

В 2014 году Правительство России вышло с инициативой постепенного замещения традиционных полимерных материалов в сфере пищевой упаковки биоразлагаемыми пластиками, согласно которой за три года без какой бы то ни было научной и производственной базы и даже без особой господдержки данный сектор должен повторить тот путь, который мировая химическая индустрия прошла за несколько десятилетий, и стать мировым лидером в области потребления биопластиков. Риски этого проекта вполне очевидны, а перспективы получения дивидендов от форсированного внедрения биопластиков весьма туманны

Андрей КОСТИН,  
 руководитель информационно-аналитического центра RUPEC

# Биопластики: перспективы в России

Столь явный уход от стратегии сбалансированного развития отраслей в пользу более трендовой тематики с полной очевидностью указывает на то, что тема биопластиков остается в России не до конца понятной во всем комплексе различных аспектов и деталей. Миф о биоразлагаемых полимерах как универсальном средстве борьбы с бытовыми отходами, увы, гиперболизирован и широко распространен в массовом сознании. Но вряд ли он имеет достаточные основания, ведь до сих пор доля биопластиков в мировом потреблении полимерных материалов не превышает 1% и в обозримой перспективе не перешагнет порог в 5%.

## Классификация биопластиков

Существенным препятствием для понимания всех тонкостей темы биопластиков является фактическое отсутствие достаточно полной и сбалансированной классификации такого рода материалов. Для России актуальной также является проблема терминологии, поскольку далеко не все вовлеченные в дискуссию участники хорошо понимают, о чем, собственно, идет речь. Скорее всего, отсюда вытекают и многие проблемы регулирования, поскольку очень часто желаемое выдается за действительное. За небольшими исключениями, связанными с особенностями перевода, в статье используются классификация биопластиков и система терминов, которая в целом является общепринятой в мире.

Двумя основными критериями, положенными в основу первого уровня классификации и отделяющими одни группы материалов от других, являются, во-первых, тип применяемого для их производства сырья (соответственно, возобновляемое сырье и ископаемое), а во-вторых, их способность подвергаться самопроизвольному распаду в природной среде, то есть биодegradации. Согласно этим критериям все пластики можно разделить на четыре группы.

**Группа 1.** Небиоразлагаемые пластики из ископаемого сырья. Это, собственно, все «традиционные» для нефтехимии крупнотоннажные полимеры: полиэтилен, полипропилен, ПВХ, полиэтилентерефталат, полистирол, полибутилентерефталат, поликарбонат, полиуретан и другие.

**Группа 2.** Биоразлагаемые пластики из ископаемого сырья. Это полностью синтетические материалы, получаемые традиционными методами нефтехимической промышленности из вполне классического углеводородного сырья, однако способные в силу своих структурных особенностей подвергаться биодegradации. Это в первую очередь полибутираты (если точнее, сополимеры адипиновой кислоты, диметилтерефталата и 1,4-бутандиола; общепринятая аббревиатура PBAT), полибутиленсукцинаты (PBS), поливиниловый спирт (PVAL), поликапролактон (PCL) и полигликолевая кислота (PGA). К этой группе с очень большими оговорками можно отнести традиционные пластики, модифицированные с помощью промоторов деполимеризации (группа 2а) либо полученные с введением нестойких к гидролизу сополимеров (группа 2б). Эта подгруппа в настоящее время почти полностью представлена модифицированным ПЭТ, где в качестве сополимера используется, например, PBAT.

**Группа 3.** Небиоразлагаемые пластики из природного сырья. В эту группу включаются главным образом «классические» пластики типа полиэтиленов, ПВХ или терефталевых полиэфиров (ПЭТ или ПБТ), сырье для которых полностью или частично получается из биомассы. Это биоэтилен и производимый из него биомоноэтиленгликоль, а также био-1,4-бутандиол и моноэтиленгликоль прямого брожения сахаров. Сюда же можно отнести такой материал, как полиамид-11, который производится из растительного масла, но не является биоразлагаемым.

**Группа 4.** Биоразлагаемые пластики из природного сырья. Сюда относятся «стопроцентные» биопластики. Однако эта группа оказывается слишком обширной и запутанной структурно без введения дополнительного разграничивающего критерия. В данной системе классификации таким дополнительным критерием является способ получения полимера. В соответствии с этим параметром можно выделить следующие подгруппы (далее для простоты изложения называемые группами):

— подгруппа 4а: биоразлагаемые пластики из природного сырья; полимерная цепь образуется в природе без участия человека. Эта группа охватывает такие вещества, которые





являются полимерами «от природы», а задачи их производства сводятся или к выделению таких полимеров из биосырья, или модификации их структуры без сборки полимерной цепи. Яркие представители этой группы — биополимеры на основе крахмала, модифицированной целлюлозы;

— подгруппа 4б: биоразлагаемые пластики из природного сырья; полимерная цепь образуется в ходе жизнедеятельности микроорганизмов в контролируемой среде. Эта группа включает целое семейство полимеров с общим названием полигидроксиалканоаты (ПНА), которые образуются в ходе жизнедеятельности бактерий;

— подгруппа 4в: биоразлагаемые пластики из природного сырья; в ходе биологического процесса образуется мономер, а сборка полимера осуществляется химическим путем. Яркий пример веществ этой группы — хорошо известная полимолочная кислота (PLA). Подобный подход к классификации пластиков оказывается достаточно наглядным (рис. 1) и удобным в применении.

В статье внимание сосредоточено преимущественно на полимерах группы 4 и группы 2, поскольку именно с такого рода материалами

в России обычно ассоциируется термин «биопластики», или «биоразлагаемые пластики». Кстати, термины «биоразлагаемые» и «биоразлагающиеся», несмотря на некоторую разницу в оттенках, все же здесь следует понимать в одном значении.

### Биопластики из углеводородного сырья

Группа 2 объединяет полимеры, которые образуются в ходе стандартных нефтехимических процессов из привычного углеводородного сырья, однако обладают при этом способностью деградировать в природе.

Стоит отметить, что по своей структуре большая часть полимеров этой группы является полиэфирами, поэтому часто синонимом соединений группы 2 (по нашей классификации) выступает термин «биоразлагаемые полиэфиры». Тот факт, что данные полимеры получают из традиционного углеводородного сырья, не означает, конечно, что они просты и доступны в производстве. Это высокотехнологичные материалы, которые от ископаемых углеводородов отделяет пять-семь переделов (а не три, как у крупнотоннажных пластиков типа полиолефинов), причем эти стадии часто представляют собой уникальные



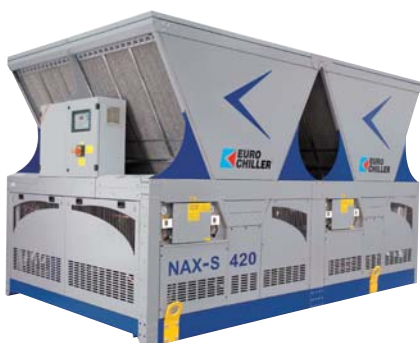
Фото BASF



ЧИЛЛЕРЫ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ

ВОДЯНЫЕ И МАСЛЯНЫЕ ТЕРМОСТАТЫ

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛИ



ООО «ВИВТЕХ»: 127254, Москва, ул. Руставели, д. 14, стр. 6  
Тел./факс +7 (495) 755-91-45  
www.vivtech.ru info@vivtech.ru

	Из ископаемого сырья	Из природного сырья
Небиоразлагаемые	1 Традиционные полимеры (ПЭ, ПП, ПЭТ, ПВХ, ПС, ПУ, ПУ...)	3 Традиционные полимеры из биоэтилена, био-МЭГ или био-1,4-бутандиола (био-ПЭ, био-ПЭТ, био-ПБТ, био-ПВХ) + полиамид-11
	2 PBAT, PBS, PCL, PVAL, PGA	4a Полимер встречается в природе. Полимеры на основе крахмала, целлюлозы
Биоразлагаемые	2a Традиционные пластики с биоразлагающими добавками	4б Продукт бактерий — полимер РНА, другие полиэфиры
	2б Традиционные пластики, сополимеризованные с гидролитически нестойкими компонентами	4в Продукт бактерий — мономер PLA

**Рисунок 1. Классификация биопластиков**  
(источник — RUPEC)

промышленные процессы, технологиями которых владеют одна-две компании в мире. По мере углубления переделов часто падают показатели селективности и конверсии сырья, растет число побочных продуктов. Все это усложняет и удорожает производство, создает экономические и технологические ограничения мощности. Поэтому биоразлагаемые пластики, производимые из углеводородного сырья, являются очень дорогостоящими материалами с довольно специфическими областями применения.

### Природные полимеры

Наиболее логичный путь к получению биоразлагаемых пластиков для человека — предоставить природе возможность самой их производить. Таким образом получаются биопластики группы 4а. Большинство молекул в биологических организмах представляет собой полимеры — длинные цепочки, состоящие из одинаковых звеньев. Полимерами являются, например, все белки, в том числе ферменты — биологические катализаторы, нуклеиновые кислоты (в частности ДНК — носитель генетической информации), и, самое главное, углеводы в живых организмах чаще всего также содержатся в виде более или менее длинных полимерных цепочек, известных как полисахариды.

Один из наиболее распространенных полисахаридов природного происхождения — крахмал. Он в том или ином количестве присутствует почти во всех растительных культурах, употребляемых человеком в пищу. В мировом производстве, однако, более 80% приходится на две культуры: кукурузу (так называемую сахарную или пищевую кукурузу) и картофель. Для растений крахмал — это молекулярный аккумулятор энергии, которую они накапливают впрок, синтезируя ее из углекислого газа и воды под действием света.

По своей структуре крахмал — полимерный углевод (полисахарид), мономером которого является глюкоза. Технология из-

влечения крахмала из растительного сырья предельно проста: кукурузное зерно или картофельные клубни (или вообще любое крахмалосодержащее сырье) подвергаются так называемому мокрому измельчению, при котором клетки, содержащие крахмал, частично разрушаются и смываются в воду. Получающийся таким образом раствор промывается и упаривается до сухого вещества.

Сам по себе крахмал в первичной форме трудно назвать биопластиком в силу его очень высокой гигроскопичности и вообще нестойкости к гидролизу. Тонкие пленки из немодифицированного крахмала используются, например, в качестве быстрорастворимой оболочки капсул медицинских препаратов. Однако для придания крахмалу хоть сколько-нибудь стабильных свойств по отношению к влажности его модифицируют. Вариантов достаточно много: это сополимеризация с другими мономерами (например, акрилонитрилом с последующим гидролизом), модификация боковых гидроксиметильных фрагментов. Модифицированный крахмал, особенно после введения пластификаторов, уже лучше поддается обработке классическими методами переработки термопластов (экструзией, литьем и другими).

Однако сегодня чаще всего под крахмальными биопластиками подразумевают уже композиционные материалы, где модифицированный крахмал смешивается с неким полимерным аддитивом, обладающим более подходящими механическими свойствами. Для производства дешевых изделий с коротким циклом жизни (пакеты, сельскохозяйственная пленка для мульчирования, мусорные пакеты) используют композит из неочищенного крахмала, упомянутого выше поливинилового спирта и талька в качестве балластного наполнителя. В других более ответственных применениях используются и другие полимеры из группы 2: поликапролактоны или PBAT. Тогда получающийся композит сохраняет биоразлагаемые свойства. Иногда в качестве наполнителя используют и классические полиолефины.

Помимо крахмала в природе встречаются и другие полимеры глюкозы, пригодные для производства пластиков. Это главным образом целлюлоза — полисахарид, выполняющий в живой природе функцию структурной основы клеточных оболочек у растений. Хотя целлюлоза, как и крахмал, является полимером глюкозы, она значительно отличается от него структурно, и в целом ее труднее выделять из природного сырья и подвергать дальнейшей переработке. Для извлечения целлюлозы из древесной щепы применяют



Фото DuPont





варку с использованием достаточно агрессивных реагентов. Полученную целлюлозу подвергают модификации, главным образом путем химического воздействия на боковые гидроксиметильные группы. Воздействием на нее уксусного ангидрида получают ацетат целлюлозы, который используется при изготовлении волокон и нитей («ацетатное волокно»), под действием азотной кислоты — нитрат целлюлозы, из которого после компаундирования со смолистыми веществами получают целлулоид (хорошо известен, например, в виде шариков для пинг-понга). Есть множество вариантов химической модификации целлюлозы; получаемые в итоге полимерные вещества можно, как и в случае с крахмалом, компаундировать с механически более подходящими компонентами.

### Клеточная полимеризация

Точно так же, как растения, накапливают крахмал в качестве питательного запаса некоторые микроорганизмы. В обычных условиях при наличии питательных веществ (глюкозы) и дефиците микроэлементов (азота, фосфора) такие бактерии производят полимеры, относящиеся к классу полигидроксиалканоатов

(РНА), которые, согласно нашей классификации, относятся к группе 4б. В случае изменения условий окружающей среды или наступления голода эти полимеры расщепляются бактериями с выделением энергии. Масса такого полимерного «аккумулятора» может достигать до 80% от сухой массы самого микроорганизма. Сам факт образования полимера класса РНА в ходе жизнедеятельности бактерий *Ralstonia entrophus* и *Bacillus megaterium* был открыт еще в 1925 году. Однако первое промышленное производство сополимера бактериального происхождения было запущено в Великобритании в начале 1980-х годов.

Сегодня известно уже не менее 10 видов бактерий, способных осуществлять биосинтез полигидроксиалканоатов. В качестве пищи они обычно используют водные растворы сахаров или глюкозы, получаемых переработкой пищевого растительного сырья. Это делает производство биопластиков группы РНА достаточно дорогим. Чтобы снизить долю сырья в себестоимости полимеров, методы производства РНА совершенствуются по двум направлениям. Во-первых, исследуются бактерии с мо-



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
РЯЗАНСКИЙ  
ПРИБОРНЫЙ ЗАВОД

## ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

КАЧЕСТВО • НАДЕЖНОСТЬ • ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

### Проектирование технологической оснастки любой сложности

#### Изготовление технологической оснастки:

- пресс-формы одно- и многоместные, горячеканальные для литья термопластов, реактопластов, резины (габариты — 800×1200 мм, вес — до 1500 кг)
- формы для литья под давлением алюминиевых сплавов
- приспособления с габаритами не более 1000×1000×1000 мм
- штампы гибочные, вырубные, пробивные, калибровочные, последовательные, штампы совмещенного действия, штампы-автоматы с автоматической подачей



**Высококачественные материалы**  
**Мощная производственно-техническая база**  
**Современные технологии обработки**

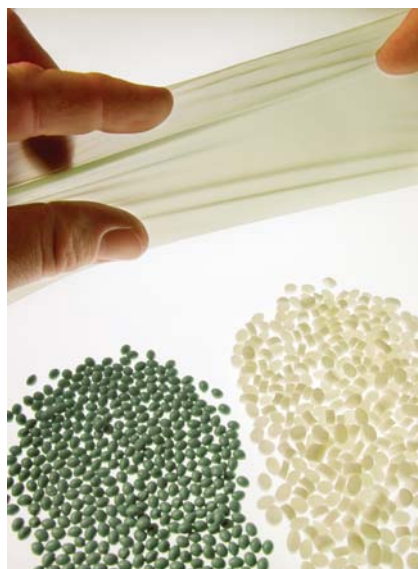
**Сроки исполнения заказов:**  
проектирование — от 1 недели до 1 месяца  
изготовление — от 1 до 3 месяцев



### ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Россия, 390000, г. Рязань, ул. Семинарская, 32  
Тел./факс: +7 (4912) 29-86-23, 76-61-54  
Тел. +7 (4912) 29-87-24  
E-mail: ptkip600@yandex.ru

[www.grpz.ru](http://www.grpz.ru)



дифицированной ДНК, которые были бы способны последовательно гидролизовать высшие сахара и затем превращать их в полимеры-аккумуляторы. Такой путь усовершенствования микроорганизмов позволит выйти на использование более дешевого сырья вроде отходов пищевого или спиртового производства. Во-вторых, предпринимаются попытки культивировать подходящие для промышленного процесса колонии бактерий, обитающих в почве. Идея здесь в том, что у таких бактерий метаболизм в условиях хронического недостатка микроэлементов настроен на очень активное производство

полимеров-аккумуляторов. Выражаясь языком химической промышленности, выход РНА-полимеров на единицу потребленного глюкозного сырья у них выше, чем у используемых сейчас в промышленном производстве. Сам процесс производства пластиков класса РНА выглядит следующим образом. В обогащенной сахарами среде, куда также добавлено определенное количество микроэлементов, расселяется колония бактерий. Пользуясь благоприятными пищевыми условиями, они активно размножаются. Однако в какой-то момент численность популяции начинает превосходить питательные возможности среды, и бактерии переключаются на накопление полимеров РНА. Процесс останавливается в момент максимального количества полимеров, аккумулированных внутри бактериальных клеток. Затем оболочки клеток разрушаются (механически или ультразвуком), полимер высвобождается в раствор, отделяется и дальше обрабатывается традиционным способом.

### Молочнокислородное брожение

Большинство живых организмов на Земле различного уровня сложности использует в своей жизнедеятельности кислород, который участвует в процессе трансформации пищи в энергию, необходимую для реализации всех прочих жизненных функций живой клетки. Сложный комплекс биохимических процессов переработки питательных веществ (углеводов, жиров) в энергетические эквиваленты с участием кислорода называется клеточным дыханием. Однако на ранних этапах эволюции живой материи кислорода на планете было относительно мало, поэтому организмы выработали альтернативный способ метаболизма питательных веществ, при котором кислород в процесс вообще не

вовлекается или вовлекается в меньших количествах. Такой способ превращения пищи в энергию носит название анаэробного дыхания или брожения. Для растений этот процесс реализуется с производством в качестве побочного продукта этилового спирта. Это так называемое спиртовое брожение.

У животных анаэробное дыхание приводит к производству молочной кислоты. В свою очередь, молочную кислоту как мономер можно полимеризовать с образованием полилактидов (PLA). На этом основано промышленное производство такого биополимера, как полимолочная кислота. Согласно нашей классификации, он является биопластиком группы 4в. Процесс полимеризации молочной кислоты в полимерный материал был запатентован компанией DuPont еще в 1954 году. Однако на тот момент клеточные технологии не позволяли реализовать наработку мономера, а получать его из углеводородного сырья (что возможно) было бессмысленно при наличии более дешевых альтернатив вроде полистирола.

Технологически процесс наработки мономера для PLA не столь сложен и затратен, как в случае с пластиками группы РНА, поскольку молочнокислородное брожение — относительно простой процесс, не требующий наличия живой клетки. В промышленности молочную кислоту получают брожением глюкозосодержащего сырья под действием вводимых в процесс ферментов, эквивалентных тем, что осуществляют аналогичный процесс в живых организмах. Собственно, отсутствие в промышленной технологии составляющей, связанной с клеточными культурами, и возможность построения непрерывного производства сильно снижают себестоимость молочной кислоты и ее полимера. Поэтому PLA пока является самым дешевым биопластиком из группы 4. Однако конкурировать по издержкам с обычными нефтехимическими полимерами PLA может лишь в отдельных регионах мира (например, США или Бразилия), где стоимость сахаросодержащего сырья ниже за счет индустрии биоэтанола.

Собственно, перспективы сокращения издержек при производстве полимолочной кислоты абсолютно созвучны таковым в отрасли биоэтанола: это переход на так называемые технологии второго поколения, которые давали бы возможность за счет ферментативных/бактериальных подходов вовлекать в получение глюкозы более дешевое исходное сырье, содержащее не крахмал, а целлюлозу. Это позволит перейти на использование, например, сена, ботвы, отходов зернообработки, древесины (рис. 2).

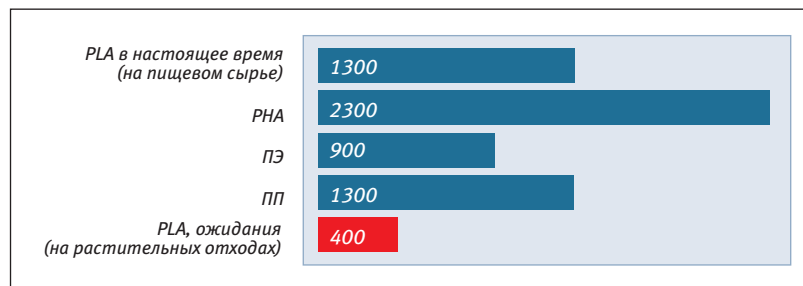


### Аддитивы для биodeградации

Одним из возможных путей добиться от традиционного полимера частичных свойств биodeградации является использование специальных аддитивов, вводимых в полимер на этапе экструзии, и провоцирующих его деполимеризацию под действием длительной экспозиции света и повышенной температуры. При этом длинные полимерные цепочки распадаются на более короткие, а пластмассовое изделие тоже как бы рассыпается.

Предположения о его дальнейшем биоразложении основаны на том, что мелким частицам полимера куда проще деградировать под действием агрессивных условий среды (кислород как окислитель, влага), в частности впитать воду («набухнуть»), а в набухшем полимере могут расселиться микроорганизмы, которые будут в состоянии его поедать. Полимеры с такими добавками мы отнесли к группе 2б. Проблема аддитивов такого типа в том, что они не должны разрушать полимер в период его полезной эксплуатации (в том числе на свету и опять-таки при длительном использовании), а «включаться», лишь когда он окажется в природной среде. Это существенная сложность. Несмотря на то, что на рынке подобных добавок достаточно много, эффективность далеко не всех из них доказана в реальных условиях захоронения пластикового мусора. Сроки биodeградации традиционных пластиков составляют от девяти месяцев до пяти и более лет. Чаще всего такие добавки используются при производстве ПЭТ-бутылок, сельскохозяйственных пленок, одноразовой упаковки. Свойства биоразлагаемых пластиков очень разнообразны и определяют преимущественные направления их использования.

Важнейшим эксплуатационным параметром всех полимерных материалов вне зависимости от происхождения является характерная эксплуатационная температура, то есть тот температурный предел, до которого механические и реологические (характеризующие вязкость) свойства пластика позволяют ему исполнять свое функциональное назначение в том или ином изделии. В «традиционной» углеводородной нефтехимии параметр температуры эксплуатации является одним из целевых при создании новых материалов — чем выше эта температура, тем более технологичным считается полимер. Характеризовать по этому параметру все биополимеры невозможно — разброс очень широк. Однако можно отметить, что полимеры группы 4 (биоразлагаемые из возобновляемого сырья) в целом показывают более низкие ха-



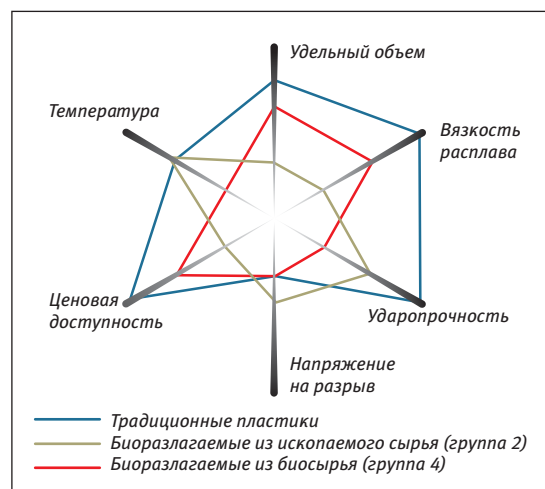
рактерные температуры, чем традиционные нефтехимические пластмассы, а полимеры группы 2 — более высокие.

Есть, впрочем, и исключения. Так, PGA (группа 2) начинает терять полезные механические свойства уже при температуре около 40°C, а ацетаты целлюлозы (группа 4а) сохраняют механические свойства вплоть до 100°C. С точки зрения технологий переработки биопластиков как термопластов важнейшими показателями являются плотность материала и минимальный характерный показатель текучести расплава (ПТР). Первый характеризует массу материала, которая требуется для формирования изделия с определенной объемной характеристикой, например, листа. Чем выше плотность, тем больше полимера нужно для изготовления детали. С этой точки зрения традиционные полимеры существенно выигрывают у биоразлагаемых, обладая плотностью на 30-50% ниже.

ПТР в целом характеризует скорость истечения расплава полимера через узкие сечения при экструзии, например, волокон, пленок и т.п. Чем ниже ПТР, тем более вязким является расплав. Это требуется, в частности, для работы оборудования по экструзии пленок на высоких скоростях. Наоборот, для литья не нужна высокая вязкость расплава. Однако в индустрии упаковочных изделий все же более выгодным является более низкий ПТР. Здесь традиционные полимеры выигрывают. Это позволяет, например, изготавливать из них пленки значительно тоньше, чем из биопластиков. Что, кстати, тоже влияет на массовый расход материала. С точки зрения механических свойств традиционные пластики безусловно выигрывают у всех биоразлагаемых по такому параметру, как ударопрочность. В случае с биопластиками этот показатель компенсируется путем приготовления компаундов с теми же традицион-

Рисунок 2. Издержки при производстве PLA и PHA в сравнении с полиолефинами в США в 2012 году, долл./т (источник — «СИБУР»)

Рисунок 3. Качественное сопоставление основных свойств биоразлагаемых и традиционных пластиков (источник — RUPEC)





	Полимеры	Области применения
Группа 2	PCL	Хирургические иглы, имплантируемые резервуары для препаратов, материал для реконструкции тканей, выращивание органов, пломбирование зубных каналов; компаунд для крахмала
	PBS	Упаковка, в том числе для агрохимии, фармацевтики; посуда, сельскохозяйственные пленки
	PBAT	Пищевая упаковка, выращивание органов
	PGA	Компаунд для PLA; шовный материал и иглы, конструкции для остеосинтеза, штифты, имплантируемые резервуары
	PVAL	Компаунд для крахмала, клеевые основы, текстильная промышленность
Группа 4	Крахмал и композиты	Пленки для сельского хозяйства, одноразовая посуда, упаковка, в том числе пакеты
	PHA	Шовные материалы, катетерные иглы, имплантируемые изделия, капсулы для препаратов; парфюмерия
	PLA	Упаковка, в том числе пакеты, одноразовая посуда, бутылки для пищевых продуктов, игрушки

**Таблица 1. Сферы применения биоразлагаемых пластиков (источник — RUPEC)**

ными пластиками, полиэфирами группы 2 или инертными наполнителями. Что касается прочности на разрыв, то она примерно одинакова как у классических пластиков, так и у биоразлагаемых. Небольшое преимущество здесь у биоразлагаемых полиэфигов (рис. 3).

Еще один важный интегрированный показатель — барьерные свойства, то есть способность тонкого слоя полимера препятствовать диффузии сквозь него газов и паров воды. Обычные полимеры, применяемые для пленок, например, полипропилен, обладают прекрасными барьерными свойствами. У биопластиков не все однозначно. Например, бутылки из PLA допускают диффузию CO<sub>2</sub>, поэтому не подходят для газированных напитков; сополимеры типа PBAT пропускают в два раза меньше кислорода, чем линейный полиэтилен, зато в 100 раз больше паров воды.

По комплексу свойств биоразлагаемые пластики в целом мало пригодны для изготовления деталей, испытывающих ударные нагрузки и вообще эксплуатируемых под напряжением. В то же время они хорошо подходят для изготовления, например, пленок и упаковки. Вообще исторически одним из самых первых применений биоразлагаемых полимеров, актуальным и сейчас, стали пленки для сельского хозяйства, где они используются в основном для мульчирования — создания своего рода экрана между почвой и воздухом. Раньше для мульчирования использовали всевозможные органические отходы — солому, бумагу, торф, песок. Биоразлагаемые пленки как нельзя лучше соответствуют этим целям: их удобнее раскладывать, этот процесс поддается механизации, а материал со временем исчезает сам. Никаких особых прочностных характеристик таким пленкам не нужно.

Экструзия пленок — основное направление переработки биоразлагаемых полимеров группы 4 (табл. 1). Исключение — полигидроксиалканоаты (группа 4б), которые достаточно дороги для продукции массового спроса с коротким периодом эксплуатации.

Что касается собственно биодegradации, то и это свойство проявляется у различных материалов по-разному. Разрушение полимерных молекул может идти двумя путями: физико-химическим, путем гидролиза под действием кислотных или щелочных сред, либо под действием бактериальных и грибковых культур, которые осуществляют ферментативное разложение полимеров. Скорости биодegradации путем гидролиза, как правило, ниже, чем под воздействием микроорганизмов. Некоторые полимеры (PCL), не будучи помещенными в компостную среду (где присутствуют бактерии), разлагаются очень долго — от двух до четырех лет. Для полимеров группы 4 типовой скоростью биоразложения в условиях повышенной температуры, слегка щелочной среды и бактериальной активности (то есть компост) является диапазон от 7 до 10 недель. Однако эти цифры в значительной мере условны.

В некоторых экспериментах по разложению материалов в почвах компаунды на основе PLA и крахмала по скорости разложения сильно уступали PBAT. Сельскохозяйственная пленка из чистой PLA в песчаной почве за 35 недель теряла только 14% веса. Этот пример показывает, насколько велика роль конкретных условий для реализации биологической дegradации материалов. Главное, что нужно знать про биоразлагаемые пластики в этом аспекте, — их способность к биоразложению полностью зависит от условий их размещения в качестве отходов.

*Продолжение в следующем номере.*

### Bioplastics: Prospects in Russia

Andrey Kostin

In 2014 Russian government introduced its initiative for gradual shift from conventional plastics applied in food packaging to biodegradable materials. Namely the plan suggest to repeat the path of global petrochemical industry which took several decades in just three years with neither scientific or production foundation nor significant state support and to become a leader in bioplastics consumption. The risks involved in the plan are clearly visible and returns which the state expects to get from forced introduction of bioplastics are rather mysterious.



фото BASF