

Исследования фенологических показателей Предвесенья в промежутке с 2004 по 2016 годы показало отсутствие четкой. Самое большое отклонение зафиксировано в 2009 году. Отмечено наступление на 15 дней позже среднемноголетнего срока. Более позднее наступление зафиксировано в 2006, 2008, 2010, 2011 годах. Наступление Предвесенья раньше среднемноголетнего срока отмечено в 2007 году (на 12 дней раньше), в 2015 году (на 9 дней раньше) и в 2016 году (на 3 дня раньше). Фенологические показатели 2013 и 2014 гг. практически соответствовали средним многолетним срокам (Рисунок – 3).

Таким образом, анализ фенологических показателей заповедника «Столбы» может являться хорошим индикатором в изучении динамики ландшафтов юга Средней Сибири. Позволит выявить реакцию окружающей среды на изменения климата как на региональном так и на глобальном уровнях.

Список цитированных источников

1. Буторина, Т.Н. Сезонные ритмы природы Средней Сибири / Т.Н. Буторина, Е.А. Крутовская. – М.: Наука, 1972. – 376 с.
2. Фокина, Н.В. Динамика климата и изменение фенологических сезонов года заповедника «Столбы» / Н.В. Фокина, Н.А. Лигаева, Л.В. Бусыгина // Вестник КГПУ им. В.П. Астафьева. – 2013. – №24. – С. 228 – 231.
3. Исследование климатических особенностей заповедника «Столбы» / Н.В. Фокина [и др.] // Вестник КГПУ им. В. П. Астафьева. – 2006. – №2. – С. 22–27.

УДК 338.51

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Мисюля Д. И.

Учреждение образования «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина», г. Брест, Республика Беларусь, d.misiulia@yandex.ru
Научный руководитель – Ступень Н. С., к.т.н., доцент

The article presents main methods of processing polyethylene terephthalate, their advantages and disadvantages, environmental aspects. A promising approach is the development of a biochemical method of PET decomposition using bacteria Ideonella sakaiensis.

XXI век – это век высоких технологий, с одной стороны, и век глобальных экологических проблем, с другой. Немалую долю в загрязнении окружающей среды занимают отходы, состоящие из полиэтилентерефталата (ПЭТ). Этот полимер обладает весьма ценными физико-химическими свойствами, они же и обуславливают высокую степень сопротивляемости природному разложению.

Цель исследований: изучить и обобщить данные литературных источников по проблеме накопления и переработке отходов из полиэтилентерефталата.

Массовая доля отходов ПЭТ от массы всего мусорного потока составляет 5 – 8 %, однако по объему эта цифра существенно больше и составляет 20 – 25 % [1].

Накопление отходов ПЭТ обусловлено также и их весьма низким уровнем естественной деструкции. Для решения этой проблемы был внедрен ряд способов по переработке этого материала: захоронение (самый бесперспективный метод из всех; ценное полимерное сырье уничтожается, а большие территории становятся пустырями), сжигание, пиролиз, химические методы, механические методы и другие. Отмечено, что доля механической и термической (пиролиз) переработки преобладают над химической [2].

Механическая переработка предусматривает разнообразные способы очистки, отмывки, дробления (хлопья, волокна, гранулы). Тем не менее, отмечается факт уменьшения физико-механических свойств вторичного ПЭТ, полученного при механической обработке сырья, по сравнению с первичным [3]. Результаты исследований позволяют сделать вывод, что полученный вторичный ПЭТ можно использовать в качестве компонента для разнообразных композиционных материалов [2].

Теплотворная способность ПЭТ весьма высока (22700 кДж/кг) [3]. Это лежит в основе его сжигания. При нагревании ПЭТ выше температуры 260 °С возможно выделение разнообразных продуктов термоокислительной деструкции, таких как формальдегид, стирол, диметилтерефталат, ацетальдегид, метиловый спирт, оксид углерода (II) и оксид углерода (IV), поэтому процесс сжигания необходимо проводить, учитывая правильную вентиляцию и очистку воздуха от этих веществ [4]. Система вентиляции для печей сжигания включает в себя специальные фильтры, которые сложны как в производстве, так и в эксплуатации; такие фильтры не обеспечивают должную степень очистки. Также температурный диапазон переработки ПЭТ (260 – 280 °С) лежит выше, чем таковой, например, для полиэтилена (120 – 180 °С) [3]. При этом наличие примесей полиэтилена и поливинилхлорида крайне нежелательно во вторичном сырье из ПЭТ (примеси трудно отделяются). Отмечается факт выделения хлороводорода из поливинилхлорида при температурах переработки ПЭТ, что приводит к деструкции последнего [5].

Химические методы предполагают деполимеризацию полиэтилентерефталата при взаимодействии с химическими веществами. Далее продукты обработки подвергают гидролизу до терефталевой кислоты и этиленгликоля, из которых вновь, путем поликонденсации, получают ПЭТ. Процесс химической деполимеризации достаточно дорогой и сопряжен с использованием высокотехнологичного оборудования, энергетическими затратами и покупкой дорогостоящих химических веществ [2]. За рубежом распространен одностадийного синтеза из этиленгликоля и терефталевой кислоты. Данный способ считают весьма перспективным [1].

В 2016 году японскими учеными во главе с Yoshida Shosuke, в результате скрининга образцов ПЭТ на наличие природных сообществ микроорганизмов, был выявлен новый вид бактерий, способный использовать отходы из полиэтилентерефталата в качестве основного источника энергии и углерода. Данный вид бактерий продуцирует два фермента, которые осуществляют деполимеризацию ПЭТ до терефталевой кислоты и этиленгликоля через промежуточный продукт моно(2-гидроксиэтил)терефталевую кислоту (МНЕТ). Новый вид бактерий получил название *Ideonella sakaiensis* [6].

Дальнейшие исследования показали, что возможна деполимеризация ПЭТ до мономеров с помощью ферментной системы рассматриваемого микроорганизма. Выделяя изначально ПЭТазу, бактерия деполимеризует ПЭТ до моно(2-гидроксиэтил)терефталевой кислоты (МНЕТ). Далее, выделяя второй

фермент (МНЕТазу), осуществляется расщепление МНЕТ до двух мономеров: этиленгликоля и терефталевой кислоты. Данные механизмы деполимеризации ПЭТ были изучены вначале для фермента, полученного непосредственно из культуры бактерий *Ideonella sakaiensis*. В дальнейшем была получена мутантная модификация типа S238F/W159H. Последняя показала более высокие результаты деполимеризации ПЭТ с теми значениями кристалличности, которые применяются в промышленном производстве [7].

Таким образом, проанализировав данные литературных источников, можно сделать следующие выводы:

1. Внедрены разнообразные методы переработки полиэтилентерефталата. Наиболее простые методы, такие как механические и термические, преобладают над более наукоемкими химическими. При этом механические методы переработки преобладают над всеми остальными.

2. При механической переработке происходит уменьшение физико-механических свойств, за которые данный материал ценится в промышленности. Так или иначе, даже с уменьшенными показателями по сравнению с первичным, вторичный ПЭТ находит свое применение в качестве ценного компонента в разнообразных строительных и композиционных материалах. Следовательно, эффективным способом утилизации ПЭТ будет являться использование переработанной его формы для получения более долговечных и прочных композиционных материалов, в т. ч. и строительных.

3. Учитывая высокую теплотворность ПЭТ, это мог быть хороший источник тепловой энергии. Однако утилизация сжиганием сопряжена с множеством проблем, таких как возможность вредных выбросов. Кроме того, высокая стоимость, высокотехнологичность и сложность в эксплуатации специального оборудования для очистки, делают данный способ весьма затратным (с отмеченной малой степенью очистки воздуха от продуктов горения).

4. Пиролитические методы утилизации (без сжигания) крайне чувствительны к отходам, особенно – к поливинилхлориду, который ввиду вышеназванной причины ухудшает свойства вторичного ПЭТ, обуславливая его деструкцию. При этом существенную роль здесь играют и высокие затраты, необходимые для поддержания высокой температуры.

5. При всех своих преимуществах, в частности, возможности деполимеризации, химические методы имеют существенные недостатки. Прежде всего это высокая наукоемкость данных методов, высокая стоимость оборудования и химических реагентов. Однако эти же методы являются очень экологичными и эффективными, так как образующиеся в результате их мономеры (терефталевая кислота и этиленгликоль) легче и дешевле превратить в первичный полиэтилентерефталат.

6. Современные исследования, проводимые с бактерией *Ideonella sakaiensis* и ее ферментами, позволяют прогнозировать появление в ближайшем будущем нового метода переработки ПЭТ – биохимического. Важно подчеркнуть экологичность и возможную дешевизну этого метода, т. к. образующиеся при этом вышеуказанные мономеры можно использовать в синтезе первичного ПЭТ.

Список цитированных источников

1. Общая характеристика отходов полиэтилентерефталата [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.waste.ru>. – Дата доступа: 10.03.2019.

2. Полиэтилентерефталат: новые направления рециклинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mkgtu.ru>. – Дата доступа: 13.03.2019.

3. Экологические аспекты переработки отходов полиэтилентерефталата [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru>. – Дата доступа: 13.03.2019.

4. Промышленная экология. Анализ состояния окружающей среды АО «Европласт» – Проект завода по производству преформ – заготовок для ПЭТ бутылок, изготавливаемых из полимера (полиэтилентерефталата) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vuzlit.ru>. – Дата доступа: 13.03.2019.

5. Вторичная переработка ПЭТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e-plastic.ru>. – Дата доступа : 14.03.2019.

6. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://science.sciencemag.org>. – Дата доступа: 14.03.2019.

7. Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyesterase [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.pnas.org>. – Дата доступа: 14.03.2019.

УДК 631.412

СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ

Михальчук О. В., Дашкевич М. М.*

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, o.mikhalchuk@tut.by
Научный руководитель – Волчек А. А., д.г.н., профессор

*Государственное научное учреждение «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси» г. Брест, Республика Беларусь, info@paei.by

The content of mobile forms of some heavy metals in sod-podzolic soils of Western Belarus was defined. It is shown that the content of lead (4.56 mg/kg) and copper (0.93 mg/kg) in natural (native) soils exceeds an average background level for the soils of Belarus.

Среди огромного количества веществ, загрязняющих почвенный покров, тяжелые металлы (ТМ) относятся к группе наиболее опасных. Они поступают в окружающую среду с выбросами промышленных, энергетических предприятий, авто- и железнодорожного транспорта, а в почвы сельскохозяйственных угодий – дополнительно со средствами химизации. Токсиканты достаточно быстро накапливаются в почвах и очень медленно из них выводятся. Поэтому в отличие от воды и воздуха, которые являются, прежде всего, миграционными средами, почва представляет собой довольно устойчивый и объективный индикатор техногенного загрязнения окружающей среды, четко отражающий особенности их пространственного распределения.

В исследованиях наиболее распространенным методом нормирования уровней накопления ТМ в почвах является санитарно-гигиенический подход, который основывается на использовании показателей предельно-допустимых концентраций (ПДК) [1]. Однако такой подход не позволяет выявить удельный