



Д.Б. Устинов,

старший преподаватель Брестского государственного технического университета

Рекультивация полигонов и карьеров: эффективные методы и технологии

В Республике Беларусь ежегодно образуются десятки миллионов тонн твердых коммунальных отходов (ТКО) и твердых бытовых отходов (ТБО), в основном отправляющихся на полигоны и мусорные свалки, которые на сегодняшний день занимают 1,5 % территории страны. В статье расскажем о методах и технологиях рекультивации полигонов и строительных карьеров, улучшающих состояние окружающей среды и приносящих пользу в народном хозяйстве.

ПОЛИГОНЫ ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Основные проблемы захоронения отходов

■ **Отчуждение здоровых земель под захоронение.** По данным Комитета госконтроля Республики Беларусь, на январь 2018 г. в стране было зафиксировано 168 крупных полигонов и еще более полутора тысяч более мелких в сельской местности¹. Многие из них перегружены, а возникновение новых полигонов часто сопровождается отчуждением здоровых земельных угодий под захоронение отходов.

■ **Захоронение вторичных материальных ресурсов (ВМР),** причем в огромных количествах, хотя это и противоречит п. 5 ст. 25 Закона Республики Беларусь от 20.07.2007 № 271-З «Об обращении с отходами»².

Морфологический состав содержимого мусора на полигонах весьма разнообразный и может включать тяжелые металлы (ТМ) и другие токсичные вещества.

¹ Пономарев В. Когда в товарищах согласье есть // СБ Беларусь сегодня от 10.01.2018 (см.: <https://rs.gd/wAmtoI>)

² В ред. от 13.07.2016.



Какие ВМР закапывают в землю?

Твердые отходы производства и отходы потребления. Как правило, это неоднородная смесь остатков бытовых органических веществ растительного и животного происхождения, бой (асбестоцементных листов, облицовочных керамических плиток, посуды), ДВП, ДСП, бумага, пластмассовые изделия, стекло, автомобильные покрышки, электрические батарейки, емкости от аэрозолей, неиспользованные медикаменты и др.

Рекультивация полигонов как решение проблемы

В 2015 г. была утверждена Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 г.³

Цель Национальной стратегии — формирование основных направлений минимизации вредного воздействия ТКО и ТБО на здоровье человека, на окружающую среду и рациональное использование природных ресурсов с максимально возможным извлечением компонентов, содержащихся в отходах (гл. 2 Национальной стратегии).

Национальная стратегия предусматривает организацию на всех полигонах процессов сортировки и извлечения ВМР. К 2020 г. планируется увеличить в 1,5 раза объемы сбора и переработки ВМР, извлекаемых из ТКО и ТБО. Таким образом, в хозяйственный оборот ежегодно будут возвращаться ресурсы на сумму 65–70 млн долл. США⁴.

■ **Извлечение и сортировка ВМР.** Сортировка ВМР, извлеченных из массивов ТКО и ТБО, по видам и укладка их по отдельным буртам — исключительно ручная и трудоемкая работа со сложным и затяжным технологическим процессом. Разнородный состав загрязнителей не позволяет использовать для отсортировки отходов полностью механизированный способ.

ВМР по видам сортируются прямо на полигоне при их выявлении среди прочих отходов. Также на месте определяется, что можно использовать в качестве ВМР, что необходимо сжигать, что можно захоранивать, что требует проведения тщательного селективного отбора, а что подлежит утилизации и компостированию.

Извлекают не только ВМР, но и компост

Компостируемые отходы из полигонов в результате аэрации, под воздействием определенных климатических факторов (энергия солнца, атмосферные осадки) и контакта со слоем почвы подвергаются естественному процессу разложения органических веществ до CO_2 , H_2O и минеральных солей. Процесс этот в открытых многолетних (более 20 лет) мусорных свалках практически завершен, что исключает дополнительные работы по обработке компостируемых отходов.

³ Утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.07.2017 № 567, далее — Национальная стратегия.

⁴ Давлатова Д. Обращение с отходами // «Зеленый контейнер». № 4. 2015. С. 2–4.



■ **ВМР — на переработку.** ВМР, поддающиеся шредированию (из ячеистого бетона, бой асбестоцементных листов, ДВП, ДСП, пенополистирол), рекомендуется перерабатывать на мобильных, малогабаритных измельчителях. Это позволит измельчать сырье в крошку-дробленку с размерами фракций 10–20 мм для дальнейшего использования в качестве наполнителей в различных смесях для изготовления разнообразных изделий. Шредирование можно выполнять в течение всего года и повсеместно.

Возводить же специализированные заводы по переработке разных отходов экономически не выгодно из-за недостаточности объемов по видам сырья, высокой стоимости погрузочно-разгрузочных и транспортных услуг и в целом убыточности производства.

■ **Компост — на рекультивацию карьеров.** Глубокие котлованы, из которых для строительства и дорожных работ извлекается песок (невозобновляемый ценный природный ресурс), обезображивают ландшафт и служат местом накопления бытового мусора. Потребность в этом сырье и сейчас очень высока, поэтому возникновение новых карьеров — процесс неизбежный. И сегодня все чаще поднимается вопрос об их ликвидации, т.е. о рекультивации.

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ КАРЬЕРОВ: МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Методы рекультивации карьеров: проблемный и рациональный

■ **Метод первый: проблемный.** Некоторые специалисты предлагают упрощенный метод — заполнять карьеры отходами с полигонов. На наш взгляд, предлагаемый метод ошибочный. В карьерах, как правило, сложный бугристый рельеф дна, заполненного грунтовой водой. Необработанное содержимое из массивов рекультивируемых полигонов и бытовые отходы, уложенные в эти котлованы, могут способствовать созданию стоков «отравленной» воды в случае проникновения их в подземный водоносный горизонт или в открытый водоем.

Таким образом, данный метод несет угрозу жизнедеятельности гидробионтов и нарушает экологическое равновесие. В таких сточных водах не исключено содержание ионов ТМ, биогенных (азот, фосфор) и токсичных веществ, что заставляет считать этот метод проблемным.

■ **Метод второй: рациональный.** Суть технологии данного метода по рекультивации карьеров заключается в том, что отходы укладывают послойно (сначала дробленые строительные отходы, затем — искусственный грунт) и каждый слой уплотняют. После восстановления рельефа территория полностью вернется в хозяйственный оборот, на ней можно будет высаживать лес. При этом решается важная проблема, связанная с оздоровлением окружающей природной среды.

Технология, улучшающая рациональный метод

Для обеспечения большей безопасности для природной среды предлагаем в рациональный метод дополнительно включать некоторые запатентованные разработки.

■ **Суть технологии.** На измельченные кусковые строительные отходы, уложенные на днище карьера, насыпают слоем до 200 мм сухой сыпучий сорбент (состав № 1). Осыпь от сорбента должна заполнить пустые промежутки в слое строительных отходов.



Одновременно на стенках карьера из этого же сыпучего сорбента на высоту до 500 мм отсыпают противофильтрационный бортик (см. рис.). Подготовленную таким образом противофильтрационную основу затем засыпают и уплотняют слоем компоста из рекультивируемого полигона.

Для удобства выравнивания и уплотнения компоста его укладывают 2–3 слоями, каждый высотой до 500 мм с доведением общей толщины захораниваемого загрязнителя (компоста), например, до 1500 мм, и засыпают снова сухим сорбентом, формируя сплошной горизонтальный противофильтрационный диск высотой до 200 мм.

Площадь рекультивируемого карьера засыпают искусственным грунтом до уровня земной поверхности и засеивают травой. Поверхность засыпанного карьера аккумулирует солнечную энергию и способствует анаэробному сбраживанию органических составляющих в компосте с постепенным выравниванием физико-химических и механических свойств компоста с естественной почвой.

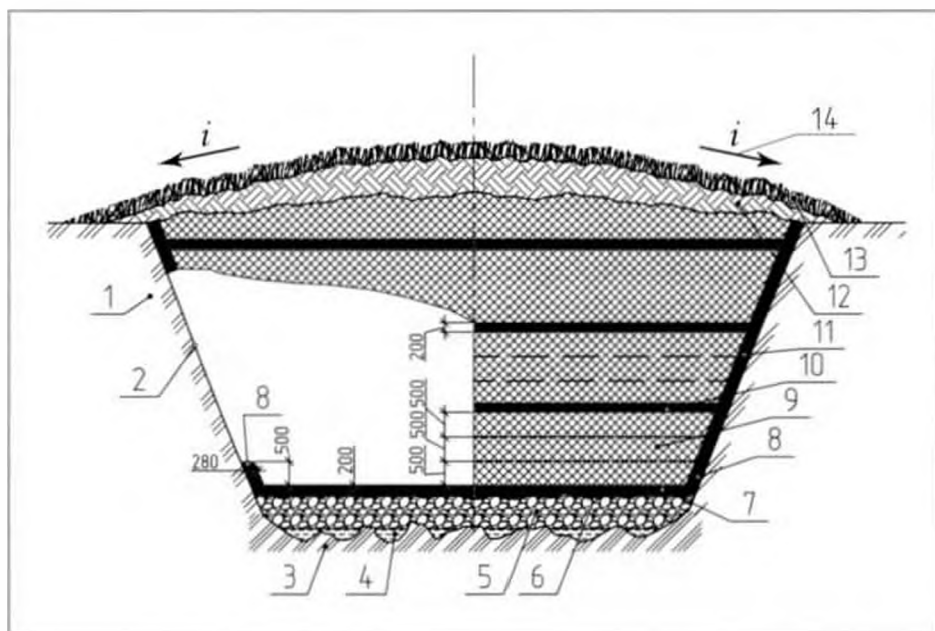


Рисунок. Рекультивация карьера 1 — изолируемая почва; 2 — откос; 3 — днище карьера; 4 — вода; 5 — куски из измельченных строительных отходов; 6 — осыпь из сорбента (состав № 1 или № 2); 7 — противофильтрационная основа из сорбента (состав № 1 или № 2); 8 — бортик из сорбента (состав № 1 или № 2); 9 — компост из рекультивируемого полигона; 10 — разделительный противофильтрационный диск из сорбента (состав № 1 или № 2; или только золы-уноса); 11 — противофильтрационная стенка из сорбента (состав № 1 или № 2) на откосе; 12 — искусственный грунт; 13 — трава; 14 — уклон стоков атмосферных осадков

■ **Сыпучий сорбент: состав № 1.** Сухой сыпучий сорбент изготавливают механизированным способом. Составляющие такого сорбента:

- порошок из измельченных кровельных битумных отходов (КБО), изготовленный по ТУ ВУ 200002511-001.2010 «Порошок вяжущий из кровельных битумных отходов старого водоизоляционного ковра «ПКБОВ-5» (в порошке из КБО содержится 80–85 % битума);
- вяжущие наполнители из цемента и сухой глины (фракции диаметром 10–20 мм).



После рекультивации карьеров территория полностью вернется в хозяйственный оборот.

Соотношение компонентов в сорбенте и их количественный состав определяются свойствами подлежащих захоронению загрязнителей.

К СЛОВУ

Битум — долговечный материал. Он обладает стойкими адгезионными и гидроизолирующими свойствами, а также уникальной способностью своими мицеллами поглощать ионы ТМ и радиационные вещества (РВ). Мицеллы битума в порошке из КБО не имеют электрического заряда или заряжены отрицательно, тогда как ТМ обладают положительными зарядами, поэтому мицеллы битума в порошке из КБО впитывают ионы ТМ.

Бортовые стенки на откосах карьера и горизонтальные разделительные диски между слоями компоста изготавливают из сухих сыпучих компонентов: порошок из КБО, цемент (любой), измельченная сухая глина с диаметром фракции до 10–20 мм.

Эти конструктивные слои естественным путем увлажняются водой. Фильтрующая вода поступает из почвы и увлажненного компоста. В результате контакта сухого сорбента с водой образуются гидраты, формирующие прочные и надежные водонепроницаемые конструктивные элементы. Плотная структура конструктивных элементов (бортовые стенки и разделительные горизонтальные диски) из данного сорбента уменьшают риск растворения кристаллогидратов и проникновения минеральных и органических веществ в почву.

Механизм задержания загрязнителей: как это работает?

Механизм задержания загрязнителей сорбентом состава № 1 в конструктивных элементах (см. рис. на с. 28) можно объяснить ионным обменом, химической реакцией, электрическими силами и другими взаимодействующими физическими силами. Например, ионы глинистых частиц, катионы-компенсаторы которых обмениваются на катионы загрязнителей в компосте, а ионы с положительными зарядами в загрязнителях активно поглощаются мицеллами битума.



В природе по таким физическим законам между разными веществами (включая токсичные) постоянно происходит взаимодействие ионов с уравниванием естественного фона по степени безопасности всех компонентов в почве, что позволяет без опасения многократно использовать эти материалы. Такие же естественные природные процессы с годами будут происходить в рекультивируемых карьерах-захоронениях.

■ **Сыпучий сорбент: состав № 2.** Одним из компонентов в составе № 1 является глина с основными химическими составляющими: SiO_2 (52,6 %), Al_2O_3 (29,5 %)⁵, катионы которых обмениваются с катионами загрязнителей, нейтрализуя их в захоронениях.

Однако добыча глины приводит к образованию новых карьеров в ущерб экологии. Кроме того, ее переработка весьма затратна. Поэтому в составе № 2 предлагается вместо глины использовать золу-уноса.

Зола-уноса: выгоды использования

В городах Беларуси большая часть тепловых электростанций и котельных работают на буром угле, торфе, дровах, в результате чего образуются отвалы золы-уноса, которая используется в сельском хозяйстве при рекультивации (известковании) кислых почв и при изготовлении удобрений.

Кроме того, химический состав золы-уноса близок к основным составляющим глины. Так, зола-уноса сухого отбора может состоять из SiO_2 (40–47 %) и CaO (41–48 %), катионы которых (как и в глине) обмениваются с катионами загрязнителей, нейтрализуя их в захоронениях.

Зола-уноса обладает вяжущими свойствами, имеющими гидравлическую активность, и способна к отвердеванию в конструкции при контакте с водой как самостоятельно с гидратацией сырья, так и под действием активатора⁶. В нашем случае активатором в сорбенте состава № 2 является цемент.

Таким образом, золу-уноса в сорбенте состава № 2 можно считать основным сырьем (92 %), а цемент — активатором (8 %). Тогда сорбент состава № 2 можно представить так: зола-уноса (92 %), цемент (8 %), порошок из КБО (12 %).

Если, например, смесь массой 90 т, состоящую из золы-уноса (92 % — 82,8 т) и цемента (8 % — 7,2 т), принять за 100 % и добавить к ним порошок из КБО (12 % — 10,8 т), то общая масса смеси сорбента из этих трех компонентов составит 100,8 т.



НАШ СОВЕТ

Сорбент состава № 2 целесообразно применять при засыпке строительных отходов на дно карьера слоем 200–300 мм при устройстве противифльтрационных бортиков на стенках карьера (см. рис. на с. 28). Разделительные горизонтальные диски можно выполнять только из золы-уноса (без цемента) и порошка из КБО слоем до 300 мм. Это позволит упростить технологию производства, сократить расход цемента, снизить стоимость и увеличить объемы вовлекаемых с пользой отходов.

⁵ Материалы и изделия для строительства дорог. Справочник / М.: «Транспорт», 1986.

⁶ Там же.



РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЛИГОНОВ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

■ **Технология.** За рубежом практикуется использование двух основных видов свалок: открытого и закрытого типа. Места захоронения отходов представляют собой специально вырытые ямы глубиной до 24 м. В такой яме на основание из глины и у всех ее изолируемых стен устанавливают сборные щиты (опалубку) на расстоянии 80–500 мм от внутренней поверхности стенки ямы до поверхности щита опалубки и заполняют раствором сорбента⁷.

Состав сорбента:

- жидкий цементный раствор;
- глина;
- специальный химический раствор.

Сорбент выдерживают определенное количество времени до тех пор, пока он не достигнет прочности и твердости, после чего опалубку разбирают и извлекают из ямы, а пространство в яме между сформированными стенками из сорбента заполняют компостом до верхнего края стены из сорбента. Затем процесс повторяется: наращивают стены из сорбента в высоту, заполняют внутреннее пространство ямы компостом и т.д. до верхнего края ямы. Поверхность захоронения засыпают искусственным грунтом и засевают травой.

Следует отметить, что отходы, которые помещались в яму по всей высоте, не разделяются. Технология эта трудоемкая, т.к. связана с ручным трудом, к тому же может выполняться только в теплое время года с небольшими атмосферными осадками.

■ **Эффективность.** Многочисленные лабораторные исследования по эффективности задержания различных компонентов загрязнителей, проведенные французскими специалистами, показали, что благодаря изолирующим стенкам из сорбента концентрация в захораниваемых отходах кадмия и свинца снижается в 10 раз⁸.

Кроме того, трава, посаженная в искусственном грунте над захоронениями отходов, способна сокращать попадание объемов атмосферных осадков и воды в грунт (например, злаковые растения впитывают воду и способствуют ее испарению с интенсивностью 4–5 тыс. м³/га). Севооборот на таких участках земли позволяет получать высокие урожаи зерновых культур.



Резюме

1. Рекультивация полигонов и карьеров позволит минимизировать их количество и решить проблему оздоровления окружающей среды с положительным экономическим эффектом в народном хозяйстве.
2. Рассмотренный в статье метод рекультивации полигонов и карьеров может применяться в Республике Беларусь вне зависимости от сезона.
3. Применение сухих и сыпучих компонентов в рекультивируемых сооружениях позволит исключить трудоемкий ручной труд и максимально использовать средства механизации.

⁷ Орлов В.А. Захоронение твердых отходов // Экспресс-информация «Современное состояние и тенденции развития больших городов в СССР и за рубежом». М. МГЦНТИ, 1990. вып. № 6.

⁸ Там же.