

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационное исследование Холмуродзода Азизбек Холмурод (Зумратов Азизбек Холмуродович) на тему «Молекулярная масса и гидродинамическое поведение пектинов разного происхождения», представленной на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4. Химия (1.4.7. Химия высокомолекулярных соединений). Душанбе, 2026, 8 стр.

1. Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности.

Тема диссертации соответствует пунктам 1, 3, 4 и 9 паспорта специальности 1.4. Химия (1.4.7. Химия высокомолекулярных соединений), а именно:

п.1. Молекулярная физика полимерных цепей, их конфигурации и конформации, размеры и формы макромолекул, молекулярно-массовое распределение полимеров;

п.3. Основные признаки и физические свойства линейных, разветвленных и сетчатых полимеров, их конфигурация и конформация;

п.4. Химическая и физическая деструкция полимеров и композитов на их основе,

п.9. Целенаправленная разработка полимерных материалов с новыми функциями, интеллектуальные структуры с их применением, обладающим характеристиками, определяющими области их использования в заинтересованных отраслях науки и техники.

2. Актуальность темы исследования.

Пищевые отходы и побочные продукты, в настоящее время, признаны серьёзной глобальной проблемой, которая ставит под угрозу долгосрочную устойчивость цепочки поставок продуктов питания. Эти отходы или побочные продукты могут быть превращены в ценное сырьё - полисахариды, полифенолы, эфирные масла, пищевые волокна, смолы и пигменты, вместо сжигания или захоронения на свалке. Пектиновые полисахариды представляют собой полимеры клеточной стенки растений, которые широко используются в пищевой и фармацевтической промышленности в качестве стабилизатора и эмульгатора, для улучшения стабильности продукта, как композиционного материала, благодаря их биобезопасности гелеобразующей и эмульгирующей способностям. В мире расширяется применение пектина во многих других отраслях пищевой и фармацевтической промышленности, например, при создании носителей лекарств, покрытий, пищевых ингредиентов и плёнок, заменителей бумаги, пеноматериалов и др.

В этой связи тема диссертационной работы Холмуродзода Азизбек Холмурод актуальна, так как затрагивает методы оценки качества пектина и некоторые примеры использования данного продукта с научно обоснованной точки зрения. Более того, основными сырьевыми источниками данного полисахарида являются фруктовые выжимки (яблок, айвы, граната), бахчевые культуры (тыква, арбуз и дыня), а также другие малоизученные агропромышленные отходы. В связи с этим изучение научных основ технологии производства пектина и разработка новых направлений его применения в качестве замены импортной продукции приобретают особую актуальность.

3. Степень научной новизны результатов диссертации и положения, выносимые на защиту. Основные результаты, полученные в данной работе, которые можно отнести к новым данным в области химии высокомолекулярных соединений следующие:

- определение средних значений молярных масс (M_w , M_n , M_z) различных пектинов их полидисперсности и значения гидродинамических параметров; оценка качества пектина в зависимости от метода очистки пектинового гидролизата на основе значения молярных масс, молекулярно-массовое распределение, гидродинамические и конформационные характеристики пектинов; установление их конформации в растворе с помощью конформационного коэффициента «b»: найденные ее средние значения 0.55 для абрикоса, 0.65 для пектина яблок и 0.75 для айвы, указывают на конформацию случайных клубков данных образцов в растворе;
- автором впервые изучена деградация пектиновых макромолекул на примере пектина яблок и айвы в растворе при его хранении; показано, что деградация пектина характеризуется серией параллельно протекающих реакций, которые приводят к снижению молярной массы почти в два раза за 20 часов; определены кинетические константы скорости деградации различных пектинов и пектинов, полученных разными методами; показано, что на скорость деградации пектинов влияет как способ его получения, так и вид источника сырья;
- установление взаимосвязи молекулярных параметров при формировании композиционных гидрогелей и стабилизации эмульсионных микрокапсул на основе комплекса пектин-белок, позволяющего получить прочные гели и стабильные масляные частицы, что внесет весомый вклад в разработку носителей лекарственных веществ и биоразлагаемых покрытий и упаковок для хранения пищевых продуктов.

4. Степень изученности научной темы. В обзорах литературы, посвящённых пектину, обычно рассматривают его строение и свойства в зависимости от того, из какого растительного сырья он получен. Показано, что химическая структура пектина и его физико-химические свойства могут заметно меняться в процессе созревания плодов, в том числе из-за растворения и ферментативного разрушения пектиновых веществ.

Большой вклад в изучение пектинов внесли исследовательские группы из Великобритании, Нидерландов, Франции, США и Таджикистана. В их работах подробно рассмотрены структура пектинов, их свойства и поведение в различных условиях, что позволило сформировать современные представления об этих биополимерах.

При этом, несмотря на большое количество исследований, молекулярно-массовые и гидродинамические характеристики пектинов изучены значительно меньше. Эти вопросы остаются недостаточно раскрытыми и требуют дальнейшего более детального изучения с применением современных методов анализа.

Положения, выносимые на защиту. Диссертант выносит на защиту результаты экспериментальных исследований, их обработку и интерпретации полученных данных, которые изложены в следующем порядке:

1. Определение и сравнительный анализ средних значений молярных масс (M_w , M_n , M_z) различных пектинов, полученные традиционным методом и новым флэш-методом гидролиз-экстракцией пектинов и оценки полидисперсности образцов на основе анализа ММР.

2. Изучение деградации пектиновых макромолекул в растворе при хранении на примере пектина яблок и айвы, показывающий снижение молярной массы. Расчёт-кинетические константы скорости деградации различных пектинов и пектинов, полученных разными методами. Утверждение о том, что на скорость деградации пектинов влияет как способ его получения, так и вид источника сырья.

3. Влияние молекулярных параметров на формирование композиционных гидрогелей и стабилизация эмульсионных микрокапсул на основе комплекса пектин-белок.

Достоверность результатов диссертации. Достоверность результатов исследования подтверждается тем фактом, что в диссертационной работе использовались научные и теоретические концепции химии высокомолекулярных соединений последних лет, известные как из отечественной, так и из зарубежной литературы. В целом, степень достоверности результатов данного исследования не вызывает сомнения, так как они получены из большого объема экспериментального материала,

правильного выбора методов исследования и современных приборов известных производителей (жидкостной хроматограф *Breez* (Waters, США), газовый хроматограф *Agilent 7890A*, сопряженный с масс-спектрометром 5975С, ЯМР-спектрометре *14 Tesla Agilent DD2* (Санта-Клара, Калифорния) и на ИК-спектрофотометре с Фурье преобразованием (*FT-IR Spectrum 65* (Perkin Elmer), оснащенных компьютерными программами. Полученные результаты сопоставлялись с данными других авторов и с результатами, опубликованными в рецензируемых изданиях, включённых в перечень Scopus и ВАК при Президенте Республики Таджикистан. На основе научного анализа результатов теоретического исследования представлены выводы и рекомендации, определены перспективы темы исследования и предлагаемые результаты для практического применения.

5. Объём и структура диссертации. Диссертационная работа написана в виде рукописи объемом 158 страниц и включает: введение, пять глав, содержащие обзор литературы, описание методик и хода экспериментов, анализ и интерпретацию полученных данных, а также выводы и рекомендации (общим объемом 127 страницы). Текст иллюстрирован 23 рисунками, 3 фотографиями, 1 схемой и 20 таблицами. Библиографический список включает 169 источников.

Во введении на основании актуальности выбранной темы, определены цели и задачи работы, объект и предмет исследования, научная новизна, практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлена краткая характеристика полисахаридов, особенно пектиновых полисахаридов, методы их гидролиз-экстракции и очистки, структура и свойства. Рассмотрены современные подходы к анализу молярной массы и молекулярно-массового распределения пектинов, методы оценки гидродинамических свойств пектинов и их конформационных характеристик. Обсуждены структурно-функциональные взаимосвязи пектиновых полисахаридов. На основе анализа обзора литературы сформулированы цели и основные задачи диссертации.

Во второй главе приведены: характеристики исходных веществ; методы гидролиз-экстракции и количественные методы анализа пектина; способы очистки и фракционирование полисахаридов; хроматографический анализ пектинов; определение молярной массы пектина методом эксклюзионной жидкостной хроматографии; методы исследования гидродинамических свойств; методы анализа структуры пектинов-ЯМР и ИК Фурье спектроскопия и статистический анализ данных.

В третьей главе (разделы 3.1 и 3.2) представлены данные о влиянии способа выделения и очистки пектинового гидролизата на молекулярные

параметры пектинов разного происхождения. На основе анализа молярной массы, гидродинамических свойств пектинов показано, что новый способ гидролиза и экстракции позволяет получать пектин с оптимальными параметрами по молекулярной массе, содержанию галактуроновой кислоты и степени этерификации, а разработанная технология позволяет перерабатывать любые виды пектинов, содержащих растительное сырьё, обладает ещё и рядом преимуществ перед существующим уровнем техники по простоте и экологичности производства, что делает возможным его применение в различных областях пищевой и фармацевтической промышленности. **В разделе 3.3** приводится влияние способа очистки пектинового гидролизата на молярную массу и ММР пектинов.

Показано, что функциональность полисахаридов во многом зависит от молекулярной массы и их гидродинамического поведения в растворе. Характеристика пектина в этом плане имеет важное значение, поскольку она потенциально может быть использована в производстве промышленных продуктов.

В данной части исследования структура абрикосового пектина: две отдельные фракции данного пектина были анализированы с применением HPSEC, HPAEC-PAD, ГХ-МС, ЯМР и ИК-Фурье спектроскопии и представлены как (1→4)-связанной-D-галактуроновой кислоты и (1→2)-связанного-L-рамнопиранозильных остатков, разветвленных арабиногалактаном, включая множественные гликозидные связи боковых цепей α -Araf, α -Arap, и Galp остатки, имеющих метильные и ацетилированные группы.

Раздел 3.5 посвящен деградации пектиновых макромолекул в растворе при их хранении. Автором показано, что значение M_w при выдерживании раствора в течение 3 часов, более выражено падает у айвового пектина и в меньшей степени у яблочного, экстрагированные традиционным методом, а затем уменьшается незначительно в течение двух дней. **В разделе 3.6** продемонстрировано сравнительное исследование процесса деградации пектина в растворе при его выдерживании, который является технической процедурой перед применением пектина в различных отраслях пищевой промышленности и фармацевтике. Значения константы скорости деградации для пектина посолнечника в условиях флэш-гидролиза, при температуре 120 оС было весьма высокая, составило половину скорости деградации яблочного пектина при комнатной температуре. Это указывает на то, что увеличение температуры на 100 градусов увеличивает скорость деградации на два порядка. **Раздел 3.7** посвящён изучению гидродинамических свойств пектинов с другими важными параметрами, определяющими форму и размер полимерных цепей в растворе и влияющими на характеристики пектина, которые

определяют качество конечного продукта при использовании пектина как загустителя, эмульгатора и гелеобразователя в пищевой и фармацевтической промышленности. Из полученных результатов, автором установлено, что метод - быстрый гидролиз и эффективная очистка диаультраfiltrацией позволяет избежать длительного воздействия гидролизующего агента и температуры на пектин, что *предотвращает возможную деструкцию*, происходящую в растворе.

В главе 4 обсуждается влияние молярной массы, гидродинамических свойств и конформации пектинов на профилактические свойства продуктов на их основе. Определены оптимальные условия получения микросфер на основе природных биополимеров - пектина и зеина с инкапсулированным лекарственным веществом. Показано, что на процесс образования комплексов, степень насыщения микросфер лекарством влияют природа биополимеров, их соотношение, присутствие двухвалентных металлов и молекулярная масса пектина. Диссертантом установлено, что систем доставки лекарств полученный на основе низкомолекулярного пектина следовал кинетике высвобождения нулевого порядка.

Заключение состоит из 7 пунктов и основано на убедительных аргументах. В нём представлены результаты теоретического анализа проблемы и выводы практических исследований, которые имеют важное значение для экономики страны, в частности для разработки технологий производства биополимерных материалов и композитов на их основе.

6. Научная, практическая, экономическая, и социальная значимость диссертации.

Научная значимость. Полученные результаты данной работы являются научно обоснованными данными для характеристики пектинов, необходимые для применения в пищевой и фармацевтической области промышленности. Знание тонкой структуры пектинов, состоящей из основной цепи и связанных с ней компонентов, играет решающую роль в определении их функциональности, а значение молярной массы и гидродинамических параметров пектина необходимо для адаптации его гелеобразующих, загущающих и стабилизирующих функций в различных рецептурах.

Практическая значимость диссертации. В условиях Республики Таджикистан и Центральной Азии, где основными сырьевыми источниками пектина являются фруктовые выжимки (яблоко, айва, гранат), бахчевые (тыква, арбуз и дыня) и другие малоизученные агропромышленные отходы, изучение научных основ технологии производства пектина и новых направлений его применения в замене импортного продукта становится особенно

востребованным. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологий переработки растительного сырья и получении функциональных пищевых и фармацевтических материалов на основе пектина.

Экономическая значимость диссертации. Использование местного растительного сырья для получения пектина позволяет снизить зависимость от импортных полисахаридов и способствует развитию перерабатывающей промышленности. Это создаёт предпосылки для повышения добавленной стоимости сельскохозяйственной продукции и рационального использования агропромышленных отходов, что имеет важное значение для экономики страны.

Социальная значимость. Пектин является натуральным компонентом фруктов и овощей, безопасной пищевой добавкой и не имеет установленного суточного лимита потребления. Его биомедицинские свойства делают его перспективным материалом для медицинских целей и систем доставки лекарств, что способствует развитию безопасных и экологически ориентированных технологий в пищевой и медицинской сферах.

Образовательная значимость. Более того данные о молекулярной массе, ММР, гидродинамических и конформационных параметрах пектинов являются справочными данными для применения в учебных материалах, изучающихся химией и физикой полимеров и биоактивных соединений в пищевых и медицинских специальностях, а также в области материаловедения.

7. Публикации результатов исследования по теме диссертации. По итогам проведённого исследования опубликовано 11 научных работ общим объёмом 7,9 п.л. (авторский вклад составляет 5,8 п.л.), в том числе 2 статьи в журналах, индексируемых в международной базе “*Scopus*”, 2 статьи в изданиях, включённых в перечень ВАК при Президенте Республики Таджикистан и Российской Федерации, а также 7 тезисов докладов, представленных на международных научных конференциях.

8. Соответствие диссертации и автореферата требованиям Комиссии. Диссертация подготовлена в соответствии с установленным порядком ВАК при Президенте Республики Таджикистан: она является полной по структуре, содержанию, языку и исследовательскому подходу. Автореферат, подготовленный по диссертации, соответствует требованиям Порядка присуждения научных степеней, утвержденного Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 г. № 267.

Несмотря на положительную оценку, выраженную в отзыве, данная работа содержит некоторые недостатки, спорные моменты, статистические

ошибки и грамматические орфографические ошибки, среди которых можно выделить следующие:

1. Литературный обзор получился довольно объёмным, при этом в нём недостаточно отражены публикации учёных из стран Центральной Азии и Содружества Независимых Государств.

2. Автору было бы полезно сопоставить современные методы исследования с классическими подходами химии и физики полимеров — это усилило бы как научную, так и практическую значимость работы.

3. В подразделе 3.1.1 представлен новый метод «быстрой экстракции», однако сам механизм извлечения пектина и его преимущества по сравнению с традиционными методами описаны недостаточно подробно.

4. На оси абсцисс на рисунке 3.1 молярная масса представлена как функция времени, тогда как на рисунках 3.2 и 3.5 — как функция объёма элюирования. С чем связано такое различие в представлении данных?

5. На рисунке 3.12 показано изменение молекулярной массы в зависимости от времени хранения раствора. При хранении в течение 5–6 часов молекулярная масса достигает максимума, а удельная вязкость — минимума. Причины этого эффекта не объяснены.

6. Для определения абсолютной молярной массы полимеров используется метод светорассеяния. Насколько сильно отличаются значения M_w , M_n и M_z , полученные методом ЭЖХ, от результатов метода светорассеяния?

7. На рисунках 3.2–3.7 подписи по осям X и Y представлены на английском языке. С учетом того, что диссертация оформлена на русском языке, целесообразно привести обозначения осей графиков в соответствие с языком диссертации и заменить английские надписи на русские для обеспечения единообразия оформления и повышения удобства восприятия материала.

8. Недостаточно полно раскрыт механизм влияния молекулярной массы пектинов на их гидродинамические и функциональные свойства. В работе установлены зависимости между молярной массой, гидродинамическими характеристиками и функциональными свойствами пектинов, однако обсуждение молекулярного механизма этих взаимосвязей представлено недостаточно подробно. Было бы целесообразно более глубоко интерпретировать полученные результаты с позиций современных представлений о конформации макромолекул и межмолекулярных взаимодействиях.

9. Недостаточно подробно представлены результаты статистической обработки экспериментальных данных. Несмотря на указание в разделе «Материалы и методы» об использовании t-критерия Стьюдента и дисперсионного анализа ANOVA, в большинстве таблиц и рисунков

отсутствуют сведения о количестве повторностей экспериментов (n), доверительных интервалах, уровне статистической значимости и обозначения достоверности различий между сравниваемыми образцами.

Указанные замечания и недостатки в целом не снижают качество и положительную научную оценку данной диссертации и не оказывают отрицательного влияния на ее научный уровень.

В целом, диссертация Холмуродзода Азизбек Холмурод на тему: «Молекулярная масса и гидродинамическое поведение пектинов разного происхождения», представленная на соискание степени кандидата химических наук по специальности 1.4. Химия (1.4.7. Химия высокомолекулярных соединений), выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям пунктов 31, 33, 34 и 35 Порядка присуждения научных степеней, утвержденного Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 г. № 267 (с изменениями от 26.06.2023, № 295), и ее автор достоин получения степени кандидата химических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией

«Химия и технология целлюлозы и её производных»

Института химии и физики полимеров

Академии наук Республики Узбекистан

_____ Юнусов Хайдар Эргашович

Подпись д.т.н., проф. Юнусова Хайдара Эргашовича подтверждаю

Начальник Отдела кадров Института

Каландарова Н.И.

Адрес: 100011, Республика Узбекистан, г. Ташкент, Шайхонтохурский район, ул. А.Кадыри, 7Б. Телефон: +998 (71) 241-85-94, телеграмм: (+998) 90 356 88 20

E-mail polymer@academy.uz; haydar-yunusov@rambler.ru

“ 03 ” июля 2026 г.



