

Источник: «Experiences of Three Landfill Mining Projects in the Baltic Sea Area - with focus on machinery for material recovery»

[https://www.researchgate.net/publication/268807365\\_EXPERIENCES\\_OF\\_THREE\\_LANDFILL\\_MINING\\_PROJECTS\\_IN\\_THE\\_BALTIC\\_SEA\\_AREA\\_-\\_with\\_focus\\_on\\_machinery\\_for\\_material\\_recovery](https://www.researchgate.net/publication/268807365_EXPERIENCES_OF_THREE_LANDFILL_MINING_PROJECTS_IN_THE_BALTIC_SEA_AREA_-_with_focus_on_machinery_for_material_recovery)

## **Опыт рекультивации трех свалок в регионе Балтийского моря (техника, используемая для выделения полезных материалов)**

### **Резюме**

В регионе Балтики существует огромное количество старых свалок и мусорных полигонов, расположенных поблизости от озер и рек. Основная опасность от свалок — загрязнение воды продуктами выщелачивания и парниковый эффект от выделения метана, а также негативное влияние на здоровье людей. Раскопка свалок и рекультивация почвы – возможные методы переработки отходов со старых мусорных полигонов. Раскопка свалки может быть интересна ввиду возможности извлечения ценных материалов, экономии средств для конечного покрытия свалки и последующего ухода за территорией. Исследовательский проект «Завершение жизненного цикла свалок – раскопка свалок Балтики ради будущего», спонсированный Шведским Институтом, включает серию раскопок в данном регионе. Хорошо известно, что на мусорные полигоны приходится огромная доля сброса опасных отходов, поэтому рекультивация таких полигонов крайне важна для устойчивого развития окружающей среды. Применяемые подходы демонстрируют возможные решения для рекультивации и предотвращения загрязнения почвы и воды. Добыча ресурсов способствует получению денежных средств, необходимых для успешной рекультивации. В данной статье описаны три проекта раскопки мусорных полигонов, причем особое внимание уделено типам используемой техники. Полномасштабные раскопки описаны на базе полигона Кудьяпе в Эстонии, а также полигонов Хёгбиторп и Вика в Швеции.

Ключевые слова: разработки вблизи водных объектов, добыча ресурсов со свалок, окружающая среда, металлы, токсичные вещества, рекультивация, экономика.

### **Введение**

Во многих регионах мира мусорные полигоны издавна рассматривались как конечный способ хранения мусора с минимальной стоимостью и самый распространенный способ избавления от мусора (Колликкатара и др., 2009; Крук и др., 2012). Даже в странах, где хорошо развиты системы обработки и вторичной переработки мусора, этот способ часто оставался весьма значимым. Сегодня недостаток пространства для устройства новых полигонов (в особенности в густонаселенных районах) стал проблемой для развития больших городов (Чжао и др., 2007), поэтому в некоторых странах раскопка полигонов стала хорошим выходом из положения; некоторые считают, что это – будущее переработки отходов и инновационная стратегия для борьбы с проблемами, связанными со скоплениями мусора (Хогланд, 2002).

Согласно исследованию Крука (Крук и др., 2012), добычу ресурсов со свалок можно описать как процесс извлечения минералов или других твердых природных ресурсов из отходов, которые ранее были захоронены в земле. Согласно Хогланду (Хогланд, 2002) и другим исследователям, целями такой добычи могут быть: 1) консервация территории полигона; 2) сокращение территории полигона; 3) устранение потенциального источника загрязнения; 4) снижение опасности существующего источника загрязнения; 5) извлечение энергии; 6) вторичная переработка добытых ресурсов; 7) сокращение расходов системы управления [свалками]; 8) рекультивация территории.

В процессе раскопки полигона можно получить ценные перерабатываемые материалы, в том числе металлы, рыночная цена на которые достаточно высока, и пластмассы, которые, несмотря на потенциально высокий уровень загрязнения, все же могут быть использованы для извлечения энергии и сокращения территории мусорных полигонов (Хогланд и др., 2004). Аэрация почвы полигона – дополнительный благоприятный фактор с точки зрения возможностей будущего использования территории. В общем виде процесс раскопки свалок – это ряд

механизмов для обработки (экскаваторы, сита/грохоты, конвейеры), организованных в эффективную конвейерную систему.

Американское агентство по охране окружающей среды объявило, что удаление загрязнений из осадка будет иметь самый высокий приоритет (Маллиган и др., 2001). Кадмий, медь, свинец, ртуть, никель и цинк считаются наиболее опасными тяжелыми металлами и включены в составленный агентством список основных загрязнителей (там же). Некоторые из этих металлов могут иметь высокотоксичное действие и/или накапливаться в живых организмах; они также хорошо сохраняются в окружающей среде и в звеньях пищевых цепочек (Гиришан и др., 2007).

Группа по экологии и эоинжинирингу из университета К.Линнея в Швеции сотрудничает с исследователями из различных стран Балтики, работающими над проблемами переработки мусора, в течение последних двух лет, хотя раскопки полигонов в группе исследователей Хогланда начались еще в 1994 г. В этой статье будут рассмотрены раскопки, рекультивация почвы, добыча ресурсов и техника, использованная в трех проектах по раскопке свалок, которые осуществлялись в рамках спонсированного Шведским Институтом проекта «Завершение жизненного цикла свалок – раскопка свалок Балтики ради будущего» в 2012-2015 гг.

## **Планирование раскопок**

Юджин Салерни составил «Руководство по рекультивации свалок» (Салерни, 1995), упомянув о необходимости составления тщательного технико-экономического обоснования (включающего историю деятельности свалки, тип сбрасываемых отходов, размеры, топографию и физические характеристики) до начала экскавационных работ, что подразумевает соответствующий анализ территории. Необходимо составить подробный рабочий план тестовых и полномасштабных раскопок, включая количество тестовых ям / траншей, выбор оборудования, систему обработки материала, организацию труда, создание рабочих зон и выбор средств анализа, измерений и сбора данных. Охрана здоровья и безопасности на территории раскопок также очень важны; задействованные лица должны вести себя ответственно – поэтому рабочих необходимо обучать, прежде чем они подписывают документ, касающийся мер безопасности. Важно обеспечить подходящую защитную одежду, твердые головные уборы, защитные очки, перчатки, сапоги, маски и т.д., а также контрольное оборудование, включающее измерители содержания метана и органического газа, и полноценный план действий в чрезвычайной ситуации. Важно провести планирование на территории до начала экскавационных работ: сколько материала каждой категории подлежит обработке и хранению и каким образом должны производиться раскопки. Использование техники должно быть экономичным. Следует избегать лишних перемещений техники; крайне рекомендуется сбалансированная логистика в обработке отходов и почвы. Необходимо учитывать погодные условия и обеспечить достаточное количество квалифицированной рабочей силы. Кроме того, необходимо проводить мониторинг состава воздуха, качества поверхности и грунтовых вод. Больше информации по проведению раскопок мусорных полигонов содержится в: Джозеф и др., 2008.

## **Три раскопанных полигона**

### **А. Полигон Сааремаа в Эстонии. Свалка Кудьяпе**

Площадь полигона Кудьяпе до раскопки составляла 5,16 га, из которых 4,2 га было покрыто мусором на начало раскопок. Территория недавнего сброса составляла 2,7 га, старого – 1,5 га. Объем мусора на свалки оценивался в 193000 кубометров. По полигону Кудьяпе имелся план закрытия, в котором была легально предусмотрена раскопка полигона в качестве меры рекультивации. Предполагаемый период раскопки – с июня по декабрь 2011 г., планируемый объем раскопки составлял 80000 тонн; это означало, что свалка никогда не будет раскопана полностью. Проект раскопки стартовал 22 мая 2012 г., его необходимо было закончить до 2013. 20 сентября 2013 г. была проведена праздничная церемония в общественном спортивном парке, построенном на бывшей территории свалки.

В соответствии с планом проекта было протестировано следующее оборудование: 1) барабанный грохот 40 и 80 мм; 2) шредер; 3) надконвейерный магнит; воздушный нож; 5)

вбросито, а также колесный фронтальный погрузчик (ок. 1 кубометра) и гусеничный экскаватор (во время наиболее интенсивных работ многие единицы техники задействовались одновременно). Обычно работала одна смена, однако в наиболее интенсивный период работа велась в две смены. Основной объем работ выполнялся барабанным грохотом 40 мм. От некоторых видов оборудования, использовавшихся вначале, в конце пришлось отказаться. В основном произошел отказ от магнита, поскольку он замедлял процесс работы, а конечный выход металла был сочтен недостаточным. Также пришлось отказаться от воздушного ножа. Все отходы были мокрыми, а использование тяжелой техники превратило почву в грязь, в связи с чем отделение фракций время от времени становилось невозможным. В конечной стадии использовался только 40-миллиметровый грохот, производивший фракции от 0 до 40 мм и крупнее 40 мм. Колесные механизмы испытывали трудности, поскольку почва размягчилась из-за дождя. Снег и лед сделали почву скользкой, а в холодную погоду при температуре до -15 С Металл часто ломался (из-за разницы в температуре мусора и окружающей среды). Всего было раскопано 12257 кубометров мусора и проведен скрининг 57777 кубометров. На рис. 1 и 2 показано оборудование, использованное на раскопке полигона Кудьяпе.



Рис. 1 Экскаватор загружает мусором барабанный грохот.



Рис. 2. Оборудование, использованное на свалке Кудьяпе. Фронтальный погрузчик, машина для предварительного дробления, барабанный грохот и конвейер.



## Б. Полигон Катринехольм в Швеции

Во время полевых работ на свалке Катринехольм можно было наблюдать от начала до конца полностью механизированный с помощью цепочки оборудования процесс разделения мусора. Вся цепочка включала шредер, сепаратор крупных кусков металла, сепаратор мелкой фракции (толщиной до 40 мм), сепаратор крупной фракции (камни, куски дерева и др.) и легких материалов (типа пластиковых пакетов) – рис. 3.



Рис. 3 Механизированный процесс, действующий на раскопке полигона Катринехольм в Швеции. Воздушный грохот, барабанный грохот, машина для предварительного дробления, предварительная сортировка экскаватором.

## Материал и методы

Из всех мусорных куч и контейнеров, содержащих материал из сепараторов, были отобраны образцы (в пластиковые пакеты или ведра): крупные куски металла, мелкая фракция, крупная фракция и легкие материалы (рис. 4). С целью получить максимально однородные образцы, тестовый материал из кучи мелкой фракции (толщиной до 40 мм) отбирался на разной глубине и в разное время. В конце процесса отбора образцов все кучи и контейнеры были взвешены; был рассчитан начальный объем (в кубометрах) кучи смешанного мусора для исчисления соотношений веса различных фракций в будущем.



Рис. 4 Кучи с несортированным мусором и отдельные кучи после механической сепарации. Изображение справа показывает магнитную сепарацию мелкой фракции металла и почвы.

Содержание металлов анализировалось с помощью ручного рентгенофлуоресцентного анализатора для горной промышленности и геохимии «Дельта».



Рис. 5: мелкая фракция, откуда производился отбор образцов; рентгенофлуоресцентный ручной анализатор. Такие анализаторы использовались на территории свалки для анализа содержания металла в мелкой фракции мусора.

### **Методы извлечения металлов из мелкой фракции, откуда отбирались образцы (почва и мелкие частицы толщиной до 40 мм)**

Согласно исследованиям, наиболее распространенными методами извлечения металлов из почвы являются следующие: химическая экстракция (кислоты/основания, сурфактанты, биосурфактанты, хелатирующие соединения, соли или окислительно-восстановительные соединения), переводящая металлы из почвы в водный раствор (Дермон и др., 2008; Маллиган и

др., 2001); отверждение/стабилизация и вымывание (Маллиган и др., 2001); флотация с технологией физического отделения с использованием фазоспецифического коллектора (в первую очередь кадмий, медь, свинец и цинк из осадка и почвы) (Дермон и др., 2008); магнитная сепарация тяжелых металлов в ферромагнитных соединениях.

## **Преимущества и недостатки**

### **Физическая сепарация**

Преимущества (Дермон и др., 2008): 1) могут обрабатываться органические и минеральные загрязнители в одном и том же перерабатывающем устройстве; 2) по завершении процесса объем загрязненной почвы, подлежащей последующей обработке (для извлечения металлов), значительно сокращается; 3) обработанная почва может быть возвращена на территорию с низкими затратами; 4) извлеченный металл может быть переработан в отдельных случаях (например, направлен на переплавку) или продан промышленным предприятиям; 5) обрабатывающие системы механизмов состоят из модулей и могут быть использованы в рекультивации территории; 6) технологии хорошо разработаны и эксплуатационные расходы ниже, чем при других способах.

Недостатки (там же): 1) требует крупногабаритного оборудования и пространства для обработки почвы; 2) экономическая целесообразность достигается лишь при большом объеме обрабатываемой почвы (более 5000 т на территории); 3) может требоваться промывка и свалка отходов переработки на отдельной территории, что значительно удорожает стоимость операции.

### **Химические процедуры**

Преимущества: сорбированные формы металлов подлежат переработке; 2) некоторые металлосодержащие соединения могут быть растворены; 3) в некоторых случаях возможна обработка мелкодисперсной почвы; 4) извлеченный металл легко восстанавливается с помощью множества различных методов; 5) химически обогащенная промывка почвы представляется весьма привлекательным способом при условии вторичной переработки реагентов, их детоксикации или в случае, если реагенты нетоксичны.

Недостатки (там же): 1) использование химических соединений значительно повышает расходы на переработку; 2) обработанная почва может оказаться непригодной к выращиванию растений или сбросу обратно на территорию, поскольку ее физико-химические и микробиологические свойства нарушены; 3) присутствие токсичных химических соединений в обработанной почве или грязевом осадке может затруднить их утилизацию; 4) присутствие определенных химических соединений в жидкости для промывки может осложнить обработку воды, что увеличивает стоимость процесса; 5) обработка шлама (грязевого осадка), содержащего значительное количество металла, может быть затруднена; 6) используемые химические соединения могут вызывать и другие проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды.

## **Методы, используемые для анализа отобранных образцов мелкой фракции.**

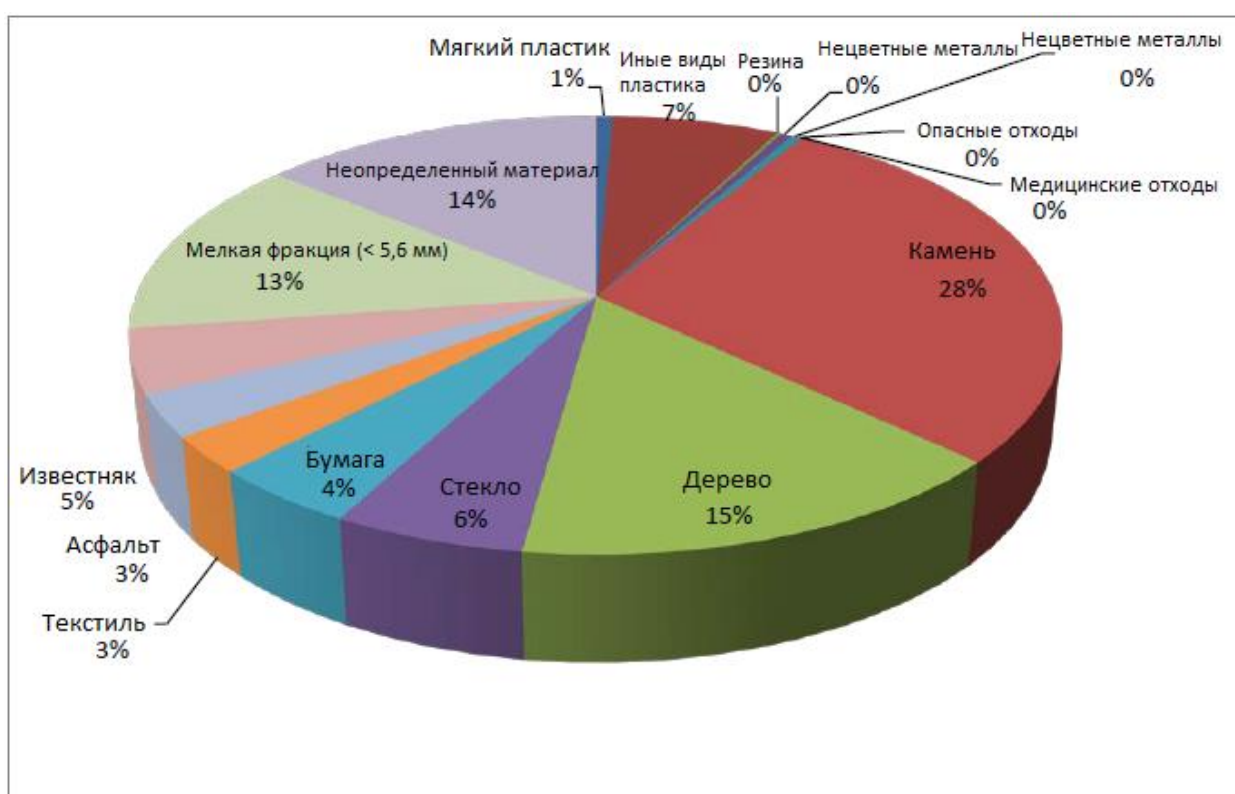
Согласно исследованиям (Дермон и др., 2008; Маллиган и др., 2001), следует сочетать химическую и физическую экстракцию. Одновременное взаимодополняющее использование обоих методов (физическое отделение частиц и химическая экстракция) может быть весьма полезно для извлечения металлов из почвы, содержащей металлические соединения. Таким образом, в этой комбинации сначала должна использоваться физическая сепарация (в первую очередь по показателям размера, плотности и плавучести) (Дермон и др., 2008) для сосредоточения металлических частиц в небольшом объеме почвы, а затем рекомендуется ряд методов химического извлечения (с использованием подходящей технологии) для выделения ненужных частиц металлов из этой концентрированной фракции (Маллиган и др., 2001).



## В. Полигон Хёгбиторп, Бро, Швеция.

В 2014 г. была проведена тестовая раскопка свалки на территории мусорного полигона Рагн-Селлз АВ, расположенного в 40 км к северо-западу от Стокгольма. Полигон Хёгбиторп был заложен в 1964 г., занимает территорию около 30 га и содержит как муниципальные, так и промышленные отходы. Раскапывавшиеся отходы складировались на полигоне Хёгбиторп в 2009-2014 гг. как исключение из директивы ЕС. Используемое оборудование: грохот типа TEREХ 883 (Северная Ирландия), ковшовый экскаватор и фронтальный погрузчик.

Было выкопано четыре тестовые ямы глубиной 3,5–4 м для того, чтобы получить достаточное количество отходов для выполнения детальной характеристики и определения разнородности отходов (в общей сложности около 2100 тонн) с целью получить реалистичное соотношение массы различных материалов и предложить адекватную эффективную систему сортировки мусора для будущих полномасштабных раскопок. На рис. 6 показан состав мелкой фракции отходов (менее 40 мм).



Тестовые раскопки проводились сухим летом 2014, так что проблем с оборудованием не наблюдалось. Единственная проблема была связана с пыльными дорогами и плавучим битумом, обнаруженным среди мусора. Возможно, следует использовать экскаватор с зубчатым ковшом для ускорения и упрощения процесса раскопки. В полномасштабных работах будет раскопано ок. 150-200 тыс. тонн мусора; имеется разрешение на дробление 18900 тонн крупной фракции. В массе отходов можно обнаружить проволоку, краску, битум и другие типы отходов, а также камни, которые не должны попадать в дробилку. Раскопка полигонов причиняет большой вред оборудованию по сравнению с обычной сортировкой отходов на свалке. Стоимость дополнительного вреда оценивается на 10% выше и составляет 30 шведских крон на тонну (1/3 евро на тонну). Сортировка также занимает больше времени, чем обычная сортировка. Возникает вопрос: какое количество материала придется снова отправить на полигон после раскопки и сортировки? Важно определить методы отделения металлов, проводить анализ образцов мусора и промывку материала. Если обнаружатся опасные отходы, возникают следующие вопросы: что делать с опасными отходами? Каков риск перемещения мусора вокруг них? Существует ли проблема с метаном для безопасности раскопок? Нужно ли сооружать вентиляционные траншеи или следует использовать закачку воздуха в свалку до начала раскопок?

В проекте необходимо учитывать экономические аспекты, в том числе извлечение металлов, отходов топлива, почвы и т.д.; также возникает вопрос: возможно ли получить назад налоги, ранее уплаченные при отправке мусора на полигон?



Рис. 7 Грохот, ковшовый экскаватор и фронтальный погрузчик, использовавшиеся в Хёгбиторпе.

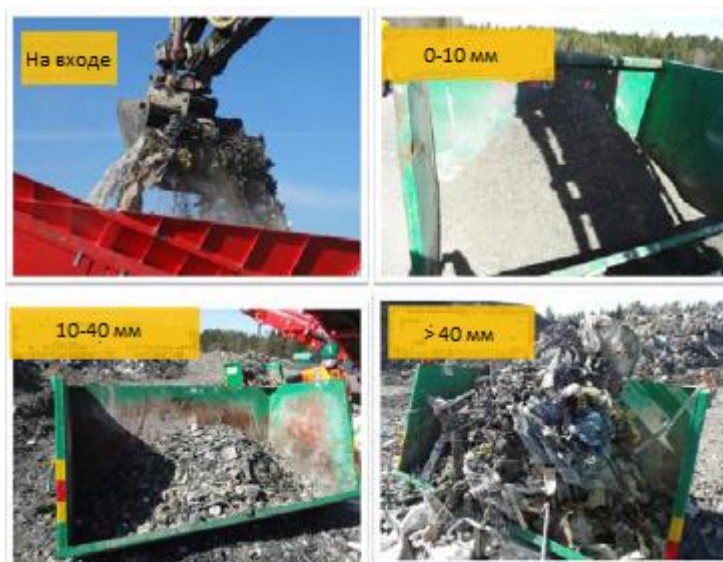


Рис. 8 Фотографии, где показан мусор, рассортированный на различные фракции (мелкая фракция менее 10 мм, средняя фракция 10-40 мм и крупная фракция более 40 мм, подлежащая дроблению).

Общий объем отсортированной крупной фракции более 40 мм составил 392 тонны – она была раздроблена в шредере для крупной фракции, а затем разделена на фракцию (300 тонн), содержащую нецветные металлы, и 92 тонны мелкой фракции (менее 20 мм). Объем отсортированной средней фракции (10-40 мм) приблизительно оценивается в 560-600 тонн, а мелкой фракции от 0 до 10 мм – в 929 тонн.



## Выводы

Необходимо выбирать подходящее оборудование для разных типов мусора, складированного на полигоне на протяжении его функционирования.

Важна также комбинация разных типов оборудования; имеет значение, колесное оно или гусеничное.

Также для стоимости проекта и своевременного выполнения работ важна логистика в рабочей зоне.

Мусор на полигоне можно отделять от разных слоев, толкая его тяжелым уплотнителем (катком), однако этого следует избегать, т.к. проделывается лишняя работа. Это означает экскавацию в два этапа, и данный вид сортировочного оборудования не может использоваться для подачи мусора в сортировочную машину.

Погодные условия влияют на скорость работы, вопросы безопасности и стоимость. Снег и слякоть делают почву мягкой и скользкой. Это осложняет процесс просеивания мусора, поскольку механизм забивается, и работа движется медленнее. Некоторые типы мусора (рыбачьи сети, длинные пластиковые ленты, веревки, матрасы, матерчатые тенты, бетонные блоки и крупные камни) вызывают проблемы с оборудованием и конвейерными лентами. Предпочтительно работать в холодную погоду (работа движется быстрее). Летние условия в целом благоприятны, но при работе и транспортировке может возникать много пыли. Возможно, придется опрыскивать мусор и дороги водой.

Начальное вскрытие полигона и снятие верхних уровней требует крупной техники, но в дальнейшем может легко справляться экскаватор меньшего размера.

Рабочие условия могут быть опасны для рабочих, находящихся рядом с машинами, а также для водителя (например, когда экскаватор балансирует на краю рабочей зоны).

Рабочую зону, как правило, следует делать небольшой, чтобы уменьшить количество пыли, разнесение мусора ветром, запах и объем загрязненных сточных вод, образующихся во время дождя.

Рассортированный мусор и кучи извлеченного материала должны правильно храниться. Крайне важным является штабелирование раскопанного материала, поскольку оно требует пространства, а в очень холодную проблему водяной пар может стать проблемой. Обычно проблема с паром решается ветром. Однако в некоторых кучах мусора, особенно содержащих органику, температура быстро поднимается до 60-70 градусов Цельсия, и в ветреную погоду существует опасность самовоспламенения.

Проблемы также возникают с взрывоопасным метаном, взрывоопасными предметами, пылью, химической пылью, аэрозолями и водяным паром в больших количествах.

Могут обнаружиться опасные отходы, которые должны храниться и транспортироваться соответствующим образом. Следует избегать перемещения опасного материала в открытых ковшах экскаватора и погрузчика.

Разрабатываются и реализуются различные технологии и сочетания методов для рекультивации почвы и осадка, загрязненных тяжелыми металлами. Однако извлечение любых металлов, связанных с почвой, всё еще является проблемой.

Необходимо разрабатывать новые экологически чистые методы раскопки свалок, рудных отвалов (шлака), переработки осадка и грязи из отстойников. Используемые сегодня методы сепарации ежедневно производимого мусора разрабатывались в течение 30 и более лет. Теперь мы вступаем в новый период более сложной сортировки, и для того, чтобы этот процесс стал во всех отношениях эффективен, возможно, понадобится еще лет 30.

## Литература:

Dermont G., Bergeron M., Mercier G., Richer-Lafèche M. Soil washing for metal removal: a review of physical/chemical technologies and field applications. J Hazard Matter. v. 152, n. 1, 31 p. 2008

Ghirişan A.L., Drăgan S., Pop A., Simihăian M., Miclăuş V. Heavy Metal Removal and Neutralization of Acid Mine Waste Water - Kinetic Study. The Canadian Journal of Chemical Engineering. v. 85, 2007

Hogland W., Marques M., Nimmermark S. Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas. J Mater Cycles Waste Manag. v. 6, 119–124p. 2004

Hogland, W. Remediation of an old landfill: soil analysis, leachate quality and gas production. Environmental Science & Pollution Research International. v. 1, 49–54p. 2002

Joseph, K., Nasgendran, R., Thanasekaran, K., Visvanathan, C., Hogland, W., Kathikeyan, O., P., Moorthy, N.N., 2008. Dumpsite rehabilitation manual, Centre for Environmental Studies, Anna University, Chennai – 600 025 India

Kollikkathara N., Feng H., Stern E. A purview of waste management evolution: Special emphasis on USA. Waste management. v. 29, 974–985p. 2009

Krook J., Svensson N., Eklund M. Landfill mining: A critical review of two decades of research. Waste Management. v. 32, 513–520p. 2012

Mulligan C.N., Yong R.N., Gibbs B.F. Heavy metal removal from sediments by biosurfactants. Journal of Hazardous Materials. v. 85, 111–125p. 2001

Salerni, I., E. Landfill Reclamation Manual. Reclaim-95 Landfill Mining Conference, September 28-29, 1995, Resource Recovery Report, SWANA Landfill Reclamation Task Group. 1995

Zhao Y., Song L., Huang R., Song L., Li X. Recycling of aged refuse from a closed landfill. Waste Management Research. v. 25, 130–138p. 2007