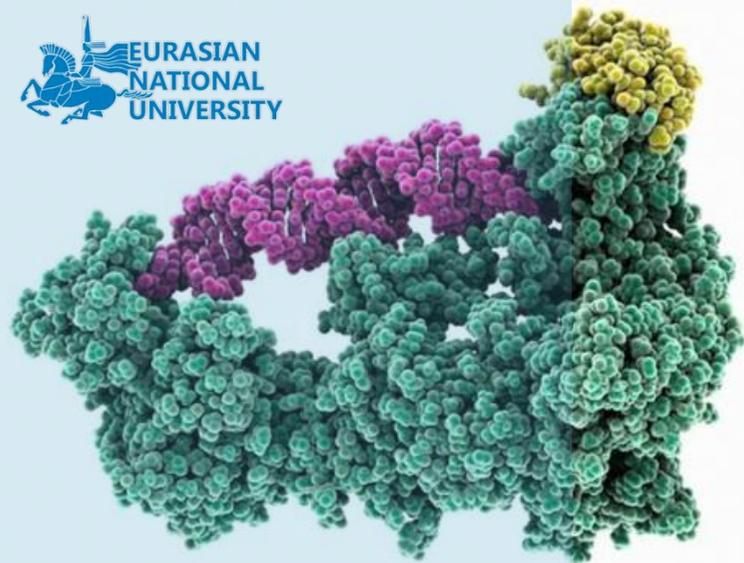


ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ



Л. Н. ГУМИЛЕВА АТЫНДАҒЫ  
ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Л. Н. ГУМИЛЕВА

АСТАНА, ҚАЗАҚСТАН  
14 СӘУІР 2023 ЖЫЛ

АСТАНА, КАЗАХСТАН  
14 АПРЕЛЯ 2023 ГОД

"ОМАРОВ ОҚУЛАРЫ: ХХІ  
ҒАСЫРДЫҢ БИОЛОГИЯ ЖӘНЕ  
БИОТЕХНОЛОГИЯСЫ" АТТЫ  
ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ  
ФОРУМНЫҢ БАЯНДАМАЛАР  
ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНОГО  
ФОРУМА "ОМАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ:  
БИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ  
ХХІ ВЕКА"

**УДК 57 (063)**  
**ББК 28.0**  
**Ж 66**

Жалпы редакцияны басқарған т.ғ.д., профессор Е.Б. Сыдықов  
Под редакцией д.и.н., профессора Е.Б. Сыдыкова

**Редакция алқасы:**  
**Редакционная коллегия:**

Ж.К. Масалимов, А.Б. Курманбаева, А.Ж. Акбасова, С.Б. Жангазин, Н.Н. Иқсат.

«Омаров оқулары: ХХІ ғасыр биология және биотехнологиясы» халықаралық ғылыми форумының баяндамалар жинағы. – Астана: Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 2023. – 298 б., қазақша, орысша, ағылшынша.

Сборник материалов международного научного форума «Омаровские чтения: Биология и биотехнология ХХІ века». – Астана. Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 2023. – 298 с., казахский, русский, английский.

**ISBN 978-601-337-847-3**

Жинақ «Омаров оқулары: ХХІ ғасыр биология және биотехнологиясы» атты халықаралық ғылыми форумына қатысушылардың баяндамаларымен құрастырылған. Бұл басылымда биология, биотехнология, молекулалық биология және генетиканың маңызды мәселелері қарастырылған. Жинақ ғылыми қызметкерлерге, PhD докторанттарға, магистранттарға, сәйкес мамандықтағы студенттерге арналған.

Сборник составлен по материалам, представленным участниками международного научного форума «Омаровские чтения: Биология и биотехнология ХХІ века». Издание освещает актуальные вопросы биологии, биотехнологии, молекулярной биологии и генетики. Сборник рассчитан на научных работников, PhD докторантов, магистрантов, студентов соответствующих специальностей.



**УДК 57**  
**ББК 28**  
**О-58**

©Коллектив авторов, 2023  
©Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 2023

8 Chase M.W., Knapp S., Cox A.V., Clarkson J.J., Butsko Y., Joseph J., Savolainen V., Parokonny, A.S. 2003. Molecular systematics, GISH and the origin of hybrid taxa in *Nicotiana* (Solanaceae). *Ann. Bot.* 92:107-127

9 Choudhury F.K., Rivero R.M., Blumwald E., Mittler R. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *Plant J.* -2017. –V.90. –P. 856–867.

10 Raja V., Majeed U., Kang H., Andrabi K.I., John, R. Abiotic stress: Interplay between ROS, hormones and MAPKs. *Environ. Exp. Bot.* -2017. –V.137. –P. 142–157.

УДК 57.579.64

## **МИКРООРГАНИЗМЫ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕСС БИОДЕГРАДАЦИИ ПЛАСТИКОВ**

*Жакенов Даниял Шоханович, Турпанова Рауза Масгутовна*  
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана,  
Казахстан  
zhakenov.daniyal@mail.ru

Пластиковые полимеры с различными свойствами были разработаны за последние 150 лет для замены таких материалов, как дерево, стекло и металлы, в различных областях применения. Они широко используются в мировой экономике, и каждый год производится от 350 до 400 миллионов тонн. Тем не менее, определенные свойства, которые делают пластик желательным для нашего повседневного использования, также угрожают устойчивости нашей планеты. Прочность, гибкость и малый вес традиционных пластиков, полученных из нефти, делают их идеальными материалами для большого количества применений, включая упаковку, медицинские устройства, строительство, транспорт и т. д. Однако большинство производимых пластиков — это одноразовые пластики. Следовательно, наблюдается экспоненциальный рост образования пластиковых отходов, которые с тех пор были признаны глобальной угрозой для окружающей среды. Пластиковые отходы отрицательно сказываются на жизни на Земле, из-за плохой переработки и низкого кругового использования миллионы тонн ежегодно накапливаются в наземной и морской среде [1].

Сегодня стало ясно, что пластик оказывает неблагоприятное воздействие на все экосистемы и что микропластик представляет особую опасность для нашего здоровья. Нынешние методы уничтожения этих отходов (сжигание, захоронение и переработка) требуют огромных затрат, являются неустойчивыми и ложатся дополнительным бременем на нашу окружающую среду. Поэтому недавние микробиологические исследования задались вопросом, могут ли микроорганизмы разлагать пластмассы в окружающей среде и в какой степени.

Микроорганизмы являются идеальными кандидатами для обеззараживания, поскольку они обладают способностью синтезировать ферменты и благодаря своему небольшому размеру получают доступ к контакту со всей площадью поверхности. Они используют пластик и другие вредные для окружающей среды химические вещества в качестве источника питательных веществ (углерода) и энергии (электронов). Конечными продуктами разложения будут вода и углекислый газ, а также размножение микробной популяции [2].

Согласно Dussud C. и Ghiglione J.F. биodeградация происходит в четыре основных этапа [3]:

1. Биодegradация — микробная метаболическая активность провоцирует пластические трещины и ухудшает физические свойства или изменяет микроструктуру матрикса за счет изменения pH в результате выделения кислоты или образования биопленки.

2. Биофрагментация длинной полимерной цепи — активность ферментов, вырабатываемых микроорганизмами, приводит к высвобождению олигомера.

3. Дegradация олигомеров до мономеров — олигомеры попадают внутрь клеток, а вторичные деструкторы усваивают их как источник углерода, увеличивая таким образом микробную биомассу.

4. Ассимиляция олигомеров и выделение полностью окисленных метаболитов до  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$  и  $CH_4$ .

Несмотря на надежду, возлагаемую на биоразложение как на инновационный подход к решению проблемы утилизации пластика, биоразложение по-прежнему является медленным процессом, однако способность осуществлять его была найдена у многих микроорганизмов.

**Микроорганизмы кишечника, разлагающие пластик.** Микроорганизмы могут процветать в экстремальных условиях окружающей среды и обладать многими свойствами, которые будут полезны для различных макроскопических насекомых, чтобы противостоять невзгодам, создаваемым различными загрязняющими веществами, такими как пластик.

Новые бактериальные штаммы, а именно, *Myroides albus sp.* и *Intestinirhabdus alba* были выделены из кишечника личинок *Zophobas atratusa* со свойствами поедания пластика. Обнаружение еще большего количества микробов в кишечнике насекомых со способностью разлагать пластик является еще одним доказательством того, что микрофлора кишечника развивалась в соответствии с преобладанием неподатливых ксенобиотиков, таких как пластик.

Личинка *Plodiainter punctella* (восковой червь) способна жевать и поедать полиэтилен. Yan et al. в 2014 году выделили из кишечника 2 бактериальных штамма *Enterobacter asburiae* YТ1 и *Bacillus sp.* YP1, которые позволяют переваривать полиэтилен, благодаря чему восковые черви могут получать питательные вещества.

*Exiguobacterium sp.* штамм YТ2 был идентифицирован как способный вызывать изменения топографии поверхности, снижать гидрофобность и деполимеризацию пенополистирола.

Бактерия *Brevibacillus borstelensis* является термофильной бактерией, которая может использовать полиэтилен в качестве единственного источника углерода.

Полиэтилен низкой плотности (LDPE) разлагается кишечными микробами дождевого червя *Lumbricus terrestris (Oligochaeta)* и является мощным инструментом для восстановления почвы.

Как показали исследования, бактерии более эффективны в деполимеризации, когда они находятся внутри кишечника (47,7% внутри кишечника и 7,4% за 60 дней вне среды), чем в среде, что указывает на то, что определенные факторы внутри благоприятны, и были выделены только культивируемые бактерии, а некультивируемые виды остались. неизвестно, это может иметь синергетический эффект вместе с другим кишечным ферментом, секретлируемым самими насекомыми [2].

**Микроорганизмы, выделенные из холодной морской среды, способные разлагать пластик.** Процесс дegradации в морской среде недостаточно изучен. До сих пор лишь несколько исследований изучали дegradацию пластика в холодных местах обитания. Текущие исследования больше сосредоточены на взаимодействии между морскими экосистемами, такими как глубоководная среда, и их микробными

обитателями, или на отношениях между морскими микроорганизмами и пластиком в целом. Тем не менее, некоторые исследования указывают на способность изолированных холодных морских бактерий разлагать пластик. К сожалению, основной проблемой данного исследования является идентификация выделенных микроорганизмов, даже если эта активность подтверждается. Исследования разлагающих микроорганизмов в основном сосредоточены на их поиске в глубоководных отложениях, где температура опускается ниже 4 °С (в случае 90% морского дна).

Два типа бактерий, разлагающих поликапролактон (PCL), были выделены из морской воды на глубине 320 м в заливе Тояма. Выделенные штаммы были идентифицированы как род *Pseudomonas* и были способны разлагать PCL при 4 °С. Более того, Sekiguchi et al. выделили бактерии родов *Shewanella*, *Moritella*, *Psychrobacter* и *Pseudomonas* из проб глубоководных отложений, взятых с глубины 5000–7000 м. Выделенные штаммы продемонстрировали способность к деградации биоразлагаемого полиэфира PCL. Авторы также тестировали другие биоразлагаемые пластики, такие как полилактид (PLA), полибутилен сукцинат адипат (PBSA), полибутиленсукцинат (PBS) и полигидроксibuтират (PHB), но никакой активности не наблюдали. Однако в следующем отчете было указано, что волокна PCL, PHB и PBS разлагаются в глубоководных водах, несмотря на низкие температуры. Затем из глубоководных районов (глубина 320–650 м) были выделены еще пять штаммов, разлагающих PCL, идентифицированных как бактерии родов *Pseudomonas*, *Alcanivorax* и *Tenacibaculum*. Два из них, *Pseudomonas spp.* штаммы RCL01 и TCL04 оказались адаптированными к условиям низкой температуры (4 °С) и высокого гидростатического давления.

Raghul et al. в 2014 году наблюдали видимые трещины и бороздки на поверхности пленки из смеси поливинилового спирта и полиэтилена низкой линейной плотности (PVA-LDPE) после 15 недель инкубации с бактериальным консорциумом, состоящим из *Vibrio alginolyticus* и *Vibrio parahaemolyticus* выделены из бентических зон различных морских сред с глубины 8 м.

Urbanek et al. в 2017 году выделили бактериальные и грибковые штаммы из арктических регионов, способные разлагать биопластик. В этом исследовании они тестировали микробную активность в отношении PLA, PCL, PBS и PBSA. Наибольшая активность наблюдалась для штаммов грибов, идентифицированных как *Clonostachys rosea* и *Trichoderma sp.*, и штаммов бактерий, принадлежащих к родам *Pseudomonas* и *Rhodococcus*. Пленки PCL деградировали на 53% (масс/ масс) в течение 30 дней инкубации. Кроме того, наблюдался обильный рост на пленках PLA, что может свидетельствовать о способности PLA к деградации при определенных условиях [4].

**Термофильные бактерии, разлагающие пластик.** Использование термофилов для деградации пластика при биологической очистке загрязненных термальных местообитаний потенциально выгодно из-за улучшения биодоступности и растворимости субстрата в результате изменения физических и оптических свойств полимера при повышенных температурах. Дополнительными преимуществами процессов термофильной биodeградации являются более высокие показатели ферментативной активности в результате снижения прочности полимера, увеличения скорости диффузии органических соединений, снижения вязкости культуральных жидкостей и снижения риска микробного загрязнения. Некоторые термофилы продемонстрировали высокий потенциал деградации полимеров из-за их способности расти и продуцировать многочисленные ферменты в необычных условиях.

Nakasaki K., Matsuura H., Tanaka H., Sakai T. проводили исследования об эффективной синергии между двумя термофильными бактериями, выделенными из

компоста с преобладанием отходов PCL при 50 °С. Разложение PCL чистой культурой одного из микроорганизмов - термофильного актиномицета *Streptomyces thermotritificans*, при анализе методом ГПХ (гельпроникающая хроматография) выявили, что пик, соответствующий молекулярной массе исходного полимера ПЛХ, через 72 ч после культивирования начал постепенно уменьшаться, что сопровождалось появлением олигомерных пиков. Дальнейшая деградация полученных олигомеров была продемонстрирована снижением соответствующих пиков, что свидетельствует о том, что этот штамм может достигать значительной минерализации PCL, что приводит к разложению пластика на 35% после 6 дней компостирования. Однако при добавлении *Bacillus licheniformis* HA1, синергетического партнера, выделенного из того же компоста, наблюдалось значительное увеличение деградации PCL, достигающее значения 70% через 48 часов. Было высказано предположение, что, хотя *B. licheniformis* HA 1 сам по себе не мог использовать пластик, он мог расти за счет деградации промежуточных продуктов, выделяемых *S. thermotritificans*, и последующего изменения pH. Синергетический эффект от одновременного культивирования обоих термофильных штаммов ускорял деградацию PCL и значительно увеличивал долю разложившегося полимера. Было высказано предположение, что постоянная концентрация основного разлагающего микроорганизма является результатом низкой скорости разложения пластика.

Полная деградация PCL происходила в течение 6 часов при 45 °С термофильным *Streptomyces thermoviolaceus subsp. thermoviolaceus* 76Т-2. Этот микроорганизм секретировал два PCL-деградирующих внеклеточных фермента с молекулярной массой 25 кДа и 55 кДа. Термофильные актиномицеты, активные в отношении полигидроксibuтирата (PHB), PCL или полиэфирсульфона (PES), были выделены из компостирования. В аналогичном отчете было зарегистрировано снижение гравиметрической и молекулярной массы разветвленного полиэтилена низкой плотности (11 и 30% соответственно) термофильной бактерией *Brevibacillus borstelensis* штамм 707 через 30 дней при 50 °С, несмотря на того факта, что он был плохим биопленкообразователем. Термофильный изолят *Bacillus sp.* ВСВТ21 хотя и менее хорошо охарактеризован, изменил свойства и внешний вид пластиковых пакетов из полиэтилена высокой и низкой плотности при 55 °С в течение одного месяца.

Большинство бактериальных изолятов, способных разлагать полиэтилентерефталат (PET), принадлежат к типу грамположительных актинобактерий, в основном к родам *Thermobifida* и *Thermomonospora*, и особенно к видам *Thermobifida alba.*, *Thermobifida halotolerans* и *Thermomonospora curvata*. Приблизительно 50% деградация низкокristаллического PET (lcPET) была достигнута при 55 °С после 3 недель действия внеклеточной полиэфиргидролазы TfH, секретлируемой термофильной бактерией *Thermobifida fusca*.

Анаэробный термофил *Clostridium thermocellum* был применен в качестве цельноклеточного биокатализатора, сочетающего производство ферментов и гидролиз PET в одну стадию. Потеря веса аморфной PET-пленки составила более 60% после 14-дневной инкубации при 60°С. Наблюдаемая скорость деградации >2,2 мг/день была выше, чем у цельноклеточного мезофила *Ideonella sakaiensis* (>1,4 мг/день).

Термофильные бактерии *Anoxybacillus rupiensis* Ir3 использовали нейлон 6 в минимальной среде в качестве единственного источника углерода и азота при 65 °С. Штамм *Geobacillus pallidus* 26 разложил нейлон 12 и 6 при 60 °С, но не смог разложить более кристаллический нейлон 66.

Все описанные выше термофильные разрушители пластика принадлежат к группе факультативных и облигатных термофилов, при этом термофильные *Bacillaceae* являются хорошим источником ферментов для биопроцессов пластической

трансформации, и, насколько известно, эквивалентно компетентные экстремальные и гипертермофилы в настоящее время не известны [5].

Потенциальные ферменты, которые могут быть описаны как биоразлагаемые, включают липазы, деполимеразы (деполимеразы РНА, деполимеразы РНВ, деполимеразы РЛА, деполимеразы РСЛ), эстеразы, протеиназы (протеиназа К против РЛА), кутиназы, уреазы и дегидратазы. Скорость биоразлагаемости можно повысить, добавляя в полимеры добавки, влияющие на их термическую чувствительность и способность поглощать УФ-излучение. Химически чувствительные полимеры более доступны для микробного прикрепления. Несмотря на эти факты, нам все еще не хватает информации о возможности биоразложения нефтехимического пластика, такого как поливинилхлорид (V) или полиэтилентерефталат (PET). Однако в недавнем исследовании был охарактеризован новый фермент PETase, продуцируемый *Ideonella sakaiensis*. Таким образом, это ясно показывает, что у нас все еще нет полной информации о микробном потенциале разложения пластика [4].

Коммерческая ценность микробов, разлагающих пластик, в значительной степени зависит от их эффективности разлагать пластик за меньшее время, дальнейших исследований и расширения масштабов исследований для дальнейшего повышения их полезности в восстановлении пластика. Поэтому будущая работа должна быть направлена на идентификацию организмов, действующих на наиболее доминирующие полимеры. Кроме того, использование синтетической биологии для создания микроорганизмов, которые будут производить ценные соединения из пластиковых отходов, является задачей будущего и будет способствовать улучшению циркулярного использования пластмасс. Наконец, получение пластически-активных ферментов и их применение в производстве настоящих биополимеров является очень полезной исследовательской задачей и значительно уменьшит нашу глобальную пластиковую проблему.

#### **Список использованной литературы:**

1. Amobonye A., Bhagwat P., Singh S., Pillai S. Plastic biodegradation: Frontline microbes and their enzymes // Sci Total Environ. – 2021.
2. Sini F.CF., Rebello S., Aneesh E.M., Sindhu R., Binod P., Singh S., Pandey A. Bioprospecting of gut microflora for plastic biodegradation // Bioengineered. – 2021. – Vol. 12. - № 1. - P. 1040-1053.
3. Dussud C., Ghiglione J.F. Bacterial degradation of synthetic plastics // CIESM Workshop Monogr. – 2014. - Vol 46. - P. 49–54.
4. Urbanek A.K., Rymowicz W., Mirończuk A.M. Degradation of plastics and plastic-degrading bacteria in cold marine habitats // Appl Microbiol Biotechnol. – 2018. – Vol. 102, № 18. - P. 7669–7678.
5. Atanasova N., Stoitsova S., Paunova-Krasteva T., Kambourova M. Plastic Degradation by Extremophilic Bacteria // Int J Mol Sci. – 2021. – Vol. 22, № 11.

УДК 632:578

### **ВИРУСЫ РАСТЕНИЙ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ**

*Нуркенова Аделя Кайратовна, Масалимов Жаксылык Каирбекович*

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан  
tnxxmad@mail.ru

Вирусы растений являются микроскопическими инфекционными агентами, которые могут вызывать различные заболевания у растений и наносить значительный ущерб сельскому хозяйству и экологической устойчивости. Вирусы растений могут