

«УТВЕРЖДАЮ»



Ректор РХТУ им. Д.И. Менделеева,
д.х.н., профессор С.Н. Филатов

« 28 » 10 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему: «Процессы переработки целлюлозы в суб- и сверхкритических флюидах, криотропное гелеобразование и сушка» по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки) выполнена на кафедре химического и фармацевтического инжиниринга федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева».

В процессе подготовки диссертации Федотова Ольга Вячеславовна, «02» августа 1998 года рождения, являлась аспирантом кафедры химического и фармацевтического инжиниринга федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева». Срок обучения в аспирантуре – с 01.09.2022 г. по 31.08.2026 г.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» в 2025 году.

Научный руководитель – доктор технических наук по специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий, профессор, заведующий кафедрой химического и фармацевтического инжиниринга федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» Меньшуткина Наталья Васильевна.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Процессы переработки целлюлозы в суб- и сверхкритических флюидах, криотропное гелеобразование и сушка» принято следующее заключение.

Цель диссертационной работа Федотовой О.В. заключалась в разработке процесса переработки целлюлозы в субкритической воде; в проведении комплексных экспериментальных и аналитических исследований процесса получения аэрогелей на основе целлюлозы; в разработке процесса переработки бумажных отходов для получения высокопористого материала на основе целлюлозы.

Актуальность темы исследования. В соответствии с указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 года № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» одним из приоритетных направлений является переход к передовым технологиям создания высокотехнологической продукции, основанным на применении новых материалов. К таким материалам можно отнести наноструктурированные материалы на основе биополимеров. Целлюлоза, являясь одним из наиболее распространённых возобновляемых биополимеров, имеет большой потенциал для использования в качестве альтернативы синтетическим полимерам.

В настоящее время производство нанокристаллической целлюлозы (НКЦ) в России находится преимущественно на стадии научных исследований. В данной работе исследована и разработана технология переработки целлюлозы с использованием гидролиза в субкритической воде. Предлагаемый подход перспективен для получения высококачественной целлюлозы широкого спектра назначения.

Высокопористые материалы на основе целлюлозы представляют особый интерес благодаря высокой удельной площади поверхности и большому объёму пор в сочетании с биоразлагаемостью и биосовместимостью. Кроме того, большое количество отходов на основе целлюлозы, производимое по всему миру, в значительной степени остаётся неиспользованным ресурсом. В данной работе представлена разработка технологий переработки целлюлозы и бумажных отходов и получения высокопористых материалов.

В рамках диссертационной работы разработаны технологии получения различных функциональных материалов на основе целлюлозы: нанокристаллической целлюлозы, аэрогелей на основе целлюлозы и высокопористые материалы из переработанных бумажных отходов.

Работа выполнена в рамках соглашения от «29» апреля 2025 г. № 075-03-2025-355/4 между РХТУ им. Д.И. Менделеева и Министерством науки и высшего образования Российской Федерации на выполнение работ по теме «Иерархические пористые материалы для персонифицированных имплантатов и изделий медицинского назначения» (уникальный идентификатор: FSSM-2025-0007).

Научная новизна заключается в следующем:

Исследовано влияние параметров процесса переработки целлюлозы в субкритической воде на выход нанокристаллической целлюлозы. Установлены зависимости характеристик НКЦ от параметров процесса (температура, давление, время).

Предложены механизмы формирования структуры аэрогелей на основе целлюлозы в зависимости от подхода к проведению процесса гелеобразования.

Исследовано влияние УЗ-воздействия, примененного на стадии криотропного гелеобразования, на структуру и морфологию аэрогелей на основе целлюлозы после сверхкритической сушки. Показано, что УЗ-воздействие способствует формированию макропор.

Установлено влияние УЗ-воздействия на кинетику заморозки растворов целлюлозы. Выявлено, что УЗ-воздействие позволяет ускорить процесс начала кристаллизации без переохлаждения раствора.

Исследована кинетика процесса сорбции образцов нефти с поверхности воды высокопористыми материалами при варьировании концентрации целлюлозы.

Разработана клеточно-автоматная модель процесса сорбции нефти высокопористыми материалами на основе целлюлозы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработана методика получения нанокристаллической целлюлозы с использованием гидротермального процесса переработки целлюлозы в субкритической воде.

Разработаны методики получения аэрогелей с использованием сверхкритической сушки при варьировании подходов к проведению процесса гелеобразования целлюлозы (химическая сшивка, криотропное гелеобразование, гелеобразование под давлением). Получены аэрогели на основе целлюлозы, которые могут быть использованы в качестве матриц для культивирования клеток и систем доставки активных фармацевтических ингредиентов.

Разработан процесс переработки бумажных отходов и технологическая схема для получения гидрофобных высокопористых материалов на основе целлюлозы. Доказана эффективность гидрофобных высокопористых материалов на основе целлюлозы в качестве сорбентов нефти.

Получены результаты вычислительных экспериментов кинетики сорбции нефти высокопористыми материалами с использованием разработанной клеточно-автоматной модели.

Проведен экономический расчет процессов получения высокопористых материалов на основе целлюлозы из вторичного сырья для полупромышленного производства.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 7 статьях, опубликованных в журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts и GeoRef.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, в том числе на: XXXIII, XXXIV, XXXVII, и XXXVIII Международных конгрессах молодых ученых по химии и химической технологии (г. Москва, 2018, 2020, 2023, 2024 гг.); XIII Научно-практической конференции с международным участием «Сверхкритические флюиды: фундаментальные основы, технологии, инновации» (г. Тверь, 2023 г.); XV Всероссийской школе-конференции молодых учёных имени В.В. Лунина «Сверхкритические флюидные технологии в решении экологических проблем» (г. Иваново, 2024 г.); XX, XXI Международной конференции «Новые

полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения» (г. Нальчик, 2024, 2025 гг.); XXXIII Всероссийской конференции «Математическое моделирование в естественных науках» (г. Пермь, 2024 г.); VIII Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые и массообменные технологии (сушка, тепловые и массообменные процессы) СЭТМТ» (г. Москва, 2023 г.).

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. Menshutina N., **Fedotova O.**, Trofimova K., Tsygankov P. Investigation of Gelation Techniques for the Fabrication of Cellulose Aerogels // Gels. – 2023. – Vol. 9, No. 12. – P. 919. – <https://doi.org/10.3390/gels9120919> (**Web of Science, Scopus**)
2. Menshutina N., **Fedotova O.**, Abramov A., Golubev E., Sulkhanov Y., Tsygankov P. Processes of Obtaining Nanostructured Materials with a Hierarchical Porous Structure on the Example of Alginate Aerogels // Gels. – 2024. – Vol. 10, No. 12. – P. 845. – <https://doi.org/10.3390/gels10120845> (**Web of Science, Scopus**)
3. Safarov R., **Fedotova O.**, Uvarova A., Gordienko M., Menshutina N. Review of Intranasal Active Pharmaceutical Ingredient Delivery Systems // Pharmaceuticals. – 2024. – Vol. 17, No. 9. – P. 1180. – <https://doi.org/10.3390/ph17091180> (**Web of Science, Scopus**)
4. Федотова О.В. Исследование влияния параметров получения высокопористых целлюлозных материалов на их структурные характеристики / **О.В. Федотова**, К.В. Трофимова, П.Ю. Цыганков, Р.Р. Сафаров // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2023. – Т. 66, № 2. – С. 107-113. – DOI: 10.6060/ivkkt.20236602.6736 (**Chemical Abstracts**)
5. Лебедев И.В. Использование клеточно-автоматного подхода для создания цифровых двойников иерархических пористых структур / И.В. Лебедев, В.И. Гашенко, О.В. Федотова [и др.] // Теоретические основы химической технологии. – 2025. – Т. 59, № 2. – С. 47-57. – DOI 10.31857/S0040357125020049 (**GeoRef**)
6. Федотова О.В. Получение альгинатных частиц аэрогеля с иерархической пористой структурой с использованием зеина в качестве порообразующего компонента / **О.В. Федотова**, А.К. Бондаренко, П.Ю. Цыганков, Н.В. Меньшутина // Химическая промышленность сегодня. – 2025. – № 2. – С. 37-41 (**Chemical Abstracts**)
7. Федотова О.В. Разработка процессов получения высокоэффективных целлюлозных сорбентов из макулатуры / **О.В. Федотова**, П.Ю. Цыганков, Н.В. Меньшутина // Химическая промышленность сегодня. – 2022. – № 2. – С. 2-7. – DOI 10.53884/27132854_2022_2_2 (**Chemical Abstracts**)

Публичные доклады на всероссийских и международных научных мероприятиях (конференциях, съездах, симпозиумах, конгрессах):

1. Ларреа Лапшина Л.Р. Исследование процесса получения нанокристаллов целлюлозы методом гидролиза в субкритической воде / Л.Р. Ларреа Лапшина, **О.В. Федотова**, П.Ю. Цыганков // Успехи в химии и химической технологии. – 2024. – Т. 38, № 9 (288). – С. 98-101.
2. Березовская Е.А. Исследование технологии получения аэрогелей на основе целлюлозы с использованием различных способов гелеобразования / Е.А. Березовская, Л.Р. Ларреа Лапшина, **О.В. Федотова**, П.Ю. Цыганков // Успехи в химии и химической технологии. – 2023. – Т.37, № 11 (273). – С. 120-122.
3. Федотова О.В. Процессы получения высокоэффективных сорбентов на основе целлюлозы / **О.В. Федотова**, П.Ю. Цыганков, Н.В. Меньшутина // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Том 34, № 6 (229) – С. 136-138.
4. Абрамов А.А. Разработка технологии получения подложки на основе аэрогеля для роста углеродных наноматериалов / А.А. Абрамов, **О.В. Федотова**, П.Ю. Цыганков [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32, № 11 (207) – С. 43-45.
5. Федотова О.В. Исследование процесса получения аэрогелей на основе целлюлозы путем гелеобразования в среде субкритического диоксида углерода / **О.В. Федотова**, П.Ю. Цыганков, Н.В. Меньшутина, А.Е. Лебедев // Материалы XII научно-практической конференции с международным участием «Сверхкритические флюиды: фундаментальные основы, технологии, инновации» (03-08 июля 2023 г.), Тверь. – Москва: ЗАО «Шаг», 2023. – С. 245-246.
6. Федотова О.В. Суб- и сверхкритические технологии для получения аэрогелей на основе целлюлозы / **О.В. Федотова**, П.Ю. Цыганков, Н.В. Меньшутина // Современные энергосберегающие тепловые и массообменные технологии (сушка, тепловые и массообменные процессы) СЭТМТ – 2023: Сборник научных трудов Восьмой Международной научно-практической конференции, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 17 – 19 октября 2023 года. – Москва: ООО «Мегаполис», 2023. – С. 216-218.
7. Федотова О.В. Подход к получению аэрогелей с иерархической пористой структурой с использованием зеина в качестве порообразующего компонента / **О.В. Федотова**, К.В. Трофимова, Е.А. Березовская [и др.] // Сверхкритические флюидные технологии в решении экологических проблем: Материалы докладов XV Всероссийской школы-конференции молодых учёных, Иваново, 01 – 03 июля 2024 года. – Иваново: АО «Ивановский издательский дом», 2024. – С. 93-95.
8. Федотова О.В. Получение наноцеллюлозы гидролизом в субкритической воде / **О.В. Федотова**, Л.Р. Ларреа Лапшина, П.Ю. Цыганков, Н.В. Меньшутина // Новые полимерные композиционные материалы: Материалы XX международной научно-практической конференции, Нальчик,

04 – 10 июля 2024 года. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, 2024. – С. 308.

9. Гашенко В.И. Моделирование пористых иерархических структур с использованием клеточно-автоматного подхода / В.И. Гашенко, **О.В. Федотова**, И.В. Лебедев [и др.] // Математическое моделирование в естественных науках. – 2024. – Т. 1. – С. 103-106.

10. Федотова О.В. Процессы получения аэрогелей на основе альгината с иерархической пористой структурой / **О.В. Федотова**, А.А. Абрамов, П.Ю. Цыганков, Н.В. Меньшутина // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения [Текст]: Материалы XXI Международной научно-практической конференции. – Нальчик: Издательство «Принт Центр», 2025. – 378 с. – ISBN 978-5-907951-46-4. – С. 289-289.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий в части:

п. 5. Способы, приемы, методология исследования химических процессов, протекающих в условиях взаимного влияния на них гидродинамики и тепломассообмена, совершенствование их аппаратного оформления;

п. 9. Методы и способы интенсификации химико-технологических процессов, в числе с помощью физико-химических воздействий на перерабатываемые материалы;

п. 10. Методы изучения, совершенствования и создания ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности, обеспечивающие минимизацию отходов, газовых выбросов и сточных вод, в том числе разработка химико-технологических процессов переработки отходов.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Федотовой Ольги Вячеславовны является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Федотовой О.В.; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Процессы переработки целлюлозы в суб- и сверхкритических флюидах, криотропное гелеобразование и сушка» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

Диссертация рассмотрена на заседании кафедры химического и фармацевтического инжиниринга федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», состоявшемся «20» октября 2025 года, протокол № 2.

В обсуждении приняли участие: д.т.н., доцент, профессор кафедры ХФИ Гордиенко М.Г., к.т.н., старший преподаватель кафедры ХФИ Абрамов А.А., к.т.н., доцент кафедры ХФИ Гусева Е.В., к.т.н., доцент кафедры ХФИ Лебедев И.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ХФИ Меньшутина Н.В.

Принимало участие в голосовании 9 человек. Результаты голосования: «За» – 9 человек, «Против» – 0 человек, «Воздержались» – 0 человек, протокол № 2 от «20» октября 2025 г.

Председатель заседания
Заместитель заведующего кафедрой
химического и фармацевтического инжиниринга
д.т.н., доцент

М. Г. Гордиенко

Секретарь заседания
Младший научный сотрудник кафедры
химического и фармацевтического инжиниринга
к.т.н.

М. С. Мочалова