

К вопросу утилизации свалок методом аэробного биореактора

Агапкин Александр Матвеевич

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»

Адрес: 117997, город Москва, Стремянный переулок, д. 36

E-mail: alex_agapkin@mail.ru

Махотина Ирина Алексеевна

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»

Адрес: 117997, город Москва, Стремянный переулок, д. 36

E-mail: irina_mahotina@mail.ru

Юрина Ольга Валерьевна

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»

Адрес: 117997, город Москва, Стремянный переулок, д. 36

E-mail: olga32661@mail.ru

Обосновывается постановка новой научной и производственной задачи трансформации содержащих органическое вещество свалок в управляемые аэробные биореакторы с целью: (а) устранения в теле свалки анаэробного гниения, порождающего зловонные запахи, пожароопасный свалочный газ и другие вредные последствия анаэробных условий и (б) создание контролируемых аэробных условий для ускоренной экологически безопасной трансформации органического вещества в неопасное состояние для последующей возможности утилизации всего материала свалки с ее ликвидацией или использования ставшей не опасной свалки в качестве элемента рельефа. Формулируется междисциплинарный подход к обоснованию режимов и параметров свалки-биореактора на основе сочетания методов моделирования тепломассопереноса в теле свалки со сложной морфологией, неоднородной проницаемостью на протяжении всего ее жизненного цикла и методов сопряженных микробиологических исследований оптимального состава целевого сообщества популяций микроорганизмов и требований к условиям для их жизнедеятельности в теле свалки (влажность, температура, концентрация кислорода). Учен опыт США по созданию и эксплуатации свалок-биореакторов. Приводится план действий по реализации пилотного проекта, который может стать прототипом для утилизации свалок методом аэробного биореактора, и на этой основе решение в короткие сроки и с низкими затратами острых экологической и земельной проблем, вызванных созданными ранее и вновь создаваемыми свалками в различных регионах страны.

Ключевые слова: свалка, биореактор, аэробные микроорганизмы, органические отходы, утилизация, окружающая среда, экологические проблемы

Введение

Современный подход к обращению с отходами ориентирован, помимо прочего, на их полную (в идеале) переработку (утилизацию) без захоронения на полигонах (Davis, Wilt, 1997, p. 1; O'Leary, Walsh, 1995, p. 28; Куркин, 2000, с. 2-5).

С конца 80-х годов прошлого века определяющим направлением экологической политики

экономически развитых стран стала концепция «Расширенная ответственность производителя» (EPR). Суть концепции заключается в возложении на производителя ответственности за воздействие продукции на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла продукции (от проекта до утилизации). Данное направление получило активное развитие в связи с политикой сокращения объемов отходов, уменьшения негативного влияния продукции на экологию, сокращению государственных расходов на решение вопроса

производственных и бытовых отходов (OCED, 2016, p. 2; Papadaki, 2012, p. 152).

В некоторых зарубежных странах (в частности, в Швеции и других скандинавских странах, Германии, Австрии, Бельгии) такой подход в значительной мере уже реализован, достигнут уровень по рециркулированию отходов от 60 до 70%, а захоронение на полигонах сокращено до 1-2% от общего объема отходов (Никуличев, 2017, с. 17). Но в большинстве стран, в том числе даже таких экологически ориентированных как Великобритания, Франция, Италия, преобладающая доля коммунальных отходов (включая их органическую часть) все еще продолжает направляться на захоронение (O'Leary, Walsh, 1995, p. 5-28).

Несмотря на большое число экологических концепций в сфере решения вопроса уменьшения объемов отходов, к которым относятся в том числе «Философия жизненного цикла» (LCT), «Управление жизненным циклом» (LCM), «Проектирование с учетом экологических требований» (DfE), «Стратегии конца срока службы» (EoL), «Экологически чистая технология» (CT), «Предотвращение загрязнения» (PP2), «Расширенная ответственность производителя» (EPR), вопрос переработки накопившихся отходов, длительное время остающихся на свалках, продолжает оставаться нерешенным.

В России проблема предотвращения дальнейшего роста мусорных полигонов и снижения экологического ущерба от ранее созданных свалок стоит в числе неотложных задач государственной политики.

Согласно Указу Президента РФ (Указ Президента РФ от 07.05.2018 г. № 204, ст. 7), Правительство России при разработке национальных проектов в сфере экологии должно исходить из того, что до 2024 года необходимо обеспечить «формирование комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами, включая ликвидацию свалок и рекультивацию территорий, на которых они размещены, создание условий для вторичной переработки всех запрещенных к захоронению отходов производства и потребления».

Федеральный закон № 89-ФЗ от 24.06.1998 «Об отходах производства и потребления» к основным принципам государственной политики в области обращения с отходами относит использование наилучших доступных технологий при обращении с отходами (№ 89-ФЗ от 24.06.1998 ст. 3).

Естественно, что процесс перехода к полной переработке запрещенных к захоронению отходов, сокращения и ликвидации свалок требует времени. В переходный период, помимо сокращения объема вновь поступающих на захоронение отходов, возникает задача устранения экологического вреда от ранее созданных свалок и нахождения решения по их последующей утилизации (ликвидации или использования в качестве экологически безопасного элемента рельефа местности).

Свалки-биореакторы с управляемыми аэробными условиями как решение для ранее созданных мусорных полигонов.

Российские свалки можно сделать экологичными и незатратными, превратив их в управляемые аэробные биореакторы.

Известно, что традиционное решение, основанное на консервации свалки (полигона) связано с крупными единовременными затратами, а содержание уже законсервированной свалки (в условиях продолжающейся активности анаэробных микроорганизмов) требует значительных ежегодных трат до тех пор, пока свалка остается источником вредных выбросов и загрязнений окружающей природной среды, то есть на протяжении всего жизненного цикла данного объекта.

Вместе с тем свалку можно превратить в естественный аэробный биореактор, устранить сам источник основных экологических проблем (анаэробное гниение органической части материала свалки) и избежать значительных затрат.

В такой свалке-биореакторе за счет подачи в тело свалки воздуха по системе трубопроводов для поддержания в массиве материала заданной температуры, влажности и концентрации кислорода подавляются анаэробные бактерии и создаются оптимальные аэробные условия. Специально подобранные (с учетом морфологии и особенностей материала свалки) ассоциации аэробных бактерий вносятся в ее тело свалки и распределяются по ее объему согласно результатам моделирования и принятых на их основе проектных и эксплуатационных решений. Внесенные микроорганизмы могут за относительно короткий период (месяцы, но не более 2-3 лет) провести биологическую «чистку» всего массива большой городской свалки, не только переработав органическую часть материала свалки в микробное удобрение, но и удалив загрязнения углеводородами и другими вредными

загрязнениями, а также устранив патогенную микрофлору, постепенно снизив и, в конечном итоге, устранив загрязнения фильтрата.

Управление влажностно-воздушным режимом достигается с помощью сети скважин для подачи в тело свалки и распределения в нем необходимого аэробным бактериям количества воздуха (кислорода) и влаги.

В переходный период (до завершения цикла биологической «чистки» свалки) производится, если это необходимо по экологическим требованиям, отбор фильтрата в основании свалки для его очистки (с применением природных сорбентов) и повторного использования очищенной жидкости.

Конечным результатом эксплуатации свалки как управляемого аэробного биореактора является полная переработка органической части материала свалки в экологически безопасное вещество и, таким образом, устранение источника зловонных запахов и опасных свалочных газов, а также биологическая очистка от основных вредных компонентов материала свалки (углеводороды, тяжелые металлы и другие), снижение загрязнений фильтрата до безопасного уровня. Это позволяет далее сохранить свалку как экологически безопасный элемент рельефа местности, найдя ему практическое применение, либо ликвидировать свалку, используя для дальнейшей переработки (утилизации) ставшие безопасными фракции материала свалки (синтетические полимеры и другие углеродсодержащие вещества, грунт на основе переработанной аэробными бактериями органического вещества, стекло, минеральные вещества и другие).

Создание научной основы, проектирование, обустройство и эксплуатация свалок как управляемых аэробных биореакторов является новой комплексной междисциплинарной задачей, ранее в российской практике научных исследований, технологических разработок и практических применений не ставившаяся.

Этот пробел в исследованиях и разработках не сложно ликвидировать при кооперации специалистов разных дисциплин: микробиологов, экологов, специалистов по моделированию и управлению тепломассопереносом в слабопроницаемых неоднородных многокомпонентных средах, а также специалистов по трубопроводным сетям и оборудованию для подачи воздуха с заданными параметрами во всех точках тела свалки.

Методология и подход к исследованиям и разработкам для решения этой новой научной и производственной задачи трансформации содержащих органическое вещество свалок в управляемые аэробные биореакторы основаны на междисциплинарном проектном подходе на всем жизненном цикле решаемой задачи с достижением целей:

- a. устранения в теле свалки анаэробного гниения с образованием зловонных запахов, пожароопасного свалочного газа и других вредных последствий анаэробных условий и
- b. создание контролируемых аэробных условий для ускоренной экологически безопасной трансформации органического вещества в неопасное состояние и последующей возможности утилизации всего материала свалки или ее использования в качестве элемента рельефа.

Подход к обоснованию режимов и параметров свалки-биореактора основан на сочетании методов моделирования тепломассопереноса в теле свалки со сложной морфологией, неоднородной проницаемостью на протяжении всего ее жизненного цикла и методов сопряженных микробиологических исследований оптимального состава целевого сообщества популяций микроорганизмов и требований к условиям для их жизнедеятельности в теле свалки (влажность, температура, концентрация кислорода).

Зарубежный опыт исследований и практической эксплуатации свалок-биореакторов

Идея свалки-биореактора получила развитие в ряде стран Европы, Северной Америки, Азии (Raga, Cossu, 2014, p. 683; EPA, 2007, p. 6-8). В США в начале нулевых годов текущего века при поддержке Агентства по охране окружающей среды США (EPA) несколько свалок в ряде штатов были превращены в биореакторы (Hudgins, Wolfe, House, 2007, p. 154-173; СЕС, 2003). Также исследования по перспективности процесса аэрации свалок проводились в Японии (Nag, Shimaoka, Komiya, 2018, p. 699).

В результате работы таких биореакторов получены доказанные инструментальными измерениями и анализами положительные результаты, в их числе (EPA, 2007, p. 6-7):

- резко сократился и достиг обычных содержаний в воздухе выход метана, ранее (до подачи в тело свалки воздуха) производимого анаэробными бактериями;

- соответственно, была устранена проблема выбросов метана, рисков возгораний и пожаров;
- устранены зловонные запахи;
- фильтрат стал много чище;
- объем свалки уменьшился;
- состав и характеристики содержащегося в теле свалки материала изменились в лучшую сторону за счет биологической очистки от загрязнений углеводородами, тяжелыми металлами и патогенами, материал перестал быть опасным.

Основным недостатком свалок, содержащих биоразлагаемые органические вещества, является выделение метана и углекислого газа в атмосферу, данные газообразные вещества являются продуктами разложения органических веществ, содержащихся в твердых бытовых отходах (ТБО). Наличие метана и углекислого газа в воздухе приводит не только к ухудшению качества воздуха, но и возникновению взрывоопасной обстановки на полигонах, а также способствует глобальному потеплению. Свалки являются третьим по величине источником выброса метана в мире. Эксплуатация полигонов в качестве биореакторов может способствовать решению данного вопроса (Yaman, Küçükağa, Pala, Delice, Korkut, Akyol, Kara, 2019, p. 1-3).

Пилотные свалки-биореакторы обошлись по затратам примерно в 29 долларов на тонну материала свалки (около 2 млн долл. на свалку объемом около 70 тыс. т), тогда как эффект от сокращения расходов на содержание свалки составил 150 долларов на тонну за счет сокращения в результате создания аэробных условий затрат на очистку фильтрата, противопожарные мероприятия, платы за выбросы и загрязнения грунтовых вод и воздуха, других затрат по содержанию свалки при сокращении срока «активного» состояния свалки с более чем 30 лет до 3-5 лет. В силу простоты технологического процесса, ограниченного числа применяемого оборудования и огромной единичной мощности «свалки-биореактора», такой биореактор выглядит наиболее дешевым способом утилизации отходов в сравнении с любыми иными (Hudgins, Wolfe, House, 2007, p. 154-173; СЕС, 2003).

Оптимальные условия для разложения органического вещества и минимизации энергозатрат могут быть достигнуты путем соответствующего подбора таких рабочих параметров, как скорость аэрации и рециркуляции фильтрата (Nag, Shimaoka, Komiyu, 2018, p. 698).

В США свалки-биореакторы стали поддерживаемым Агентством по охране окружающей среды США (EPA) новым долговременным трендом в управлении отходами, поскольку такие биореакторы в короткий срок стабилизируют свалку, превращают опасное для окружающей среды ее содержание в инертные и зачастую полезные материалы, которые могут быть либо утилизированы с освобождением ранее занимаемого свалкой места для новой свалки, либо освобожденный и рекультивированный земельный участок может быть применен для использования по иному назначению для градостроительных, сельскохозяйственных нужд, лесопосадок и других дружественных природной среде целей. В США существуют планы расширения числа свалок-биореакторов. Продолжаются исследования по влиянию биореакторов на окружающую среду и совершенствованию технологии.

Подход к обоснованию пилотного проекта свалки-биореактора

Отечественный уровень биотехнологических исследований микробной биотрансформации органических отходов не уступает, а по ряду направлений превосходит мировой. Отечественная техника и технологии, уровень проектного и строительного дела вполне достаточны, чтобы, опираясь на результаты специализированных микробиологических исследований, успешно осуществить создание свалок-биореакторов и управление их работой.

Задача моделирования тепло-массообменных режимов биореактора, подбор ассоциации полезных аэробных микробов, обоснование технических решений и выбор оборудования требует многодисциплинарной команды исполнителей.

Целесообразно начать с осуществления пилотного проекта «свалки-биореактора» с последующей реализацией масштабной программы перевода российских свалок в неактивное (не опасное для природной среды) состояние и последующую их полную или частичную ликвидацию, а, в необходимых случаях, использование освобожденного земельного участка для повторного использования в качестве новой свалки или для иного полезного применения с получением экономических выгод.

Предлагаемый план действий (состав работ) по реализации пилотного проекта мог бы включать несколько этапов.

Подготовительный этап:

- выбор объекта для пилотного проекта с определением целей и задач проекта в контексте постпроектного использования участка, ныне занимаемого свалкой;
- проведение на объекте комплекса экологических, микробиологических и инженерных изысканий с определением исходного уровня создаваемых свалкой экологических загрязнений воздушной и водной среды, состава и характеристик хранимого в свалке материала и их распределения по объему тела свалки, существующей в материале свалки микрофлоры;
- подбор ассоциаций бактерий для биологической деструкции органической компоненты материала свалки, а также очистки от тяжелых металлов и других загрязнений, подавления патогенной микрофлоры;
- обоснование требований к воздушно-влажностному и температурному режимам для обеспечения максимальной активности бактерий;
- трехмерное моделирование тепло-массообменных процессов в объеме свалки-биореактора для выполнения требований оптимальный условий жизнедеятельности ассоциации бактерий;;
- определение сети скважин и распределительных трубопроводов для равномерной подачи воздуха и влаги по всему объему свалки-биореактора, а также дренажной системы для сбора и удаления фильтрата, его очистки и возврата в технологический процесс;
- обоснование основных технических решений свалки-биореактора с заданием на выполнение проектных работ;
- подготовка финансовой модели проекта;
- подготовка бизнес-плана проекта;
- подготовка проектов распорядительных и нормативных документов для запуска проекта.

Этап строительства свалки-биореактора:

- выполнение проектных работ;
- заказ и поставка/лизинг оборудования;
- выполнение буровых и строительно-монтажных работ;
- пуско-наладочные работы;
- формирование и обучение эксплуатационного персонала;
- вывод биореактора на проектный режим.

Этап эксплуатации свалки-биореактора:

- поддержание эксплуатационным персоналом установленного технологическим регламентом режима работы биореактора;
- биотехнологическое сопровождение работы биореактора;
- экологический мониторинг состояния свалки в сравнении с прогнозными ее параметрами в состоянии без перевода в режим биореактора, а также в сравнении с объектом-аналогом, не переведенным в режим биореактора;
- сбор и анализ информации о температурном, влажностном и воздушном режимах свалки-биореактора, активности бактерий, внесение, при необходимости, уточнений и изменений в эксплуатационные режимы и их параметры.

Этап ликвидации свалки после прекращения работы биореактора:

- демонтаж скважин, трубопроводов, оборудования;
- посекционная выемка прошедшего биодеструкцию материала, его разделение на фракции и продукты, включая выделение компонентов, требующих возможной дополнительной переработки или захоронения;
- использование полезных компонентов переработанного материала в качестве почвогрунтов, технических грунтов;
- рекультивация освобожденного участка под разрешенное новое использование.

Этап подведения итогов пилотного проекта и принятия решений в отношении распространения отработанной технологии на новые объекты:

- отчет о выполненном проекте;
- заключение независимых экспертов;
- патентование технологии для защиты национальных НТД;
- подготовка программы распространения отработанной технологии на другие объекты;
- принятие правительственных решений на региональном и национальном уровнях о стимулировании использования опыта для перевода свалок в режим биореакторов;
- получение значительных экологических и экономических выгод на национальном, региональном уровнях.

Выводы

Изложенное выше предложение по переводу свалок в экологически безопасное состояние аэробного биореактора способно обеспечить в короткие сроки и с низкими затратами решение острых экологической и земельной проблем, вызванных созданными ранее и вновь создаваемыми (до достижения раздельного сбора и переработки компонентов отходов) свалками в различных регионах страны.

Литература

- Асланова Э.Г. Проблемы утилизации твердых бытовых отходов на территории Краснодарского края и пути их решения // Научно-методический электронный журнал Концепт. 2017. Т. 39. С. 2536-2540.
- Баженова В.В., Мартяшова В.А. Утилизация несанкционированных свалок // Проблемы строительного комплекса России: материалы XVIII Международной научно-технической конференции. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2014. С. 174-177.
- Василенко Е.А., Коровяка Е.А. Регенерация метана, выделяемого мусорными свалками, и возможности его утилизации в днепропетровском регионе // Проблемы недропользования. 2014. № 1(1). С. 77-82.
- Васильев А.Н., Шукина А.Я. Совершенствование экономического механизма охраны окружающей природной среды // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2015. № 1(33). С. 200-208.
- Воробьев А.Е., Чекушина Е.В., Чекушина Т.В. Принципы управления ТБО // Твердые бытовые отходы. 2006. № 10. С. 47-48.
- Мейрбеков А.Т., Ибрагимова Э.К. Разработка способа очистки и утилизации газов городских свалок // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 4-3. С. 499-502.
- Мотошкина М.А., Черных В.Н., Ширапова С.Д. Загрязнение окружающей среды отходами производства и потребления как одна из наиболее острых эколого-экономических проблем в республике Бурятия // Астраханский вестник экологического образования. 2019. № 1(49). С. 136-142.
- Кахраманова Ш.Ш. Проблема промышленных и бытовых отходов на урбанизированных территориях Апшеронского полуострова // Architecture and Modern Information Technologies. 2013. № 1(22). С. 3.
- Косяков А.А. Утилизация ТБО методом каталитического пиролиза // Актуальные вопросы науки. 2018. № 41. С. 184-187.
- Куркин П.Ю. Организация переработки и использования твердых бытовых отходов: опыт США и проблемы России: автореф. на соиск. ученой степ. канд. экон. наук. М., 2000. 28 с.
- Никуличев Ю.В. Управление отходами. Опыт Европейского союза: аналитический обзор. М.: ИНИОН РАН, 2017. 55 с.
- О национальных целях и стратегических задачах Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204. Москва, 2018. 19 с.
- Об отходах производства и потребления: Федер. закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 25.12.2018, с изм. от 19.07.2019) [Принят Гос. Думой 22.05.1998].
- Оказова З.П. Проблема утилизации твердых бытовых отходов в республике Северная Осетия-Алания // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 699.
- Пономарева Т.К., Васильева Ю.П. Экология и проблемы утилизации отходов в республике Башкортостан // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 3(105). С. 119-128.
- Самигуллина Г.З., Волкова Т.Н. Экономическая эффективность утилизации отходов птицеводства на примере отдельного предприятия Удмуртской республики // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2018. № 4(35). С. 118-120.
- Шарова О.А., Майоров Г.А., Лазаренкова Е.А. Отходы производства и потребления как фактор экологических проблем регионов // Геология, география и глобальная энергия. 2017. № 4(67). С. 155-163.
- Шулупова О.В., Смирнова А. О влиянии твердых бытовых отходов на почву: региональный аспект // Агропродовольственная политика России. 2019. № 2(86). С. 44-47.
- СЕС. Williamson County Aerobic Bioreactor Landfill, Operation and Performance. US EPA Workshop on Bioreactor Landfills. Washington: EPA, 2003. P. 27-28.
- Davis G.A., Wilt C.A. Extended product responsibility: a new principle for product-oriented pollution prevention. Washington, DC: The University of Tennessee Center for Clean Products and Clean Technologies, 1997. 136 p.
- EPA United States Bioreactor performance. 2007. URL: <https://www.epa.gov/landfills/bioreactor-performance> (Дата обращения: 23.02.2020).

- Hudgins M., Wolfe K., House J. Results from an Aerobik “Bioreactor” System // OAI. 2007. № 3. P. 154-173.
- Nag M., Shimaoka T. Komiya Influence of operations on leachate characteristics in the Aerobic-Anaerobic Landfill Method // Waste Management. 2018. № 78. P. 698–707.
- Moroz O., Sventuh A., Leonteva O., Grabko M., Mevsh O. Ecological and economic problems of solid wastes utilization // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2004. № 3(54). С. 27-33.
- O’Leary P.R., Walsh P.W. Decision Maker’s Guide to Solid // Waste Management. 1995. № 2. P. 372-375.
- OECD. Extended producer responsibility: Updated guidance for efficient waste management. Paris: OECD Publishing, 2016. 164 p.
- Papadaki O.G. European environmental policy and the strategy «Europe 2020» // Regional Science Inquiry Journal. 2012. № IV(1). P. 151-158.
- Raga R., Cossu R. Landfill aeration in the framework of a reclamation project in Northern Italy // Waste Management. 2014. № 34(3). P. 683-691.
- Yaman C. Enhancement of landfill gas production and waste stabilisation by using geotextile filter in a bioreactor landfill // International Journal of Global Warming. 2019. № 17(1). P. 1-22.

On the Issue of Landfill Utilization by the Method of Aerobic Bioreactor

Alexander M. Agapkin

*Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
E-mail: alex_agapkin@mail.ru*

Irina A. Makhotina

*Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
E-mail: irina_mahotina@mail.ru*

Olga V. Yurina

*Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
E-mail: olga32661@mail.ru*

A new scientific and industrial task of transforming landfills containing organic matter into controlled aerobic bioreactors is justified in order to: (a) eliminate anaerobic putrefaction in the landfill body that generates fetid odors, fire-hazardous landfill gas and other harmful consequences of anaerobic conditions and (b) creation of controlled aerobic conditions for accelerated environmentally safe transformation of organic matter into a non-hazardous state for subsequent disposal of all landfill material with its elimination or use of the non-hazardous landfill as a relief element. An interdisciplinary approach is formulated to substantiate the modes and parameters of a bioreactor dump based on a combination of methods for modeling heat and mass transfer in the dump body with complex morphology, heterogeneous permeability throughout its life cycle, and methods of coupled microbiological studies of the optimal composition of the target community of microbial populations and requirements for their life in the dump body (humidity, temperature, oxygen concentration). The US experience in creating and operating bioreactor landfills is taken into account. An action plan for the implementation of a pilot project that can provide a prototype for landfill utilization using an aerobic bioreactor and on this basis solve acute environmental and land problems caused by previously created and newly created landfills in various regions of the country in a short time and at low cost.

Keywords: landfill, bioreactor, aerobic microorganisms, organic waste, recycling, environment, environmental problems

References

- Aslanova E.G. Problemy utilizacii tverdyh bytovykh othodov na territorii Krasnodarskogo kraja i puti ih resheniya [Problems of solid waste disposal in the Krasnodar territory and ways to solve them]. *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal Koncept [Scientific and methodological electronic journal Concept]*, 2017, vol. 39, pp. 2536-2540.
- Bazhenova V.V., Martyashova V.A. Utilizaciya nesankcionirovannyh svalok [Disposal of illegal dumps]. In *Problemy stroitel'nogo kompleksa Rossii: materialy XVIII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya [Problems of the construction complex of Russia: The XVIIIth international scientific and technical conference]*. Ufa: Ufa state oil technical university, 2014. Pp. 174-177.
- CEC. Williamson County Aerobic Bioreactor Landfill, Operation and Performance. US EPA Workshop on Bioreactor Landfills. Washington: EPA, 2003. Pp. 27-28.
- Davis G.A., Wilt C.A. Extended product responsibility: a new principle for product-oriented pollution

- prevention. Washington, DC: The University of Tennessee Center for Clean Products and Clean Technologies, 1997. 136 p.
- EPA United States Bioreactor performance. 2007. URL: <https://www.epa.gov/landfills/bioreactor-performance> (accessed: 23.02.2020).
- Hudgins M., Wolfe K., House J. Results from an Aerobik "Bioreactor" System. *OAI*, 2007, pp. 154-173
- Kahramanova Sh.Sh. Problema promyshlennyh i bytovyh othodov na urbanizirovannyh territoriyah Apsheronского полуострова [The problem of industrial and domestic wastes on urbanized territories of the Absheron Peninsula]. *Architecture and Modern Information Technologies [Architecture and Modern Information Technologies]*, 2013, no. 1(22), p. 3.
- Kosyakov A.A. Utilizaciya TBO metodom kataliticheskogo piroliza [Utilization of solid waste by the method of catalytic pyrolysis]. *Aktualnye voprosy nauki [Topical issues of science]*, 2018, no. 41, pp. 184-187.
- Kurkin P.Yu. Organizaciya pererabotki i ispolzovaniya tverdyh bytovyh othodov: opyt SShA i problemy Rossii. Avtoref. diss. kand. econ. nauk. [Organization of processing and use of solid household waste: experience of the USA and problems of Russia, Abstract of Ph.D. (Economics) thesis]. Moscow, 2000. 28 p.
- Mejrbekov A.T., Ibragimova E.K. Razrabotka sposoba ochistki i utilizacii gazov gorodskih svalok [Development of a method for cleaning and recycling gas from urban landfills]. *Mezhdunarodnyj zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya [International journal of experimental education]*, 2016, no. 4-3, pp. 499-502.
- Moroz O., Sventuh A., Leonteva O., Grabko M., Mevsh O. Ecological and economic problems of solid wastes utilization. *Visnik Vinnickogo politekhnichnogo institutu [Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute]*, 2004, no. 3(54), pp. 27-33.
- Motoshkina M.A., Chernyh V.N., Shirapova S.D. Zagryaznenie okruzhayushchej sredy othodami proizvodstva i potrebleniya kak odna iz naibolee ostryh ekologo-ekonomicheskikh problem v respublike Buryatiya [Environmental pollution by production and consumption waste as one of the most acute environmental and economic problems in the Republic of Buryatia]. *Astrahanskij vestnik ekologicheskogo obrazovaniya [Astrakhan Bulletin of environmental education]*, 2019, no. 1(49), pp. 136-142.
- Nag M., Shimaoka T. Komiya Influence of operations on leachate characteristics in the Aerobic-Anaerobic Landfill Method. *Waste Management*, 2018, no. 78, pp. 698-707.
- Nikulichev Yu.V. Upravlenie othodami. Opyt Evropejskogo soyuza: analiticheskij obzor [Waste management. Experience of the European Union: analytical review]. Moscow: INION RAN, 2017. 55 p.
- O nacionalnyh celyah i strategicheskikh zadachah Rossijskoj Federacii na period do 2024 goda: Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 07.05.2018 g. № 204 [Decree of the President of the Russian Federation of 07.05.2018 # 204 "On national goals and strategic objectives of the Russian Federation for the period up to 2024"]. Moscow, 2018. 19 p.
- O'Leary P.R., Walsh P.W. Decision Maker's Guide to Solid. *Waste Management*, 1995, no. 2, p. 372.
- Ob othodah proizvodstva i potrebleniya: Federalnyj zakon ot 24.06.1998 № 89-FZ [Federal law No. 89-FZ of 24.06.1998 "On production and consumption waste"] (red. ot 25.12.2018, s izm. ot 19.07.2019).
- OECD. Extended producer responsibility: Updated guidance for efficient waste management. Paris: OECD Publishing, 2016, p. 8.
- Okazova Z.P. Problema utilizacii tverdyh bytovyh othodov v respublike Ssevernaya Osetiya-Alaniya [The problem of solid waste management in the Republic of Severnaya Ossetia-Alania]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]*, 2015, no. 5, p. 699.
- Papadaki O.G. European environmental policy and the strategy «Europe 2020». *Regional Science Inquiry Journal*, vol. IV, no. 1, 2012, pp. 151-158.
- Ponomareva T.K., Vasileva Yu.P. Ekologiya i problemy utilizacii othodov v respublike Bashkortostan [Ecology and problems of waste disposal in the Republic of Bashkortostan]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov [Problems of collecting, preparing and transporting oil and petroleum products]*, 2016, no. 3(105), pp. 119-128.
- Raga R., Cossu R. Landfill aeration in the framework of a reclamation project in Northern Italy. *Waste Management*, 2014, no. 34(3), pp. 683-691.
- Samigullina G.Z., Volkova T.N. Ekonomicheskaya effektivnost utilizacii othodov pticevodstva na primere otdelnogo predpriyatiya Udmurtskoj respubliky [Economic efficiency of poultry waste utilization on the example of a separate enterprise of the Udmurt Republic]. *Socialno-ekonomicheskoe upravlenie: teoriya i praktika [Socio-economic management: theory and practice]*, 2018, no. 4(35), pp. 118-120.
- Sharova O.A., Majorov G.A., Lazarenkova E.A. Othody proizvodstva i potrebleniya kak faktor ekologicheskikh problem regionov [Waste of production and consumption as a factor of environmental problems of regions]. *Geologiya*,

- geografiya i globalnaya energiya* [Geology, geography, and global energy], 2017, no. 4(67), pp. 155-163.
- Shulepova O.V., Smirnova A. O vliyaniy tvoridyh bytovykh othodov na pochvu: regionalnyj aspect [On the impact of solid household waste on the soil: regional aspect]. *Agroprodovolstvennaya politika Rossii* [Agri-food policy of Russia], 2019, no. 2(86), pp. 44-47.
- Vasilenko E.A., Korovyaka E.A. Regeneraciya metana, vydelyaemogo musornymi svalkami, i vozmozhnosti ego utilizacii v dnepropetrovskom regione [Regeneration of methane released by garbage dumps, and the possibility of its utilization in the Dnepropetrovsk region]. *Problemy nedropolzovaniya* [Problems of subsurface use], 2014, no. 1(1), pp. 77-82.
- Vasilev A.N., Shchukina A.Ya. Sovershenstvovanie ekonomicheskogo mekhanizma ohrany okruzhayushchej prirodnoj sredy [Improvement of the economic mechanism of environmental protection]. *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva* [Bulletin of the V.N. Tatishchev Volga state University], 2015, no. 1(33), pp. 200-208.
- Vorobev A.E., Chekushina E.V., Chekushina T.V. Principy upravleniya TBO [Principles of solid waste management]. *Tverdye bytovye othody* [Solid waste], 2006, no. 10, pp. 47-48.
- Yaman C. Enhancement of landfill gas production and waste stabilisation by using geotextile filter in a bioreactor landfill. *International Journal of Global Warming*, 2019, vol. 17, no. 1, pp. 1-22.