

Научная статья

УДК 637.1

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-6-358-364>



Оценка эффективности использования новых экологически безопасных добавок для ПВХ на основе адипиновой кислоты

Алия Карамовна Мазитова¹ , Жан Фаритович Булатасов¹, Ильнар Ильгизович Зарипов¹ ,
Юрий Евгеньевич Сапожников² , Ирина Николаевна Вихарева^{1*}

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

² Научно-исследовательский Технологический институт гербицидов и регуляторов роста растений с опытно-экспериментальным производством Академии Наук Республики Башкортостан, Уфа, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: irina.vikhareva2009@yandex.ru

АННОТАЦИЯ: Введение. Хозяйственно-экономическая деятельность человека влечет за собой экологический, экономический и социальный ущерб, причиняемый окружающей среды. Производство продукции или услуг связано с потреблением природных ресурсов и выбросами, отрицательно влияющими на экологическое состояние. В настоящее время остро стоит проблема негативного воздействия человека на природную среду и представляет собой основной источник ухудшения здоровья живых существ. В современных условиях обеспечение химической безопасности относится к приоритетным задачам социально-экономического развития. Для защиты окружающей среды важно принять соответствующие меры и разработать надлежащие механизмы содействия устойчивому развитию. С этой целью требуется оценка эколого-экономического ущерба от деятельности человека. **Материалы и методы.** В работе для эколого-экономической оценки влияния на окружающую среду новых экологически безопасных биоразлагаемых добавок для поливинилхлорида на основе адипиновой кислоты использована методика определения предотвращенного экологического ущерба, утвержденная председателем Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды. **Результаты и обсуждение.** Полимерные материалы как наиболее востребованные и широко распространенные вносят значительный вклад в ухудшение экологической ситуации. В связи с этим рассчитаны основные величины предотвращенного экологического ущерба от деградации почв при использовании новых экологически безопасных добавок для ПВХ на основе адипиновой кислоты. **Заключение.** Введение в состав разработанных добавок обеспечивает экономическую и экологическую эффективность с целью ускорения биоразложения полимерных композиционных материалов, защищает от химического загрязнения опасными токсичными соединениями и способствует предотвращению деградации почв.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: адипиновый пластификатор, биоразлагаемый, экономическая эффективность, ущерб окружающей среде, поливинилхлорид.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мазитова А.К., Булатасов Ж.Ф., Зарипов И.И., Сапожников Е.Ю., Вихарева И.Н. Оценка эффективности использования новых экологически чистых добавок ПВХ на основе адипиновой кислоты // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 6. С. 358–364. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-6-358-364>.

ВВЕДЕНИЕ

Улучшение совокупности свойств крупнотоннажных синтетических полимеров достигнуто благодаря повышению эффективности условий синтеза, целенаправленного регулирования их молекулярной массы и молекулярно-массового распределения на нано-, микро- и макроуровнях. Важным фактором

при решении данной задачи было совершенствование технологии производства пластических масс на основе улучшенных полимерных составляющих и усовершенствование методов подготовки сырья, способов и приемов смешивания композиций.

С 50-х годов XX в. существует стабильная мировая тенденция роста рынка пластмасс: начиная с 1 млн т в 1950 г. до 348 млн т в 2017 г. [1].

© Мазитова А.К., Булатасов Ж.Ф., Зарипов И.И., Сапожников Е.Ю., Вихарева И.Н., 2021

В связи с возрастающими объемами производства и потребления полимерных материалов и изделий, важной экологической проблемой является постоянное увеличение огромного количества пластиковых отходов. Благодаря этому сформировалось отдельное направление — рециклинг пластмасс, при котором используются специфические комбинации технологических процессов, что способствует решению экологических и сырьевых проблем, в частности. Химические деполимеризационные процессы позволяют производить сырье для получения мономеров, олигомеров и других химических материалов с использованием экономически выгодных методов [2–8].

Однако на сегодняшний день утилизация полимерных изделий после эксплуатации чаще всего происходит на полигонах ТБО либо носит спонтанный характер.

Загрязнение почвы приводит к деградации почвенного покрова, выведению земель из сельскохозяйственного оборота и значительным финансовым затратам на реализацию мероприятий по рекультивации загрязненных земель.

Загрязнение почвы отработанными полимерными материалами представляет значительную опасность в связи с токсичностью некоторых добавок, а также с миграционной способностью отдельных компонентов.

Таким образом, крайне важным на сегодняшний день является разработка полимерных композиционных материалов с регулируемым сроком службы, которые характеризуются стабильностью эксплуатационных характеристик в течение всего периода их использования, а далее деградируют естественным образом в условиях окружающей среды с образованием нетоксичных веществ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Расчет предотвращенного экологического ущерба от деградации почв при использовании разработанных адипинатных добавок

Экономический ущерб, наносимый окружающей среде, — выраженные в стоимостной форме фактические и возможные убытки, причиняемые народному хозяйству загрязнениями, или дополнительные затраты на компенсацию этих убытков.

Экономический ущерб от ухудшения и разрушения почв и земель под воздействием антропогенных (техногенных) нагрузок выражается в загрязнении земель химическими веществами, захлавлении земель несанкционированными свалками, другими видами несанкционированного и нерегламентированного размещения отходов и сопутствующей деградации почв и земель.

Деградация почв и земель представляет собой совокупность природных и антропогенных процессов, приводящих к изменению функций почв, количественному и качественному ухудшению их свойств и состава, снижению природно-хозяйственной значимости земель. Крайней степенью деградации является уничтожение почвенного покрова и порча земель.

Выделяют основные типы деградации почв и земель:

- технологическая (эксплуатационная) деградация — механическое разрушение почвенного покрова вследствие открытых и закрытых разработок полезных ископаемых и торфа, а также строительных и геологоразведочных работ: нарушение земель, физическая деградация, агроистощение;
- эрозия — разрушение почвенного покрова под действием поверхностного стока и ветра с последующим перемещением и переложением почвенного материала: водная и ветровая;
- засоление — накопление водорастворимых солей, в том числе накопление в почвенном поглощающем комплексе ионов натрия и магния: собственно засоление и осолонцевание;
- заболачивание.

Степень деградации почв и земель определяется с помощью индикаторных показателей, по которым установлены пороговые значения для определения потери природно-хозяйственной значимости земель. Деградация почв и земель по каждому индикаторному показателю характеризуется степенями от 0 до 4.

При расчете размеров ущерба от деградации почв и земель, нанесенного их собственнику, учитывается потеря ежегодного дохода. Его размер исчисляется по действующим ценам на момент определения размеров ущерба.

Экономический эффект — разница между результатами экономической деятельности (например, продуктом в стоимостном выражении) и затратами, произведенными для их получения и использования.

Эффект эколого-экономический — соотношение размера положительного эффекта (выгоды) и вреда (ущерба), вызванного воздействием на окружающую среду, а также величины затрат, необходимых для возмещения такого ущерба.

Исчисление размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, проводят по определенной методике. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, предназначена для исчисления в стоимостной форме размера вреда, нанесенного почвам в результате нарушения законодательства в области охраны окружающей среды, а также при возникновении аварийных и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Методикой исчисляется размер вреда, причиненного почвам, в результате:

а) химического загрязнения почв в результате поступления в почвы химических веществ или смеси химических веществ, приводящего к несоблюдению нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы предельно (ориентировочно) допустимых концентраций химических веществ в почвах;

б) несанкционированного размещения отходов производства и потребления;

в) порчи почв в результате самовольного (незаконного) перекрытия поверхности почв, а также почвенного профиля искусственными покрытиями и (или) линейными объектами.

Ранее в работах получены алкилбутоксипропилаты, исследованы их характеристики, важные для практического применения в качестве пластификаторов ПВХ [9].

Оценку величины предотвращенного экологического ущерба от деградации почв при использовании разработанных адипинатных добавок рассчитывали по формуле [10]:

$$Y_{\text{прд}}^{\text{п}} = Y_{\text{удх}}^{\text{п}} \times \sum_j S_j \times K_{\text{п}j},$$

$$Y_{\text{прд}}^{\text{п}} = 147\,000 \times 1 \times 1,9 = 279,3 \text{ тыс. руб.},$$

где $Y_{\text{удх}}^{\text{п}}$ — показатель удельного экологического ущерба земельным ресурсам, тыс. руб.; $Y_{\text{удх}}^{\text{п}} = 147$ тыс. руб. / га (г. Уфа, Россия);

S_j — площадь земель j -того типа, сохранных от деградации в результате природоохранной деятельности, га; $S_j = 1$ га;

$K_{\text{п}j}$ — коэффициент природно-хозяйственной значимости земельных ресурсов j -того типа, $K_{\text{п}j} = 1,9$.

Размер предотвращенного экологического ущерба при использовании разработанных добавок оценивается по формуле:

$$Y_{\text{прх}}^{\text{п}} = Y_{\text{удх}}^{\text{п}} \times \sum_j S_j \times K_i^{\circ} \times K_{\text{п}j},$$

$$Y_{\text{прх}}^{\text{п}} = 147\,000 \times 1 \times 3 \times 1,9 = 837,9 \text{ тыс. руб.},$$

где $Y_{\text{прх}}^{\text{п}}$ — предотвращенный экологический ущерб от загрязнения земельных ресурсов химическим веществом i -того класса опасности в течение отчетного периода времени, тыс. руб.;

S_j — площадь земель j -того типа, которую удалось предотвратить от загрязнения химическим веществом i -того класса опасности в течение отчетного периода времени, га; $S_j = 1$ га;

K_i° — коэффициент, учитывающий класс опасности i -того химического вещества, недопущенного к попаданию в почву, $K_i^{\circ} = 3$.

Общая величина предотвращенного экологического ущерба земельных ресурсов в регионе в течение отчетного периода времени определяется по формуле:

$$Y_{\text{пр}}^{\text{п}} = Y_{\text{прд}}^{\text{п}} + Y_{\text{прх}}^{\text{п}},$$

$$Y_{\text{пр}}^{\text{п}} = 279,3 + 837,9 = 1117,2 \text{ тыс. руб.}$$

Если биodeградация полимерного материала в естественных условиях протекает более 100 лет, то наносимый экологический ущерб за данный промежуток времени составит 1117 200 руб.

Поскольку полученный композиционный ПВХ-пластикат с содержанием адипинатных пластификаторов деградирует в почве за 0,5 года до 10%, то полная биодеструкция составит 5 лет. Наносимый экологический ущерб за данный промежуток времени составит 55860 руб.

Таким образом, предотвращенный экологический ущерб при внедрении в производство биоразлагаемых адипинатных пластификаторов за 100 лет составит 1061,34 тыс. рублей на 1 га земли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Современные подходы к решению проблемы утилизации

В последние годы биополимеры из возобновляемых сырьевых источников привлекают особое внимание исследователей. Основные причины, способствующие развитию данного направления: способность к полной биодеструкции в условиях окружающей среды, сокращение запасов углеродородного сырья, сокращение количества отходов и компостируемость в естественном природном цикле, защита климата благодаря уменьшению количества выделяемого углекислого газа.

Объемы производства биоразлагаемых полимеров, несмотря на постоянный рост их производства, значительно уступают традиционным полимерам.

В настоящее время производство и потребление биопластиков составляет только около 1 % от общего количества полимерных материалов [11].

Согласно последним данным Европейского института биопластиков (European Bioplastics) и научно-исследовательского института nova-Institute (Хюрт, Германия) глобальные производственные мощности по производству биопластиков в 2019 г. составили 2,114 млн т [12–13].

Первоначально биоразлагаемые полимерные материалы представляли собой смеси традиционных полимеров с крахмалом. Сейчас появился целый

спектр новых биоразлагаемых пластиков, различающихся технологиями получения и составом.

Биоразлагаемые полимеры — это полимеры, подверженные деградации, инициированной повышенной влажностью и микроорганизмами. Для обеспечения биологического распада таких полимеров требуются определенные условия: pH, влажность и насыщение кислородом.

Перспективные биоразлагаемые пластики на биоснове, например, полилактиды, полиэферы и полигидроксоалканоаты на данный момент отличаются высокой ценой и не являются доступными для широкого использования.

Одним из наиболее перспективных методов создания подобных материалов является разработка и внедрение композиционных материалов на основе традиционных полимеров с добавками, ускоряющими разложение всей композиции.

Одним из направлений работ по регулированию срока службы полимерных материалов и, в частности ПВХ, является обеспечение способности их к биодеградации [14–15].

В работах [16–22] предприняты попытки получения полимерных композиционных материалов с регулируемой биостойкостью, даны основные рекомендации по созданию биостойких полимерных композиций, позволяющих расширить эксплуатационные возможности полимерных материалов и продлить их сроки эксплуатации в различных климатических зонах.

По этой причине в связи с возрастающими экологическими требованиями полимерные материалы, наряду с высоким набором технологических и эксплуатационных параметров, должны быть биоразлагаемыми.

Разработка полимерных композиционных материалов, претерпевающих ускоренные физико-химические и биологические изменения в природной среде за счет введения биоразлагаемых добавок, является одним из потенциальных способов утилизации синтетических материалов и обеспечивает освобождение значительных площадей плодородных почв и земель от постоянно увеличивающегося количества полимерных отходов.

На сегодняшний день поливинилхлорид по объему потребления занимает третье место после полиэтилена и полипропилена, поэтому актуальна разработка и использование биоразлагаемых аддитивов для данных полимеров, что способствует решению насущной проблемы загрязнения пластиковыми отходами окружающей среды.

Возобновляемые источники на основе растительного сырья или отходов их производств, подлежащих утилизации, в качестве наполнителей для регулирования биоразлагаемости полимерных

композиционных материалов являются альтернативой для развития экономически и экологически привлекательных технологий. Однако подобные ПКМ уступают по физико-механическим, технологическим и эксплуатационным характеристикам традиционным полимерам. По этой причине модифицирование полимерных составов целесообразно проводить, применяя пластификаторы, способные в условиях окружающей среды служить источником органических веществ для микроорганизмов-деструкторов.

Использование природных биоразлагаемых пластификаторов, обладающих низкой токсичностью и хорошей совместимостью с традиционными полимерами, является растущей тенденцией при создании биопластиков. В качестве пластификаторов на натуральной основе широко применяют эпоксициклические триглицеридные растительные масла из соевого масла, льняного масла, касторового масла, подсолнечного масла и сложных эфиров жирных кислот [23]. Однако в некоторых приложениях полная замена пластификаторами на натуральной основе просто невозможна, поэтому за последние десятилетия разработан широкий спектр доступных коммерческих биоразлагаемых синтетических пластификаторов: сложные эфиры адипиновой, азелаиновой, себаценовой, лимонной и винной кислот [24].

В рецептурах ПВХ-композиций с этой целью возможно применять биоразлагаемые пластификаторы, например, сложные эфиры адипиновой кислоты. К тому же ПВХ-композиты с содержанием адипинатов обладают пониженной токсичностью. В многочисленных работах были исследованы биотоксичность и период биодеградации промышленного адипинатного пластификатора ДОО и показано, что данная добавка для ПВХ является нетоксичной для различных видов живых микроорганизмов и период ее биоразложения составляет 6 месяцев [25–26].

Расширение ассортимента биоразлагаемых добавок является актуальным эффективным способом повышения биодеструкции ПВХ-композитов. В работах [9] нами описано получение сложных эфиров адипиновой кислоты и оксиэтилированных спиртов, исследованы характеристики, важные для практического применения в качестве пластификаторов ПВХ, а также показана возможность биодеградации в условиях окружающей среды, изучены процесс биодеградации и основные метаболиты.

Пластификаторы, входящие в состав материалов на основе ПВХ, обладают различной устойчивостью к микроорганизмам. При этом важную роль играет природа пластификатора. Когда микроорганизмы используют пластификаторы в качестве источника

углерода в материалах ПВХ, наблюдаются значительные изменения свойств.

Известно, что, в отличие от фталатных пластификаторов, адипинатные добавки участвуют в процессе жизнедеятельности различных микроорганизмов, в результате чего образуются растворимые в воде кислые продукты. Например, щавелевая, янтарная кислоты, провоцирующие ускорение процесса разложения материала [27–28]. Дальнейшее ослабление полимерной структуры приводит к изменениям молекулярной массы и механических свойств пластика. Остатки полимерных молекул воспринимаются микроорганизмами в качестве питательных веществ, что приводит к росту их популяции.

Биодеградация гибридных полимерных композитов на основе крупнотоннажных синтетических полимеров и биоразрушаемых наполнителей при воздействии почвенных микроорганизмов заключается в повторяющемся прохождении этапов: поверхностная биокоррозия, образование более пористой структуры (за счет «отрицательного вымывания», и «расходования» наполнителей), внутренняя биокоррозия (за счет адгезионного закрепления микромицетов на внутренних неровностях), распространение эрозии, фрагментация. В результате полимерные материалы, будучи органическими соединениями способны подвергаться биологическому разрушению, т.е. утилизироваться.

Способность к ускоренному биологическому разложению ПВХ-пластиков с разработанными адипинатными пластификаторами является неоспоримым преимуществом разработанных добавок. Процесс разрушения материала при попадании в почву происходит под действием микроорганизмов и сопровождается значительным падением его прочности. Разлагаемость в природе полимерных материалов зависит от структуры полимера, наличия популяции разлагающих микроорганизмов и условий окружающей среды, которые способствуют их росту. Под действием свободных радикалов и различных микроорганизмов образующиеся фрагменты вовлекаются в гидролитические и окислительно-восстановительные процессы, что приводит к снижению молекулярной массы и еще более упрощает и ускоряет процесс биодеструкции полимерного пластика.

Существование организмов, способных метаболизировать синтетические полимеры, представляет значительный интерес в последние годы [29]. В основном исследования биоразложения сосредоточены на полимерных композитах, содержащих наполнитель [30–32], который оказывает ускоряющее действие на биодеградацию, являясь источником питания микроорганизмам во внешней среде [33–35].

Несмотря на то, что поливинилхлорид – это прочный полимер, устойчивый к истиранию и химическому действию, характеризующийся низким влагопоглощением, исследователи отмечают, что чем меньше молекулярный вес полимера, тем более легко происходит его биоразложение [36–37]. Согласно Кирбасу и соавторам чистый поливинилхлорид с низкой молекулярной массой подвергается биоразложению грибами белой гнили [35].

Таким образом, отдельные виды микроорганизмов способны утилизировать поливинилхлорид, а добавки, присутствующие в композиционных материалах, значительно ускоряют этот процесс [38–40].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биодеградация – наиболее удобное и разумное решение для экологически чистого и эффективно-го удаления отходов пластмасс. В настоящее время не разработаны технологии, позволяющие утилизировать материалы на основе синтетических полимеров путем биодеградации в коммерческих масштабах. Однако принимая во внимание большое количество исследований биотехнологической направленности в данном направлении, можно прогнозировать в скором времени разработку приемлемых, рациональных и рентабельных технологий биодеградации пластиковых отходов. На сегодняшний день предотвращение экологического ущерба напрямую способствует получению экономического эффекта от разработки и внедрения в производство биodeградируемых полимерных композиционных материалов. Проведенная эколого-экономическая оценка использования новых адипинатных пластификаторов ПВХ показывает эффективность их применения для ускорения процессов биодеструкции и для защиты окружающей среды от деградации почв.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вихарева И.Н., Зарипов И.И., Кинзябулатова Д.Ф., Минигазимов Н.С., Аминова Г.К. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть I // Нанотехнологии в строительстве. 2020. Том 12, № 6. С. 320–325. DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-6-320-325](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-6-320-325).

2. VinylPlus-Progress-Report-2020_EN_sp.pdf [Internet]. 2021 [cited 20 Oct 2021]. Available from: <https://vinylplus.eu>.
3. VinylPlus, Committed to Sustainable Development [Electronic resource]. 2021 [cited 01 Oct 2021]. URL: <https://vinylplus.eu>.
4. Тороян Р.А., Микитаев А.К., Беданокоев А.Ю. и др. Основные способы переработки и утилизации полимерных отходов в строительный материал // Пластические массы. 2008. № 1. С. 53–56.
5. Мазитова А.К., Аминова Г.К., Зарипов И.И., Вихарева И.Н. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Том 13, № 1. С. 32–38. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-13-1-32-38.
6. Мазитова А.К., Аминова Г.К., Буйлова Е.А., Зарипов И.И., Вихарева И.Н. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть III // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 2. С. 73–78. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-13-2-73-78.
7. Vkhareva I.N., Buylova E.A., Yarmuhametova G.U., Aminova G.K., Mazitova A.K. An overview of the main trends in the creation of biodegradable polymer materials. *Journal of chemistry*. 2021. Available from: <https://doi.org/10.1155/2021/5099705>.
8. Вагнер А. Отходы ПВХ: необходим рециклинг // Твердые бытовые отходы. 2015. №11. 11 с.
9. Vkhareva I.N., Aminova G.K., Mazitova A.K. Ecotoxicity of the adipate plasticizers: Influence of the structure of the alcohol substituent. *Molecules*. 2021; 26(16): 4833.
10. Данилов-Данильян В. Методика определения предотвращенного экологического ущерба // Государственный комитет по экологии: Москва, Россия. 1999. С. 41.
11. European Bioplastics [Internet]. 2021 [cited 01 Oct 2021]. Available from: <https://www.european-bioplastics.org/market/>.
12. European Bioplastics [Internet]. 2021 [cited 01 Oct 2021]. Available from: https://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/Report.
13. ADM Worldwide [Internet]. 2021 [cited 01 Oct 2021]. Available from: <https://www.adm.com>.
14. Легонькова О., Мелицкова Е., Пешехонова А. Будущее за биоразложением // Тара и упаковка. 2003. № 2. С.62–63.
15. Суворова А.И., Тюкова И.С. Биоразлагаемые системы: термодинамика, реологические свойства и биокоррозия // Высокомолекулярные соединения. 2008. Т.50, №7. С.1162–1171.
16. Штильман М.И. Биodeградация полимеров // Журнал сибирского федерального университета. Серия: биология. 2015. Т.8, №2. С. 113–130.
17. Mazitova A.K., Vkhareva I.N. Biodegradable plasticizing composition for plastics with a limited service life. In: The First Int. Conf. on «Green» Polymer Materials 2020. Sciforum, CGPM2020 (<https://cgpm2020.sciforum.net/>). Available from: <https://doi.org/10.3390/CGPM2020-07210>.
18. Смирнов В.Ф., Глаголева А.А., Мочалова А.Е., Смирнова Л.А., Смирнова О.Н., Аникина Н.А. Влияние факторов биологической и физической природы на биodeградацию и физико-химические свойства композиций на основе поливинилхлорида и природных полимеров // Пластические массы. 2017. № 7–8. С. 47–50.
19. Vkhareva I.N., Aminova G.K., Moguchev A.I., Mazitova A.K. The effect of a zinc-containing additive on the properties of PVC compounds. *Advances in Polymer Technology*. 2021; 2021. Article ID 5593184.
20. Aswin K.A., Karthick K., Arumugam K.P. Properties of Biodegradable Polymers and Degradation for Sustainable Development. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 2011; 2(3): 164–167.
21. Leja K., Lewandowicz G. Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers – a Review. *Polish J. of Environ. Stud.* 2010; 19(2): 255–266.
22. Premraj R., Mukesh D. Biodegradation of polymers. *Indian Journal of Biotechnology*. 2005; 4: 186–193.
23. Baltacıoğlu H., Balköse D. Effect of zinc stearate and/or epoxidized soybean oil on gelation and thermal stability of PVC-DOP plastigels. *J. Appl. Polym. Sci.* 1999; 74(10): 2488–2498.
24. Choi J.S., Park W.H. Effect of biodegradable plasticizers on thermal and mechanical properties of poly(3-hydroxybutyrate). *Polym. Test.* 2004; 23(4): 455–460.
25. Plakunov V.K., Gannesen A.V., Mart'yanov S.V., Zhurina M.V. Biocorrosion of Synthetic Plastics: Degradation Mechanisms and Methods of Protection. *Microbiology*. 2020; 89(6): 647–659.
26. Giacomucci L., Raddadi N., Soccio M., Lotti N., Fava F. Polyvinyl chloride biodegradation by *Pseudomonas citronellolis* and *Bacillus flexus*. *New Biotechnol.* 2019; (52): 35–41.
27. Gerasimenko A.A. *Protection against corrosion, aging and bio-damage of machinery, equipment and structures*. Moscow: Machine engineering; 1987.

28. Orekhov D.A., Vlasova G.M., Makarevich A.V., Pinchuk L.S. Biodegradable films based on thermoplastics. *Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2000; 44(6): 100–103.
29. Madigan J.M., Martinko J.M., Parker J. *Biology of microorganisms*. Simon and Viacom Company: New Jersey by Prentice Hall Inc. 1997. p. 586–588.
30. Brandl M., Gross R.A., Lenz R.W., Fuller G. Plastics from bacteria and for bacteria: Poly(b-Hydroxyalkanoates) as natural biocompatible, biodegradable polyesters. *Advances in Biochemical Engineering I Biotechnology*. 1990; (41): 78–93.
31. Lee B., Pometto A.L., Fratzke A., Bailey T.B. Biodegradation of degradable plastic polyethylene by *Phanerochaete* and *Streptomyces* species. *Appl. Environ. Microbiol.* 1991; 57(3): 678–685.
32. Seppala J., Linko Y.Y., Su T. Photo and biodegradation of high volume thermoplastics. *Acta Polytechnica Scandinavica, Chemical, Technology and Metallurgy Series*. 1991; (198): 33.
33. Albertsson A., Anderson S.O., Karlsson S. The mechanism of biodegradation of polyethylene. *Polym. Degr. Stab.* 1987; (18): 73–87.
34. Klemchuck P.P. Chemistry of plastics casts a negative vote. *Modem Plastics*. 1989; 66(8): 48–53.
35. Kirbaş Z., Keskin N., Güner A. Biodegradation of polyvinylchloride (PVC) by white rot fungi. *Bull Environ Contam Toxicol.* 1999; (63): 335–342.
36. Gu J.D., Ford T.E., Mitchel R. Microbial corrosion of metals. Review. In: *The Uhlig Corrosion Handbook*. New York: Wiley; 2000. p.915–927.
37. Gu J.D., Ford T.E., Mitton D.B., Mitchel R. Microbial degradation and deterioration of Polymeric materials. Review. In: *The Uhlig Corrosion Handbook*. New York: Wiley; 2000. p.439–460.
38. Gu J.D., Mitchel R. Biodeterioration. *The Prokaryotes: An Evolving Electronic Resource for the Microbiological community*. New York: Springer-Verlag; 2001.
39. Gu J.D. Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances. *Int. Biodegr. Biodeg.* 2003; (52): 69–91.
40. Glass J.E., Swift G. Agricultural and synthetic polymers, Biodegradation and Utilization. In: *ACS Symposium Series 433*. Washington DC: American chemical society; 1989. p. 9–64.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мазитова Алия Карамовна – доктор химических наук, профессор, заведующий каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины» Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия, elenaasf@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2304-1692>

Буллатасов Жан Фаритович – начальник отдела по оплате труда и социальной политике, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия, bul-zhan@yandex.ru

Сапожников Юрий Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, Научно-исследовательский технологический институт гербицидов и регуляторов роста растений с опытно-экспериментальным производством Академии наук Республики Башкортостан, Уфа, Россия, yuryis@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8947-7010>

Зарипов Ильнар Ильгизович – магистрант каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ilnar.zaripov1998@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2594-3753>

Вихарева Ирина Николаевна – ассистент каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, irina.vikhareva2009@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5681-2767>

ВКЛАД АВТОРОВ

Мазитова А. К. – научное руководство.

Буллатасов Ж.Ф. – участие в разработке учебных планов и их реализации.

Сапожников Ю.Е. – концепция исследования.

Зарипов И.И. – последующая доработка текста.

Вихарева И.Н. – разработка методологии; окончательные выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 22.10.2021; одобрена после рецензирования 15.11.2021; принята к публикации 19.11.2021.