

Замкнутый технологический цикл переработки бытовых и промышленных отходов мегаполиса

**Г. В. Козлов, А. В. Гарабаджиу, О. В. Ищенко, Е. И. Помешалкин,
М. И. Пушкарёв, А. А. Агеева, А. В. Билык, Е. В. Карелина,
А. В. Крюкова, В. Н. Мохна**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
e-mail: gar-54@mail.ru

Статья посвящена комплексной переработке отходов. В работе приводятся сведения о технологиях, позволяющих замкнуть существующие разрозненные процессы обращения отходов от различных источников (ТБО, химические отходы, масложировые отходы) в единый производственный цикл. Предложена методика детоксикации химических отходов и сильно загрязненных грунтов, содержащих стойкие органические загрязнения (на примере ПАУ) с использованием горячего компоста из ТБО, позволяющая проводить процесс в любое время года, экспериментально показана ее эффективность.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы (ТБО), токсичные химические отходы, компостирование, биодеградация, переработка ТБО, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), биодизельное топливо, отработанное жарочное масло.

Введение

По мере развития технологий и увеличения глубины переработки исходного сырья возрастает опасность отходов [1], что требует постепенного перехода от захоронения к переработке твердых бытовых отходов (ТБО). Наиболее передовые производители используют материалы, ориентированные на дальнейшую переработку, однако данная мера эффективна только в случае селективного сбора отходов. Кроме того выпуск подобной продукции невелик. В настоящее время наиболее актуальны технологии переработки отходов собранных валом, причем после извлечения из них наиболее ценных компонентов в качестве вторсырья. Реализовано только три стратегии обращения с ТБО: сырьевая, энергетическая и биотехнологическая [2].

Разработки новых технологий ведутся в рамках данных стратегий, однако они не могут решить проблему в полной мере из-за того, что состав ТБО слишком сложен и базирующийся на одной стратегии подход к технологиям переработки не жизнеспособен изначально. Комплексные способы переработки отходов часто требуют внесения существенных изменений в технологические процессы переработки отходов, что, учитывая огромные масштабы перерабатываемого мусора, делает данные варианты непригодными для масштабного внедрения.

Таким образом, вновь разрабатываемые технологии, чтобы иметь перспективу внедрения, должны

отвечать следующим (помимо экономичности и экологичности) требованиям:

- образовывать замкнутый технологический цикл, когда продукты (или отходы) одного технологического процесса являются сырьем для следующего;
- технологии должны замыкать в цикл уже существующие технологические процессы, т. е. являться «технологиями-связками».

В связи с этим целью нашей работы являлось создание вспомогательных технологий — связок для замыкания в единый технологический цикл (рис. 1) технологий переработки ТБО (в противоположность традиционной схеме комплексных технологий переработки отходов) (рис. 2), токсичных органических отходов, отходов пищевой промышленности на примере системы обращения отходов Санкт-Петербурга, реализующей биотехнологическую стратегию.

Материалы и методы

Работа проводилась на базе ГУП СПб «Филиал завода МПБО-2 Опытный завод МПБО» (пос. Горелово Ленинградской обл.). В работе использовался компост из ТБО, отходы жарочного масла, отходы, грунт и твердые отходы, загрязненные креозотом и нефтепродуктами.

Работа с промышленными отходами проводилась на опытной бетонированной площадке предприятия, получение компоста проводилось по существующей технологии.

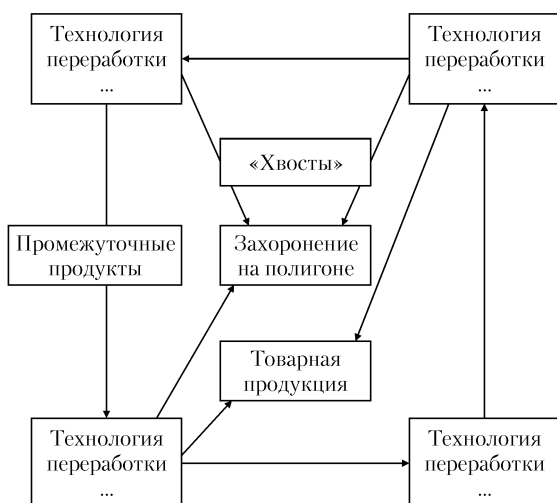


Рис. 1. Замкнутый технологический цикл переработки ТБО

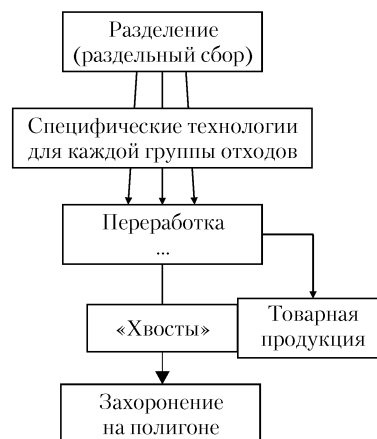


Рис. 2. Классическая схема комплексной переработки ТБО

Анализ содержания токсичных компонентов проводился с использованием метода хромато-масс-спектрометрии, биотестирование проводилось на райграсе пастбищном.

Определение метиловых эфиров жирных кислот проводили методом тонкослойной и газовой хроматографии.

Результаты и обсуждение

Биотехнологическая стратегия, реализуемая системой обращения ТБО Санкт-Петербурга накладывает определенные ограничения на спектр перерабатываемых компонент отходов.

Так, разрабатываемый технологический цикл может перерабатывать только компостируемую часть ТБО и органическую часть токсичных химических отходов. В качестве модельного класса токсичных органических веществ нами были выбраны полициклические органические углеводороды (ПАУ) на основании их доминирующего вклада в интегральную токсичность [3] и постоянном росте содержания в городских почвах [4].

Также для придания технологическому циклу экологической завершенности было необходимо проработать вопрос минимизации загрязнения городских почв ПАУ. Ключевым источником этих стойких органических загрязнений (СОЗ) в мегаполисе является автотранспорт, прежде всего дизельные грузовики. Использование биодизельного топлива позволяет существенно сократить их выбросы.

Одним из видов городских отходов являются отработанные жарочные масла [5], жировой сток пищевых предприятий, а в прибрежных городах еще и отходы рыбообработки [6], которые можно переработать в биотопливо, однако классические технологии щелочного катализа при высоком кислотном числе и влажности не работают, а методы кислотного и биокатализа, которые нечувствительны к свободным жирным кислотам требуют длительного нагревания реакционной смеси, что приводит к большим затратам. Нами проведены испы-

тания кислотного катализа при получении биодизеля из этой группы отходов (время реакции 70–80 ч), что показано на рис. 3, и предложено использования для подогрева сбросного тепла ТЭЦ. На рис. 4 предложена схема замкнутого технологического цикла переработки отходов.

Компост, производимый как продукт переработки бытовых отходов, обладает способностью длительное (6–8 месяцев) время поддерживать температуру 50–60 градусов тепла независимо от погодных условий и сезона года [7]. Так же компост содержит большое количество микроорганизмов, которые могут являться деструкторами ПАУ [8]. Таким образом, совместное компостирование отходов (рис. 5), содержащих ПАУ с горячим компостом из ТБО позволит проводить всесезонную биодеградацию токсичных отходов, при этом отпадает необходимость во внесении в субстрат дорогостоящих биологических препаратов.

Аналогичный способ описан в статье [9], но авторы статьи используют в качестве источника микроорганизмов-деструкторов иловые осадки очистных сооружений, при этом срок компостирования таков, что не позволяет производить длительную (несколько месяцев) инкубацию в холодное время года — термофильная фаза компостирования завершается на 20-е сутки, когда степень деструкции ПАУ составляет 50–60%.

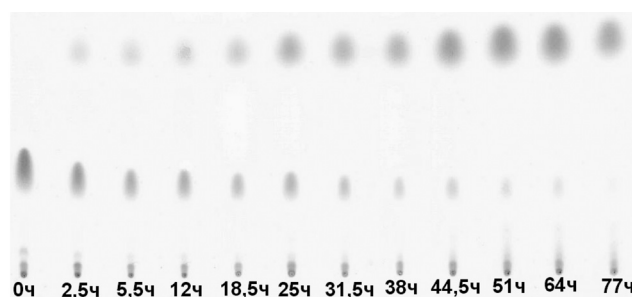


Рис. 3. Динамика процесса биодизельного топлива из отработанного жарочного масла с использованием гомогенного кислотного катализа



Рис. 4. Замкнутый технологический цикл переработки отходов мегаполиса (биотехнологическая стратегия)

Серьезной проблемой является нерастворимость ПАУ в воде, для ее устранения используются поверхностно-активные вещества, в нашем случае целесообразно использовать отходы переработки жарочного масла на биодизельное топливо.

Для экспериментальной проверки предлагаемого метода был сформирован экспериментальный штабель, внутрь которого был помещен загрязненный ПАУ компост, упакованный в полимерную сетку. ПАУ-содержащие отходы предварительно были смешаны с отходами получения биодизеля и эмульгированы.

В начале опыта и по истечении срока эксперимента проводилось определение ПАУ в экспериментальном компосте. Для предотвращения попадания токсичных веществ в атмосферу компост, загрязненный поллютантами, был изолирован с помощью чистого компоста. Защита почвы и грунтовых вод осуществляется

гидроизоляцией площадки компостирования. При изучении процесса биодegradации смеси ПАУ в течение одного года были получены следующие результаты (табл. 1).

Данные, приведенные в табл. 1, говорят о пригодности предлагаемого метода для утилизации концентрированных токсичных органических отходов. При этом исключается необходимость в использовании биопрепаратов, а так же достигается независимость процесса биодegradации от времени года. Биотестирование на райграсе пастбищном показало безопасность получаемого компоста для газонных трав.

Таблица 1
Биодegradация ПАУ в компосте из ТБО

№ п/п	Компонент смеси ПАУ Наименование	Содержание, мкг/кг	
		Исходное	Конечное
1	Нафталин	7520	41
2	Аценафтилен	1540	1
3	Аценафтен	2990	28
4	Флуорен	2990	172
5	Фенантрен	33000	2
6	Антрацен	1540	29
7	Флуорантен	71990	33
8	Пирен	70540	21
9	Бенз[а]антрацен	54040	—
10	Хризен	60020	—
11	Бенз[б]флуорантен	121500	—
12	Бенз[к]флуорантен	4530	—
13	Бенз[а]пирен	31460	—
14	Дибенз[а, h]антрацен	104990	—
15	Индено[1,2,3-cd]пирен	11970	—
16	Бенз[g, h, i]перилен	274540	—
Суммарно		855160	327

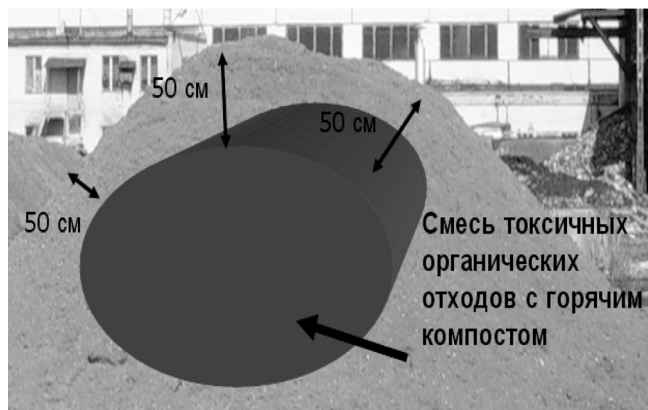


Рис. 5. Совместное компостирование токсичных органических отходов с горячим компостом

БИРЖА ТЕХНОЛОГИЙ И КОНТАКТОВ

Выводы

1. Предложена схема комплексной биотехнологической переработки ТБО и токсичных органических отходов в мегаполисах на примере ПАУ.
2. Предложен новый технологический прием совместного компостирования ПАУ и горячего компоста, позволяющий проводить биодеградацию СОЗ независимо от сезона года и без использования биологических препаратов.
3. Предложен способ повышения рентабельности переработки в биодизель отработанного жарочного масла и прочих содержащих липиды отходов города.

Список использованных источников

1. *О. В. Ищенко, Д. С. Якишилов, А. В. Гарабаджиу, Г. В. Козлов.* Ретроспективный анализ морфологического состава и основных свойств твердых бытовых отходов (ТБО) в XX веке по регионам мира//Тез. докл. Московской международной научно-практической конференции «Биотехнология: экология крупных городов», 15–17 марта 2010 г. Москва.
2. *Ю. М. Скорик, Т. М. Флоринская, Л. С. Венцюлис, Ю. М. Лихачев.* Единая политика обращения с отходами в Санкт-Петербурге и Ленинградской области/Под ред. чл.-корр. РАН С. Г. Инге-Вечтомова, Ю. И. Скорика, засл. эколога РФ Т. М. Флоринской. СПб.: Наука, 2000.
3. *О. V. Ischenko, A. A. Ageeva, E. V. Karelina, V. N. Mochna, A. V. Garabadjiu, G. V. Kozlov.* Evaluation of the contribution of various toxic substances in the integral toxicity of soil in Moscow// Abstracts of International Conference «Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, Medicine», SPb.: Repino, June 21–24, 2011.
4. *Б. М. Козут, Э. Шульц, А. Ю. Галактионов, Н. А. Титова.* Содержание и состав полициклических ароматических углеводородов в гранулометрических фракциях почв парков Москвы// Почвоведение, № 10, 2006.

5. *А. В. Гарабаджиу, Г. В. Козлов, А. В. Билык, Е. И. Помешалкин.* Переработка отработанного жарочного масла в биодизельное топливо//Проблемы региональной экологии, № 4, 2011.
6. *В. А. Галынкин, А. Х. Енишев, М. М. Карасев, Г. В. Козлов.* Морские биоресурсы — перспективная сырьевая база биотоплива// Катализ в промышленности, № 5, 2010.
7. *В. А. Галынкин, А. В. Гарабаджиу, Г. В. Козлов, Г. Г. Няникова.* Ускорение процесса биотермической санации и последующего компостирования ТКО при механизированной переработке// Вест. биотех. физ.-хим. биол., т. 2, № 2, 2006.
8. *Г. В. Козлов, А. В. Гарабаджиу, А. А. Анкудинова, О. В. Ищенко.* Разнообразие микроорганизмов деструкторов полициклических ароматических углеводородов//ПХЖ, т. 55, № 1, 2011.
9. *Li Hua, Weixiang Wu, Yuxue Liu, Yingxu Chen, Murray B. MeDride* Effect of Composting on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Removal in Sewage Sludge//Water Air Soil Pollut (2008) 193:259-267.

Closed technological cycle of recycling domestic and industrial waste city

G. V. Kozlov, A. V. Garabadjiu, O. V. Ischenko, E. I. Pomeshalkin, M. I. Pushkarev, A. A. Ageeva, A. V. Bilyk, E. V. Karelina, A. V. Kryukova, V. N. Mochna.

The article is devoted to comprehensive recycling waste. This paper provides information about the technologies that allow disparate processes to close the existing treatment of waste from various sources (MSW, chemical waste, fat and oil waste) in a single production cycle. The method of detoxification of chemical waste and heavily contaminated soil containing persistent organic pollutants (for example, PAHs) using a hot compost from solid waste, allowing to carry out the process at any time of year, it is experimentally shown its effectiveness.

Keywords: municipal solid waste (MSW), toxic chemical waste, composting, biodegradation, recycling solid waste, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), biodiesel, waste frying oils.