ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI 10.15593/2409-5125/2016.01.05

УДК 504.064.47

Н.Н. Слюсарь

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОТЛОЖЕННЫХ РЕСУРСОВ ИЗ МАССИВОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Старые объекты захоронения твердых коммунальных отходов (ТКО) можно рассматривать как запасы отложенных антропогенных ресурсов. Возможность извлечения ресурсного потенциала из массива захоронения зависит от возраста объекта и технологии его эксплуатации. Исследования проводились на свалках и полигонах захоронения ТКО, находящихся на разных стадиях эксплуатации. Анализ результатов исследований морфологического и фракционного состава отходов показал, что извлечение вторичных материалов и компонентов для производства вторичного топлива из отходов целесообразно для объектов возрастом до 10 лет, более старые объекты можно рассматривать как источники свалочных техногенных грунтов.

Доля вторичных материалов, пригодных для материального и/или энергетического рециклинга, снижается с 30–45 % в исходном составе ТКО до 20 и 10 % на полигонах возрастом 2–3 года и 10–12 лет соответственно. Использование оптической идентификации компонентов позволяет идентифицировать и отсортировать до 50 % экскавированных вторичных материалов возраст, которых не превышает 2-х лет, и до 10–15 % вторичных материалов из более старых отходов.

Доля грунтовых материалов на полигонах возрастом 10–15 лет достигает 50–60 %. С увеличением возраста объекта доля содержания свалочного грунта выравнивается и достигает предельного значения на уровне 80 %.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, свалка, полигон, антропогенные ресурсы, материальный потенциал.

В России в настоящий момент не сформировано представление о свалках и полигонах захоронения отходов как о потенциальном источнике полезных ресурсов. Отдельные имеющиеся разработки посвящены добыче и использованию биогаза, формирующегося при разложении отходов. В то же время отходы, складированные на старых свалках и полигонах, можно рассматривать как отложенные материальные и энергетические ресурсы, которые могут быть извлечены и переработаны [1]. При этом основными продуктами рекуперации массива отходов являются:

1) вторичные материальные ресурсы (например, черные и цветные металлы);

2) компоненты вторичного топлива из отходов (полимерные материалы, бумага, картон);

3) земельный участок, освобожденный в ходе экскавации отходов.

Первый проект по экскавации свалочных массивов с целью извлечения вторичных ресурсов был осуществлен в Израиле в 1953 г. на полигоне вблизи г. Тель-Авив [8]. Основной целью проекта было извлечение почвенного материала, который впоследствии использовался для улучшения плодородных свойств почвы.

В Европе первый проект по экскавации полигона был реализован в Германии в 1993 г. (полигон «Бюргхоф» в Баден-Вюртемберге). Проект выполнялся для оценки технической возможности и экономической целесообразности экскавации и дальнейшей переработки отходов значительного срока хранения. Проекты по экскавации полигонов проводились также в Италии, Нидерландах, Австрии, Швеции, Финляндии, Швейцарии, Эстонии, Латвии [6, 9–14].

Проекты в США и Канаде, реализованные в основном в 1980–1990 гг., были посвящены выделению высококалорийной фракции (альтернативного топлива) для производства энергии [5, 6].

В Азии проекты по экскавации полигонов проводились в Китае, Индии, Шри-Ланке, Южной Корее и Таиланде. В большей степени проекты были направлены на оценку пригодности извлеченных материалов для получения компоста. Кроме того, оценивались качество и количество материалов, пригодных для полу-

чения вторичного топлива из отходов. Ряд проектов был направлен на рекультивацию территории и ее возврат в хозяйственный оборот [6, 8].

Анализ, выполненный группой ученых из Университета г. Инсбрук [6], показал, что в мире в 20 % проектов основным направлением было использование отходов с целью получения материальных ресурсов (материалов для дальнейшей переработки), энергетических ресурсов (альтернативного топлива) и компоста (так называемый биологический ресурс отходов). Проблемы загрязнения окружающей среды были в центре внимания 22 % проектов, целью которых была оценка влияния полигонов и свалок на грунтовые и поверхностные воды, стабильности массива полигона, эмиссий биогаза и фильтрата, оценка санитарно-гигиенических и иных рисков.

Восстановление емкости полигонов и/или его приведение в состояние, удовлетворяющее нормативным требованиям, включающее в себя мероприятия по обработке/обезвреживанию ранее захороненных отходов, переформированию массива или перемещению добытых материалов, имели цель порядка 20 % проектов. Только 7 % всех проектов были направлены на рекультивацию территории для дальнейшего использования в городской застройке, например создание парков и промышленных зон.

Распределение отдельных категорий целей до и после 1999 г. указывает на то, что извлечение ресурсов из экскавированных отходов всегда было главной целью рассматриваемых проектов, но значительно увеличилось (с 14 до 28 %) в период после 1999 г. Развитие современных технологий по сортировке и переработке отходов, безусловно, стало основной причиной возросшего интереса.

Кроме того, целевой акцент сместился от использования органических и минеральных фракций в качестве компоста или техногрунта в сторону извлечения более ценных фракций, таких как металлы и пластики. Проблемы загрязнения окружающей среды стали доминирующими целями в 2000–2009 гг., в то время как задачи по восстановлению емкости и рекуперации полигонов потеряли актуальность.

В настоящее время проекты по экскавации массивов отходов не теряют актуальность, вопросы изучения возможности использования складированных отходов сопровождаются оценкой экономических затрат и возможности реализации проектов в современных условиях [3, 15–17].

С целью оценки возможности и целесообразности реализации проектов извлечения отложенных ресурсов на полигонах Пермского края были проведены исследования на ряде объектов размещения ТКО разного возраста захоронения.

Объекты исследования. Экскавация массивов отходов с отбором проб захороненных ТКО проводилась в период 2013–2014 гг. Исследования выполнялись на свалках и полигонах, расположенных в Пермском крае (таблица). Возраст изучаемых объектов варьируется от 7 до 60 лет, ряд объектов находится в стадии активной эксплуатации, некоторые закрыты для приема отходов.

Характеристика объектов исследования

Показатель	Полигон захоронения ТБО г. Краснокамска	Свалка ТБО г. Краснокамска	Свалка ТБО г. Кунгура	Свалка «Голый Мыс»
Годы эксплуатации	С 2008	1963–2008	С 1965	1952–1982
Статус объекта	Эксплуатируется	Закрыт, не рекультивирован	Участок 9,85 га – закрыт, рекультивирован; участок 18,65 га – эксплуатируется	Закрыт, не рекультивирован
Мощность объекта, тыс. м ³	142,7	697,3	205,4	14 900,0
Площадь объекта, га	13,0	10,5	28,5	29,75
Дата отбора проб	Июль 2013 г.	Июнь 2014 г.	Март 2014 г.	Март 2014 г.
Глубина отбора проб, м	0–6	0–9	Закрытый участок – 0–2 м; эксплуатируемый участок – 0–8 м	0–8

Полигон захоронения ТБО г. Краснокамска: объект запущен в 2008 г. и в настоящее время находится в стадии активной эксплуатации. Эскавация массива и отбор проб проводились на карте, возраст которой составляет 3 года (возраст складированных отходов варьируется от 1 до 3 лет).

Свалка ТБО г. Краснокамска: объект находился в эксплуатации в период 1963–2008 гг., в настоящее время свалка закрыта для приема отходов, но работы по рекультивации объекта не проводились. Возраст экскавированных на объекте отходов оценивается как 15–45 лет.

Свалка ТБО г. Кунгура: объект находится в эксплуатации с 1965 г. Часть свалки была закрыта для приема отходов и рекультивирована в 2007 г. Второй участок свалки в настоящее время находится в стадии активной эксплуатации. Пробы отходов были отобраны на двух участках свалки. Возраст отходов в отобранных пробах 40–50 лет на первом рекультивированном участке, и 1–5 лет – на втором, находящемся на стадии эксплуатации.

Свалка «Голый Мыс»: свалка не эксплуатируется с 1982 г., возраст захоронения отходов более 40 лет. Работы по рекультивации объекта не проводились.

Методы исследования. Отбор проб проводился при помощи экскаватора на всю глубину массивов захоронения отходов. Пробы отходов отбирались по профилю отбора с интервалом 1,5–2,0 м. Без дополнительной обработки пробы пакетировались и доставлялись в лабораторию.

Лабораторные исследования включали в себя определение фракционного и морфологического состава. Фракционный состав определялся путем последовательного просеивания образцов через сита с размером ячеек 100, 50 и 20 мм.

Морфологический состав отходов определялся для фракции размером >50 мм. Пробы отходов разбирались вручную с выделением следующих компонентов: стекло, камни, металл, дерево, полиэтилен, текстиль, бумага, свалочный грунт, прочее.

Пробы отходов, отобранные на полигоне захоронения ТБО г. Краснокамска, дополнительно анализировались на комплексе оптико-механической сортировки отходов. Фракции отходов идентифицировались и отсортировывались с помощью сенсоров оптического распознавания материалов.

Результаты лабораторных исследований. В ходе определения фракционного состава отходов были выявлены зависимости увеличения доли мелкой фракции размером <20 мм с увеличением возраста объекта захоронения (рис. 1).

В состав мелкой фракции отходов размером <20 мм входят разложившиеся пищевые и другие органические отходы, а также измельченные неорганические фракции (песок, мелкие камни и т.п.). Мелкая фракция отходов, как правило, содержит незначительное количество материалов, обладающих материальной (вторичные ресурсы) или энергетической (калорийные фракции) ценностью. В то же время этот материал, называемый свалочным грунтом, близок по составу к техногенным грунтам и может быть использован для различных хозяйственных целей [2, 18].

Рис. 1. Изменение фракционного состава отходов с возрастом захоронения

Крупная фракция отходов >100 мм в большинстве случаев представлена неразложившимися компонентами (дерево, полимеры, бумага), складированными близко к поверхности полигона и, как следствие, неподверженных механической деформации в результате давления массива отходов. Снижение содержания крупных фракций отходов (см. рис. 1) после 5 лет размещения отходов на полигоне в первую очередь связано с механическим разрушением отходов в результате их уплотнения верхними слоями отходов (на всех исследуемых объектах используется технология

последней укладки отходов на картах), а также с частичным разложением таких компонентов, как бумага и картон.

Результаты определения морфологического состава экскавированных ТКО представлены на рис. 2.

Изменение с возрастом захоронения доли фракций биоразлагаемых отходов, таких как бумага, картон, дерево, связано в первую очередь с процессами разложения отходов в массиве свалки или полигона. Для «молодых» отходов возраста 2–5 лет характерно содержание биоразлагаемых компонентов на уровне 10–15 %. Доля данных фракций отходов в массивах старше 15 лет снижается до 2–5 %.

Рис. 2. Изменение морфологического состава отходов с возрастом захоронения

В то же время процессы биоразложения отходов являются не единственным фактором, влияющим на изменение морфологического состава отходов во времени. Следует учитывать тот факт, что морфологический состав отходов, генерируемых населением и направляемых на захоронение, каждый год изменяется. Наибольшие изменения характерны для таких фракций, как полимерные материалы и стекло. Это обуславливает резкое снижение доли полимерных материалов в отходах старше 20 лет (рис. 2, 3).

Результаты сравнения исходного морфологического состава ТКО (образующиеся отходы, направляемые на захоронение) с данными морфологического состава экскавированных отходов показали, что для «старых» объектов захоронения характерна отрица-

тельная разница в процентном составе таких фракций, как стекло и металлы (см. рис. 3). Так как эти фракции на протяжении десятилетий остаются в массиве отходов практически в неизменном состоянии, существует предположение, что это связано с тем, что данные виды не захоранивались на свалках, а собирались и сдавались в пункты приема вторичного сырья.

Доля содержания свалочного грунта в отходах, возраст которых превышает 15 лет, выравнивается с увеличением возраста отходов и достигает предельного значения на уровне 80 %. Это объясняется высокой степенью разложения биоразлагаемых компонентов и низким содержанием полимерных материалов в исходном составе отходов.

* Исходный состав отходов (Исх.) определен на основании данных [19] для объектов, находящихся в эксплуатации, и ретроспективного анализа на 20 лет для старых свалок

Рис. 3. Сравнение исходного морфологического состава отходов (Исх.) и состава анализируемых проб (Экск.)

Направления использования экскавированных отходов.

Изучение данных о фракционном и морфологическом составе отходов, складированных в массивах захоронения отходов, позволяют оценить отложенный ресурсный потенциал объектов разного возраста и предложить направления использования экскавированных материалов.

С точки зрения возврата материалов в ресурсный цикл наибольший интерес представляют фракции отходов, которые можно

использовать вторично как рециклируемые материалы (бумага, картон, полимерные материалы, стекло, металл). Как показали результаты исследований фракционного и морфологического состава отходов, подобные неразрушенные процессами биоразложения материалы можно извлечь из массивов захоронения, возраст которых не превышает 5 лет. Доля потенциальных вторичных материалов резко уменьшается с увеличением возраста объекта захоронения (рис. 4).

Рис. 4. Ресурсный потенциал экскавированных отходов

Для подтверждения возможности промышленного извлечения вторичных ресурсов из потока экскавированных отходов пробы ТКО полигона г. Краснокамск (возраст отходов 1–3 года) были рассортированы на комплексе оптико-механической сортировки отходов. Использование сенсоров оптического распознавания материалов позволило выделить большое число фракций (в том числе полимерных материалов, таких как ПЭТ, ПНД, ПВХ, ПП и т.п.) в независимости от степени их загрязнения. Результаты оптико-механической сортировки отходов (рис. 5) показали, что наиболее полное выделение материалов технически возможно только для отходов возраста 1–2 года.

В то время как в пробах отходов, возраст которых не превышает 2 лет, можно идентифицировать и извлечь до 50 % фракций, доля отбора вторичных материалов для более старых отходов снижается до 10–15 %. Качество отсортированных материалов

в том числе зависит от режимов настройки работы оборудования сортировки (настройки чистоты отбора материала). В целом оптико-механическая сортировка позволяет извлечь из потока отходов материалы, которые могут быть направлены во вторичную переработку (полимерные материалы, металлы). Однако значительная доля вторичных материалов имеет высокую степень загрязнения и повышенную влажность, что ведет к увеличению затрат в ходе их рециклинга.

Рис. 5. Результаты оптико-механической сортировки экскавированных ТКО

В то же время, несмотря на то, что технически из «молодых» экскавированных отходов можно извлечь до 50 % вторичных материалов, экскавировать и сортировать данные отходы экономически нецелесообразно. Отсутствие предварительной сортировки ТКО перед их размещением на полигоне говорит о слабом развитии рынка сбора и переработки вторичных материалов. Следовательно, извлеченные из массива отходов вторичные материалы не смогут быть реализованы на рынке.

Другим направлением использования экскавированных отходов может быть их энергетическая утилизация (прямое сжигание калорийных фракций или производство вторичного топлива из отходов). Доля фракций отходов, обладающих высокой теплотворной способностью, зависит от морфологического состава захораниваемых отходов и возраста объекта захоронения. Фракции, обладающие энергетическим потенциалом, так же как

и вторичные материалы, можно извлечь из потока ТКО, используя оборудование оптического распознавания материалов. Фракции отходов, непригодные для вторичного использования из-за сильного загрязнения или высокой влажности, могут быть после предварительной сушки (в том числе в естественных условиях) использованы для производства вторичного топлива из отходов. Потенциал извлечения энергетических фракций достигает 45–50 % и снижается с увеличением возраста объектов захоронения (рис. 6).

Рис. 6. Результаты отбора суммы калорийных фракций экскавированных отходов

Снижение доли отбора суммы калорийных фракций в более старых отходах в первую очередь связано с тем, что влажные бумага и картон не идентифицируются сенсорами оптического распознавания материалов и не могут быть отсортированы в промышленном масштабе. Кроме того, снижается доля отбора полимерных материалов из-за высокой степени их загрязнения. Эти факторы являются серьезным ограничением для использования экскавированных отходов для производства вторичного топлива из отходов, когда к топливу предъявляются высокие требования по величине теплотворной способности и зольности.

Для «старых» объектов захоронения характерно низкое содержание фракций отходов, которые могут быть использованы вторично или с извлечением энергии. В то же время доля свалочных грунтов на объектах захоронения, возраст которых превышает 15 лет, составляет более 50 % и достигает 80–85 % на объектах

старше 30 лет. Согласно проведенным исследованиям [2, 16], свалочные грунты близки по своему составу и свойствам к техногенным почвам и могут быть использованы в хозяйственных целях в качестве грунтовых материалов. Направление использования свалочного грунта зависит от требований, предъявляемых к исходным материалам. Так, например, свалочный грунт, экскавированный из старых карт захоронения, может быть использован в качестве промежуточной изоляции отходов на новых картах полигона. Кроме того, использование свалочных грунтов вне объекта захоронения (например, для технической рекультивации нарушенных земель или заполнения отработанных карьеров) позволит значительно сократить объем массива захоронения, освободить новые площади или сократить затраты на перемещение отходов в случае полной экскавации и перезахоронения старых свалок.

Выводы и рекомендации. Результаты исследований ТКО, экскавированных из массивов свалок и полигонов Пермского края, показали, что со временем фракционный и компонентный состав захороненных отходов подвергается значительным изменениям. Это связано как с процессами разложения быстроразлагаемых фракций, так и с процессами механической деформации и разрушения в результате послойной укладки отходов на карте и давления, создаваемого массивом отходов.

Ресурсный и энергетический потенциал экскавированных отходов резко снижается после 5 лет захоронения. Высокая степень загрязнения и повышенная влажность захороненных отходов потребуют дополнительных затрат на подготовку отходов перед их утилизацией. Это может стать препятствием для их использования и должно быть учтено при выполнении технико-экономических расчетов внедрения технологий переработки.

Содержание свалочного грунта в старых массивах захоронения ТКО со временем увеличивается. Экскавация массивов и последующее использование грунта в хозяйственных целях позволит сократить объем массива отходов и вернуть часть участка объекта захоронения в повторное использование. В случае необходимости перезахоронения старого массива отходов экскавация и использование свалочного грунта может значительно сократить

затраты на рекультивацию и перезахоронение отходов на новом участке.

Принимая во внимание, что качество и количество экскавированных отходов зависит от возраста объекта, условий и технологии захоронения, а также исходного морфологического состава отходов, направляемых на захоронение, разработка технологии экскавации массива должна сопровождаться предварительными полевыми исследованиями. Кроме того, следует учитывать технические и экономические риски, связанные с реализацией проектов экскавации старых массивов захоронения.

Библиографический список

1. ISWA Landfill Working Group Key Issue Paper: Landfill Mining. – URL: http://www.iswa.org/index.php?eID=tx_iswaknowledgebase_download&documentUid=3224 (accessed 3 February 2016).
2. Армишева Г.Т. Рекуперация ресурсов при захоронении твердых бытовых отходов: дис. ... канд. техн. наук / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2008. – 179 с.
3. Старые полигоны как антропогенные ресурсы или запасы / А. Винтерс-теттер, Д. Ланер, Х. Речбергер, Д. Феллнер // Твердые бытовые отходы. – 2015. – № 4. – С. 46–49.
4. Van Vossen W.J., Prent O.J. Feasibility study – Sustainable material and energy recovery from landfills in Europe // Proceedings of the Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium. – Sardinia, 2011.
5. Hull R.M., Krogmann U., Strom P.F. Composition and characteristics of excavated materials from a New Jersey landfill // Journal of environmental engineering. – 2005. – March. – P. 478–490.
6. Ortner M.E., Knapp J., Bockreis A. Landfill mining: objectives and assessment challenges // Waste and Resource Management. – 2014. – Vol. 167. – P. 51–61.
7. Landfill mining: a review of three decades of research / J. Krook, N. Svensson, M. Eklund, N. Johansson, P. Frändegard // Knowledge Collaboration & Learning for Sustainable Innovation. ERSCP-EMSU conference. – Delft, Netherlands, 2010.
8. Strange K. Landfill Mining. Preserving Resources through Integrated Sustainable Management of Waste. – URL: enviroalternatives.com/landfill.html (accessed 3 February 2016).
9. Franke M., Mocker M. Resource Potential of Landfill Mining – A National and Regional Evaluation. – URL: http://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase (accessed 3 February 2016).
10. Material recovery and upcycling within the ELFM concept of the Remo case / J. Spoorenl, M. Quaghebeur, P. Nielsen, L. Machiels, B. Blanpain, Y. Pontikes // 2nd International Academic Symposium on Enhanced Landfill Mining. – 2013. – URL: <http://www.elfm.eu/> (accessed 3 February 2016).

11. Kaartinen T., Sormunen K., Rintala J. Studies on material composition of closed Finnish landfills – potential for landfill mining? // 2nd International Academic Symposium on Enhanced Landfill Mining. – 2013. – URL: <http://www.elfm.eu/> (accessed 3 February 2016).
12. Maul A., Feil A., Pretz T. Pre-conditioning of old-landfilled material for further upscale processes // Proceedings SUM 2014, Second Symposium on Urban Mining. – Bergamo, Italy, 2014.
13. Closing the life cycle of landfills – landfill mining in the Baltic sea region for future / A. Amit Bhatnagar, F. Kaczala, M. Kriipsalu, M. Hogland, W. Hogland // Linnaeus ECO-TECH 2012. – P. 181–184.
14. Dāce E., Bendere R. Landfill mining in latvia: status, problems and challenges // Linnaeus ECO-TECH 2012. – P. 185–194.
15. The economics of enhanced landfill mining: private and societal performance drivers / S. Van Passela, M. Duboisb, J. Eyckmansb, S. de Ghelderred, F. Anga, P.T. Jonese, K. Van Acker // Journal of Cleaner Production. – 2013. – Vol. 55. – P. 92–102.
16. A cost-benefit analysis of landfill mining and material recycling in China / C. Zhou, Z. Gong, J. Hu, A. Cao, H. Liang // Waste Management. – 2015. – Vol. 35. – P. 191–198.
17. Assessment of environmental and economic feasibility of Enhanced Landfill Mining / M. Danthurebandara, S. Van Passel, I. Vanderreydt, K. Van Acker // Waste Management. – 2015. – Vol. 45. – P. 434–447.
18. Зайцева Т.А., Максимова С.В., Рудакова Л.В. Геоэкологическая и микробиологическая характеристика техногенных накоплений, формирующихся при длительном разложении ТБО // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2005. – № 4. – С. 338–343.
19. Ильиных Г.В., Слюсарь Н.Н., Коротаев В.Н. Морфологический состав отходов: основные тенденции изменения // Твердые бытовые отходы. – 2011. – № 8. – С. 38–41.

References

1. ISWA Landfill Working Group Key Issue Paper: Landfill Mining, available at: http://www.iswa.org/index.php?eID=tx_iswaknowledgebase_download&documentUId=3224 (accessed 3 February 2016).
2. Armisheva G.T. Rekuperatsiya resursov pri zakhoronenii tverdykh bytovykh otkhodov [Resource recovery in the disposal of municipal solid waste]. Permskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. Perm, 2008. 179 p.
3. Winterstetter A., Laner D., Rechberger H., Fellner D. Starye poligony kak antropogennye resursy ili zapasy [Old landfills as anthropogenic resources or stocks]. *Tverdye bytovye otkhody*, 2015, no. 4, pp. 46–49.
4. Van Vossen W.J., Prent O.J. Feasibility study – Sustainable material and energy recovery from landfills in Europe. *Proceedings of the Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium*. Sardinia, 2011.

5. Hull R.M., Krogmann U., Strom P.F. Composition and characteristics of excavated materials from a New Jersey landfill. *Journal of environmental engineering*, 2005, March, pp. 478–490.
6. Ortner M.E., Knapp J., Bockreis A. Landfill mining: objectives and assessment challenges. *Waste and Resource Management*, 2014, vol. 167, pp. 51–61.
7. Krook J., Svensson N., Eklund M., Johansson N., Frändegard P. Landfill mining: a review of three decades of research. *Knowledge Collaboration & Learning for Sustainable Innovation. ERSCP-EMSU conference*. Delft, Netherlands, 2010.
8. Strange K. Landfill Mining. Preserving Resources through Integrated Sustainable Management of Waste, available at: enviroalternatives.com/landfill.html (accessed 3 February 2016).
9. Franke M., Mocker M. Resource Potential of Landfill Mining – A National and Regional Evaluation, available at: http://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase (accessed 3 February 2016).
10. Spoorenl J., Quaghebeurl M., Nielsenl P., Machiels L., Blanpain B., Pontikes Y. Material recovery and upcycling within the ELFM concept of the Remo case. *2nd International Academic Symposium on Enhanced Landfill Mining*, 2013, available at: <http://www.elfm.eu/> (accessed 3 February 2016).
11. Kaartinenl T., Sormunen K., Rintala J. Studies on material composition of closed Finnish landfills – potential for landfill mining? *2nd International Academic Symposium on Enhanced Landfill Mining*, 2013, available at: <http://www.elfm.eu/> (accessed 3 February 2016).
12. Maul A., Feil A., Pretz T. Pre-conditioning of old-landfilled material for further upscale processes. *Proceedings SUM 2014, Second Symposium on Urban Mining*. Bergamo, Italy, 2014.
13. Amit Bhatnagar A., Kaczala F., Kriipsalu M., Hogland M., Hogland W. Closing the life cycle of landfills – landfill mining in the Baltic sea region for future. *Linnaeus ECO-TECH 2012*, pp. 181–184.
14. Dāce E., Bendere R. Landfill mining in latvia: status, problems and challenges. *Linnaeus ECO-TECH 2012*, pp. 185–194.
15. Van Passela S., Duboisb M., Eyckmansb J., de Gheldered S., Anga F., Jonese P.T., Van Acker K. The economics of enhanced landfill mining: private and societal performance drivers. *Journal of Cleaner Production*, 2013, vol. 55, pp. 92–102.
16. Zhou C., Gong Z., Hu J., Cao A., Liang H. A cost-benefit analysis of landfill mining and material recycling in China. *Waste Management*, 2015, vol. 35, pp. 191–198.
17. Danthurebandara M., Van Passel S., Vanderreydt I., Van Acker K. Assessment of environmental and economic feasibility of Enhanced Landfill Mining. *Waste Management*, 2015, vol. 45, pp. 434–447.
18. Zaitseva T.A., Maksimova S.V., Rudakova L.V. Geoekologiceskaya i mikrobiologicheskaya kharakteristika tekhnogennykh nakoplenij, formiruyushchikhsya pri dliitel'nom razlozhenii TBO [Geoenvironmental and Microbiological Characteristics of Technogenic Deposits Formed from the Long-term Decomposition of Solid Domestic

Waste]. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeoekologiya, geokriologiya*, 2005, no. 4, pp. 338–343.

19. Ilinykh G.V., Sliusar N.N., Korotaev V.N. Morfologicheskij sostav otkhodov: osnovnye tendentsii izmeneniya [Morphological composition of waste: the main trends]. *Tverdye bytovye otkhody*, 2011, no. 8, pp. 38–41.

Получено 12.01.16

N. Slyusar

POSSIBILITIES FOR MINING OF DELAYED RESOURCES ON MUNICIPAL SOLID WASTE DUMPS AND LANDFILLS

Open dumps and old landfills can be considered as storages of delayed anthropogenic resources. The possibilities of landfill mining depend on landfill age and waste disposal technology. Investigations have been done on open dumps and landfills which are on different lifespan stages. It is shown that secondary material and caloric components for refuse-derived fuel can be mined from 10 year-old-landfills; old dumps can be considered as a source of landfill soil.

Percentage of recyclable materials, which are suitable for the material and/or energy recovery, is reduced from 30–45 % in the initial waste composition to 20 % and 10 % for the 3-year-old landfills and 10-years-old-landfills respectively. Sensor-based waste sorting allows identifying and sorting up to 50 % of recyclables from 2-year-old waste, and up to 10–15 % from waste which is 2 years older.

Percentage of soil materials on landfills with age 10–15 years is 50–60 %. As older the landfill, percentage of landfill soil reaches the limit of 80 %.

Keywords: municipal solid waste, open dump, landfill, anthropogenic resources, material potential.

Слюсарь Наталья Николаевна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: slyusar@eco.pstu.ac.ru).

Natalia Slyusar (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of Department “Environmental protection”, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: slyusar@eco.pstu.ac.ru).