

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Наумовой Юлии Анатольевны
на диссертационную работу Варьян Иветты Арамовны на тему «Биоразлагаемые композиции на основе полиолефинов и эластомеров», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 1.4.7 Высокомолекулярные соединения

Актуальность исследования

Современное общество остро сталкивается с экологической проблемой, связанной с накоплением и трудностью утилизации пластиковых отходов, в первую очередь полиолефиновой природы. Их устойчивость к биологическим и физико-химическим факторам среды, с одной стороны, обеспечивает превосходные эксплуатационные характеристики, но с другой – препятствует эффективной переработке и утилизации, превращая подобные материалы в источник длительного загрязнения окружающей среды. В этих условиях одним из приоритетных направлений научных исследований становится разработка полимерных композиций с прогнозируемой и контролируемой способностью к биодеструкции, позволяющей сочетать эксплуатационную стабильность в период использования с последующим разрушением под воздействием природных факторов.

Согласно ряду экспертных оценок, если в 2024 г. рынок биоразлагаемых полимерных материалов (БПМ) оценивался в 24 млрд. долларов, то к 2034 г. ожидается, что он достигнет более 100 млрд. долларов, демонстрируя совокупный среднегодовой темп роста около 20%. Основная доля производимых и потребляемых БПМ в мире сейчас приходится на Азиатско-Тихоокеанский регион (более 40%) с сохранением данной тенденции и в перспективе.

Особенно интересными в этом контексте являются подходы, реализованные в данной работе и связанные с модификацией полиэтиленовой матрицы путем ее совмещения с природным полимером растительного происхождения, натуральным каучуком, основные плантации которого расположены в Юго-Восточной Азии. Натуральный каучук, являясь полимерным нанокомпозитом, благодаря своей природе и структуре, представляет несомненный интерес как перспективный полимерный наполнитель в биоразлагаемых полимерных материалах на основе полиолефинов.

Диссертационная работа Варьян Иветты Арамовны направлена на решение этой задачи, актуальной как с научной, так и практической точек зрения. В диссертации комплексно изучены закономерности формирования структуры, свойств и способности к биоразложению композиций на основе полиэтилена низкой плотности и натурального каучука. Поставлены и решены задачи по разработке технологии получения таких композитов, изучению их физико-химических, механических и структурных характеристик. Представляет особую ценность использование длительных почвенных тестов, моделирующих биотические и абиотические воздействия природной среды. Значимой особенностью является сочетание методов физико-химического анализа, термического и морфологического контроля, оценки молекулярной деградации и биологической активности.

Таким образом, работа отвечает современным вызовам в области полимерной химии, экологического материаловедения и устойчивого развития. Работа носит междисциплинарный характер и обладает выраженной прикладной направленностью, а её результаты могут быть использованы при проектировании новых упаковочных, сельскохозяйственных и бытовых материалов с заданным сроком службы. Актуальность

проведенного исследования не вызывает сомнений и подтверждается высоким интересом научного сообщества к данной тематике, о чём свидетельствует большое число российских и международных публикаций, конференций и реализуемых проектов в данной области.

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа Варьян Иветты Арамовны составлена в соответствии со всеми рекомендуемыми требованиями, написана в соответствии с традиционным академическим стилем и логикой научного изложения. Работа включает введение, три главы, выводы и список литературы, насчитывающий значительное количество источников, отражающих актуальное состояние исследуемой проблемы. Работа иллюстрирована таблицами, графиками и микрофотографиями, что способствует наглядности и полноте представления результатов. По структуре и содержанию диссертация в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 1.4.7 Высокомолекулярные соединения. Диссертация изложена на 145 страницах, содержит 24 рисунка и 16 таблиц.

Первая глава диссертации представляет собой обстоятельный литературный обзор, охватывающий широкий круг вопросов, связанных с проблемой утилизации полимерных материалов. В начале главы рассмотрена экологическая ситуация, вызванная накоплением пластиковых отходов, особенно полиолефинов, в том числе полиэтилена. Подчёркивается важность создания биоразлагаемых аналогов, описаны композиции с различными натуральными наполнителями, в том числе особо выделены системы на основе ПЭНП и натурального каучука. Автор анализирует существующие подходы к созданию подобных материалов, рассматривая как биосинтетические, так и композиционные методы.

Далее приводится классификация полимеров по их способности к биоразложению. Подробно проанализированы параметры, влияющие на скорость и полноту разложения: молекулярная масса, структура макроцепей, площадь поверхности, тип функциональных групп. Большое внимание уделено исследованиям биodeградации полиэтилена и роли микроорганизмов в данном процессе. Отдельные разделы посвящены полимерным композитам с натуральными наполнителями (крахмал, соевый белок, шелуха и др.). Приводятся данные об их свойствах и технологических ограничениях, включая тенденцию к снижению прочности при повышении степени биоразлагаемости.

Основываясь на глубоком литературном поиске, диссертант делает вывод о том, что, несмотря на активные научные исследования, создание эффективных биоразлагаемых композитов с удовлетворительными эксплуатационными характеристиками остаётся нерешённой задачей. Глава 1 демонстрирует хорошее владение материалом и понимание научной задачи автором. Литературный обзор носит комплексный характер, включает отечественные и зарубежные данные и формирует прочную теоретическую основу для экспериментальной части. Автор убедительно показала, что выбранное направление актуально и обладает высоким прикладным потенциалом.

Вторая глава диссертационной работы посвящена описанию объектов исследования, технологии получения биоразлагаемых композиций и применённых инструментальных методов исследований. Изложение отличается чёткостью и последовательностью, что позволяет составить полное представление о ходе экспериментальной части.

В качестве объектов изучения выбраны композиции на основе бинарной системы полиэтилен низкой плотности – натуральный каучук в различных массовых соотношениях. Подробно описан процесс приготовления образцов: смешение компонентов, формование и

предварительная обработка. Это обеспечивает воспроизводимость результатов и корректную постановку эксперимента.

Анализ способности композиций ПЭНП/НК к биодеструкции в условиях лабораторного почвенного теста выполнен с использованием восстановленного грунта, приготовленного по ГОСТ 9.060. Испытания проводились при регулируемой влажности и температуре, с выдержкой образцов до 60 месяцев, что позволило смоделировать длительное воздействие природной почвенной среды.

Широкий набор методов физико-химического анализа, включая инфракрасную спектроскопию, гель-проникающую хроматографию, дифференциальную сканирующую калориметрию, термогравиметрию, ЭПР, акустическую и атомно-силовую микроскопию, обеспечивает комплексную оценку изменений в структуре, молекулярной массе и морфологии композиций. Использование оптической и сканирующей электронной микроскопии позволило визуализировать распределение фаз, биообрастание и изменение микрорельефа поверхности. Дополнительные параметры, такие как водопоглощение, контактный угол смачивания и прочностные характеристики, также измерялись в динамике.

Таким образом, вторая глава демонстрирует высокий уровень методологической подготовки. Подобранные методы соответствуют задачам исследования, обеспечивают комплексную оценку свойств композитов и формируют надёжную экспериментальную основу для анализа результатов.

Результаты, полученные при описании структуры и методик, находят своё развитие в третьей главе, где представлены экспериментальные данные изучения структуры, свойств и способности к биодegradации разработанных композитов. Автор рассматривает серии образцов с различным массовым соотношением ПЭНП и НК (90:10, 80:20, 70:30, 60:40 и 50:50 масс.%).

На первом этапе анализируются морфологические особенности образцов. С помощью оптической и электронной микроскопии показано, что при малых концентрациях НК он образует отдельные включения, а при содержании выше 20 % происходит фазовая перестройка: каучук формирует непрерывную или полунепрерывную фазу, что свидетельствует о структурной совместимости компонентов и образовании взаимопроникающих сетей. Такая морфология играет ключевую роль в механизмах деградации.

Затем проводится анализ физико-механических свойств разработанных композитов – в частности, оценены прочность на разрыв, деформируемость, водопоглощение и угол смачивания. Установлено, что увеличение содержания натурального каучука в композиции снижает прочность материала, но одновременно существенно повышает гидрофильность поверхности за счёт уменьшения угла смачивания. Это облегчает адгезию микроорганизмов и способствует ускорению начальных стадий биодеструкции.

Значительная часть главы посвящена изучению биоразложения композитов в лабораторном почвенном тесте. Зафиксированы снижение массы образцов ПЭНП/НК, изменение окраски, формирование биообрастания и появление признаков деструкции материала, подтверждённых данными микроскопии, ИК-спектроскопии и гель-проникающей хроматографии. Наиболее выраженные изменения наблюдаются при содержании НК 50 %, где отмечается значительное уменьшение толщины образцов и высокая степень деструкции полиэтиленовой матрицы.

Проведен ИК-анализ, выявивший образование новых функциональных групп в процессе разложения, что указывает на развитие окислительных и гидролитических процессов в полимерной матрице. С помощью гель-проникающей хроматографии зафиксировано

существенное снижение молекулярной массы после биодеструкции, особенно в образцах с высоким содержанием каучука. В частности, для состава 50/50 средневесовая молекулярная масса снизилась почти на 40 %, а доля низкомолекулярной фракции существенно увеличилась, что указывает на глубокую макромолекулярную деструкцию.

Исходя из вышеизложенного, третья глава демонстрирует достоверные экспериментальные доказательства того, что включение натурального каучука в полиэтиленовую матрицу позволяет существенно повысить биоразлагаемость композита без критического ухудшения его механических свойств. Представленные данные подтверждают поставленные гипотезы и обоснованность выбранного научного подхода.

В заключении диссертации обобщены в форме основных выводов результаты проведённых в работе исследований, имеющие важное теоретическое и прикладное значение для ряда стратегических отраслей промышленности.

Материал, доступно, логично и грамотно изложенный в диссертации, оформлен в соответствии с требованиями к диссертациям на соискание научной степени кандидата технических наук.

Достоверность и обоснованность научных положений, результатов и выводов не вызывает сомнений, т.к. они базируются на комплексном применении современных методов анализа полимерных материалов.

Диссертационная работа прошла необходимую апробацию: основные результаты проведённых исследований опубликованы и в полной мере отражены в 36 печатных трудах, включая 5 статей в рецензируемых изданиях из перечня ВАК, 18 Scopus, а также в материалах многочисленных российских и международных научных конференций. Индекс Хирша автора работы в наукометрической системе Scopus – 10.

Научная новизна исследования и полученных результатов.

1. Установлены закономерности формирования фазовой структуры в бинарных системах ПЭНП/НК в зависимости от соотношения компонентов. С применением инструментальных методов исследования показано, что при содержании НК до 20 % мас. каучук образует дисперсную фазу в полиэтиленовой матрице, а при 30 % мас. и выше происходит переход к взаимопроникающей морфологии «сетка в сетке».

2. Выявлена роль фазовой структуры в формировании эксплуатационных свойств композиций и установлено, что оптимальное сочетание упруго-прочностных характеристик и способности к биоразложению пленочных материалов достигается при содержании натурального каучука в системе ПЭНП/НК 40–50 мас. % мас., при котором обеспечивается баланс прочности, водопоглощения и скорости деградации.

3. Установлена катализирующая роль натурального каучука в процессах окислительной и биодеструкции в композитах на основе ПЭНП/НК, сопровождающаяся значительным снижением массы образцов и образованием азот- и кислородсодержащих функциональных групп.

4. Предложен механизм деградации композиций ПЭНП/НК, учитывающий последовательность стадий – от разрушения каучуковой фазы до инициирования окисления полиэтиленовой матрицы и последующей биоминерализации под действием микробиоты.

5. Выявлен и объяснён эффект сохранения макроцелостности образцов при глубокой биодеструкции за счёт формирования гифовой сетки микромицетов. Показано, что такой механизм разрушения предотвращает образование микропластика и обеспечивает переход к стадии полной биоминерализации полимерной матрицы.

Практическая значимость.

В работе получены ценные сведения о характеристиках и технологии получения композитов на основе ПЭНП/НК, о закономерностях изменения их свойств в зависимости от соотношения компонентов.

Разработаны биоразлагаемые композиции на основе полиэтилена низкой плотности и натурального каучука, обладающие заданным сочетанием эксплуатационных свойств и повышенной способностью к биодеструкции в природных условиях. Даны рекомендации по их технологии получения и использованию для производства упаковочных, агротехнических, санитарно-гигиенических и медицинских изделий, подлежащих утилизации.

Соответствие содержания автореферата основным положениям и выводам диссертации, качество оформления автореферата.

Материал, представленный в автореферате, а также опубликованные Варьян И.А. научные статьи, полностью отражают основные положения диссертации, соответствуют ее содержанию и поставленным задачам исследования, раскрывают ключевые аспекты научной новизны и практической значимости. Автореферат изложен в объеме, достаточном для понимания существа проведенных исследований и оформлен в соответствии с предъявляемыми требованиями.

По работе есть следующие вопросы и замечания:

1. В работе композиты изготавливали, используя натуральный каучук SVR 3L, однако не обоснован выбор данной марки каучука.

2. При переработке эластомерных материалов на основе натурального каучука этапу смешения предшествуют декристаллизация и пластикация НК, однако в разделах 2 и 3 не приведена информация о технологических параметрах данных этапов. Не приведены данные по молекулярно-массовым характеристикам пластика натурального каучука.

3. Вызывает вопрос определение молекулярно-массовых характеристик для композиций ПЭНП/НК в отсутствие аналогичных данных для исходных полимеров.

4. В числе перспективных направлений практического применения названы санитарно-гигиенические и медицинские изделия. Однако в работе отсутствуют исследования, связанные с барьерными свойствами, стерилизационной устойчивостью, миграцией веществ или биосовместимостью, которые являются критически важными в этих областях.

Замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы, не снижают ее научную и практическую ценность, достоверность основных результатов и защищаемых выводов диссертационной работы.

К достоинствам работы следует отнести следующее. Диссертационная работа Варьян Иветты Арамовны выполнена на актуальную экологическую тему, отличается логичным построением и хорошим стилем изложения. Автором проведено всестороннее исследование: разработаны биоразлагаемые композиты на основе полиэтилена низкой плотности и натурального каучука, изучены их физико-химические, механические свойства и способность к биоразложению. В работе показано влияние состава на микроструктуру, водопоглощение и степень биodeградации, что позволило обосновать выбор оптимальных условий для получения материалов с заданными характеристиками.

Результаты могут найти практическое применение при разработке экологичных упаковочных и сельскохозяйственных материалов, а также могут использоваться в дальнейших научных работах в области химии и физики полимеров. В целом, сформулированные положения, выносимые на защиту, научная новизна, выводы и практическая значимость работы не вызывают у оппонента принципиальных возражений. Исследование выполнено на высоком научном уровне с использованием комплекса

современных физико-химических методов, что позволило достоверно охарактеризовать структуру, свойства и поведение разработанных композитов в условиях биодеструкции. Работа позволяет охарактеризовать автора как высококвалифицированного специалиста, способного самостоятельно решать актуальные научные задачи в области полимерной химии и материаловедения.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»

Содержание и результаты диссертации Варьян Иветты Арамовны на тему «Биоразлагаемые композиции на основе полиолефинов и эластомеров» отвечает пунктам 1, 4, 6, 10 паспорта научной специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

Диссертация Варьян Иветты Арамовны является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные теоретические и технические решения по разработке биоразлагаемых полимерных материалов на основе полиэтилена и натурального каучука, имеющие важное значение для химии и физики высокомолекулярных соединений в области кинетики и механизма биодеструкции полиолефиновых композиций.

Диссертационная работа Варьян Иветты Арамовны соответствует требованиям, установленным пунктами 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата химических наук по научной специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

Официальный оппонент:

доктор технических наук (специальность 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов), доцент, профессор кафедры химии и технологии переработки эластомеров федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова)



/Наумова Юлия Анатольевна

26.12.2025

Полное наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Адрес: 119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78

Тел: +7 499 600-80-80

Сайт: mirea@mirea.ru

Подпись д.т.н. Наумовой Юлии Анатольевны заверяю
Первый проректор РТУ МИРЭА



/Прокопов Николай Иванович

