

Заключение диссертационного совета 24.2.312.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук аттестационное дело № \_\_\_\_\_ решение диссертационного совета от 30.06.2026 г. № 7

О присуждении Алиеву Аслану Мурадалиевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Термодинамические аспекты процесса экстракции растительного сырья с использованием сверхкритических флюидов» по специальности 1.4.4. Физическая химия принята к защите 23.04.2026 г. (протокол заседания № 3) диссертационным советом 24.2.312.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68; совет утвержден приказом Рособнадзора от 18.01.2008 г. № 1–50 (приказом Минобрнауки России № 714/нк от 02.11.2012 г. диссертационный совет 24.2.312.01, созданный на базе ФГБОУ ВО «КНИТУ», признан соответствующим действующим требованиям «Положения о совете...», приказом Минобрнауки России № 561/нк от 03.06.2021 г. диссертационному совету 24.2.312.01 установлены полномочия по защитах диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на срок действия номенклатуры научных специальностей).

Соискатель Алиев Аслан Мурадалиевич, 27.02.1976 года рождения, в 1998 г. окончил Дагестанский государственный университет. В 2002 г. окончил аспирантуру очной формы обучения Института физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра Российской академии наук. С 21.10.2024 г. по 21.04.2025 г. являлся соискателем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дагестанский государственный университет». Работает в должности старшего научного сотрудника лабораторий термодинамики жидкостей и критических явлений, а также фитохимии и медицинской ботаники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Минобрнауки России.

Диссертация выполнена в лабораториях термодинамики жидкостей и критических явлений, а также фитохимии и медицинской ботаники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Абдулагатов Ильмутдин Магомедович, Институт физики им. Х.И. Амирханова – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, лаборатория термодинамики жидкостей и критических явлений, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

– **Боголицын Константин Григорьевич**, доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», кафедра теоретической и прикладной химии, профессор;

– **Саламатин Артур Андреевич**, кандидат физико-математических наук, Институт механики и машиностроения – структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», старший научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (ИК СО РАН), в своем положительном отзыве, подписанном заместителем директора ИК СО РАН, руководителем Отдела физико-химических исследований на атомно-молекулярном уровне, доктором химических наук, член-корреспондентом РАН Мартьяновым Олегом Николаевичем, старшим научным сотрудником этого же Отдела, кандидатом химических наук Нестеровым Николаем Сергеевичем и научным сотрудником этого же Отдела, кандидатом химических наук Ковалевым Евгением Павловичем, указала, что диссертация Алиева А.М. представляет собой логически завершённую научно-квалификационную работу, решающую задачи определения закономерностей фазового поведения многокомпонентных систем  $\text{CO}_2$  + вещества растительного происхождения для их применения в процессах экстракции. Полученные результаты важны для разработки и совершенствования технологии экстракции сверхкритическими флюидами разной природы, изменения качественного и количественного состава

получаемых смесей. Практический потенциал таких процессов может быть очень высоким, прежде всего, в получении термолабильных веществ, в том числе биологически активных веществ. Основные результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для использования в научных, научно-учебных и научно-производственных организациях, которые занимаются изучением процессов в суб- и сверхкритических условиях. В целом, диссертационная работа Алиева Аслана Мурадалиевича «Термодинамические аспекты процесса экстракции растительного сырья с использованием сверхкритических флюидов» соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Алиев Аслан Мурадалиевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Соискатель имеет 167 опубликованных работ, из них по теме диссертации – 26, в том числе 11 статей (объемом 120 страниц) в журналах, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий по группе научных специальностей 1.4. Химические науки, 2 патента Российской Федерации, приравниваемых согласно п.12 Положения о присуждении ученых степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г № 842 (в действующей редакции) к публикациям, в которых излагаются основные научные результаты, 12 материалов конференций различного уровня и 1 монография. Авторский вклад соискателя составляет более 80 %.

Наиболее значимые работы соискателя:

1. AL-Hmadi, H.B. Comparative GC–MS Analysis of Supercritical CO<sub>2</sub> Extracts from Roots and Aerial Parts of Glycyrrhiza glabra L. / H.B. AL-Hmadi, S. Majdoub, **A.M. Aliev**, S. Hammami // Chemistry Africa. – 2026. – V. 9. – Id. 83. – P. 1-8. DOI: 10.1007/s42250-025-01555-y (Согласно п.5 Приказа №1586 от 12.12.2016 г. «Об утверждении правил формирования перечня рецензируемых научных изданий...» с поправками согласно Приказу № 99 от 12.03.2018 г.; согласно международной классификации – Q3; согласно рекомендациям ВАК при Минобрнауки России от 21.12.2023 г. №3-пл/1 – K1; уровень в «белом списке» – 2);

2. **Алиев, А.М.** Зависимость компонентного состава сверхкритического CO<sub>2</sub>-экстракта моркови дикой от условий произрастания / **А.М. Алиев**, Г.К. Раджабов, Ф.А. Вагабова, Ф.И. Исламова, С.В. Горяинов, Ф. Хажжар, С. Хаммами // Сверхкритические флюиды: теория и практика. – 2023. – Т. 18. – № 3. – С. 3-14. DOI: 10.34984/SCFTP.2023.18.3.001 [**Aliev, A.M.** Relationship of the Component Composition of Supercritical CO<sub>2</sub> Extracts of Wild Carrots with Growing Conditions / **A.M. Aliev**, G.K. Radzhabov, F.A. Vagabova, F.I. Islamova, S.V. Goriainov, F. Hajjar, S. Hammami // Russian

Journal of Physical Chemistry B. – 2023. – V. 17. – №. 8. – P. 1619-1627. DOI: 10.1134/S1990793123080067] (№1035 из Перечня изданий, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования по состоянию на 23.12.2023 г.; согласно международной классификации – Q3; согласно рекомендациям ВАК при Минобрнауки России от 21.12.2023 г. №3-пл/1 – K2; уровень в «белом списке» переводного издания – 2; уровень в «белом списке» (ЕГПНИ) русской версии журнала – 3);

3. **Aliev, A.M.** The study of microalgae *Nannochloropsis salina* fatty acid composition of the extracts using different techniques. SCF vs conventional extraction / **A.M. Aliev, I.M. Abdulagatov** // Journal of Molecular Liquids. – 2017. – V. 239. – P. 96-100. – DOI: 10.1016/j.molliq.2016.08.021 (Согласно п.5 Приказа №1586 от 12.12.2016 г. «Об утверждении правил формирования перечня рецензируемых научных изданий...» с поправками согласно Приказу № 99 от 12.03.2018 г.; согласно международной классификации – Q1; согласно рекомендациям ВАК при Минобрнауки России от 21.12.2023 г. №3-пл/1 – K1; уровень в «белом списке» – 1);

4. **Aliev, A.M.** Dynamics of supercritical extraction of biological active substances from the *Juniperus communis* var. *saxatillis* / **A.M. Aliev, G.K. Radjabov, A.M. Musaev** // Journal of Supercritical Fluids. – 2015. – V. 102. – P. 66-72. – DOI: 10.1016/j.supflu.2015.04.009 (Согласно п.5 Приказа №1586 от 12.12.2016 г. «Об утверждении правил формирования перечня рецензируемых научных изданий...» с поправками согласно Приказу № 99 от 12.03.2018 г.; согласно международной классификации – Q1; согласно рекомендациям ВАК при Минобрнауки России от 21.12.2023 г. №3-пл/1 – K1; уровень в «белом списке» – 1).

На автореферат диссертации поступили отзывы от: доктора технических наук, доцента, профессора кафедры теплотехники и энергетического машиностроения, заместителя начальника Управления научно-исследовательских работ федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» **Билалова Т.Р.**; доктора фармацевтических наук, профессора, профессора кафедры фармацевтической химии и фармакогнозии Пятигорского медико-фармацевтического института – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» **Коновалова Д.А.**; кандидата химических наук, научного сотрудника лаборатории химии координационных соединений кафедры неорганической химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» **Маркеловой М.Н.**; кандидата химических наук, доцента кафедры

биотехнологии, химии и стандартизации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет» **Марковой М.Е.**; доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника, заведующего лабораторией быстропротекающих процессов и физики кипения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теплофизики Уральского отделения Российской академии наук **Никитина Е.Д.**; доктора биологических наук, главного научного сотрудника лаборатории ароматических и лекарственных растений, заместителя директора по науке Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук» **Шевчук О.М.**

Все отзывы **положительные**. Имеются вопросы, рекомендации и замечания:

1. В третьей главе представлены результаты исследования процесса экстракции веществ растительного происхождения из различного вида сырья. В частности, речь идет о шишкоягодах можжевельника продолговатого, надземной части *Satureja hortensis* L., микроводорослей (*Nannochloropsis salina*) и ряда других. В то же время, в автореферате в графической форме представлена кинетика экстракции только из шишкоягод можжевельника продолговатого, тогда как остальные результаты только в виде словесного описания. Хотелось бы увидеть графические представления полученных результатов. Кроме того, в автореферате не представлена информация о том, что проводилась ли какая-то предварительная обработка исходного сырья (измельчение, дробление, сушка и т.д.);
2. В четвертой главе представлены результаты термодинамических исследования СКФ-экстракции на примере бинарных систем «СКФ + ВПР». Для этих систем рассчитаны термодинамические параметры взаимодействия  $\text{CO}_2$  в СК состояниях с использованием состояния Пенга-Робинсона, которое хорошо описывает подобные системы, однако в автореферате не приведена информация о том, какое правило комбинирования (закон смешения) использовал соискатель в работе (**Билалов Т.Р.**);
1. В тексте автореферата встречаются отдельные опечатки и стилистические погрешности (**Коновалов Д.А.**);
1. Не совсем ясно, насколько полученные данные о фазовом поведении бинарных систем могут быть экстраполированы на более сложные многокомпонентные смеси растительного сырья;
2. Вызывает интерес вопрос о возможных эффектах временной динамики экстракции: может ли скорость процесса существенно влиять на состав и выход экстрактов? (**Маркелова М.Н.**);
1. Как природа молекул экстрагируемого вещества коррелирует с параметром Кричевского и возможностью молекулы ВРП образовывать сольватационную оболочку с растворителем? (**Маркова М.Е.**).

Выбор официальных оппонентов осуществлялся из числа специалистов, компетентных в области физической химии, термодинамики и математического моделирования процессов сверхкритической флюидной экстракции растительного сырья. Обоснованием выбора послужили их научные исследования, посвящённые моделированию и анализу процессов сверхкритической флюидной экстракции, изучению массопереносных явлений в сверхкритических средах, а также высокая публикационная активность в данной области, что позволяет обеспечить квалифицированную оценку научной новизны, теоретической и практической значимости представленной диссертационной работы.

Ведущая организация (ИК СО РАН), в частности, отдел физико-химических исследований на атомно-молекулярном уровне, на заседании которого обсуждался отзыв на диссертацию Алиева А.М., широко известна своими исследованиями в области физической химии и химии сверхкритических флюидов, гетерогенного катализа, процессов гидрирования и переработки биомассы, а также разработки экологически безопасных технологий в рамках концепции «зелёной химии». Сотрудниками института активно развиваются направления, связанные с использованием сверхкритических сред для синтеза катализаторов, изучения межмолекулярных взаимодействий и процессов массопереноса, а также исследованиями сверхкритических флюидных технологий переработки органических и растительных соединений, что обеспечивает высокий уровень компетентности организации в оценке представленной диссертационной работы. По этим направлениям сотрудниками указанного подразделения опубликовано большое количество статей в таких журналах, как *Journal of Supercritical Fluids*, *Russian Journal of Physical Chemistry B*, *Journal of Structural Chemistry*, *Russian Chemical Reviews*, *Magnetic Resonance in Chemistry*, *Applied Catalysis A: General*, *Catalysts* и др., материалы неоднократно докладывались на международных и всероссийских конференциях.

**Диссертационный совет 24.2.312.01 отмечает, что наиболее существенные результаты, полученные лично соискателем, и их научная новизна заключаются в следующем:**

– *установлены закономерности фазового поведения систем «сверхкритический диоксид углерода + вещества растительного происхождения» (СК-CO<sub>2</sub> + ВРП), определены зависимости  $P-T-x$ - $y$  и построены критические линии в проекциях  $P_c-x$ ,  $T_c-x$  и  $P_c-T_c$  для модельных систем;*

– *выявлена зависимость изобарной теплоёмкости ( $C_p$ ) от давления, температуры и концентрации ( $C_p(P, T, x)$ ) и определено положение линии максимумов  $C_p$  (линии Видома) в сверхкритической области, которая позволяет разграничивать области*

«жидко-подобного» и «газо-подобного» состояния, формируя термодинамическую основу описания сверхкритического флюидного состояния;

– *установлена* взаимосвязь между знаком и величиной параметра Кривичевского, характером межмолекулярных взаимодействий и растворимостью веществ растительного происхождения в сверхкритическом  $\text{CO}_2$ ;

– *обоснована* возможность использования параметра Кривичевского в качестве критерия оценки экстракционной способности сверхкритического растворителя;

– *найденны* закономерности изменения парциальных мольных объёмов, прямых и полных корреляционных интегралов, а также размеров кластеров в системах «СК- $\text{CO}_2$  + ВРП» в зависимости от температуры, давления и природы растворённого компонента; *показано*, что корреляционные интегралы и размеры кластеров чувствительны к флуктуационным эффектам вблизи критической точки;

– *установлено* влияние давления и соразтворителей на состав и молекулярно-массовые характеристики СК- $\text{CO}_2$ -экстрактов; *показано*, что повышение давления способствует увеличению выхода высокомолекулярных компонентов, а применение соразтворителей может приводить к повышению выхода целевых веществ;

– *продемонстрировано*, что сверхкритическая  $\text{CO}_2$ -экстракция позволяет извлекать термолабильные соединения без их термической деструкции, а полученные данные о фазовом поведении экстрактов вблизи критической точки могут быть использованы при разработке и оптимизации сверхкритических технологических процессов.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

– *установлены* закономерности фазового поведения систем «СК- $\text{CO}_2$  + ВРП» и выявлено влияние природы растворённого вещества и его концентрации на положение критических линий и устойчивость сверхкритического состояния;

– *определены* особенности изменения изобарной теплоёмкости, парциальных мольных объёмов и параметра Кривичевского вблизи критической точки, что расширяет представления о межмолекулярных взаимодействиях и флуктуационных эффектах в сверхкритических растворах;

– *выявлены* закономерности изменения микроструктурных характеристик сверхкритических растворов, включая прямые и полные корреляционные интегралы, а также размеры кластеров, отражающие особенности локальной организации молекул растворителя и растворённого вещества;

– *установлена* взаимосвязь между термодинамическими параметрами, структурными характеристиками и растворяющей способностью сверхкритического  $\text{CO}_2$ , что вносит вклад в развитие физической химии сверхкритических флюидов и теории сверхкритических растворов;

– получены новые данные о влиянии давления и сорастворителей на состав и молекулярно-массовые характеристики экстрактов, позволяющие раскрыть роль межмолекулярных взаимодействий в процессах сверхкритической флюидной экстракции.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

– установленные закономерности фазового поведения, термодинамических и структурных характеристик систем «сверхкритический диоксид углерода + вещества растительного происхождения» могут быть использованы при разработке и оптимизации технологий сверхкритической флюидной экстракции биологически активных веществ;

– предложенные подходы к оценке параметра Кривежского, парциальных мольных объёмов и микроструктурных характеристик сверхкритических растворов позволяют прогнозировать растворяющую способность сверхкритических флюидов и подбирать эффективные условия экстракции целевых компонентов;

– полученные экспериментальные данные о влиянии давления и сорастворителей на состав и выход экстрактов могут быть использованы при создании экологически безопасных технологий переработки растительного сырья и получения биологически активных веществ;

– результаты исследований фазового поведения экстракта растительного сырья вблизи критической точки  $\text{CO}_2$  могут быть применены при проектировании сверхкритических экстракционных установок, сепараторов и реакторов;

– полученные результаты могут служить основой для создания расчетно-прогностических моделей экстракции растительного сырья, позволяющих оценивать эффективность сверхкритических растворителей.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

– использование комплекса современных расчётных методов исследования сверхкритических систем, включая термодинамическое моделирование с применением общепринятых уравнений состояния, методов статистической обработки результатов и оценки погрешностей;

– проведение экспериментальных исследований с применением поверенного оборудования, а также современного высокотехнологичного метода газовой хромато-масс-спектрометрии и лицензионных библиотек масс-спектров для определения химического состава экстрактов;

– согласованность полученных экспериментальных и расчётных данных с литературными данными и современными представлениями физической химии сверхкритических систем.

Все это подтверждает **достоверность** и **обоснованность** полученных результатов и сделанных на их основе выводов.

**Личный вклад соискателя** заключается в непосредственном участии на всех этапах выполнения диссертационной работы: постановке цели и задач исследования, планировании и проведении экспериментальных исследований процессов сверхкритической флюидной экстракции, изучении фазового поведения систем «сверхкритический диоксид углерода + вещества растительного происхождения», обработке и интерпретации экспериментальных данных, выполнении термодинамических расчётов и моделирования, анализе структурных характеристик сверхкритических растворов, а также в формулировании основных научных положений и выводов диссертации. Автором лично проведены исследования влияния давления и соразвителей на состав и свойства экстрактов, выполнены расчёты критических параметров, параметра Кричевского, парциальных мольных объёмов, корреляционных интегралов и размеров кластеров исследуемых систем. Подготовка публикаций, докладов и патентных материалов по теме диссертации осуществлялась при непосредственном участии соискателя.

По своему содержанию **диссертация соответствует паспорту специальности**

#### **1.4.4. Физическая химия** по следующим пунктам:

– п. 2. Экспериментальное определение термодинамических свойств веществ, расчет термодинамических функций простых и сложных систем, в том числе на основе методов статистической термодинамики, изучение термодинамических аспектов фазовых превращений и фазовых переходов»;

– п. 7. Макрокинетика, механизмы сложных химических процессов, физико-химическая гидродинамика, растворение и кристаллизация.

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования.**

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в научных организациях, образовательных учреждениях и научно-производственных центрах, проводящих исследования в области физической химии сверхкритических флюидов, термодинамики растворов, процессов экстракции и переработки растительного сырья, в том числе в ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН», ФГБУН Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, ФГБУН Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Институте органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленном подразделении ФГБУН ФИЦ КазНЦ РАН, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский

университет) имени И.М. Губкина», ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», а также в других организациях, занимающихся разработкой и внедрением технологий сверхкритической флюидной экстракции, созданием экологически безопасных технологий переработки растительного сырья и моделированием термодинамических свойств систем в сверхкритическом состоянии.

При защите диссертации Алиева А.М. не было высказано критических замечаний; соискатель исчерпывающе ответил на вопросы, задаваемые ему в ходе заседания.

Диссертационным советом 24.2.312.01 сделан вывод, что рассматриваемая диссертация соответствует п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции).

На заседании 30.06.2026 г. диссертационный совет 24.2.312.01 принял решение: за установление закономерностей фазового поведения, термодинамических и структурных характеристик систем «сверхкритический диоксид углерода + вещества растительного происхождения», а также за развитие представлений о межмолекулярных взаимодействиях и флуктуационных эффектах вблизи критической точки в сверхкритических системах, присудить Алиеву Аслану Мурадалиевичу ученую степень кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

При проведении тайного голосования диссертационный совет 24.2.312.01 в количестве 16 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.4.4. Физическая химия, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 16, против – нет, недействительных голосов – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



30.06.2026 г.