естественного растительного покрова на золоотвале, являются неблагоприятные агрохимиче-

ские свойства субстрата, отсутствие в нём структуры и повышенное содержание ряда элементов (в том числе и тяжёлых металлов).

При смешивании в определённых дозах золы и обезвоженного активного ила можно получать почвенный материал с принципиально новыми свойствами, благоприятными для роста растений.

Глава 3. Методики и объем проведенных исследований

С 1999 г. проводятся лабораторные и полевые исследования с закладкой модельных экспериментов на территории первой секции золоотвала Северодвинской ТЭЦ-1.

Агрохимический анализ смесей отходов золы и активного ила канализационных очистных сооружений, применяемых в качестве рекультивантов, проведен в химической лаборатории Севмашвуза с целью выявления их плодородных свойств.

К важнейшим физико-химическим свойствам почвы относят: сумму обменных оснований, гидролитическую кислотность, *pH* солевой и водной вытяжек, которые хорошо отражают специфику почвообразования, содержание и состав гумусовых веществ. Данные по изученным смесям (искусственным почвам) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты агрохимического анализа искусственных почв

№	Состав материала, %		мг-экв на 100 г почвы		Гумус, %
	Зола	Активный ил	ГК	S	
1	66,6	33,3	2,8	39,52	4,7
2	80	20	0,53	39,99	4,5
3	89	11	0,26	41,97	4,3
4	Огородная почва		1,05	41,7	5,16

Примечание: ГК – гидролитическая кислотность; S – сумма обменных оснований.

По результатам агрохимических анализов можно сделать вывод, что все смеси пригодны для роста растительности, они имеют благоприятную кислотность, насыщены основаниями и содержат достаточное количество гумуса и в известковании не нуждаются.

Для определения возможности выращивания растительного покрова на изучаемых смесях проводились модельные вегетационные исследования в лаборатории экологического мониторинга Севмашвуза, а также на опытных участках золоотвала.

В первый год эксперимента в лаборатории на исследуемых смесях был произведен посев семян белого и красного клевера, смеси злаков для газонов (контроль – огородная почва), на золоотвале – семян донника газонной травы (овсяница, мятлик луговой). Приготовление искусственных почв осуществляли вручную путем перемешивания составляющих частей до однородной массы.

Посев выполняли в ячейки круглой формы диаметром 8 см в соответствии с нормой высева 15 г на 1 м².

При проведении эксперимента оценивали следующие характеристики: всхожесть семян, энергию роста, декоративность газона, высоту надземных побегов.

На территории первой секции золоотвала Северодвинской ТЭЦ-1 был заложен модельный эксперимент. На трех участках были созданы искусственные плодородные горизонты площадью 1 м² и мощностью по 20 см путем нанесения на спланированную поверхность золоотвала обезвоженного активного ила и последующего перемешивания его с золоотходами.

По результатам обоих экспериментов можно сделать вывод, что наиболее хорошими плодородными свойствами обладают смеси, имеющие соотношение золы и ила 2:1 и 4:1. Данные смеси пригодны для разведения растительности, в частности, газонной травы. На этих образцах густота и средняя высота растительности выше, чем на остальных смесях и немного ниже, чем на огородной почве. Данный вывод подтверждают результаты, полученные при агрохимическом анализе.

Последний этап изучения возможности использования смесей местных отходов в качестве почвенного материала для рекультивации золоотвала – анализ химического состава растительного материала, выросшего на исследуемых образцах. Данный анализ необходим вследствие того, что в составе золы ТЭЦ-1 и в иле КОС присутствуют тяжелые металлы, причем концентрации цинка, свинца и кадмия превышают ПДК для почвы.

Анализ растений проводили методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Исследовали растительный материал вегетационного опыта (клевер, злаки), полевого опыта на золоотвале. Растения проверялись на содержание ванадия, кадмия, кобальта, меди, молибдена, свинца, хрома и цинка. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Содержание элементов в растениях оценивали по временным максимально допустимым уровням (МДУ) тяжелых металлов в кормах для сельскохозяйственных животных. Учитывая, что выращенные растения не используются на корм скоту, концентрацию тяжелых металлов допустимо сравнивать с нормальными и фитотоксичными значениями по соответствующим элементам.

Таблица 4

Химический состав газонной травы (полевой опыт)

Вариант	Год	Содержание элементов, мг/кг*								
		Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Co	Mo	V	As
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 (2:1)	2000 осень	14,49	98,68	< 4,0	3,72	15,63	< 1,0	< 4,0	< 2,0	-
		34,63	146,74	5,53	25,0	56,31	< 1,0	< 4,0	< 20	
	2001 лето	13,0	37,5	31,3	1,28	0,53	0,22	< 5,0	< 8,0	-
1 (2:1)	2001 осень	9,4	63,4	0,5	3,5	2,75	0,25	< 5,0	< 8,0	-
		73,2	350,2	29,5	60,9	61,3	2,6	< 5,0	< 8,0	

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 (2:1)	2002	$\frac{13,6}{210,0}$	$\frac{46,4}{128,8}$	$\frac{<1,0}{<1,0}$	$\frac{2,0}{2,0}$	$\frac{<1,0}{<1,0}$	$\frac{3,5}{3,5}$	$\frac{<2,0}{<2,0}$	$\frac{<2,0}{<2,0}$	$\frac{<2,0}{<2,0}$
	осень									
2 (4:1)	2000	$\frac{13,36}{21,81}$	$\frac{66,39}{88,61}$	$\frac{<4,0}{8,85}$	$\frac{3,04}{15,2}$	$\frac{9,68}{46,17}$	$\frac{<1,0}{<1,0}$	$\frac{<4,0}{<4,0}$	$\frac{0,20}{<20}$	-
	осень									
	2001	6,6	26,0	38,5	1,15	0,3	0,07	<5,0	<8,0	-
	лето									
2001	осень	$\frac{8,35}{7,6}$	$\frac{26,85}{418,7}$	$\frac{0,25}{32,6}$	$\frac{2,8}{62,5}$	$\frac{1,35}{6,8}$	$\frac{0,25}{2,5}$	$\frac{<5,0}{<5,0}$	$\frac{<8,0}{<8,0}$	-
2002	осень	$\frac{8,8}{40,6}$	$\frac{20,1}{113,6}$	$\frac{<1,0}{<1,0}$	$\frac{<2,0}{7,0}$	$\frac{<1,0}{<1,0}$	$\frac{<1,0}{9,5}$	$\frac{<2,0}{<2,0}$	$\frac{<2,0}{<2,0}$	$\frac{<2,0}{<2,0}$
3 (8:1)	2000	$\frac{9,96}{11,54}$	$\frac{55,62}{70,63}$	$\frac{<4,0}{<4,0}$	$\frac{4,05}{9,8}$	$\frac{4,09}{55,56}$	$\frac{<1,0}{<1,0}$	$\frac{<4,0}{<4,0}$	$\frac{30,19}{<20}$	-
	осень									
	2001	7,2	32	36,5	0,79	0,29	0,05	<5,0	<8,0	-
	лето									
2001	осень	$\frac{6,15}{14,7}$	$\frac{61,45}{249,2}$	$\frac{1,05}{6,6}$	$\frac{2,5}{6,1}$	$\frac{1,3}{19,2}$	$\frac{0,3}{0,1}$	$\frac{<5,0}{<5,0}$	$\frac{<8,0}{<8,0}$	-
2002	осень	$\frac{13,6}{20,7}$	$\frac{32,0}{67,4}$	$\frac{<1,0}{<1,0}$	$\frac{<2,0}{<2,0}$	$\frac{<1,0}{<1,0}$	$\frac{<1,0}{<1,0}$	$\frac{<2,0}{<2,0}$	$\frac{<2,0}{<2,0}$	$\frac{<2,0}{<2,0}$

*Примечание: над чертой – надземная масса, под чертой – корни растений.

Как видно из табл. 4, основная масса тяжелых металлов задерживается корнями растений, а незначительная часть мигрирует в надземную массу. Транслокация тяжелых металлов из почвы в растения зависит от фазы развития растения.

В первый год после внесения удобрений растения аккумулируют незначительную часть от внесенного количества токсичных элементов. Основная их масса удерживается в корнеобитаемом слое почвы, и при систематическом применении удобрений концентрация тяжелых металлов в нем увеличивается.

Скашивание и запахивание зеленой массы растений (начало июня) оказало заметное влияние на химический состав травостоя. Об этом свидетельствуют данные анализа состава растений, отобранных в период окончания вегетации (осень). Запаханые растения минерализуются, а высвободившиеся тяжелые металлы на следующий год снова поглощаются фитомелиорантами, тем самым их значительная часть будет постоянно удерживаться зеленой массой. Увеличение содержания тяжелых металлов к концу вегетационного периода связано с обратной миграцией (надземная часть–корни) подвижных форм элементов по мере старения основной массы растений.

Значительные концентрации цинка (146,71 – 418,7 мг/кг) и кадмия (19,2 – 61,3 мг/кг) связаны с малой прочностью фиксации данных элементов в органическом веществе почвы по сравнению с другими металлами (свинец, медь, никель).

По данным табл. 4 можно сделать вывод о том, что уже на второй год эксперимента содержание тяжелых металлов в надземной массе снижается (по всем вариантам), поскольку основная их часть удерживается корнями растений. В ходе полевого эксперимента было отмечено интенсивное зарастание опытных участков таким агрессивным сорным растением, как лебеда белая.

Результаты химического анализа показали, что данное растение в большей степени накапливает такие элементы, как медь, цинк и свинец, причем в равной степени надземной частью и корневой системой. Прослеживается снижение содержания кадмия в надземной массе лебеды на второй год вегетации по всем вариантам.

По экспериментальным данным трёх лет были построены графики снижения содержания тяжёлых металлов (кадмия и хрома) в надземной массе газонной травы (экспоненциальная зависимость) в разных вариантах опыта по двум вегетационным периодам (рис. 3 и 4).

Снижение концентраций до МДУ по кадмию наблюдается на третий год эксперимента, а по хрому снижение ожидается через восемь лет.

$$y1(x) := 15.53e^{-1.77 \cdot (x-1)} + 0.1$$

$$y2(x) := 9.58e^{-2.077 \cdot (x-1)} + 0.1$$

$$y3(x) := 3.99e^{-1.2 \cdot (x-1)} + 0.1$$

$$t(x) := 0.5$$

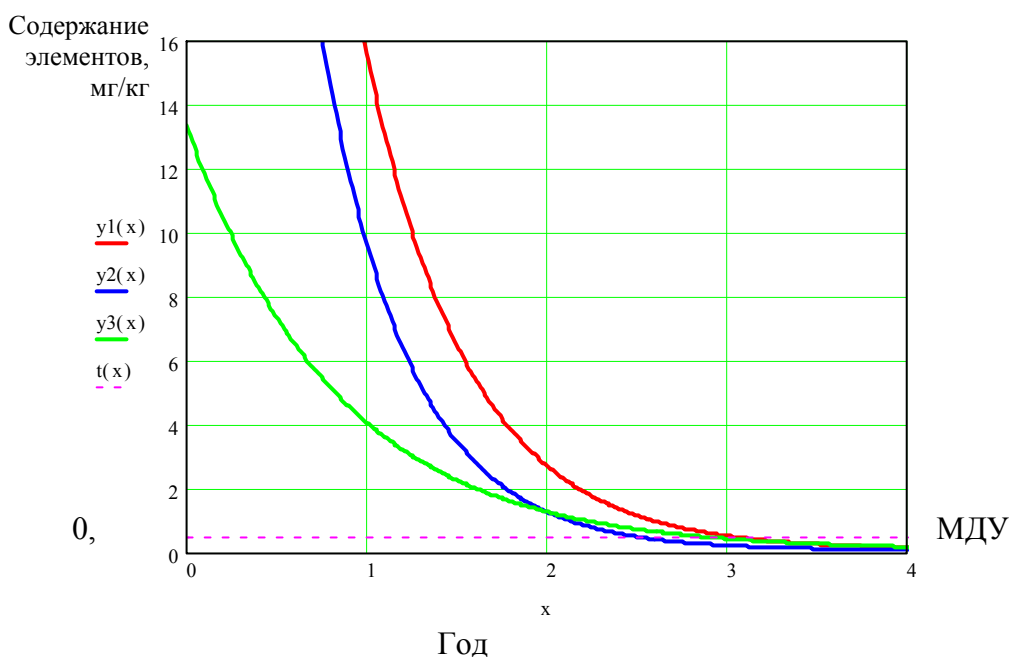


Рис. 3. Содержание кадмия в надземной массе растений

$$y1(x) := 5.4 \cdot e^{\frac{-(x-1)}{2.08}} + 0.01 \quad y2(x) := 4.66 \cdot e^{\frac{1-x}{1.7}} + 0.45 \quad y3(x) := 6.53 \cdot e^{-0.48 \cdot (x-1)} - 1.45$$

$$u(x) := 0.8 \quad t(x) := 2$$

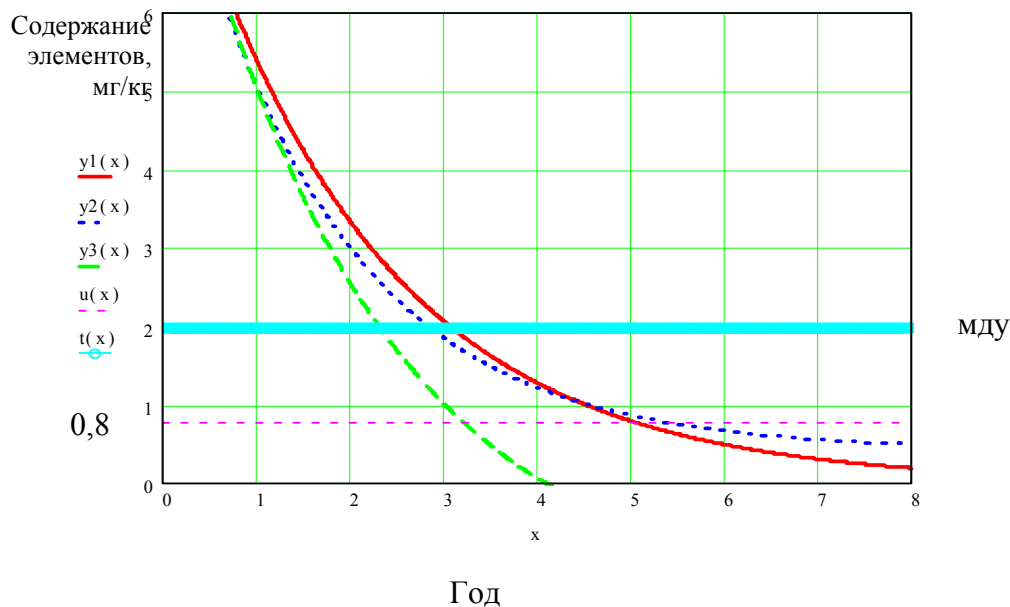


Рис. 4. Содержание хрома в надземной массе растений

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Улучшение агрохимических свойств и повышение плодородных свойств смесей золы и ила КОС происходит с увеличением дозы активного ила. На опытных участках золоотвала формируется плодородный слой с образованием плотной дернины на второй год после внесения ила.
2. Снижение концентрации тяжелых металлов в растениях до максимально допустимых уровней происходит на второй год исследования. Прослеживается превышение содержаний по элементам, входящим в состав ила КОС. С увеличением доли активного ила в почвогрунте возрастает содержание токсичных металлов в надземной части растений.
3. Основная часть тяжелых металлов поглощается корнями растений, лишь незначительное их количество поступает в надземную массу. На второй год после внесения ила увеличивается концентрация тяжелых металлов в корнеобитаемом слое, а в надземной массе – уменьшается.

Фитотоксичность субстратов. Под фитотоксичностью почвы обычно понимают свойство почвы подавлять рост и развитие внешних растений из-за присутствия в ней определенных химических элементов и веществ. Фитотоксичность является показателем загрязненности почвы ксенобиотиками и другими токсикантами. Это тестовый показатель, который обычно определяется по снижению числа проросших семян и уменьшению длины

проростков. Данный показатель используют для определения степени деградации почвы, а также величины ее загрязнения.

Целью исследования было определение фитотоксичности субстратов, которые используются в формировании плодородного гумусового горизонта в зависимости от их количественного сочетания.

Биотестирование с помощью растений – стандартный прием, используемый для оценки загрязнения субстратов. Один из наиболее часто применяемых для этих целей тест-объектов – проростки огурца. Данные о средних значениях длины главного корня и зоны боковых корней приведены на рис. 5 и 6.

Таким образом, использование средних показателей длины главного корня и зоны боковых корней позволяет оценить фитотоксичность смеси золы и активного ила 8:1 как слабую, а смеси 4:1 и 2:1 – как среднюю.

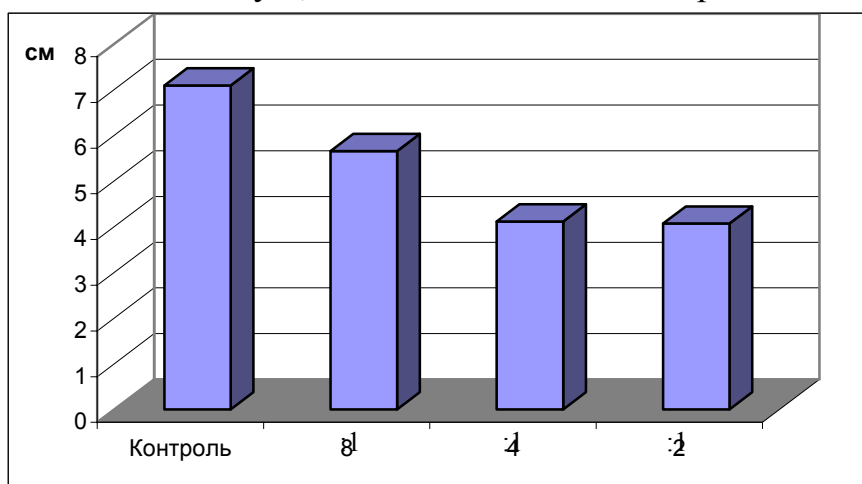


Рис. 5. Длина главного корня

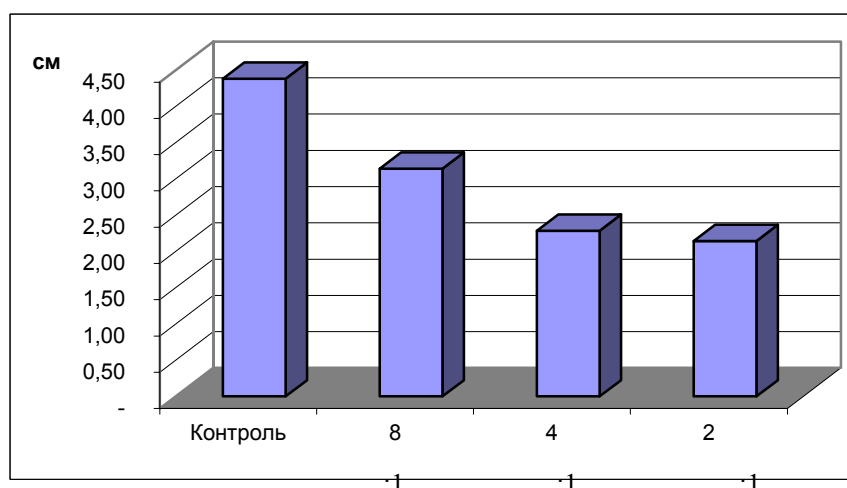


Рис. 6. Длина боковых корней

Таким образом, смеси золы и активного ила могут быть использованы для выращивания растений, устойчивых к высоким концентрациям тяжелых металлов и способных аккумулировать эти элементы.

Лизиметрические исследования. Миграция элементов из почвы происходит с гравитационными водами, сравнительно быстро просачивающимися через почвенную толщу. Эти воды называются лизиметрическими.

Для их получения на опытных участках золоотвала были заложены лизиметрические установки, состоящие из лизиметрических воронок и бутылей-приемников, соединенных через вакуумные шланги, которые выводятся на поверхность почвы для отвода воздуха и откачки лизиметрических вод.

Для определения химического состава лизиметрические воды откачивались из сосудов-приемников в мае – после схода снежного покрова – и в сентябре – перед началом заморозков. Затем измерялся объем фильтрующихся вод и их химический состав.

Анализируя полученные результаты, можно сделать выводы:

1. Объем сточных вод после рекультивации уменьшается. Это объясняется тем, что с добавлением ила уменьшается фильтрующая способность золы, так как поры закальматированы. Для предотвращения возможного заболачивания почвы предлагается такое технологическое решение, как оборудование сточных колодцев.
2. Превышение ПДС и ВСС по железу обусловлено, прежде всего, содержанием его в морской воде, которой для предотвращения пыления заливают золоотвал. В результате рекультивации золоотвала поступление этого металла в стоки прекратится.
3. Содержание меди, кадмия, кобальта, хрома близки к ПДС, то есть субстраты золы и активного ила пригодны для рекультивации.

Глава 4. Технологический этап консервации

Технологический этап рекультивации нарушенных земель проводят с целью рационального формирования поверхности отвалов (формирование и планирование поверхности; формирование потенциально плодородного корнеобитаемого слоя).

Создание почвенного слоя на золоотвале рекомендуется осуществлять в весенний период после схода снежного покрова.

Транспортировку ила КОС и непосредственное распределение его по поверхности золоотвала предлагается проводить в зимнее время года с помощью проложенной через площадку снежной дороги, не требующей специального покрытия в связи с устойчивым промерзанием почвы.

Достоинства зимних дорог:

- сравнительно низкая стоимость строительства;
- невысокие расходы на содержание проезжей части;
- довольно высокая пропускная способность;
- низкие эксплуатационные расходы и как следствие невысокая себестоимость транспортировки грузов.

После схода снега и фильтрации воды через площадку золоотвала необходимо приступить к подготовке почвы к посеву в следующей последовательности:

- на первом этапе поверхность накопителя разравнивают бульдозерами, планируют и уплотняют катками;
- на втором этапе необходимо перемешать отходы очистных сооружений с золошлаками на глубину 20...25 см вспашкой трактором с плугом;
- третий этап – боронование. Данная операция позволяет выровнять поверхность поля, разрушить почвенную корку и тем самым разрыхлить верхний слой почвы;
- следующий этап – высев семян. Посев трав можно проводить как механизированным способом (гидросеялкой или зерновой сеялкой), так и вручную. Семена (из расчёта 30 кг/га) заделываются в почву лёгкими боронами или шинами и щётками на глубину 0,5...1,0 см. В течение первого вегетационного периода должен проводиться полив.

В начале осени предполагается скашивать выросшую траву в связи с большим содержанием тяжёлых металлов с последующей закопкой её в землю. Для этой цели предполагается использование универсальной косилки. Возможен подсев трав.

ВЫВОДЫ

Основные результаты исследования и технологических разработок, выводы и практические рекомендации заключаются в следующем:

1. Создание плодородного гумусового горизонта на поверхности отслужившей секции золоотвала ТЭЦ-1 возможно при использовании обезвоженного активного ила канализационных очистных сооружений.
2. Улучшение агрохимических свойств и повышение плодородных свойств субстратов золы и ила КОС происходит с увеличением доли активного ила. Формирование плодородного слоя с образованием плотной дернины происходит на второй год после внесения ила.
3. Лимитирующий фактор использования ила КОС – высокое содержание тяжелых металлов. Наиболее благоприятное соотношение плодородия и фитотоксичности наблюдается при соотношении золы и обезвоженного ила КОС 2:1 и 4:1.
4. Основным аккумулятором тяжелых металлов являются растения. Отмечено избирательное поглощение как различными видами, так и различными частями растений.
5. Наибольшей поглощающей способностью, особенно по отношению к кадмию, обладает сорное растение лебеда белая.
6. Миграция тяжелых металлов осуществляется преимущественно в их подземные органы.

7. Исследования подтвердили, что со временем идет снижение концентрации тяжелых металлов в растениях и на третий год эксперимента концентрация их снижается ниже МДУ, что позволяет считать растения нетоксичными.

8. По экспериментальным данным трех лет были составлены математические модели, предсказывающие снижение концентрации до МДУ для кадмия через три года и для хрома через восемь лет.

9. Предложенная технология рекультивации золоотвала в зимний период имеет следующие достоинства:

- полная механизация процессов;
- низкая стоимость строительства;
- довольно высокая пропускная способность;
- низкие эксплуатационные расходы.

10. Создание сомкнутого растительного покрова позволит решить ряд экологических проблем, а именно:

- ликвидация пыльных бурь;
- снижение загрязнения гидросферы и атмосферы;
- оздоровление санитарной и экологической обстановки в районе проведения рекультивации;
- создание зеленого ландшафта.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Белозерова Т.И. Способ рекультивации золоотвалов тепловых электростанций в условиях Севера на примере Северодвинской ТЭЦ-1. /Юдахин Ф.Н., Белозерова Т.И.// Геоэкология. Инженерная геоэкология. Гидрогеоэкология. Геокриология. – М.: Наука, 2005. №1. с. 35-42.
2. Белозерова Т.И. Выбор метода рекультивации золоотвала Северодвинской ТЭЦ-1. / Белозерова Т.И., Палкина А.А., Скоморохова А.И.// Экология Севера. Материалы научно-производственной конференции. – Северодвинск, 2000, с. 37-38.
3. Белозерова Т.И. Использование лизиметрического метода в экологических исследованиях. / Белозерова Т.И., Буркова О.А., Черкасова О.А.// XIII Ломоносовские международные чтения: тезисы докладов III научно-практической конференции 13-15 ноября 2001 года. – Архангельск, 2001, с. 114-115.
4. Белозерова Т.И. Рекультивация первой секции золоотвала Северодвинской ТЭЦ-1 с использованием илов очистных сооружений и отходов ацетиленового производства. / Белозерова Т.И., Буркова О.А., Гуляева Т.Г.// Материалы международного экологического форума стран Баренц – региона. – Архангельск, 2001, с. 106-107.
5. Белозерова Т.И. Технологический этап консервации золоотвала северодвинской ТЭЦ-1. / Белозерова Т.И., Буркова О.А., Гуляева Т.Г.//

- Экологические проблемы Севера: Межвузовский сборник научных трудов, выпуск 5. – Архангельск, 2002, с. 131-132.
6. Белозерова Т.И. Биологический этап рекультивации первой секции золоотвала ТЭЦ-1. / Белозерова Т.И. // Экология 2003: материалы международной конференции молодых специалистов. – Архангельск, 2003, с. 32-34.
 7. Белозерова Т.И. Оценка воздействия на окружающую среду золоотвала Северодвинской ТЭЦ-1. / Белозерова Т.И., Буркова О.А. // Экологические проблемы Севера: Межвузовский сборник научных трудов, выпуск 6. – Архангельск, 2003, с. 176-177.
 8. Белозерова Т.И. Особенности поглощения растениями тяжелых металлов. / Белозерова Т.И., Буркова О.А., Гуляева Т.Г., Черкасова О.А. // Экология: проблемы и программы: Сборник статей и докладов. – Северодвинск, 2003, с. 23-31.
 9. Белозерова Т.И. Процессы миграции тяжелых металлов. / Белозерова Т.И., Буркова О.А., Шадрин Н.С. // Экологические проблемы Севера: Межвузовский сборник научных трудов, выпуск 7. – Архангельск, 2004, с. 183-185.
 10. Белозерова Т.И. Разработка вариантов рекультивации золоотвала в условиях Севера. / Белозерова Т.И. // Сергеевские чтения: инженерная геология и охрана геологической среды. Совр. состояние и перспективы развития. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геологии и гидрогеологии, вып. 6. – М., ГЕОС, 2004, с. 228-232.
 11. Белозерова Т.И. Совместная утилизация золошлаковых отходов угольной ТЭЦ и илов канализационных очистных сооружений. / Белозерова Т.И., Буркова О.А., Шадрин Н.С. // Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание: Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2004, с. 53-55.
 12. Белозерова Т.И. Решение одной из экологических проблем Северодвинска – рекультивация золоотвала. / Белозерова Т.И., Буркова О.А., Шадрин Н.С. // Экологическое образование и экологическая наука: проблемы и сотрудничество: Материалы IV международной научно-практической конференции. – Архангельск, ПГУ, 2004, с. 192-196.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями просим направить по адресу: 184200, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана 26А, Академгородок, учёному секретарю диссертационного совета Д 002.105.01 Громову П.Б.

Сдано в производство 4.05.2006. Подписано в печать 4.05.2006.

Уч.-изд. л. 0,88. Формат 84x108¹/₁₆. Усл.-печ. л. 1,25.

Тираж 100 экз.

Отпечатано в редакционно-издательском совете Севмашвтуза

164500, г. Северодвинск, ул. Воронина, 6.