

Государственное бюджетное нетиповое образовательное учреждение
«Санкт-Петербургский государственный дворец творчества юных»
Эколого-биологический центр «Крестовский остров»

Исследовательская работа:

«Разработка технологии производства биопластика на основе кожуры
апельсина»

Выполнила: Малахова Софья Александровна, 11 класс
Детское объединение: Лаборатория аналитической химии

Руководитель: заведующий лабораторией

ЭБЦ «Крестовский остров»

Ширяев Валерий Алексеевич

Санкт-Петербург

2023-2024 гг.

Оглавление

Введение.....	3
1. Литературный обзор.....	5
1.1 Пищевые отходы.....	5
1.2 Пластиковые отходы.....	5
1.3 Отходы от пластиковой посуды.....	6
1.4 Биопластик на рынке исследований.....	7
1.5 Биопластик в России.....	7
1.6 Кожура фруктов – новое сырье для производства биопластика.....	8
1.7 Сокопроизводства, как основной источник кожуры цитрусовых фруктов.....	8
1.8 Почему биопластик должен заменить обычный пластик?.....	10
1.9 Продукция из биоразлагаемого сырья, представленная на рынке.....	11
1.10 Заключение к литературному обзору.....	12
2. Материалы и методы.....	13
2.1 Объекты исследования.....	13
2.2 Подбор оптимальных режимов сушки.....	13
2.3 Определение устойчивости полученного биопластика к воздействию кислот и щелочей разной концентрацией.....	13
2.4 Определение степени водопоглощения биопластика.....	14
2.5 Определение степени излома биопластика.....	15
3. Результаты и обсуждения.....	16
3.1 Технология производства биопластика на основе кожуры апельсина.. 16	
3.2 Подбор оптимального режима сушки.....	17
3.3 Определение устойчивости полученного биопластика к воздействию кислот и щелочей разной концентрацией.....	18
3.5 Определение степени излома биопластика.....	20
4. Выводы.....	21
Список литературы.....	23
Приложение.....	26

Введение

С каждым годом население Земли увеличивается, вместе с ним растет и количество проблем, которые могут усложнить существование человека на планете. К глобальным проблемам человечества относятся проблема мира и разоружения (предотвращение новой мировой войны), экологическая, демографическая, энергетическая, сырьевая, продовольственная и проблема использование мирового океана, мирное освоения космоса, а также проблема преодоление отсталости развивающихся стран. Одной из наиболее острых проблем является экологическая, а именно загрязнение окружающей среды.

К основным загрязнителям окружающей среды относят небiorазлагаемые отходы человека. Например, пластик или резина, то есть полимеры, полученные в лаборатории химическим путем.

Для того чтобы снизить вред, оказываемый на биосферу, ученые начали находить альтернативы небiorазлагающимся продуктам и разрабатывать новые биоматериалы. Одним из таких стал биопластик.

Биопластики - это биоразлагаемые материалы, полученные из природных ресурсов. В отличие от пластмасс на основе ископаемого топлива, они способны поддаваться биологическому разложению. Таким образом, пластики на биологической основе относительно менее вредны для окружающей среды. Биопластики на основе целлюлозы и крахмала уже используются в таких областях, как упаковка или производства обихода для дома. Однако их стоимость и эксплуатационные характеристики не могут сравниться с обычными пластмассами.

Также существуют биопластики на основе пищевых отходов. Стоимость их производства и использования ниже, чем у биопластиков на основе крахмала и целлюлозы.

В качестве основного сырья для биопластика предлагается использовать кожуру апельсина. Доступность и низкая цена отходов этого фрукта является одним из ключевых факторов выбора материала для создания биоразлагаемого продукта.

Актуальность представленной работы состоит в том, что полученный материал и исследования над ним являются еще одним шагом к решению экологических проблем, связанных с пластиковыми и пищевыми отходами.

Целью проекта является разработать технологию производства биопластика на основе кожуры апельсинов.

Для решения поставленной цели были выдвинуты следующие задачи:

1. Подобрать оптимальные режимы обработки сырья
2. Подобрать оптимальные режимы сушки материала на последнем этапе производства
3. Определить физико-химические показатели полученного биопластика

Перед началом работы было высказано предположение, что возможно разработать технологию производства биопластика на основе использования кожуры апельсина, который будет обладать свойствами, аналогичными или превосходящими свойства традиционных пластиков, при этом обладая преимуществами в виде экологической безопасности, экономической эффективности и доступности сырья.

Исследование проводилось на базе лаборатории аналитической химии государственного бюджетного нетипового образовательного учреждения «Санкт-Петербургского городского Дворца творчества юных» Эколого-биологического центра "Крестовский остров". Сроки проведения исследования - 9 месяцев.

1. Литературный обзор

В настоящее время существует ряд проблем, которые негативно влияют на экосистему нашей планеты. В статье Erth.Org «15 Biggest Environmental Problems» от 24 июня 2023 были выделены одни из самых масштабных и серьезных: глобальное потепление из-за ископаемого топлива, плохое управление (неспособность высших органов власти влиять на работу предприятий, которые загрязняют окружающую среду), пищевые отходы, утрата биоразнообразия, загрязнения пластиком, вырубка леса, загрязнение воздуха, таяние ледников, подкисление океана, агрономия, отсутствие безопасности в области продовольствия и воды, быстрая мода и текстильные отходы, чрезмерный отлов рыбы, добыча кобальта и деградация почв [1]. В первую пятерку вошли проблемы, связанные с пищевыми отходами и пластиком, это означает, что угроза, которую они несут, пагубно влияет на состояние окружающей среды.

1.1 Пищевые отходы

Было подсчитано, что одна треть от всего количества продуктов питания, предназначенная для потребления человеком, выбрасывается впустую или теряется безвозвратно. Из этого числа выделяют два типа пищевых отходов. Первый связан с потерей продуктов на этапе производства, второй с людьми, которые сами выбрасывают еду по своим причинам. Такое отношение с продуктами влияет на процент парникового газа выбрасываемое предприятиями, а именно 8% от всего количества [2].

Также было подсчитано, что из 56-72 миллиардов тонн продуктов питания, которые ежегодно выбрасываются в мусор, большая часть вполне съедобна и питательна [3].

1.2 Пластиковые отходы

Пластиковые отходы - это накопления пластиковых предметов в окружающей среде Земли, которое отрицательно влияет на природу, среду обитания диких животных и людей [4]. Пластик содержится в изделиях, таких как одноразовые подгузники, мешки для мусора, чашки, посуда, медицинские приборы и предметы домашнего обихода [5].

Пластиковые отходы опасны тем, что негативно сказываются на состоянии окружающей среды довольно продолжительное время. Ученые подсчитали, что пластики разлагаются десятилетиями [6].

На рисунке 1 представлены данные, отражающие сроки разложения разных пластиковых отходов. Самый большой период разложения, 500 лет. Самый маленький период разложения 20 лет, у пластикового пакета. Важно отметить, что короткий срок разложения полиэтиленового пакета относительно других не делает его экологичным, потому что время распада все равно большое.

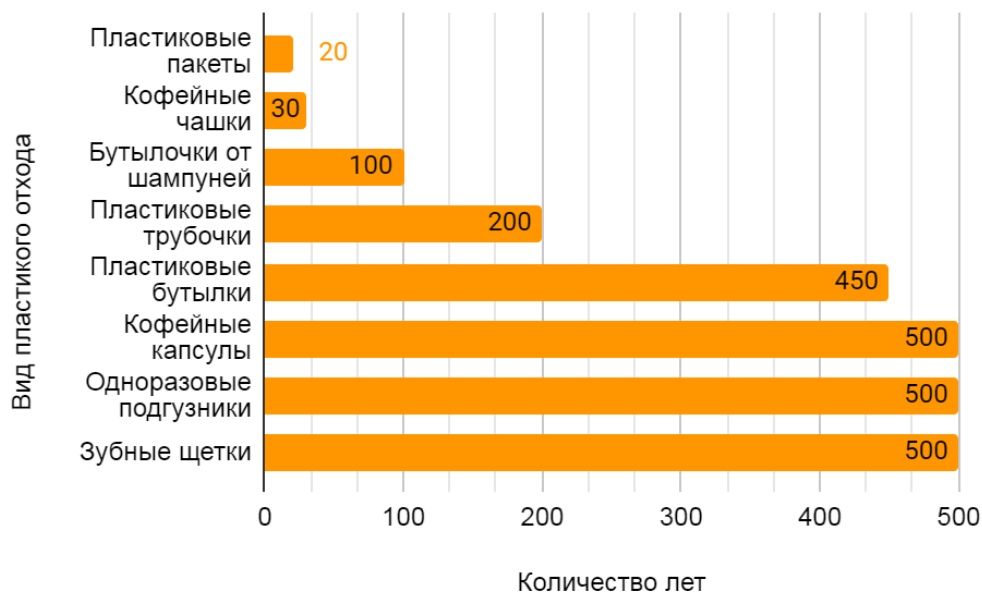


Рис.1 - Время разложение пластиковых отходов

Большое количество свалок с неперерабатываемым пластиком можно найти в лесах, горах, пляжах и других местностях. Однако наибольшее количество пластиковых отходов оказывается в океане, примерно 8 миллионов тонн пластика ежегодно [7].

Пластиковые отходы вредят не только, состоянию воды и почвы, но и животным. Миллионы зверей, птиц, рыб и других морских обитателей погибают из-за пластика.

Также существует микропластик. Микропластиком считают любые синтетические твердые частицы разной формы и размером от 1 мкм до 5 мм, первичного или вторичного производственного происхождения, которые нерастворимы в воде [8]. Ученые находят микропластик: в рыбе, креветках и мидиях, которые потом оказываются у людей на тарелках [7].

1.3 Отходы от пластиковой посуды

На долю всех пластиковых отходов приходится отходы от пластиковой посуды. Именно к пластиковой посуде в последнее время приковано большое внимание экологов.

С ростом населения, с быстрым развитием воздушного и наземного транспорта - самолетов и поездов - количество пластиковых отходов, оставшиеся после приемов пищи, увеличивается. Например, согласно статистике Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA), в 2018 году во время полетов по всему миру было произведено 6,1 млн тонн пластиковых отходов, что составляет около 2% общемировых пластиковых отходов [9]. Чтобы уменьшить количество отходов, авиакомпаниям предлагается заменить пластиковую посуду на биоразлагаемую или многоразовую.

1.4 Биопластик на рынке исследований

Биопластик - это биоразлагаемый материал, получаемый из возобновляемых источников и использующийся для уменьшения проблемы пластиковых отходов [10]. На рынке исследований биопластик уже существует - европейский стандарт EN 13432 и ему идентичный отечественный ГОСТ Р 54530-2011. Этот материал подразумевает то, что он будет разлагаться в компосте не более чем шесть месяцев. Однако данное сырье имеет свои условия для разложения, и оно не решает одну из глобальных проблем – микропластик в воде, наоборот такой продукт может присоединиться к списку тех, которые вредят экологии, в связи с тем, что он ресурсно затратный в производстве, а также не подлежит повторной переработки [11].

В настоящее время ученые ищут новые способы, методы и компоненты для создания биоразлагаемой продукции (преимущественно пакетов), которые будут уменьшать сроки разложения и вред. Выделяют три альтернативы небiorазлагающимся полимерам в качестве добавок при изготовлении упаковки. Первое, крахмал, полимолочные кислоты, целлюлозы и другие, как основное сырье для разлагаемого пластика. Второе, добавление разлагаемых полимеров в уже существующую пластиковую продукцию. Третье, создание пластиков с оксобиоразлагаемыми добавками, где главным катализатором является кислород.

Также сейчас ведутся исследования с материалами чисто на основе крахмала и целлюлозы, которые в природе будут разлагаться легче при помощи микроорганизмов и физического воздействия. Технологиями синтеза активно занимаются в странах Европы и в США. Также создается биоразлагаемая продукция, в основе которой находится кукуруза или картофель, водоросли или касторовое масло, известняковых пород камня или молочной сыворотки.

Если смотреть на цифры, то биопластики составляют примерно 1 % от 335 миллионов тонн пластика, производимых каждый год [11].

1.5 Биопластик в России

Большее количество исследований, технологий синтеза и производств биоразлагаемой продукции происходит преимущественно в США и Европе. В России также ведутся работы по созданию разлагаемого пластика, но это происходит в не таком большом количестве. Например, ученые РЭУ им. Г.В. Плеханова испытывают технологию производства биопластика из разных видов отходов сельского хозяйства, к которым относятся половы пшеницы и лузги подсолнечника [12]. Также непосредственное внедрение биоразлагаемой продукции более развито в странах Европы, США, а также в странах Индонезии. В России же, несмотря на уже существующие разработки, переход на биоразлагаемую упаковку находится на начальном этапе [13]. Чаще всего под

«экологической упаковкой» подразумеваются бумажные и джутовые пакеты, пластиковые пакеты с фрагментирующими добавками и многоразовые сумки, но и с этими образцами есть проблемы, связанные со стоимостью их производства и отходами после него, со стоимостью в магазинах (не все люди готовы покупать дорогой бумажный пакет).

1.6 Кожура фруктов – новое сырье для производства биопластика

Ненадлежащее обращение с органическими отходами, к которым относятся овощи и фрукты, приводит к увеличению количества свалок, появлению вредоносных бактерий и организмов и выбросу большого количества парникового газа. Чтобы бороться с данной экологической проблемой, ученые по всему миру придумывают альтернативные методы справляться с, казалось бы на первый взгляд, ненужными отходами.

Особый интерес представляет кожура цитрусовых фруктов, к числу которых относятся апельсин, лимон, мандарин и грейпфрут. Сельскохозяйственные отходы, содержащие пектин, может стать неплохой альтернативой обычному полиэтилену. Такая замена поможет снизить углеродный след пластиковых бутылок примерно на 50% [14].

Что касается исследований и разработок, то они есть, однако их очень мало, и происходит все локально. Это значит, что нет массовых производств и массового потребителя. Также все работы в данной области преимущественно проходят за рубежом.

К особо интересным относится решение итальянской студии «Carlo Ratti Associati» разработать машину, которая будет делать стаканы из кожуры апельсинов с помощью 3D-принтера. Была создана специальная соковыжималка, которая способна добывать сок и из отхода – кожуры – сделать емкость для жидкости. Такое изобретение служит примером экономики замкнутого цикла [15].

Также 3D-принтер, кожуру апельсина, а также кофе решили использовать в Институте передовой архитектуры Каталонии (IAAC). Первые отчеты и разработки уже есть, но исследование продолжается [16].

Существуют исследования, которые произвели биопластик из кожуры апельсина, но уже без использования 3D-принтера. Например, индийские ученые произвели ряд опытов и сделали образцы биоразлагаемого материала [17].

1.7 Сокопроизводства, как основной источник кожуры цитрусовых фруктов

Главным источником апельсиновой кожуры являются заводы по производству апельсинового сока. Было подсчитано, что около 40% от всех цитрусовых, в основном апельсинов, уходит на производство соков. Это в свою очередь означает, что после получения желаемого продукта остается в общей сложности 24,3 миллиона тонн отходов в год, в основном состоящих из кожуры, семян и мякоти апельсинов [18]. Такое число

отходов негативно влияет на состояние экологии.

Чтобы получать кожуру апельсинов с сокопроизводств, нужно понимать, на каком этапе производства сока получается эта кожура.

Технологический процесс апельсинового сока (Рис.2.) [19]:

1. Сбор урожая. Когда зрелые плоды готовы к сбору, отправляется бригада сборщиков, чтобы снять плоды с деревьев. Собранные фрукты отправляются в упаковочные центры, где их упаковывают в коробки для продажи целыми фруктами или отправляют на заводы по переработке сока.

2. Очистка/сортировка. Прежде чем использовать плоды, их необходимо осмотреть и оценить по сортам. Инспектор отбирает образец весом 18 кг для анализа, чтобы убедиться, что плод соответствует требованиям зрелости для переработки. Затем сертифицированные фрукты транспортируются по конвейерной ленте, где их промывают, пропуская через роликовые щетки.

Уже на втором этапе могут появиться отходы, которые могут стать сырьем для биопластика.

3. Экстракция (выжимка сока). Существует два автоматизированных метода экстракции. Первый помещает плод между двумя металлическими чашечками с заостренными металлическими трубочками у их основания. Верхняя чашечка опускается, и пальцы на каждой чашечке сжимаются, чтобы выдавить сок, поскольку трубочки прорезают отверстия в верхней и нижней частях фруктов. При втором способе экстракции апельсины разрезают пополам перед удалением сока. Фрукты нарезаются по мере их прохождения стационарным ножом, а затем половинки подхватываются резиновыми присосками и перемещаются по пластиковым зубчатым расширителям. Вращающиеся расширители выдавливают сок по мере того, как половинки апельсина перемещаются по конвейерной линии.

Именно на третьем этапе производства получается основное количество отходов кожуры апельсинов.

4. Фильтрация. Извлеченный сок фильтруется через сито, прежде чем он будет готов к следующему этапу.

5. Концентрация. Концентрирование полезно, поскольку оно продлевает срок годности сока и делает хранение и транспортировку более экономичными.

6. Восстановление. Концентрат отбирается из нескольких партий для хранения и смешивается с водой для достижения желаемого соотношения сахара и кислоты, цвета и аромата.

7. Пастеризация. Для замедления порчи требуется пастеризация. Пастеризация инактивирует определенные ферменты, которые заставляют мякоть отделяться от сока, в результате чего получается напиток, нежелательный с эстетической точки зрения.

8. Упаковка. Для обеспечения стерильности пастеризованный сок следует разливать еще горячим. После наполнения упаковок контейнеры с соком охлаждаются. Апельсиновый сок, упакованный должным образом, имеет срок годности 6-8 месяцев при комнатной температуре.

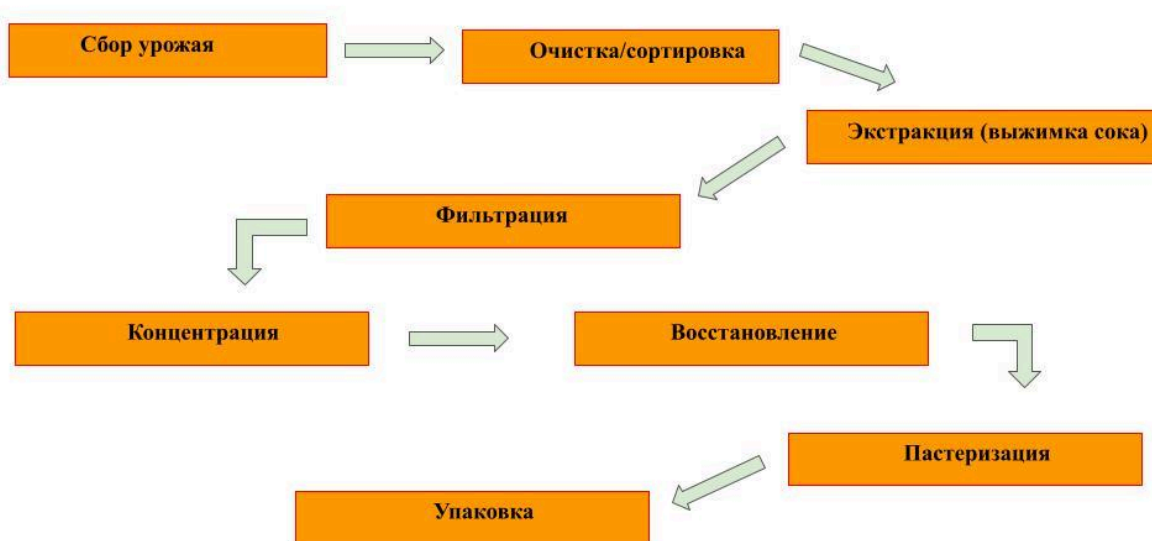


Рис.2 - Технологический процесс апельсинового сока

1.8 Почему биопластик должен заменить обычный пластик?

На протяжении долгого времени ведется множество дискуссий об эффективности и нужности продуктов, сделанных из биопластика. Несмотря на противоречия, большое количество ученых сходится во мнении, что у биоразлагаемых вещей больше пользы, чем вреда. Например, заслуженный профессор Мичиганского университета (MSU) Рамани Нараян обращает внимание на то, что ресурсы, из которых получается разлагаемый продукт, являются возобновляемыми и использование биопластика поможет сократить углеродный след [20].

Если подробно останавливаться на такой теме, как углеродный след, то отмечается, что это явление – один из катализаторов глобального потепления. Сам по себе углеродный след – это количество углекислого газа, выделяемого в результате повседневной деятельности - от стирки белья до перевозки детей в школу [21]. Существует и другое определение: углеродный след - метод оценки общего объема выбросов парниковых газов в углеродных эквивалентах от продукта на протяжении всего его жизненного цикла - от производства сырья, используемого при его изготовлении, до утилизации готового продукта (исключая выбросы при использовании) [21]. Газы могут выделяться при сжигании ископаемого топлива, расчистке земель, при производстве и потреблении продуктов питания, промышленных товаров, транспорта и других услуг. Углекислый газ (CO₂), метан (CH₄) и закись азота (N₂O) - эти газы лишь несколько примеров, относящиеся к парниковым газам [22].

Также был проведен ряд анализов, который доказывал, что переработанные и биоразлагаемые материалы могут уменьшить выброс парникового газа, то есть, сократить углеродный след. Ученые сравнивали образцы небiorазлагаемого и биоразлагаемого полимера, а именно этапы

производства и разложении. Далее, основываясь на данные, были сделаны выводы о влиянии биоразлагаемых полимеров на углеродный след [23].

Существуют исследовательские работы, которые вырабатывают стратегии по сокращению глобального углеродного следа пластика. Например, калифорнийские исследователи Цзяцзя Чжан и Сангвон Су, проводя необходимые работы, пришли к выводу о том, что абсолютное сокращение выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла пластика требует сочетания декарбонизации энергетической инфраструктуры, улучшения возможностей переработки, внедрения пластмасс на биологической основе [24].

1.9 Продукция из биоразлагаемого сырья, представленная на рынке

В настоящее время существуют небольшое количество компаний, которые производят продукцию из биоразлагаемого сырья. Также множество эоактивистов призывают использовать вещи, созданные из экопродуктов. Например, бамбук, который является быстро возобновляемым ресурсом. Из бамбука изготавливают посуду и столовые приборы (Рис.3а). Также существуют продукты из пробкового материала (сумки и подстаканники). Создаются пакеты на основе биопластичных полимеров Тира. Вещи, произведенные из мицелия, тоже представлены на рынке (Рис.3б). Не стоит забывать и о природных волокнах: производство постельного белья из шелка, льна и конопли. Существуют изделия из джута и конечно же из дерева (Рис.3с). Столовую продукцию также делают из пальмовых листьев Ареки и косточек авокадо (Рис.3d). Также производят предметы одежды из клещевины и кожуры банана, упаковки из сахара и зубных щеток из кокоса (Рис.3f) [25].



Рис.3 - Продукция из биоразлагаемого сырья: а) Столовые приборы из бамбука, б) Люстры из мицелия, с) Изделие из джута d) Посуда из косточек авокадо e) Продукция на основе кокоса

1.10 Заключение к литературному обзору

Существует большое количество экологических проблем, в их число входят проблемы пищевых и пластиковых отходов. Было подсчитано, что несколько десятков миллиардов тонн продуктов питания, ежегодно выбрасываемых в мусор, пригодно для употребления. Пластиковые же отходы, оказывающиеся на различных свалках, влияют на состояние не только почвы и воды, но и животных.

К пластиковым отходам относятся отходы от одноразовой посуды. Со стремительным развитием воздушного и наземного транспорта - самолетов и поездов - количество пластиковых отходов, оставшиеся после приемов пищи, возрастает.

Анализируя состояние биопластика на рынке, можно сказать, что эксперименты по созданию биоразлагаемых материалов активно ведутся. Ученые сфокусированы на создание альтернативы различным пластикам, в основе которых будут содержаться вещества, способствующие быстрому и безвредному разложению.

Преимущественно разработками биоразлагаемых материалов занимаются исследователи из США и стран Европы. Однако в России тоже проводятся подобные эксперименты.

Основным сырьем для биоразлагаемого пластика предлагается взять кожуру апельсинов из-за своей доступности и дешевизне.

Биопластик является достойной заменой обычному пластику. Несмотря на противоречия, многие ученые сходятся во мнении, что биоразлагаемые материалы смогут улучшить состояние окружающей среды и уменьшить углеродный след.

2. Материалы и методы

2.1 Объекты исследования

Для эксперимента использовалась кожура апельсина, предварительно измельченная в кофемолке. Оценка степени измельченности проводилась согласно ГОСТ Р 52088-2003 Кофе натуральный жареный. Общие технические условия.

Для дальнейшего получения биопластика использовались: соляная кислота (HCl) с концентрацией 0,1Н, глицерин (C₃H₈O₃) и дистиллированная вода.

Исследование проводилось в несколько этапов. На начальном этапе проводился поиск научной литературы на предмет использования кожуры апельсина для создания биопластика. Далее нужно было разработать технологию производства биопластика на основе кожуры апельсина, в которую входит подбор оптимального режима сушки материала. На следующем этапе определялись физико - химические показатели, такие как: устойчивость к воздействию на материал кислот и щелочей разной концентрацией, водопоглощения, а также определение точки излома полученных образцов.

2.2 Подбор оптимальных режимов сушки

Подбор оптимального режима сушки проводился методом повторных экспериментов. Брели влажную массу будущего биопластика и раскатывали ее до разной толщины. Также подбирались условия сушки, то есть, как нужно сушить материал, чтобы сохранялись желаемые свойства. Сушка материалов проводилась при комнатной температуре ($\approx 22^{\circ}\text{C}$).

Критериями для отбора удачных и неудачных проб были упругость и наличие брака. Параметр упругость отвечает за способность материала возвращаться в изначальную форму после внешнего воздействия. Параметр брак отвечает за состояние образцов после сушки, то есть, появились ли трещины, сильные неровности или сгибы.

2.3 Определение устойчивости полученного биопластика к воздействию кислот и щелочей разной концентрацией

Определение устойчивости полученного биопластика к воздействию кислот и щелочей разной концентрацией проводится согласно методам эксперимента и анализа результатов.

В ходе проведения опыта были использованы растворы соляной кислоты (HCl) и гидроксида (NaOH) объемом 10 миллилитров в различной концентрации. В таблице 1 указаны общие сведения о веществах с их объемами и концентрацией.

Бралось 5 образцов биопластика массой 1 грамм, толщиной 1 миллиметр. Их помещали в растворы кислоты и щелочи с соответствующей концентрацией (Рис.4).

Анализ исследуемых проб проводился через 60 минут и 7 суток для получения наиболее выраженных сходств и различий.

Таблица 1 - Общие данные о проведение эксперимента

№ образца	Масса образца, г	Вещество	Концентрация, Н	Объем, мл
1	1	HCl	0.001	10
2	1	HCl	0.1	10
3	1	NaOH	10	10
4	1	NaOH	0.1	10
5	1	NaOH	0.001	10

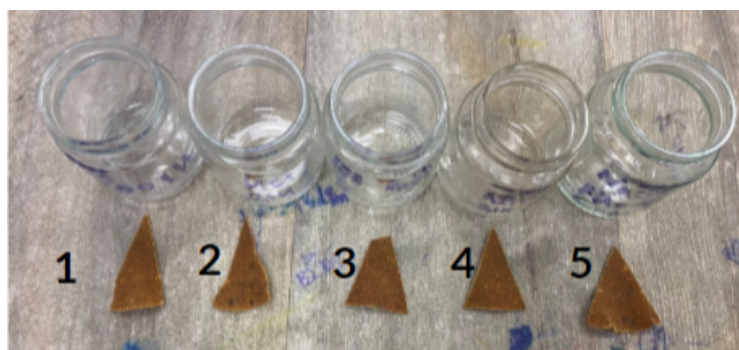


Рис.4 - Образцы биопластика (толщина 1 мм), взятые для эксперимента

2.4 Определение степени водопоглощение биопластика

Определение степени водопоглощение полученного биопластика был осуществлен посредством эксперимента. Брался образец биопластика массой примерно 1 грамм, размером 2 на 2 сантиметра, толщиной 3 миллиметра. В него постепенно добавляли определенное количество воды и смотрели, что будет происходить с исследуемый образцом.

Оформление общих результатов проводилось с помощью таблицы, в которой отображались начальная и конечная масса и размер образцов, количество добавленной воды, а также процент поглощенной воды (способности материала поглощать и удерживать воду при контакте с ней). Процент водопоглощения (W_m) вычислялся по формуле:

$$W_m = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100\%$$

где m_n - масса насыщенного водой материала (масса после добавления воды), г; m_c - масса сухого материала, г.

2.5 Определение степени излома биопластика

Определение степени излома проводилось на приборе TexturePro СТ V1.9 Build 35 от Brookfield Engineering Labs. Inc. (Приложение 3). Образец биопластика толщиной 3 миллиметра подвергали многократному воздействию путем давления индентора прибора диаметром 5 миллиметров на материал. Тест реологических параметров образца предполагает измерение усилия, необходимого для их деформации, в течение определенного периода времени. Этот процесс позволяет определить такие свойства материала, как твердость, эластичность и прочность.

2.6 Статистическая обработка

Статистическую обработку проводили для результатов определения водопоглощения.

Доверительный интервал рассчитывали по формуле:

$$\Delta_{\text{дов}} = \frac{t_{\alpha} * S_x}{\sqrt{n}}$$

где t_{α} – значение коэффициента Стьюдента для $\alpha=0,95$; S_x – среднее квадратичное отклонение; n – число измерений.

Среднее квадратичное отклонение считали по формуле:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

где x_i - единичное значение; \bar{x} - среднее значение; n – число измерений.

Эксперименты проводились в трехкратной повторности.

3. Результаты и обсуждения

3.1 Технология производства биопластика на основе кожуры апельсина

Первый этап заключался в подготовке сырья. Апельсины очищали от кожуры. Полученную кожуру помещали на противень и ставили в духовку на 120 минут при температуре 120°C. После высушенный продукт помещали в кофемолку и измельчали до состояния молотого кофе (массовая доля продукта, проходящего через сито с отверстиями диаметром 1,0 мм, %, не менее 80,0 (ГОСТ Р 52088-2003)). На втором этапе проводилась обработка сырья. Для создания одного образца биопластика бралось 30 грамм порошка из кожуры апельсина. Ее помещали в стакан и добавляли 3,6 миллилитров соляной кислоты (HCl) с концентрацией 0,1 Н, глицерин (C₃H₈O₃) объемом 2,4 миллилитра, а также 63 миллилитра дистиллированной воды. Полученная масса перемешивалась. Третий этап работы – сушка. Сначала шел подбор оптимального режима сушки сырья, потом проводилась сама сушка. Полученную после перемешивания смесь раскатывали до толщины 1 и 3 миллиметра. Раскатанный материал помещался между двумя сетками. Сушился биоматериал на протяжении 9 часов. На рисунке 5 схематично представлена технология производства биопластика на основе кожуры апельсина.

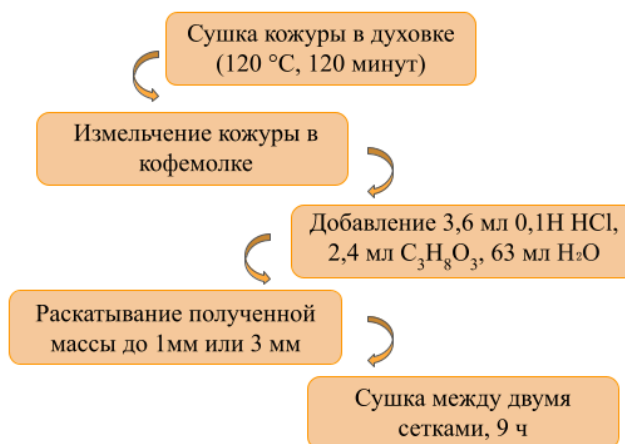


Рис.5 - Технология производства биопластика на основе кожуры апельсина

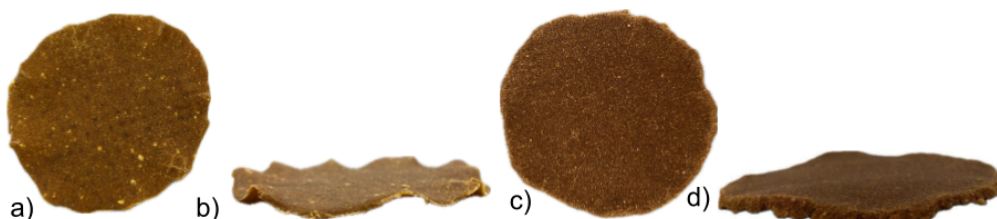


Рис.6 - Полученный биопластик: а) Биопластик толщиной 1 мм, вид сверху, б) Биопластик толщиной 1 мм, вид сбоку, с) Биопластик толщиной 3 мм, вид сверху, д) Биопластик толщиной 3 мм, вид сбоку

3.2 Подбор оптимального режима сушки

На рисунке 7 представлена диаграмма, отражающая результаты эксперимента по подбору оптимального режима сушки биопластика.

На горизонтальной оси расположена информация об образцах, полученных после сушки - их номер, режим сушки, а также их толщина.

На вертикальной оси отражены критерии по отбору образцов - цифра 1 отвечает за наличие упругости или брака, то есть «да» эти параметры есть, цифра 2 отвечает за отсутствие упругости или брака, то есть «нет» этих параметров нет.

Отбор подходящих образцов происходил, если выполнялись желаемые критерии для наименьшей толщины биопластика. Чтобы образец не треснул и остался твердым (неупругим), то его толщина должна быть 3 миллиметра. А для того, чтобы материал стал упругим и целым, толщина должна быть 1 миллиметр. В обоих случаях сушка биопластика должна проводиться между двумя сетками.

Для выявления точного режима сушки были проведены повторные эксперименты - для образца № 15 (повтор №16), образец №17 (повтор №18, №19).

Для ознакомления с внешним видом полученных 19 образцов биопластика см. Приложение 4.

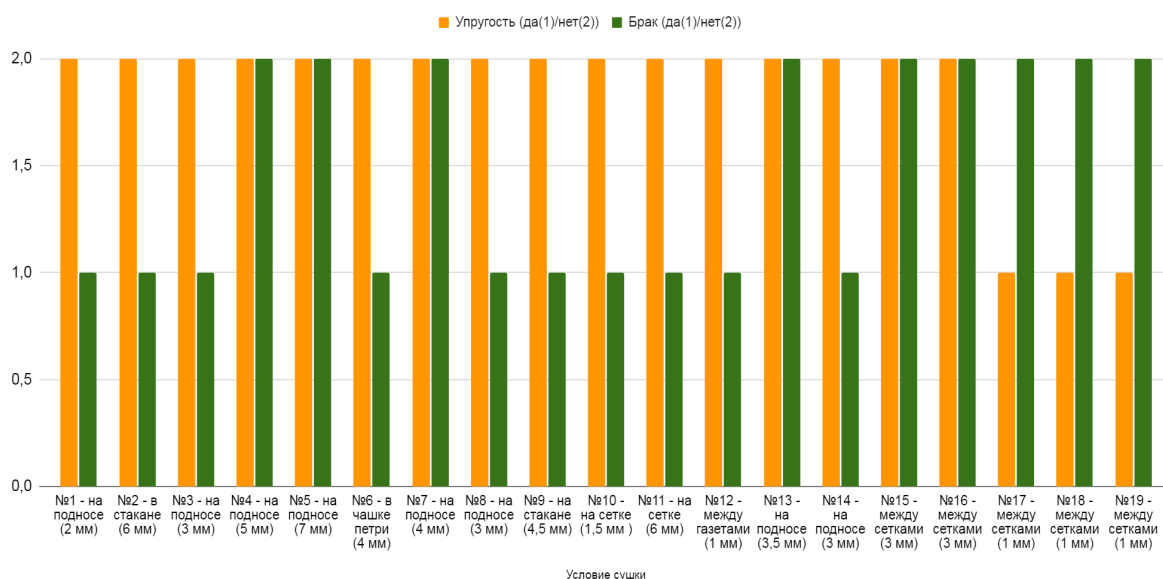


Рис.7 - Подбор оптимального режима сушки

Результаты по подбору оптимального режима сушки показали, что:

1. Сушка на подносе привела к появлению трещин и сгибов. Однако если образцу придать форму блюдца, то он остается цел (Образцы №7, №13).

2. Сушка на сетке, в и на стакане приводит к браку материала

(появление больших изгибов и трещин) (Образцы №2, №6, №9, №10, №11).

3. Сушка на газете не позволила образцу полностью высохнуть, образовались трещины (Образец №12).

4. Сушка между двумя сетками оказалась самым эффективным методом, который позволяет добиться полного высыхания, предотвратить деформацию, увеличить пластичность будущего биопластика (Образцы №15 (повтор №16), №17 (повтор №18 и №19)).

Таким образом, анализ диаграммы на рисунке 10 позволяет сделать вывод о том, что условия, при которых сушится биопластик, влияют на его дальнейшие характеристики.

Для проведения физико-химических анализов были взяты образцы №16 и №17, разной толщины. Такой выбор обусловлен тем, что биопластик той или иной толщины предлагается использовать для изготовления различных предметов. Так, образец №16, которой проверялся на степень водопоглощения и излома, предлагается использовать для изготовления подносов или подставок. Образец №17 толщиной 1 миллиметр, который проверялся на устойчивость к воздействию кислот и щелочей различной концентрации, предлагается использовать для изготовления держателей для кружек, декоративных изделий.

3.3 Определение устойчивости полученного биопластика к воздействию кислот и щелочей разной концентрацией

Анализ устойчивости биопластика к воздействию кислот и щелочей разной концентрацией на биопластике №17 показал следующие результаты.

По истечении 60 минут 4 из 5 образцов (образец №1, №2, №4, №5) впитали раствор и увеличились в размерах. Важно отметить и то, что ни один из образцов не подвергся полному разложению. Также через данный промежуток времени ни один из образцов не сломался при физическом воздействии (см. Приложение 1).

По истечении 7 суток 2 образца заплесневели (№2, №5). Образцы №1, №2, №5 можно было легко повредить при встряске. Образцы №3 и №4 хоть и подверглись влиянию среды раствора, однако сильно прочность не потеряли (см. Приложение 2) .

В заключение можно сказать, что если на биопластик попадает любая кислота или щелочь и остается на нем какое-то ограниченное количество времени, то сильных изменений в материале не произойдет, а также он будет способен вернуться в исходное состояние. Если же воздействие кислот и щелочей на биопластик будет более продолжительным, то его структура может подвергаться изменениям – заплесневеть, потерять прочность.

3.4 Определение степени водопоглощения биопластика

Основываясь на результаты таблицы 2, можно сделать вывод о влиянии воды на свойства биопластика (образец №16). В ходе эксперимента было обнаружено, что при попадании небольшого количества воды на материал, его свойства остаются практически неизменными. Однако, при увеличении объема воды, прочность пластика снижается. Это может быть связано с тем, что вода проникает в структуру материала и нарушает его целостность, что приводит к снижению прочности.

Процент водопоглощения показал, что биопластик способен поглощать и удерживать до 87,93% воды от своей массы.

Также в ходе эксперимента было выявлено, что биопластик способен поглотить до 67,79% (результаты, отделенные красной чертой) от своей массы и после высыхания сохранить свою структуру и свойства. Соответственно, если материал поглощает процент воды больше данного, то его структура будет нарушена безвозвратно, то есть биопластик не сможет вернуться в первоначальное состояние.

Таким образом, если на биопластик попадает до 67% воды от общей массы образца, то его структура практически не нарушается, то есть после высыхания все свойства сохраняются.

Таблица 2 - Результаты определения водопоглощения полученного биопластика

Масса образца до добавления воды, г	Размер до, см	Количество добавленной воды, мл	Масса образца после добавления воды, г	Размер после, см	Процент водопоглощения, %
0,58±0,013	2×2	0,01	0,68±0,04	2,5×2,5	17,24±0,03
		0,1	0,71±0,04		22,41±0,03
		0,5	0,78±0,04		34,48±0,03
		1	0,85±0,02		46,55±0,02
		2	0,95±0,01		63,79±0,01
		3	1,02±0,03		75,86±0,02
		3,5	1,03±0,01		77,58±0,01
		4	1,09±0,01		87,93±0,01
		5	1,09±0,01		87,93±0,01
		6	1,09±0,01		87,93±0,01

3.5 Определение степени излома биопластика

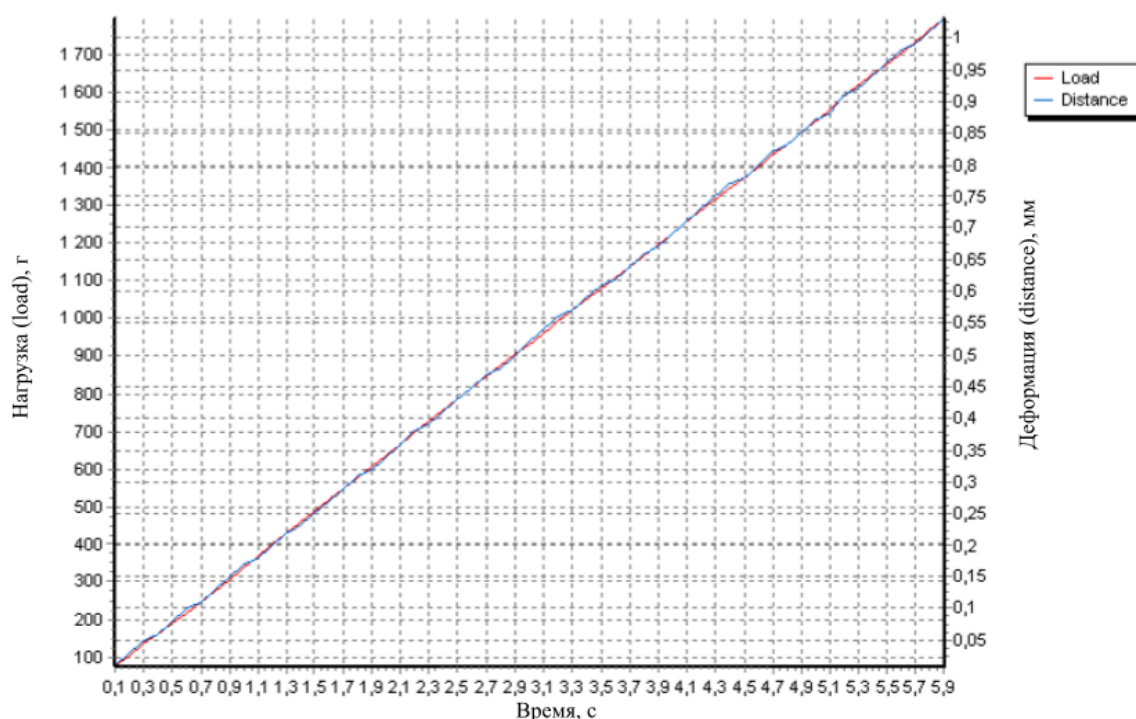


Рис.8- График определения точки излома биопластика

Анализируя график (Рис.8), полученный в результате теста биопластика толщиной 3 миллиметра на степень излома, можно сделать вывод о том, что материал способен выдерживать примерно 1800 грамм груза на протяжении 5,9 секунд, при этом сам образец деформируется только на 1,03 миллиметра.

Таким образом, биопластик способен выдерживать большую нагрузку, не потеряв своих физических качеств.

Также, во время теста прибор приходил в перегруз, то есть не мог сломать образец. Такой результат говорит о прочности полученного материала.

4. Выводы

Были подобраны оптимальные режимы обработки сырья. Сушка при температуре 120°C 120 минут способна быстро удалить влагу из кожуры апельсина.

Был установлен оптимальный режим сушки на последнем этапе производства. Раскатывание материала до толщины в 1-3 мм позволяет увеличить площадь его поверхности, что способствует более быстрому высыханию. Кроме того, сушка между двумя сетками создает равномерное давление на материал, что помогает сохранить его упругость при желаемой толщине и избежать сильные внешние изменения.

В ходе исследования были изучены физико-химические свойства биопластика:

1.Материал толщиной 1 миллиметр оказался устойчив к действию кислоты и щелочи с концентрацией 0.1 Н и 10 Н соответственно, после 60 минут и 7 суток он мог вернуться в исходное состояние, однако при воздействии этих же веществ в более низких концентрациях материал терял свои характеристики, подвергался разрушению при внешнем воздействии. Также при длительном нахождении биоматериала в растворах кислот и щелочей малой концентрацией, он может покрыться плесневыми грибами.

2.Результаты эксперимента, проведенного для определения водопоглощения материала толщиной 3 миллиметра, показали, что при попадании до 67% воды от общей массы биопластика, свойства материала не изменяются. В обычных условиях такое свойство материала обеспечивает его устойчивость к воздействию воды, сохраняя при этом все необходимые физические характеристики.

3.Результаты по определению степени излома биопластика толщиной 3 миллиметра показали, что материал является достаточно прочным, потому что способен выдержать нагрузку в 1800 грамм. Соответственно, наличие данной характеристики позволяют рассмотреть биопластик, в качестве материала для изготовления подносов и подставок.

Заключение

В работе был рассмотрен процесс производства биопластика на основе кожуры апельсина, а также его свойства. В перспективе планируется продолжение работы в данном направлении: проведение экспериментов, касающиеся разложения биопластика. Также будут проводиться эксперименты, направленные на создание рецептуры для производства биопластика из других citrusовых фруктов. Будет проводиться и разработка возможных декоративных изделий, состоящие из биопластика.

Стоит подчеркнуть, что имеется большое количество потенциальных сфер применения полученного биопластика, таких как изготовление декоративных предметов, упаковка товаров, производство одноразовых столовых приборов и создание композитов. Также биоматериал может подойти под технологические процессы на производствах, так как он является достаточно прочным.

Дальнейшее развитие технологий и увеличение спроса на эко-дружественные материалы могут способствовать расширению применения биопластика на основе апельсиновой кожуры и решению проблемы утилизации отходов. Это, в свою очередь, будет иметь положительный эффект на окружающую среду, сокращая выбросы парниковых газов и снижая зависимость от невозобновляемых источников энергии.

Список литературы

1. 15 Biggest Environmental Problems of 2023 [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2023 - URL: <https://earth.org/the-biggest-environmental-problems-of-our-lifetime/> (дата обращения: 15.08.2023).
2. How Does Food Waste Affect the Environment? [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2022 - URL: <https://earth.org/how-does-food-waste-affect-the-environment/> / (дата обращения: 15.08.2023).
3. The problem of food waste [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2023 - URL: <https://foodprint.org/issues/the-problem-of-food-waste/> / (дата обращения: 15.08.2023).
4. Plastic waste – everything you need to know [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2020 - URL: <https://cleanstreets.westminster.gov.uk/plastic-waste-complete-guide/#1> / (дата обращения: 27.08.2023).
5. Examples of plastic waste [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2022 - URL: <https://virtualpsychcentre.com/examples-of-plastic-waste/> / (дата обращения: 27.08.2023).
6. How long does it take for plastic to decompose? [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2021 - URL: <https://theearthlingco.com/blogs/news/how-long-does-it-take-for-plastic-to-decompose/> (дата обращения: 27.08.2023).
7. The world's plastic pollution crisis explained [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2019 - URL: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/plastic-pollution/> / (дата обращения: 15.08.2023).
8. Frias J. P. G. L., Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition//Marine pollution bulletin. – 2019. – V. 138. – P. 145-147.
9. Wei F. et al. Revealing the feasibility and environmental benefits of replacing disposable plastic tableware in aviation catering: An AHP-LCA integrated study //Resources, Conservation and Recycling. – 2022. – V. 187. – P. 106615.
10. What are bioplastics? [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2022 - URL: https://www.activesustainability.com/environment/what-are-bioplastics/?_adin=1711376407 / (дата обращения: 27.08.2023).
11. Часть вторая. Все о биоразлагаемых пластиках. Мировой рынок биополимеров – 2019. [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2019-2020 - URL: <https://ect-center.com/blog/biodegradable-polymers/> / (дата обращения: 15.08.2023).
12. В России изобрели биоразлагаемый полиэтилен [Электронный ресурс]: новостной портал. – 2017 - URL: <https://smotrim.ru/article/1522354/> / (дата обращения: 15.08.2023).

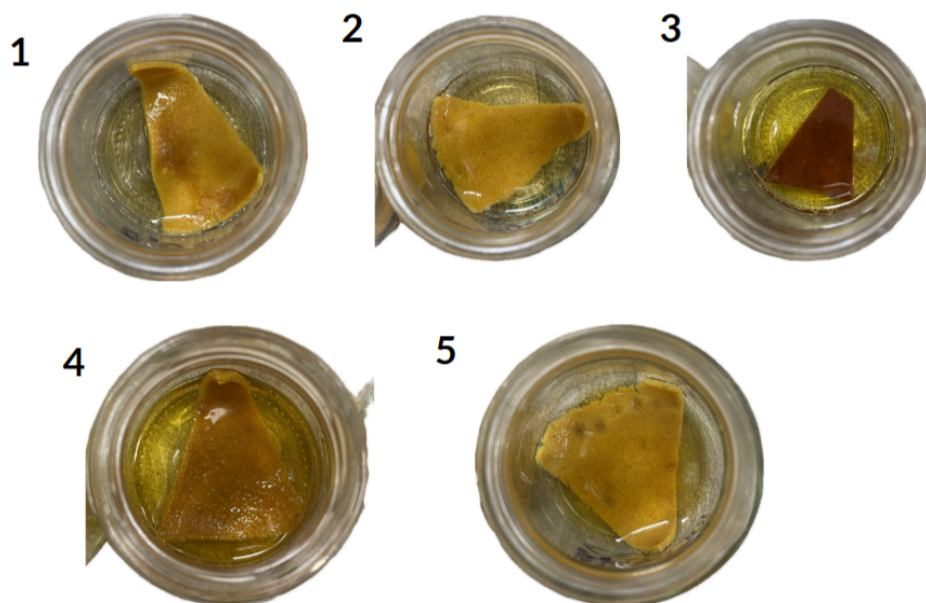
13. Ситуация на рынке биоразлагаемой упаковки РФ [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2022 - URL: <https://foodmarket.spb.ru/archive/2022/222345/222350/> / (дата обращения: 15.08.2023).
14. Plant-based and recyclable plastic bottles using citrus peel as raw material [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2020 - URL: <https://phys.org/news/2020-12-plant-based-recyclable-plastic-bottles-citrus.html> / (дата обращения: 15.08.2023).
15. Carlo Ratti's orange squeezer serves juice in bioplastic cups made from the peel [Электронный ресурс]: информационный портал.– 2019 - URL: <https://www.dezeen.com/2019/09/10/carlo-ratti-feel-the-peel-circular-orange-juice-bar-design/> / (дата обращения: 15.08.2023).
16. Bioplastics made from coffee and orange? [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2016 - URL: <https://3dprintingindustry.com/news/bioplastics-made-coffee-orange-83241/> / (дата обращения: 15.08.2023).
17. Yaradoddi J. S. et al. Bio-based material from fruit waste of orange peel for industrial applications //Journal of Materials Research and Technology. – 2022. – V. 17. – P. 3186-3197.
18. Orange juice waste turned into valuable products [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2019 - URL: <https://www.soci.org/news/general-news/orange-juice-waste-turned-into-valuable-products> / (дата обращения: 15.08.2023).
19. Orange Juice [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2022 - URL: <http://www.madehow.com/Volume-4/Orange-Juice.html> / (дата обращения: 27.08.2023).
20. What you need to know about plant-based plastics [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2018 - URL: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/are-bioplastics-made-from-plants-better-for-environment-ocean-plastic> / (дата обращения: 16.08.2023).
21. Wiedmann T., Minx J. A definition of 'carbon footprint' //Ecological economics research trends. – 2008. – V. 1. – №. 2008. – P. 1-11.
22. What is a Carbon Footprint? Reasons | How Can We Reduce Carbon Footprint [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2023 - URL: <https://indiaenergyportal.org/carbon-footprint/> / (дата обращения: 16.08.2023).
23. Tonini D. et al. Carbon footprint of plastic from biomass and recycled feedstock: methodological insights //The International Journal of Life Cycle Assessment. – 2021. – V. 26. – P. 221-237.
24. Zheng J., Suh S. Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics //Nature climate change. – 2019. – V. 9. – №. 5. – P. 374-378.
25. 13 Biodegradable Materials You Should Start Using in 2023 [Электронный ресурс]: информационный портал. – 2023 - URL: <https://mindseteco.co/biodegradable-materials/> / (дата обращения: 15.08.2023).

26. ГОСТ Р 54530-2011 Ресурсосбережение. УПАКОВКА. Требования, критерии и схема утилизации упаковки посредством компостирования и биологического разложения.

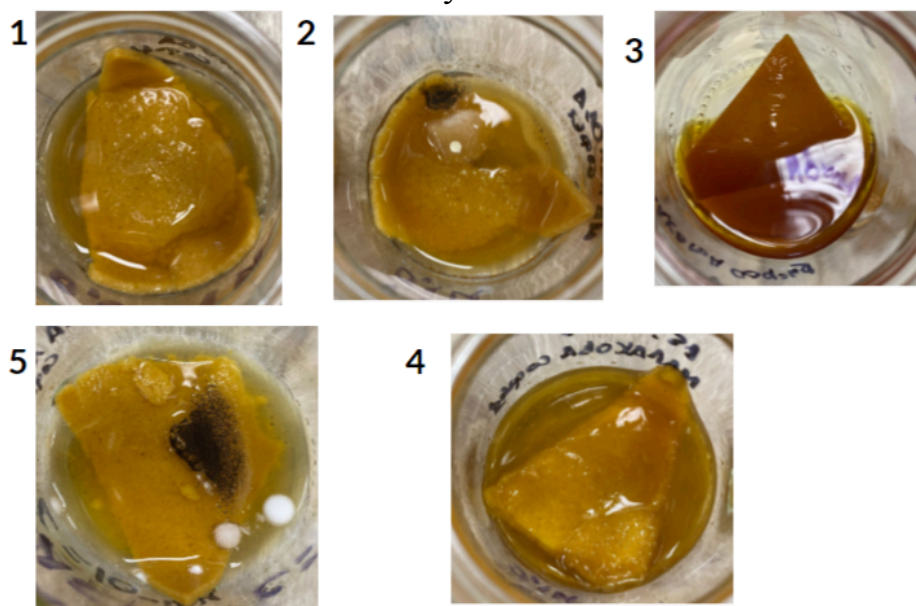
27. ГОСТ Р 52088-2003 Кофе натуральный жареный. Общие технические условия.

Приложение

Приложение 1 - Образцы биопластик в соответствующих средах спустя 60 минут



Приложение 2 - Образцы биопластик в соответствующих средах спустя 7 суток



Приложение 3 - Определение степени излома биопластика



Приложение 4 - Внешний вид образцов биопластика после сушки

