

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 1 / 2024, Vol. 16, Iss. 1 <https://esj.today/issue-1-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/32NZVN124.pdf>

DOI: 10.15862/32NZVN124 (<https://doi.org/10.15862/32NZVN124>)

1.6.21. Геоэкология (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Сергеев, О. Е. Обзор стратегий производства биопластиков как наиболее экологически устойчивой альтернативы традиционным пластикам / О. Е. Сергеев, К. А. Вельможина, Н. А. Политаева // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 1. — URL: <https://esj.today/PDF/32NZVN124.pdf>
DOI: 10.15862/32NZVN124

For citation:

Sergeev O.E., Velmozhina K.A., Politaeva N.A. Review of bioplastic production strategies as the most environmentally sustainable alternative to traditional plastics. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024; 16(1): 32NZVN124. Available at: <https://esj.today/PDF/32NZVN124.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)
DOI: 10.15862/32NZVN124

УДК 691.175

Сергеев Олег Евгеньевич

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Аспирант
E-mail: ole13g@yandex.ru

Вельможина Ксения Алексеевна

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Инженер
E-mail: anizhomlev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9623-057X>

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/HNJ-5829-2023>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=58419740600>

Политаева Наталья Анатольевна

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Профессор

Доктор технических наук, профессор

E-mail: politaevana1971@gmail.com

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=439213

Обзор стратегий производства биопластиков как наиболее экологически устойчивой альтернативы традиционным пластикам

Аннотация. Данная научная статья представляет собой обзор современных стратегий производства биопластиков, рассматривая их как наиболее экологически устойчивую альтернативу традиционным пластикам. В статье проанализировано текущее состояние технического цикла использования пластиков и их воздействие на окружающую среду, а также оценены потенциальные воздействия на здоровье человека.

Основное внимание уделено исследованию биопластиков, выявляя их преимущества в сравнении с традиционными полимерами. Особое внимание уделяется биопластиковой пленке с добавлением хитозана, рассматриваемого как эффективный компонент для улучшения экологических и функциональных характеристик материала.

Авторы представляют обширный обзор мировой научной литературы и патентов, демонстрируя текущий уровень исследований в этой области. На основе анализа предложенных стратегий производства биопластиков с хитозаном делается вывод о перспективности данного направления в сфере создания экологически устойчивых материалов с учетом требований к сохранению природных ресурсов и снижению воздействия на окружающую среду.

В дополнение к анализу технического цикла использования пластиков и их воздействия на окружающую среду, в статье также рассмотрены современные методы и технологии производства биопластиков. Большое внимание уделено исследованию сырьевых материалов, необходимых для производства биопластиков, и их потенциала для уменьшения зависимости от нефтепродуктов.

Также в статье представлен обзор современных исследований, посвященных внедрению биопластиков с хитозаном в различные отрасли промышленности, такие как упаковочная промышленность, сельское хозяйство и медицинская индустрия. Проанализированы практические примеры использования таких материалов и их эффективность в сравнении с традиционными пластиками.

В заключение статьи делается акцент на необходимости дальнейших исследований в области разработки новых методов производства биопластиков с использованием хитозана и других биоразлагаемых компонентов. Обсуждаются потенциальные препятствия и вызовы, стоящие перед широким внедрением биопластиков в промышленность, и предлагаются возможные пути их преодоления с целью создания более устойчивой модели потребления и производства. Дальнейшие исследования в этой области могут способствовать разработке новых технологий производства биопластиков и их широкому внедрению в промышленность с целью уменьшения негативного воздействия на окружающую среду и создания более устойчивой модели потребления.

Ключевые слова: пластик; биопластик; хитозан; микроводоросли; биопластиковая пленка; устойчивое развитие; отходы; биоразложение

Введение

В современном мире проблема защиты окружающей среды от пластиковых отходов является одной из наиболее актуальных и острых. С каждым годом объемы производства и потребления пластиковых изделий растут. Это связано с такими привлекательными для производителей характеристиками пластмасс, как долговечность, низкая стоимость, устойчивость к атмосферным воздействиям, малый вес и прозрачность [1; 2]. Наращивание темпов производства пластмасс приводит к увеличению количества пластиковых отходов, загрязняющих окружающую среду. Экологические последствия накопления пластика в природе становятся все более заметными, угрожая биоразнообразию, здоровью человека [3; 4] и экосистемам. Большинство пластмасс не поддаются биологическому разложению, и их полное разложение может занять более столетия [5]. В период с 1950 по 2015 год примерно 80 % всех выброшенных пластмасс оказались на свалках или в естественной среде обитания [6]. В связи с этим, разработка эффективных методов управления и переработки пластиковых отходов является одним из важнейших направлений современной научной деятельности.

Целью данного исследования является анализ текущего состояния рынка пластиков, а также обзор современных решений в области производства биопластиков с целью выявления их потенциала как наиболее экологически устойчивой альтернативы традиционным пластикам.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Анализ компонентного состава твердых коммунальных отходов (ТКО).
2. Оценка мирового производства пластмасс.
3. Оценка мировых мощностей по производству биопластиков.
4. Обзор существующих технологий производства биопластиков.
5. Определение наиболее перспективного метода производства биопластиков.

Методы

В данной научной статье основным методом исследования был обзор мировой научной литературы и патентной базы по теме исследования. Данный методологический подход предоставляет возможность систематизировать и оценить доступные научные данные, включая теоретические основы, современные достижения и перспективы развития в рассматриваемой области. Обзор литературы и патентов служит ключевым этапом научного исследования, позволяя выявить существующие знания, пробелы в исследованиях и потенциальные направления для последующих исследований. Этот методологический подход обеспечивает фундаментальную базу знаний и формирует основу для проведения дальнейших этапов исследования, включая экспериментальные работы и разработку новых методик и подходов.

Твердые коммунальные отходы (ТКО) — это гетерогенные смеси, образующиеся в городском хозяйстве в результате деятельности человека и удаляемые или уничтожаемые как бесполезные или нежелательные [7]. Также в научной литературе можно найти множество других определений ТКО. В основном, авторы научной литературы определяют твердые коммунальные отходы как материалы, полученные из бытовых и коммерческих источников [8], или вещи, которые потеряли свою ценность для владельца [9].

Компонентный состав ТКО варьируется от страны к стране. На процентное соотношение морфологического состава ТКО влияют многие факторы, такие как сезонность, климатические условия местности, уровень жизни, уровень промышленных мощностей, предпочтения в еде и др. [10; 11]. Поэтому важно учитывать, что численное значение компонентного состава постоянно меняется.

Согласно форме федерального статистического наблюдения 2-ТП (отходы) «Сведения об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления», утвержденной приказом Росстата от 9 октября 2020 г. № 627 (далее по тексту — форма 2-ТП (отходы)), за 2021 год образовалось 96,3 млн. тонн отходов суммарно по Блоку 8 Федерального классификационного каталога отходов, утвержденного приказом Росприроднадзора от 22 мая 2017 г. № 242 (далее — ФККО) («Отходы строительства и ремонта»), из которых утилизировано для повторного применения (рециклинга) 17,6 млн тонн (18 %).¹ Таким образом, можно сделать вывод о том, что в России утилизируется менее 5 части образующихся отходов. Данный факт говорит о необходимости проведения дополнительных реформ в области утилизации и повторного использования различных видов отходов. Также важным инструментом в управлении потоками ТКО является проведение дополнительных исследований в этой области, что позволило бы сократить время и материальные ресурсы на поиск наилучшего метода утилизации и переработки ТКО.

¹ Паспорт отраслевой программы «Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов в промышленном производстве» (утв. Правительством РФ 17 ноября 2022 г. № 13493п-П11).

Проблема ТКО представляет собой серьезный вызов для современного общества. Это связано с деградацией земель, утратой биоразнообразия, загрязнением воздуха, санитарией и распространением инфекционных заболеваний во многих городах развивающихся стран [12].

Другим важным аспектом этой проблемы является постоянно увеличивающийся объем ТКО как в абсолютных, так и в относительных величинах. С ростом населения и увеличением уровня потребления происходит увеличение объема производимых отходов [13]. Десять лет назад насчитывалось 2,9 миллиарда городских жителей, которые ежедневно производили около 0,64 кг ТКО на человека (1,9 млн т/год). Согласно проведенному исследованию, на данный момент порядка 3 миллиардов жителей производят 1,2 кг ТКО на человека ежедневно. К 2025 году 43 миллиарда городских жителей будут производить примерно 1,42 кг твердого городского мусора на душу населения в день. Таким образом, можно установить, что согласно экспоненциальной зависимости к 2040 году будет образовываться порядка 20 млн т ТКО в год (рис. 1). Это создаст колоссальные проблемы с их утилизацией, приведет к заполнению свалок и непредсказуемым негативным последствиям для окружающей среды.

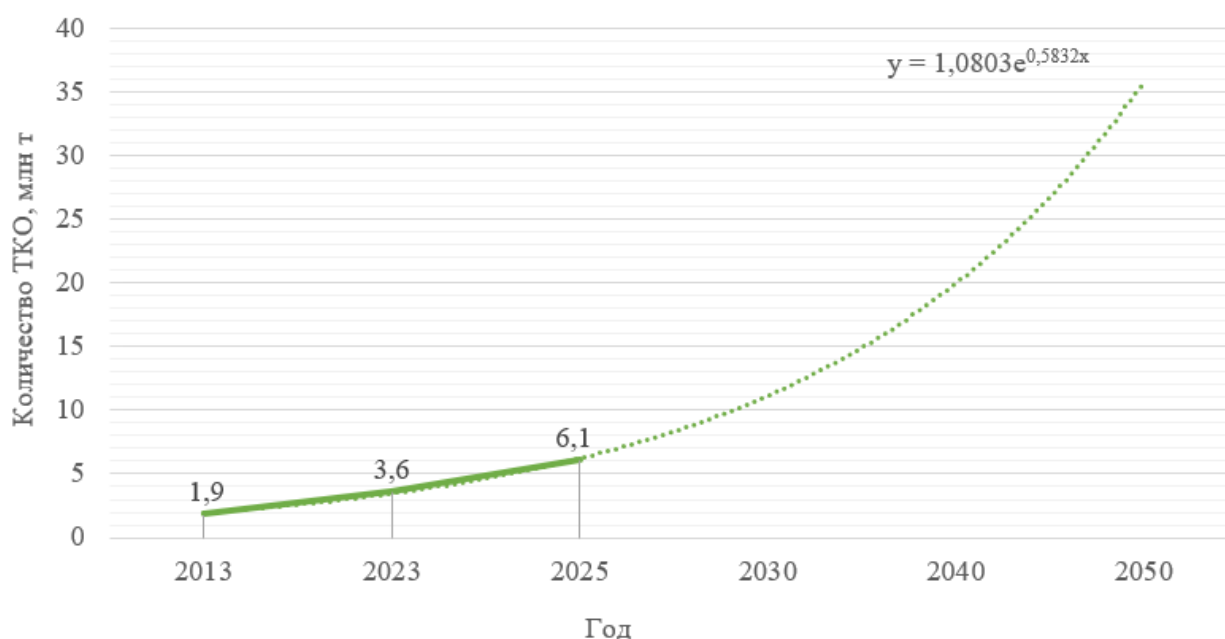


Рисунок 1. Общее количество образующегося ТКО, млн т/год (разработано авторами)

Согласно другому прогнозу, производство пластмасс достигнет 800 и 1 600 миллионов тонн к 2035 и 2050 годам соответственно [14].

Увеличение количества экологически опасных компонентов является важным аспектом проблемы ТКО. Среди ТКО можно найти опасные химические соединения, токсичные вещества и другие материалы, которые могут негативно влиять на окружающую среду и здоровье человека.

Другим важным аспектом является резкое усложнение состава ТКО. Современные отходы включают в себя различные материалы, такие как пластик, стекло, металл, органические отходы и т. д. Это усложняет процесс их переработки и утилизации, так как требуется отдельный сбор и обработка различных видов отходов.

Согласно авторам научных статей, производство отходов, к которым относятся пластик, металл и стекло, становится все более распространенным явлением в современной цивилизации, а также быстро становится незаменимым компонентом повседневной жизни [15]. Рост количества пластиковых отходов с их разнообразными формами и вариантами использования является всемирной катастрофой с самыми разнообразными негативными

последствиями [16; 17], причем ежегодный спрос на пластик удваивается с 2000 по 2021 год. Помимо того, что линейная пластиковая экономика, результатом которой является образование большого количества пластиковых отходов, наносит непоправимый вред различным экосистемам [18–20], она активно способствует изменению климата, а также наносит вред здоровью людей [21]. Ультрафиолетовое излучение, замерзание, ветер, воздействие волн и истирание — все это вызывает фрагментацию и разрушение более крупных пластиковых предметов, что приводит к попаданию вторичных микро- и нано-пластиков в окружающую среду [22–27].² Поскольку микро- и нано-пластики способны попадать в пищевую цепочку несколькими путями, а именно являться частью распада крупных пластиковых отходов в природной среде, проникая в мировой океан или грунтовые воды, а также проникать в продукты питания через упаковку пищевых продуктов и т. д. [28–32]³ (рис. 2), повышается риск для здоровья человека.

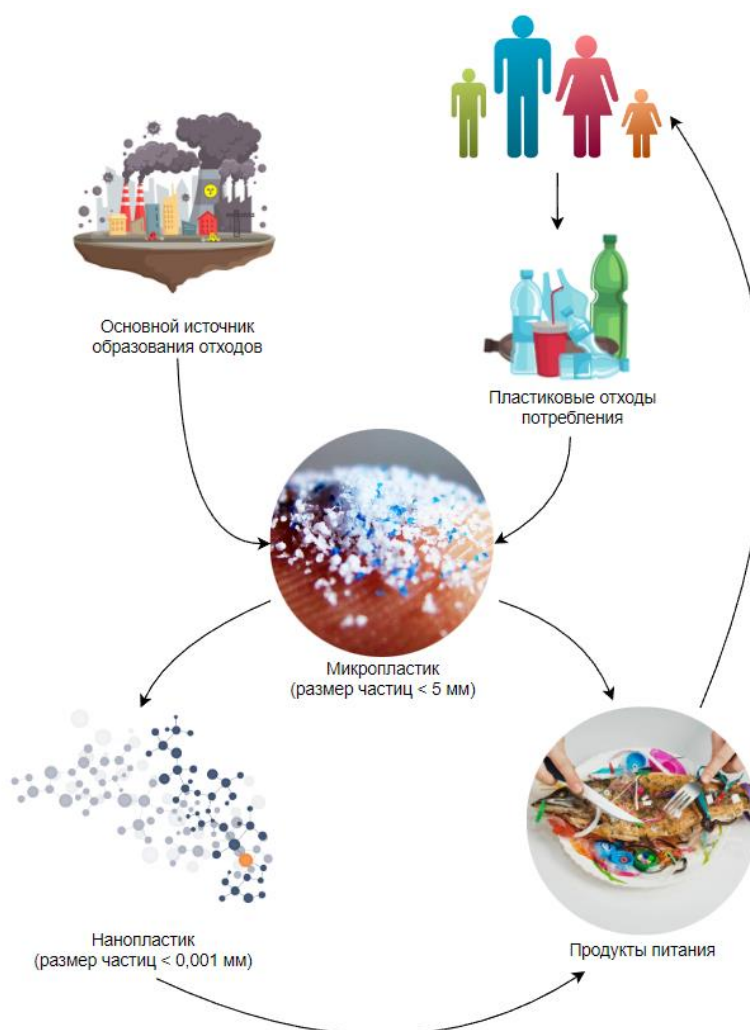


Рисунок 2. Процесс внедрения микро- и нанопластиков в организм человека (разработано авторами)

² Haag M. 64 pounds of trash killed a sperm whale in Spain, Scientists Say. New York: The New York Times; 2018.

³ BIS (Bureau of Indian Standards) (2000) Plain and Reinforced Concrete. BIS 456, New Delhi, India.

Papayianni I., Anastasiou E. and Papachristoforou M. (2010) High performance concrete for pavements with steel slag aggregate. Second international conference on sustainable construction materials and technologies, Italy. <http://www.claisse.info/proceedings.htm>.

При попадании микро- и нанопластиков в пищеварительную систему любого живого организма, токсичные вещества высвобождаются и наносят вред здоровью, также частицы наносят механические повреждения, потому что являются твердыми абразивными объектами [33]. Микро- и нанопластики могут вызывать различные биологические реакции, такие как генотоксичность, окислительный стресс, воспаление, некроз и апоптоз [34; 35].

Александр Паркс считается создателем пластмасс. В 1862 году он запатентовал новый материал под названием «паркезин» на основе природных полимеров.⁴ В XX веке ученые массово занимались разработкой и усовершенствованием этого материала. В настоящее время сырьем для пластмасс являются нефтепродукты [36]. Примерно 8 % добытой нефти приходится на производство пластмасс [37].

Мировое производство пластмасс увеличилось с 1,5 миллионов тонн в 1950 году до 367 миллионов тонн в 2020 году [38], при этом совокупный годовой темп роста составил 8,4 %.

Кроме того, выбросы углекислого газа в атмосферу при производстве пластика из нефти довольно велик. При производстве пластика выделяется примерно 6 кг CO₂ на каждый произведенный килограмм пластика. В 2019 году на долю пластмасс пришлось 1,8 млрд тонн выбросов парниковых газов, 90 % из которых были получены в результате их производства путем нефтехимической переработки.

Существует две основные категории пластмасс: на биологической основе (полученные из биогенного сырья) и на ископаемой основе (полученные из материалов на основе нефти) [39]. Биоразлагаемые пластики на биологической основе, идентичны своим аналогам на нефтяной основе несмотря на то, что производятся из биогенных ресурсов [40].

В целом, эти аспекты проблемы ТКО требуют разработки эффективных стратегий управления отходами, включая развитие новых технологий переработки и утилизации отходов. В данном контексте замена пластика на основе ископаемого топлива биопластиком является идеальным способом избежать экологических, медицинских и экономических проблем, связанных с накоплением пластиковых отходов.

Биопластики — это сложные химические соединения, которые могут разлагаться за короткое время с образованием веществ, безопасных для окружающей среды, таких как вода, биомасса, углекислый газ или метан [41]. Международный союз теоретической и прикладной химии определяет биоразлагаемые полимеры как материалы, которые подвержены разложению в результате биологической активности, причем разложение сопровождается уменьшением их молярной массы [42].

Преимущества создания биопластика включают в себя:

1. Экологический аспект — улучшение экологической упаковки пищевых продуктов.
2. Технический аспект — физические характеристики биопластичных материалов не уступают их аналогам на нефтяной основе.
3. Экономический аспект — массовое производство биопластиков может снизить затраты на их создание.

Тем не менее, создание биополимеров — процесс, требующий дополнительного изучения. Основной проблемой при производстве биоразлагаемого пластика в промышленных масштабах является его высокая стоимость по сравнению с синтетическими аналогами.

⁴ <https://www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories/chemistry/age-plastic-parkesine-pollution>.

Общий объем производства биопластиков в 2021 году составил приблизительно 2,36 млн тонн, из них примерно 1,55 млн тонн разлагаемых материалов и 0,86 млн тонн неразлагаемых материалов. Объем мирового производства биоразлагаемых пластмасс в настоящее время составляет всего 4 миллиона тонн [43]. Ожидается, что мировые мощности по производству биопластиков увеличатся до 7,5 млн тонн к 2026 году.⁵ Этот рост может быть обусловлен расширением областей применения биопластиков в связи с тенденцией замены пластмасс на основе ископаемых видов топлива более экологичными альтернативами. Кроме того, это также может быть связано с возрастающим осознанием необходимости перехода к экономике замкнутого цикла на экологическом, экономическом и социальном уровнях [44–46].

Наиболее распространенные типы биоразлагаемых пластиков на биологической основе, такие как полимолочная кислота, полигидроксиалканоаты и термопластичный крахмал, составляли примерно 40 % рынка биопластиков в 2020 году [47]. В таблице 1 показаны три основные категории биопластиков, на которые можно условно разделить биопластик.

Таблица 1

Разновидности биопластиков

Название	Свойства	Преимущества	Недостатки	Примеры
Компостируемые (на биологической основе, биоразлагаемые)	Производится из материалов растительного происхождения (крахмал, целлюлоза, лигнин). Со временем при определенных условиях разлагается на природные элементы: биомассу, воду, углекислый газ, метан. Можно компостировать.	По истечении срока годности они могут быть переработаны для производства компоста или биогаза. Способствуют достижению целей экономики замкнутого цикла.	Для выращивания сырья требуются сельскохозяйственные угодья и ресурсы. Разложение возможно только при определенных условиях. Необходимо собирать отдельно от других видов пластика.	PLA, PHA, PHB, Bio-PBS(A), крахмальные смеси
Биоразлагаемые и окисляемые пластмассы на основе нефтепродуктов	Производятся из ископаемого топлива, подвержены ускоренному разложению в окружающей среде из-за своей химической формулы. Разлагаемые кислородом пластмассы не поддаются формальному биологическому разложению. Ускоренное разложение достигается за счет специальных добавок, ускоряющих процесс разложения.	—	Необходимо собирать отдельно от других видов пластика. Нельзя перерабатывать в аналогичные изделия. В некоторых случаях короткий срок службы может отрицательно сказаться на использовании изделий. Пластик распадается на микропластик, загрязняя окружающую среду.	PBAT, PBS(A), PCL, PVA
Не поддающиеся биологическому разложению пластмассы на растительной основе (масло + растительная основа или только на растительной основе)	Имеют структуру обычных пластмасс. Могут быть изготовлены как из растительного сырья, так и из нефтепродуктов.	Чаще всего встречается в России, на долю которой приходится до 57 % европейского рынка биополимеров. Долго сохраняют свои свойства в окружающей среде.	Не существует доступной технологии для производства 100 % биопластиков.	Bio-PET, bio-PE, bio-PP

Разработано авторами

⁵ E. Bioplastics Bioplastics market development update 2021 (2021) https://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/Report_Bioplastics_Market_Data_2021_short_version.pdf.

Результаты

В ходе анализа основных методов утилизации пластиковых бытовых отходов можно сказать, что каждый из методов не является полностью совершенным. Экономическая эффективность и применимость являются основными недостатками, ограничивающими производительность различных биопластиков. Чтобы снизить затраты на производство биопластиков ученые начали использовать более дешевое и распространенное сырье, такое как лигноцеллюлозные отходы, микроводоросли [48; 49] и пищевые отходы [50; 51]. Однако, биопластики на основе такого сырья обладают низкими механическими свойствами (высокая хрупкость), что затрудняет их использование [52].

Многие исследователи сходятся во мнении, что одним из способов улучшения качества производимых биопластиков является добавление хитозана и крахмала в состав сырья [52]. Биопластики на основе полисахаридов (крахмал, целлюлоза, лигнин, хитин, лигноцеллюлоза) имеют высокий предел прочности при растяжении (до 128 МПа), повышенную влагостойкость и термостойкость [53–55]. Предел прочности при растяжении — важное механическое свойство биопластиков, которое относится к максимальному напряжению, которое способен выдержать материал перед разрушением или деформацией при растяжении [56].

Наибольший интерес с точки зрения экологически устойчивой альтернативы пластикам на основе ископаемого топлива представляют катионные полисахариды (целлюлоза, хитозан), которые содержат аминогруппы, благодаря их превосходной биосовместимости, полной биоразлагаемости, растворимости в кислом водном растворе [57]. Использование хитозана в производстве биопластиков также выступает в качестве альтернативы решению проблем, вызванных утилизацией отходов переработки креветок (хитозан, белок, карбонат кальция) [52; 58]. Хитозан — это полимер, полученный из хитина с молекулярной массой от 100 до 1 000 кг/моль, который может быть получен из панцирей креветок, крабов и цветочных крабов [59].

Экспериментально установлено, что смеси биопластика с добавлением хитозана пропорционально уменьшают жесткость и толщину, вызывая их биологическое разложение непосредственно на земле. Чем выше количество хитозана, тем быстрее происходит разложение в почве. Исследование, проведенное Мухаммад и др. показало, что при добавлении 2,5 граммов хитозана в тестируемый образец значение прочности при растяжении составляет 4 Мпа [60]. Другие исследователи в ходе своих экспериментов также заявляют о высоком пределе прочности при растяжении для образцов биопластика на основе хитозана [61]. Это показывает, что увеличение количества хитозана в составе увеличивает количество водородных связей в биопластике, что положительно сказывается на его прочности.

Согласно Бонилле [62], пленки хитозана обладают антимикробной активностью в отношении мезофильных аэробных бактерий и колиформ. Для повышения его антимикробной активности в биопластик можно добавлять диоксид титана (TiO_2) или оксид цинка (ZnO). TiO_2 и ZnO , неорганические материалы, использовались для производства энергии, лекарств, консервантов для упаковки и противомикробных средств [63; 64].

Было доказано, что биопластик с добавлением хитозан и ZnO проявляет антимикробную активность в отношении грамотрицательных микроорганизмов (*Escherichia coli* и *Salmonella typhi*), грамположительные бактерии (золотистый стафилококк и *Bacillus subtilis*), *Candida albicans* (дрожжи), *Aspergillus niger* (грибы). Добавление хитозана и ZnO в биопластик на основе обладает лучшей антимикробной активностью, чем TiO_2 [65].

Однако хитозан нерастворим в воде, плотный, слегка хрупкий, обладает слабой механической прочностью, следовательно, легко повреждается [66].

Для снижения этих свойств требуется использование комбинированного сырья для производства биопластиков. Добавление к хитозану биомассы микроводорослей *Chlorella*, например, увеличило прочность на разрыв на 235 %, увеличило скорость разложения на 50 % и уменьшило проницаемость более 60 % [67]. Для повышения эластичности биопластика предлагается использование желатина в сочетании с хитозаном [68; 69].

Предлагается также производство биопластиков, армированных лигноцеллюлозой и хитозаном, из различных растительных источников [70]. Авторами работы было установлено, что такой биопластик обладает гидрофобной природой, высокой механической прочностью (благодаря содержанию 52–59 % целлюлозы), а также высоким потенциалом водопоглощения.

Однако, некоторые исследователи указывают на неоднородность получаемого из хитозана и глицерина биопластика [51].

Помимо этого, лигнин и гемицеллюлоза, которые обычно составляют поверхность целлюлозных биопластиков, вызывают плохую адгезию волокна к матрице [70]. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что биопластик из хитозана обладает большим потенциалом и дополнительной материальной и экологической привлекательностью благодаря использованию остаточного сырья.

Помимо большого числа научных исследований по данной теме, существует множество запатентованных технологий производства биопластиковых пленок. Количество патентов в области получения биопластиков не ограничивается описанными выше.

По запросу «биоразлагаемая пленка» можно обнаружить 1 616 патентов, а также более 100 000 результатов по запросу «biodegradable film» в GooglePatents. Это говорит о высокой заинтересованности исследователей в области изучения биоразлагаемых материалов, а также в поиске способов улучшения качества биопластиков или скорости их разложения.

Патент РФ № 2564824 «Биоразлагаемая пленка». В данной разработке повышение предела прочности на растяжение, а также увеличение скорости биоразложения за счет того, что в состав биоразлагаемой пленки были добавлены глицерин, 10%-ный водный раствор желатина, а также фермент трансглутаминазы, смешанный с молочной сывороткой в соотношении 1:4.⁶

Недостатком данного способа является трудоемкость изготовления пленки, а также относительно высокая стоимость трансглутаминазы. Помимо этого, при разработке пленки необходим строгий контроль над температурой смеси, так как действие трансглутаминазы достигает своего максимума только в диапазоне температур от 45°C до 55°C.

Патент РФ № 2458077 «Биоразлагаемая пленка на основе пектина и хитозана». Смесь для создания биоразлагаемой пленки состоит из пектина, хитозана, воды, соляной кислоты, глицерина и 3%-ного раствора метилцеллюлозы в определенных соотношениях.

Техническим результатом является получение однородной биоразлагаемой пленки, которая по однородности, показателям пластичности и прочности близка к полиэтиленовым упаковочным пленкам.⁷

⁶ Пат. 2564824 Российская Федерация, МПК C08J 5/18, C08L 101/16, C08L 89/00. Биоразлагаемая пленка / Кадималиев Д.А., Парчайкина О.В., Замылина Л.Н., Кезина Е.В., Мамин Б.Ф., Мишкин В.П., Марисова Я.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Респ. Мордовия — № 2014128743/05; заявл. 11.07.2014; опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28 — 6 с.

⁷ Пат. 2458077 Российская Федерация, МПК C08J 5/18, C08L 5/06, C08L 5/08, C08L 101/16. Биоразлагаемая пленка на основе пектина и хитозана / Перфильева О.О.; заявитель и патентообладатель Перфильева О.О. — № 2010151358/05; заявл. 14.12.2010; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 22. — 7 с.

Как и в других патентах, авторы которых использовали хитозан в качестве добавки к смеси для получения биопластиков⁸ (всего по запросу «Биоразлагаемая пленка хитозан» можно обнаружить 372 патента в поисковой системе Яндекс.Патенты), в данной работе доказана экономическая и экологическая эффективность использования хитозана. Экономическая эффективность обусловлена доступностью и относительно низкой стоимостью исходного сырья, такого как морские раковины. Экологическая эффективность проявляется в возможности производства биоразлагаемых материалов, которые разлагаются в окружающей среде, уменьшая негативное воздействие на экосистемы и занимая меньше пространства на свалках по сравнению с традиционными пластиками. Такие исследования и патенты способствуют переходу к более устойчивым методам производства и потребления материалов, что в свою очередь способствует сохранению окружающей среды и обеспечению устойчивого развития общества.

Обсуждение

В результате проведенного исследования были получены следующие выводы:

1. При изучении компонентного состава ТКО было обнаружено, что в последнее время наблюдается тенденция усложнения состава отходов. Процентное содержание пластика в составе ТКО с каждым годом становится все выше.

2. Совокупный годовой темп роста производства пластмасс на данный момент составляет 8,4 %.

3. Производство биопластиков также увеличивается с каждым годом. На данный момент есть данные о том, что мировые мощности по производству биопластиков увеличатся до 7,5 млн тонн к 2026 году. Этот рост может быть обусловлен расширением областей применения биопластиков в связи с тенденцией замены пластмасс на основе ископаемых видов топлива более экологичными альтернативами. Кроме того, это также может быть связано с возрастающим осознанием необходимости перехода к экономике замкнутого цикла на экологическом, экономическом и социальном уровнях.

4. Обзор стратегий производства биопластиков показал, что эти материалы представляют собой многообещающую альтернативу традиционным пластикам. Биопластики обладают потенциалом снижения негативного воздействия на окружающую среду и уменьшения зависимости от нефтепродуктов.

5. На данный момент использование хитозана в качестве компонента для производства биопластиков не только способно улучшить качество получаемых биопластиковых пленок, но и позволяет решить проблему утилизации отходов переработки креветок. Помимо этого, использование хитозана обладает следующими преимуществами:

⁸ Патент № 2458077 С1 Российская Федерация, МПК С08J 5/18, С08L 5/06, С08L 5/08. Биоразлагаемая пленка на основе пектина и хитозана: № 2010151358/05: заявл. 14.12.2010: опубл. 10.08.2012 / О.О. Перфильева. — EDN TBGMIW.

Патент № 2769243 С1 Российская Федерация, МПК А61К 38/48, А61К 31/722, А61К 38/46. Способ получения гетерогенного ферментного препарата на основе фицина и низкомолекулярного хитозана: № 2021115149: заявл. 26.05.2021: опубл. 29.03.2022 / М.Г. Холявка, В.Г. Артюхов, С.М. Панкова; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный университет". — EDN DVDYRQ.

Патент № 2770588 С1 Российская Федерация, МПК С08J 5/18, С08L 5/08. Пищевая плёнка на основе хитозана, способ её получения и применения: № 2020138841: заявл. 26.11.2020: опубл. 18.04.2022 / Д.И. Чувелев. — EDN PRDBXP.

- Биоразлагаемость: Хитозан является биоразлагаемым материалом, что означает, что он может разлагаться естественным образом под воздействием микроорганизмов в окружающей среде. Это способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду.
- Источник: Хитозан производится из природных источников, таких как морские раковины. Это делает его относительно доступным и экологически устойчивым, поскольку он может быть получен из отходов производства пищевой промышленности.
- Биocomпaтибельность: Хитозан обладает биocomпaтибельными свойствами, что означает, что он безопасен для использования в контакте с живыми организмами. Это делает его подходящим для производства упаковки для продуктов питания и медицинских изделий.
- Антимикробные свойства: Хитозан обладает антимикробными свойствами, что может быть полезно при производстве упаковочных материалов для продуктов, требующих дополнительной защиты от микроорганизмов.
- Улучшение механических свойств: в некоторых случаях добавление хитозана в биопластик может улучшить механические свойства материала, такие как прочность и упругость.
- Использование хитозана в биопластиках отражает стремление к разработке экологически устойчивых и биоразлагаемых материалов, способствуя снижению использования традиционных пластиков и их негативного воздействия на окружающую среду.

Заключение

Таким образом, получение биопластиков из хитозана является одним из перспективных методов создания экологически устойчивых материалов, способствующих уменьшению загрязнения окружающей среды и поддержанию устойчивого развития.

Обзор стратегий производства биопластиков показал, что эти материалы представляют собой многообещающую альтернативу традиционным пластикам. Биопластики обладают потенциалом снижения негативного воздействия на окружающую среду и уменьшения зависимости от нефтепродуктов.

Однако, несмотря на свои преимущества, биопластики также имеют свои ограничения и вызовы. Например, некоторые виды биопластиков могут быть менее прочными или иметь более ограниченные характеристики по сравнению с традиционными пластиками. Кроме того, процессы производства биопластиков могут быть менее эффективными или требовать больше энергии, чем производство традиционных пластиков.

Для того чтобы максимально использовать потенциал биопластиков, необходимо продолжать исследования в области улучшения производственных технологий, повышения их биоразлагаемости и устойчивости к разрушению в окружающей среде. Также важно развивать инфраструктуру для переработки биопластиков и создавать стимулы для использования этих материалов в различных отраслях промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ali, S.S., Elsamahy, T., Al-Tohamy, R., Zhu, D., Mahmoud, Y.A., Koutra, E., Metwally, M.A., Kornaros, M., Sun, J. Plastic wastes biodegradation: mechanisms, challenges and future prospects // *Sci. Total Environ.* — 2021. — Т. 780.
2. Mastropetros, S.G., Pispas, K., Zagklis, D., Ali, S.S., Kornaros, M. Biopolymers production from microalgae and cyanobacteria cultivated in wastewater: recent advances // *Biotechnol. Adv.* — 2022. — Т. 60.
3. Al-Tohamy, R., Ali, S.S., Zhang, M., Elsamahy, T., Abdelkarim, E.A., Jiao, H., Sun, S., Sun, J. Environmental and human health impact of disposable face masks during the COVID-19 pandemic: wood-feeding termites as a model for plastic biodegradation // *Appl. Biochem. Biotechnol.* — 2022. — Т. 194.
4. Al-Tohamy, R., Ali, S.S., Li, F., Okasha, K.M., Mahmoud, Y.A.G., Elsamahy, T., Jiao, H., Fu, Y., Sun, J. A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* — 2022. — Т. 231.
5. Ali, S.S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E.A., Zhu, D., Sun, J. Degradation of conventional plastic wastes in the environment: a review on current status of knowledge and future perspectives of disposal // *Sci. Total Environ.* — 2021. — Т. 771.
6. Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made // *Sci. Adv.* — 2017. — Т. 3.
7. Кофман, Д.И., Востриков, М.М. Термическое уничтожение и обезвреживание отходов. // НПО «Профессионал». — 2013. — С. 340.
8. Bo-han, L., Hong-yu, L., Qing-ru, Z., Ping-zhong Y., Probst, A., Probst, J.L. Complex toxic effects of Cd^{2+} , Zn^{2+} , and acid rain on growth of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L) // *Environment International.* — 2005. — Т. 31. — С. 891–895.
9. Awasthi, P., Chataut, G., Khatri, R. Solid waste composition and its management: A case study of Kirtipur Municipality-10 // *Heliyon.* — 2023. — Т. 9.
10. Sharholy, M., Ahmad, K., Mahmood, G., Trivedi, R.C. Municipal solid waste management in Indian cities — a review // *Waste Manag.* — 2008. — Т. 28, № 2. — С. 459–467.
11. Ogwueleka, T.C. Municipal Solid Waste Characteristics and Management in Nigeria // *Journal of Solid Waste Technology and Management.* — 2009. — Т. 6, № 3. — С. 173–180.
12. Guerrero, L.A., Maas, G., Hogland, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries // *Waste Manag.* — 2013. — Т. 33, № 1. — С. 220–232.
13. Abur, B.T., Oguche, E.E., Duvuna, G.A. Characterization of municipal solid waste in the federal Capital Abuja, Nigeria // *Global Journal of Science Frontier Research: Environment & Earth Science.* — 2014. — Т. 14, № 2. — С. 1–6.
14. Ali, S.S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E.A., Zhu, D., Sun, J. Degradation of conventional plastic wastes in the environment: a review on current status of knowledge and future perspectives of disposal // *Sci. Total Environ.* — 2021. — Т. 771.

15. Deus, R.M., Mele, F.D., Bezerra, B.S., Battistelle, R.A.G. A municipal solid waste indicator for environmental impact: Assessment and identification of best management practices // *Journal of Cleaner Production*. — 2020. — Т. 242.
16. Andeobu, L., Wibowo, S., Grandhi, S. Artificial intelligence applications for sustainable solid waste management practices in Australia: A systematic review // *Science of the Total Environment*. — 2022. — Т. 834.
17. Huang, Q., Chen, G., Wang, Y., Chen, S., Xu, L., Wang, R. Modelling the global impact of China's ban on plastic waste imports // *Resources, Conservation and Recycling*. — 2020. — Т. 154.
18. Welden, N.A. The environmental impacts of plastic pollution. In *Plastic Waste and Recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions* // Elsevier Inc. — 2020.
19. Brindha, R., Kandeegan, R., Swarna Kamal, K., Manojkumar, K., Nithya, V., Saminathan, K. *Andrographis paniculata* absorbed ZnO nanofibers as a potential antimicrobial agent for biomedical applications // *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. — 2021. — Т. 12, № 4.
20. Ramasubramanian, B., Sundarrajan, S., Rao, R.P., Reddy, M.V., Chellappan, V., Ramakrishna, S. Novel low-carbon energy solutions for powering emerging wearables, smart textiles, and medical devices // *Energy and Environmental Science*. — 2022. — Т. 15, № 12. — С. 4928–4981.
21. Barra, R., Leonard, S.A., Whaley, C., Bierbaum, R. *Plastics and the circular economy* // Scientific and Technical Advisory Panel to the Global Environment Facility. — 2018.
22. Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., et al. A first overview of textile fibers, including Microplastics, in indoor and outdoor environments // *Environ Pollut*. — 2016. — Т. 221. — С. 453–458.
23. Besseling, E., Foekema, E., Van Franeker, J.A., Leopold, M.F., Kuhn, S., Bravo Rebolledo, E.L., et al. Microplastic in a macro filter feeder: humpback whale *Megaptera novaeangliae* // *Mar Pollut Bull*. — 2015. — Т. 95, № 1. — С. 248–252.
24. Contam. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood // *EFSA J*. — 2016. — Т. 14, № 6.
25. Da Costa, J.P. *Micro and nanoplastics in the environment: research and policymaking* // Elsevier, Amsterdam. — 2018. — Т. 1. — С. 12–16.
26. Gigault, J., Halle, A., Baudrimont, M., Pascal, P.Y., Gaudre, F., Phi, T.L., El Hadri, H., Grassl, B., Reynaud, S. Current opinion: What is a nanoplastic? // *Environ Pollut*. — 2018. — Т. 235. — С. 1030–1034.
27. Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, M., Han, G.M., Jung, S.W., Shim, W.J. Combined effects of UV exposure duration and mechanical abrasion on microplastic fragmentation by polymer type // *Environ Sci Technol*. — 2017. — Т. 51. — С. 4368–4376.
28. Pinto, V.N. E-waste Hazard: the impending challenge // *Indian J Occupat Environ Med*. — 2008. — Т. 12, № 2. — С. 65–70.
29. Senthil Kumar, K., Baskar, K. Recycling of E-plastic waste as a construction material in developing countries // *Journal of Material Cycles and Waste Management*. — 2014. — Т. 17, № 4. — С. 718–724.

30. Santhanam, N., Ramesh, B., Khim Pohsnem, F. Concrete blend with E-waste plastic for sustainable future // *Materials Today: Proceedings*. — 2019. — Т. 22, № 3. — С. 959–965.
31. Bw, J.O., Park, S.K., Kim, C.H. Mechanical properties of polyester polymer concrete using recycled polyethylene terephthalate // *ACI Structural Journal*. — 2006. — Т. 103, № 2. — С. 219–225.
32. Turaga, R.M.R., Bhaskar, K., Sinha, S., Hinchliffe, D., Hemkhaus, M., Arora, R., Chatterjee, S., Khetriwal, D.S., Radulovic, V., Singhal, P., Sharma, H. E-Waste management in India: issues and strategies // *Journal of Decision Makers*. — 2019. — Т. 44, № 3. — С. 127–162.
33. Полугодина, И., Политаева, Н. Анализ влияния микропластика на организм человека // *Мониторинг и экспертиза в системе безопасности*. — 2023. — С. 32–37.
34. Ali, S.S., Elsamahy, T., Zhu, D., Sun, J. Biodegradability of polyethylene by efficient bacteria from the guts of plastic-eating waxworms and investigation of its degradation mechanism // *J. Hazard Mater.* — 2023. — Т. 443.
35. Abdelfattah, A., Dar, M.A., Ramadan, H., El-Aswar, E.I., Eltawab, R., Abdelkarim, E., Elsamahy, T., Kornaros, M., Ali, S.S., Cheng, L. Exploring the potential of algae in the mitigation of plastic pollution in aquatic environments // *Handbook of Research on Algae as a Sustainable Solution for Food, Energy, and the Environment*. — 2022. — С. 501–523.
36. Sidek, I.S., Draman, S.F.S., Abdullah, S.R.S., Anuar, N. Current development on bioplastics and its future prospects: an introductory review // *INWASCON Technology Magazine*. — 2019. — Т. 1. — С. 3–8.
37. Gowtham, R., Kumar, K. Suresh, A., Mohankumar, A. Revolutionizing Plastic Waste Management: Fuel Production from Discarded Plastics // *Irish Interdisciplinary Journal of Science & Research*. — 2023. — Т. 7. — С. 69–80.
38. Gustiawati, B., Herdiansyah, H., Frimawaty, E. A Review of the Implementation of Sustainable Plastic Waste Management // *International Journal of Science and Society*. — 2023. — Т. 5. — С. 690–705.
39. Ali, S., Adel, E., Elsamahy, T., Altohamy, R., Li, F., Kornaros, M., Zuorro, A., Zhu, D., & Sun, J. Bioplastic production in terms of life cycle assessment: A state-of-the-art review // *Environmental Science and Ecotechnology*. — 2023. — Т. 15.
40. Ali, S.S., Elsamahy, T., Abdelkarim, E.A., Al-Tohamy, R., Kornaros, M., Ruiz, H.A., Zhao, T., Li, F., Sun, J. Biowastes for biodegradable bioplastics production and end-of-life scenarios in circular bioeconomy and biorefinery concept // *Bioresour. Technol.* — 2022. — Т. 363.
41. Zaikov, Ed. Degradation and Stabilization of Polymers (Theory and Practice) // *Sci. Publ. Inc.* — 1995. — С. 375.
42. Haider, T. P., Völker, C., Kramm, J., Landfester, K., & Wurm, F. R. Plastics of the future? The impact of biodegradable polymers on the environment and on society // *Angewandte Chemie International Edition*. — 2019. — Т. 58, № 1. — С. 50–62.

43. Вознесенский С.С., Сергеев А.А., Мироненко А.Ю., Братская С.Ю., Колчинский В.А. Влияние относительной влажности среды на оптические и волноводные характеристики тонких хитозановых пленок // Письма в Журнал Технической Физики. — 2012. — Т. 38, № 5. — С. 56–62.
44. Singha, S., Mahmutovic, M., Zamalloa, C., Stragier, L., Verstraete, W., Svagan, A.J., Das, O., Hedenqvist, M.S. Novel bioplastic from single cell protein as a potential packaging material // ACS Sustain. ACS Sustainable Chem. Eng. — 2021. — Т. 9. — С. 6337–6346.
45. Mastropetros, S.G., Pispas, K., Zagklis, D., Elsamahy, T., Ali, S., Sun, J., Kornaros, M. Polyhydroxyalkanoates (PHAs) production from microalgae cultivated in wastewater // Handbook of Research on Algae as a Sustainable Solution for Food, Energy, and the Environment, IGI Global. — 2022. — С. 585–609.
46. Leong, Y.K., Show, P.L., Ooi, C.W., Ling, T.C., Lan, J.C.W. Current trends in polyhydroxyalkanoates (PHAs) biosynthesis: insights from the recombinant *Escherichia coli* // J. Biotechnol. — 2014. — Т. 180. — С. 52–65.
47. Sidek, I.S., Draman, S.F.S., Abdullah, S.R.S., Anuar, N. Current development on bioplastics and its future prospects: an introductory review // INWASCON Technol. Mag. — 2019. — Т. 1. — С. 3–8.
48. Wurzburg, O.B. Cross-linking starches. In: Wurzburg, O.B. Modified Starches: Properties and Uses // Boca Raton: CRC Press — 1986. — С. 41–53.
49. Li, H., Gao, X., Wang, Y., Zhang, X., Tong, Z. Comparison of chitosan/starch composite film properties before and after crosslinking // International Journal of Biological Macromolecules. — 2013. — Т. 52. — С. 275–279.
50. Jogi, K., Bhat, R. Valorization of food processing wastes and by-products for bioplastic production // Sustainable Chemistry and Pharmacy. — 2020. — Т. 18.
51. Ratnawati, R., Widyastuti, S., Utomo, Y., Evawati, D. Addition of Anadara Granosa Shell Chitosan in Production Bioplastics // Journal of Natural Resources and Environmental Management. — 2023. — Т. 13. — С. 175–185.
52. Cacique, P., Rios, M., Barbosa, Iu., Wentz, A. Bioplastics production from starch and chitosan blends // Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia. — 2017. — Т. 9. — С. 46.
53. Nandakumar, A., Chuah, J.-A., Sudesh, K. Bioplastics: A boon or bane? // Renew. Sustain. Energy Rev. — 2021. — Т. 147.
54. Xia, Q., et al. A strong, biodegradable and recyclable lignocellulosic bioplastic // Nat. Sustain. — 2021. — Т. 4, № 7. — С. 627–635.
55. Chandra, D., Kumar, A., Mahapatra, C. Fabricating Chitosan Reinforced Biodegradable Bioplastics from Plant Extract with Nature Inspired Topology // Waste and Biomass Valorization. — 2023. — С. 1–14.
56. Zhang, H., Su, Z., Wang, X. Starch-based rehealable and degradable bioplastic enabled by dynamic imine chemistry // ACS Sustain. Chem. Eng. — 2022. — Т. 10, № 26. С. 8650–8657.
57. Blilid, S., et al. Phosphorylated micro- and nanocellulose-filled chitosan nanocomposites as fully sustainable, biologically active bioplastics // ACS Sustain. Chem. Eng. — 2020. — Т. 8, № 50. — С. 18354–18365.

58. Andrade, S.M.B. de, Ladchumananandasivam, R., Rocha, B.G. da, Belermino, D.D., & Galvão, A.O. Preparação e caracterização de membranas de quitosana de camarões (*Litopenaeus vannamei*) e caranguejos (*Ucides cordatus*) // *Revista BioFar*. — 2012. — T. 7, № 2. — С. 102–111.
59. Jufri, M., Lusiana, R., Prasetya, N. Effects of Additional Polyvinyl Alcohol (PVA) on the Physicochemical Properties of Chitosan-Glutaraldehyde-Gelatine Bioplastic // *Journal Kimia Sains dan Aplikasi*. — 2022. — T. 25. — С. 130–136.
60. Muhammad, R.R. Synthesis Of Bioplastic From Avovo Seed Starter With Chitosan Filling Ingredients // *Jurnal Teknologi Kimia*. — 2020. — T. 9, № 2. — С. 1–11.
61. Bhardwaj, S., Bhardwaj, N.K., Negi, Y.S. Effect of degree of deacetylation of chitosan on its performance as surface application chemical for paper-based packaging // *Cellulose*. — 2020. — T. 27, № 9. — С. 5337–5352.
62. Bonilla, J., Fortunati, E., Vargas, M., Chiralt, A., Kenny, J.M. Effects of chitosan on the physicochemical and antimicrobial properties of PLA films // *J Food Eng*. — 2013. — T. 119, № 2. — С. 236–43.
63. Lee, S.Y., Park, S.J. TiO₂ photocatalyst for water treatment applications // *J Ind Eng Chem*. — 2013. — T. 19.
64. Siddiqi, K.S, Rahman, A., Tajuddin, Husen A. Properties of zinc oxide nanoparticles and their activity against microbes // *Nanoscale Res Lett*. — 2018. — T. 13. — С. 141.
65. Suryanegara, L., Fatriasari, W., Zulfiana, D., Anita, S., Masruchin, N., Gutari, S., Kemala, T. Novel antimicrobial bioplastic based on PLA-chitosan by addition of TiO₂ and ZnO // *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. — 2021. — T. 19.
66. Retno, A.L., Wahyu, P.P. Membran Kitosan Termodifikasi Tripolifosfat-Heparin Dan Aplikasinya Pada Permeasi Urea Dan Kreatinin // *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. — 2018. — T. 3, № 1. — С. 11–21.
67. Aarti, R., Deshmukh, H.A., Chanin, Kh., Abhishek, N., Jin-Ho, Yu., Hee-Sik, K., Beom, S.K., Biodegradable films based on chitosan and defatted *Chlorella* biomass: Functional and physical characterization // *Food Chemistry*. — 2021. — T. 337. — С. 1–10.
68. Nursalam, H., Muhammad, F., Surya, N., Haeria, H. Profil Indeks Pengembangan Ikatan-Silang Gelatin-Kitosan, adDawaa // *Journal of Pharmaceutical Sciences*. — 2019. — T. 2, № 2. — С. 77–87.
69. Tessaro, L., Luciano, C.G., Quinta Barbosa Bittante, A.M., Vinicius Lourenço, R., Martelli-Tosi, M., José do Amaral Sobral, P. Gelatin and/or chitosan-based films activated with “Pitanga” (*Eugenia uniflora* L.) leaf hydroethanolic extract encapsulated in double emulsion // *Food Hydrocolloids*. — 2021. — T. 113. — С. 1–12.
70. Jabber, L.J.Y., Grumo, J.C., Alguno, A.C. Influence of cellulose fibers extracted from pineapple (*Ananas comosus*) leaf to the mechanical properties of rigid polyurethane foam // *Materials Today Proceedings* — 2020. — T. 46. — С. 1735–1739.

Sergeev Oleg Evgen'evich

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University Polytechnic, Saint Petersburg, Russia
E-mail: ole13g@yandex.ru

Velmozhina Ksenia Alekseevna

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University Polytechnic, Saint Petersburg, Russia
E-mail: anizhomlev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9623-057X>

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/HNJ-5829-2023>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=58419740600>

Politaeva Natalia Anatol'evna

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University Polytechnic, Saint Petersburg, Russia
E-mail: politaevana1971@gmail.com

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=439213

Review of bioplastic production strategies as the most environmentally sustainable alternative to traditional plastics

Abstract. This scientific article provides an overview of contemporary strategies for bioplastic production, considering them as the most environmentally sustainable alternative to traditional plastics. The article analyzes the current state of the technical cycle of plastic use and its impact on the environment, as well as assesses potential effects on human health.

Special attention is devoted to the investigation of bioplastics, highlighting their advantages compared to traditional polymers. Particular emphasis is placed on bioplastic film with added chitosan, regarded as an effective component for enhancing the ecological and functional characteristics of the material.

The authors present an extensive review of global scientific literature and patents, demonstrating the current level of research in this field. Based on the analysis of proposed strategies for producing chitosan-containing bioplastics, the conclusion is drawn regarding the viability of this direction in creating environmentally sustainable materials, considering the requirements for natural resource conservation and reducing environmental impact.

In addition to analyzing the technical cycle of plastic use and its environmental impact, the article also examines contemporary methods and technologies for bioplastic production. Significant attention is given to the investigation of raw materials necessary for bioplastic production and their potential for reducing dependence on petroleum-based products.

Furthermore, the article provides an overview of recent studies dedicated to the integration of chitosan-containing bioplastics into various industrial sectors, such as the packaging industry, agriculture, and the medical field. Practical examples of using such materials and their effectiveness compared to traditional plastics are analyzed.

In conclusion, the article emphasizes the need for further research in developing new methods for bioplastic production using chitosan and other biodegradable components. Potential obstacles and challenges facing the widespread adoption of bioplastics in industry are discussed, and possible ways to overcome them are proposed with the aim of creating a more sustainable model of consumption and production. Further research in this area could contribute to the development of new bioplastic production technologies and their widespread adoption in industry to reduce negative environmental impact and create a more sustainable consumption model.

Keywords: plastic; bioplastic; chitosan; microalgae; bioplastic film; sustainable development; waste; biodegradation