

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-1-25-31>

Поступила 28.11.2025

Поступила после рецензирования 18.02.2026

Принята в печать 24.02.2026

© Нициевская К. Н., Станкевич С. В., Бородай Е. В., 2026

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Открытый доступ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПЛОДАХ *SORBUS AUCUPARIA* НЕСТАНДАРТНЫМИ МЕТОДАМИ

Нициевская К. Н., Станкевич С. В., Бородай Е. В.*

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р. п. Краснообск, Новосибирская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

плоды *Sorbus aucuparia*, сушка, замораживание, фенольные соединения, флавоноиды, нестандартные методы

Фенольные соединения являются важными биологически активными веществами, отвечающими за цвет, вкус и аромат растительного сырья. В статье представлены результаты исследований растительного сырья, а именно *Sorbus aucuparia* (рябины красной), по содержанию фенольных соединений. Для исследования были отобраны по 3 образца из обезвоженных и замороженных плодов рябины красной сорта *Nevezhinskaya*. Выбор методов анализа фенольных соединений в плодах рябины красной осуществлялся на основе изучения нормативной документации, регламентирующей методы определения биологически активных веществ фенольной природы, а также научно-технических публикаций по данной теме. Для экстракции были выбраны ацетон и этанол; количественное определение проводили фотоэлектроколориметрическим и титриметрическим методами. Проведено сравнение результатов, полученных разными методами. Установлено, что наибольшее количество фенольных соединений экстрагируется этанолом (40%). В качестве подходящего сырья были определены замороженные плоды рябины красной. Полученные данные могут быть использованы при разработке методов анализа фенольных соединений в растительном сырье.

Received 28.11.2025

Accepted in revised 18.02.2026

Accepted for publication 24.02.2026

© Nitsievskaya K. N., Stankevich S. V., Boroday E. V., 2026

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

DETERMINATION OF THE CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS IN *SORBUS AUCUPARIA* FRUITS BY NONSTANDARD METHODS

Kseniya N. Nitsievskaya, Svetlana V. Stankevich, Elena V. Boroday*

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

KEYWORDS:

Sorbus aucuparia fruits, drying, freezing, phenolic compounds, flavonoids, nonstandard methods

ABSTRACT

Phenolic compounds are important biologically active substances that are responsible for color, taste and aroma of plant raw materials. The paper presents the results of the study of the plant raw material, namely *Sorbus aucuparia* (mountain ash), in terms of the content of phenolic compounds. For investigation, three samples were taken from dried and frozen fruits of mountain ash of the *Nevezhinskaya* variety each. Methods for the analysis of phenolic compounds in the mountain ash fruits were chosen based on the study of the normative documentation regulating methods for determining biologically active phenolic substances as well as the scientific-technical publications on this theme. Acetone and ethanol were chosen for extraction. Quantification was performed by the photoelectrocolorimetric and titrimetric methods. The comparison of the results obtained by different methods was carried out. It has been established that the highest quantity of phenolic compounds was extracted by ethanol (40%). Frozen mountain ash fruits were found to be the most suitable raw material. The data obtained can be used in the development of the methods for analysis of phenolic compounds in plant raw materials.

1. Введение

1.1. Химическая природа фенольных соединений

Биологически активные вещества имеют различную химическую природу. Отдельно следует выделить группу фенольных соединений, ключевая роль которых заключается в обеспечении антиоксидантной защиты растения от воздействия свободных радикалов и, как следствие, в снижении окислительного стресса.

Состав соединений фенольной природы в плодах *Sorbus aucuparia* (далее — рябины красной) отражен во многих научных работах. Исследуемые плоды описываются как растительное сырье, содержащее как полимерные фенольные соединения (рутин, изокверцетин, кверцетин), так и мономерные (кумарины, катехины, антоцианы, лейкоантоцианы и халконы, относящиеся к ряду флавоноидов). Фенольные соединения описываются авторами как химические соединения полимерной природы с выраженной антиоксидантной активностью; такие свойства выявлены у кофейлхинных кислот, флавоноидов и проантоцианидинов [1, 2]. Фитохимический профиль плодов и вегетативных частей рябины выполняет функцию защиты от экзогенных и эндогенных факторов стресса; листья и плоды раз-

личных сортов и видов используются в народной медицине и в пищевых целях [3].

В этнофармакологии фенольные соединения растений используются в качестве натуральных средств для лечения бактериальных, вирусных и воспалительных заболеваний, в том числе опухолей, а также для лечения диабета, неврологических и сердечно-сосудистых заболеваний [4]. Фармакологическое действие перечисленных фенольных соединений свидетельствует об их капилляроукрепляющем и гипотензивном эффектах. Галловая кислота, кемпферол, куркумин, кверцетин и ресвератрол являются мощными противоопухолевыми агентами и антиоксидантами; их действие связано с активацией онкогенов и инактивацией генов-супрессоров опухолей [5]. Фенольное соединение аукупарин, выделенное из плодов рябины красной, препятствует развитию фиброза легких благодаря противовоспалительному действию и подтверждает свой потенциал в качестве терапевтического средства при лечении идиопатического легочного фиброза [6]. Фенольные соединения считаются защитными агентами с терапевтическим потенциалом в условиях окислительного стресса; в научной литературе также описаны их цитотоксические свойства в отношении раковых клеток [2].

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Нициевская, К. Н., Станкевич, С. В., Бородай, Е. В. (2026). Определение содержания фенольных соединений в плодах *Sorbus aucuparia* нестандартными методами. *Пищевые системы*, 9(1), 25–31. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-1-25-31>

FOR CITATION: Nitsievskaya, K. N., Stankevich, S. V., Boroday, E. V. (2026). Determination of the content of phenolic compounds in *Sorbus aucuparia* fruits by nonstandard methods. *Food Systems*, 9(1), 25–31. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-1-25-31>

Антибактериальные свойства плодов рябины красной описаны в отношении *Enterococcus faecalis*, *E. coli* и *Pseudomonas aeruginosa*, которые способствуют антибактериальной защите клеток почек при их повреждении [7].

В работе [8] оценивалось антипролиферативное, противомикробное и антиоксидантное действие ацетоновых, этанольных и водных экстрактов из жмыха рябины. Экстракты, полученные из жмыха рябины, эффективно подавляли рост нежелательных микроорганизмов, особенно грамположительных бактерий. В целом результаты исследования свидетельствовали о том, что жмых рябины является перспективным источником натуральных соединений, обладающих антиоксидантной и биологической активностью.

1.2. Экстрагирование фенольных соединений

В настоящее время научные исследования рябины красной ведутся по нескольким ключевым направлениям; одним из них является формирование вкусо-ароматического букета продукта с функциональными свойствами, обеспечивающими его хранимоспособность за счет консервирующих свойств органических кислот растительного сырья [9].

В научной литературе установлено, что классификация природных фенольных соединений осуществляется на основе биогенетического принципа [10]. Данная классификация учитывает количество фенольных колец в структуре соединения и тип фрагментов, связывающих эти кольца. В результате выделяют пять основных классов [10]: 1) фенольные кислоты, представляющие собой производные бензойной и коричной кислот; 2) флавоноиды; 3) танины, которые подразделяются на гидролизуемые и конденсированные; 4) стильбены; 5) лигнаны. Все перечисленные классы относятся к вторичным метаболитам растительного происхождения. Кроме того, существует группа синтетических пространственно-затрудненных фенолов. Они находят применение в качестве стабилизаторов пищевых продуктов, а также растительных и технических масел с целью предотвращения окислительных процессов.

Определение мономерных фенольных соединений, в частности флавоноидов и кумаринов, а также антраценпроизводных соединений осуществляется с использованием неводных растворителей — диметилсульфоксида, ацетона и диметилформамида [11].

1.3. Методы обнаружения и количественного определения фенольных соединений

В научной литературе описано множество методов обнаружения фенольных соединений и типов растворителей-экстрагентов, что обусловлено разнообразием химической природы этих веществ. В работе [12] идентификацию флавоноидных соединений на примере травы кипрея узколистного проводили путем растворения сырья в 70 и 95%-ном этаноле с последующим добавлением хлороформа для исключения из смеси гидрофобных соединений.

Особенности физических свойств фенольных соединений проявляются в их способности растворяться в полярных растворителях; эту особенность многие авторы используют при разработке своих методов. Например, был создан метод и определены параметры количественного анализа суммы флавоноидов в цветках *Tripleurospermum inodorum flores* с пересчетом на рутин. Для анализа использовали дифференциальную спектрофотометрию при длине волны 410 нм и 70%-ный этанольный экстрагент [13].

Проведены исследования по определению оптимального экстрагента при разработке метода количественного определения суммы флавоноидов в цветках форзиции промежуточной *Forsythia intermedia zabel*, в качестве которого был выбран 30%-ный этанол. Ранее фармакологическими исследованиями установлено, что экстракт из цветков форзиции проявляет выраженное гепатопротекторное действие [14].

Для количественного определения суммы флавоноидов в лекарственном растительном сырье в качестве экстрагента также используют водно-этанольные растворы различной концентрации [15].

Фенольные соединения мономерной природы содержат небольшое количество гидроксильных групп, поэтому в качестве растворителей для их выделения применяют бензол, хлороформ, эфир, этилацетат и ацетон [16].

Для хроматографического анализа флавоноидов и гидроксикоричных кислот проводят этанольное извлечение из цветков сирени рода *Syringa (Oleaceae)* (70%-ный этанол, 1:30) [17].

В качестве реагентов для высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) чаще используют дистиллированную воду, метанол и ледяную уксусную кислоту; детектирование проводится при длинах волн 280, 303, 330 и 360 нм [18].

Химический состав экстрактов из плодов рябины красной определяется с помощью ультра-высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемным масс-спектрометрическим детектированием и спектрофотометрических методов. Основными фенольными соединениями были неохлорогеновая и хлорогеновая кислоты [8].

Применение газохроматографических методов, по сравнению с ВЭЖХ, требует дополнительной стадии пробоподготовки — дериватизации фенолов [19].

По данным литературы, при определении количественного и качественного содержания соединений фенольной природы в спектрофотометрическом анализе используют комплексы с солями металлов. В таком методе (в частности, в реакции взаимодействия с алюминием хлоридом) происходит bathochromный сдвиг при максимуме поглощения в области ультрафиолетовых волн.

Качественное обнаружение флавоноидов описано и в других публикациях реакциями: цианидиновой пробы, ацетатом свинца, с реактивом Вильсона [17].

Качественные и количественные методы включают применение тонкослойной хроматографии и УФ-спектрофотометрии. В статье [20] авторы определяли содержание флавоноидов в цветках, листьях и побегах боярышника в пересчете на гиперозид ($\lambda = 412$ нм), а для боярышника кроваво-красного и однопетистного — содержание суммы флавоноидов в пересчете на 2Р-О-рамнозида витексин ($\lambda = 392$ нм). В другом источнике [21] методом тонкослойной хроматографии авторами установлено наличие в траве фацелии пижмолистной фенолкарбоновых кислот (хлорогеновой, кофейной) и флавоноидов (рутина и кверцетина). При определении основных классов биологически активных веществ авторами использовались химические реакции, например, хроматография, спектроскопия в УФ-областях и ИК-областях спектра [22].

По мнению авторов, определение флаванонов возможно с помощью УФ-спектрокопии и флуориметрии. В качестве аналита, как правило, выступает гесперидин, реже — нарингенин. Представляет интерес подход к определению гесперицина в апельсиновых соках. Он основан на обработке образца специфическим ферментом гесперидин 6-О- α -L-рамнозил- β -D-глюкозидазой из грибов *Acremonium sp.* DSM 24697 с последующим УФ-детектированием образующегося гесперетина при $\lambda = 323$ нм [23].

Анализ УФ-спектров также лежит в основе методов капиллярного электрофореза и ВЭЖХ [24,25] с диодно-матричным, флуориметрическим или масс-спектрометрическим детектированием.

Растительное сырье содержит сложный химический состав фенольных соединений, относящихся к различным классам органических веществ. Для их идентификации классически используют хроматографические методы. Для этого необходимо предварительное извлечение аналитов и их концентрирование. Поэтому применяют различные варианты жидкостной и твердофазной экстракции или их сочетание, что значительно увеличивает трудоемкость анализа и его стоимость [26].

За рубежом в последнее время уделяют внимание масс-спектрометрическому детектированию (МС), в том числе тандемному и высокому разрешению для повышения селективности и чувствительности определения [27].

По мнению авторов, метод ВЭЖХ позволяет определять группы флавоноидов [28]. При определении оптических изомеров флаванонов методом ВЭЖХ достигнуто хиральное разделение шести пар изомеров (флаванона, нарингенина, гесперетина, эриодиктиола, ликвиритигенина и пиностромбина) на колонке Chiralpak AD-3R (2,1 × 150 мм, 3 мкм) с тройным квадрупольным тандемным масс-спектрометрическим детектированием в режиме мониторинга множества реакций [29].

Ультра-ВЭЖХ-МС позволяет одновременно определять 11 флаванонов в растительном сырье. Диапазоны количественного определения: эриодиктин, гесперидин, неогесперидин и эриодиктиол — 0,4–1000 нг/мл; ликвиритин — 0,4–300 нг/мл. Эти соединения были определены в образцах люцерны, золотарника, фацелии, гречихи, лакрицы и лаванды [30].

В исследованиях [17,31] полифенольные соединения также идентифицировали методом ВЭЖХ-МС.

В работе [32] для анализа антиоксидантов или определения антиоксидантной способности сложных образцов предложено использовать методы спектрофотометрии.

В фармакологии исследования растительного сырья с хлоридом алюминия спектрофотометрически описаны в работах других авторов [33–35]. Группой ученых подбирались оптимальные условия для экстрагирования фенольных соединений из растительного сырья, включая анализ для реакции комплексобразования с хлоридом алюминия [36].

В публикации [37] описана разработка экспресс-метода количественного определения действующих веществ в траве зверобоя. Метод основан на экстракции флавоноидов и последующем спектрофотометрическом определении комплекса рутина с хлоридом алюминия при длине волны $\lambda = 415$ нм.

В работе авторов [33] представлены исследования сиропов из лекарственно-растительных трав — душицы обыкновенной, чабреца и листьев мяты перечной, при которых использовали длину волны $\lambda = 410$ нм. Авторы [13] при разработке метода количественного определения суммы флавоноидов в цветках трехреберника непачучего проводили исследования при длине волны $\lambda = 410$ нм.

В публикации [15] описаны УФ-спектры экстрактов цветков липы с максимумом поглощения при длине волны $\lambda = 279$ нм. Проведен сравнительный анализ суммарного содержания флавоноидов в различных видах сырья боярышника кроваво-красного (*Crataegus sanguinea*) в пересчете на гиперозид [38]. По мнению авторов, для большинства исследуемых экстрактов в качестве стандарта может служить рутин, а определение содержания суммы биофлавоноидов в пересчете на рутин следует проводить в интервале длин волн 408–420 нм. Для экстрактов, имеющих максимум поглощения в области 421–435 нм, следует использовать в качестве стандарта кверцетин [35]. При исследовании цветков липы [15] экстрагентом выступал этанол с максимальным спектром поглощения на длине волны $\lambda = 408$ нм.

Авторами статьи [39] в качестве основы для разработки методики был использован метод, предполагающий спектрофотометрический анализ комплексов с реактивом Folin-Ciocalteu. Проведена сравнительная оценка содержания фенольных соединений, а также антиоксидантной и антирадикальной активности 70% водно-этанольного экстракта травы кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.), собранной в разные фазы развития [40]. В исследовании авторов [34] дана характеристика двадцати фенольных соединений, в том числе антиоксидантов в плодах, соке и выжимках сладкой рябины красной.

Количественное выражение полимерных фенольных соединений описывается как содержание рутина в работах [41–43].

Наличие фенольных фрагментов в структуре флаванонов является причиной электрохимической активности. Для их определения используют методы электроанализа. Результаты исследований выражаются в количественном определении гесперидина и нарингина в комплексах с рутинатом при использовании фосфатного буферного раствора (рН 11) — ацетонитрил (1:1) [44].

Существует мнение [45], что для структурно родственных фенольных антиоксидантов, как правило, не удается достичь электрохимического разрешения пиков или ступеней окисления при использовании традиционных углеродистых электродов. Дифференциально-импульсная вольтамперометрия на стеклогуглеродном электроде позволяет определять кверцетин и лютеолин при совместном присутствии.

Авторы статьи [46] для одновременного определения содержания хлорогеновых кислот и ванилина в присутствии кофеина предложили использовать квадратно-волновую адсорбционную инверсионную вольтамперометрию, что позволило установить потенциалы окисления для хлорогеновой кислоты и ванилина — 0,68. Предложенный метод характеризуется широким диапазоном определяемых концентраций (2,8–170 мкМ для хлорогеновых кислот и 3,3–330 мкМ для ванилина), а также низкими пределами обнаружения (0,40 мкМ для ClO₄⁻ и 0,38 мкМ для ванилина). Эффективность метода была подтверждена при анализе образцов растворимого кофе с ванилью.

Сенсоры на основе углеродных наноматериалов различных типов [47] дают возможность одновременно определять природные фенольные антиоксиданты: фенольные кислоты, ароматические альдегиды, ванилин и гваякол, флавоноиды. Было разработано несколько вольтамперометрических сенсоров, основой которых служит оксид графена, восстановленный с помощью боргидрида натрия, гидразина или сероводорода [48].

Угольно-пастовый электрод с включенными наночастицами Fe₃O₄ предложен авторами для одновременного определения синаповой, сиреневой кислот и рутина [49].

Авторами [50] разработаны чувствительные и селективные сенсоры на основе полифурфурала для одновременного определения природных фенольных антиоксидантов.

Также успешно применяется при анализе растительного сырья метод капиллярного электрофореза [51,52]. Зонный капиллярный электрофорез с различными типами детектирования дает возможность проводить одновременное определение флаванонов в компонентах растительного происхождения, в том числе в присутствии фенольных соединений других классов.

В настоящем исследовании проведен анализ нормативной базы, регламентирующей оценку биологически активных веществ фенольной природы, а также научно-технических публикаций последних лет по данной тематике. На основании полученных данных обоснован выбор методов определения фенольных соединений, наиболее часто применяемых и демонстрирующих наилучшие результаты при исследовании растительного сырья. Цель работы — обоснование и выбор метода количественного определения фенольных соединений в плодах рябины красной.

2. Объекты и методы

2.1. Объекты исследований

В ходе проведения исследований количественного содержания веществ фенольной природы использовали плоды *Sorbus Aucuparia* (далее — рябины красной), собранные в Новосибирской области (период сбора — 2022 год):

□ образец № 1 (обезвоженный образец) — технологическая обработка основана на принципах сушки сырья для дальнейшего хранения. Параметры дегидратации плодов проводились по принципу конвективной сушки в температурных режимах $60 \pm 2,0$ °C при 100% конвекции. В конце процесса обезвоживания содержание влаги в сырье было на уровне $7,0 \pm 1,0$ %.

□ образец № 2 (замороженный образец) — технологическая обработка и хранение основаны на принципах низкотемпературной обработки при температуре (-18 ± 2) °C, влажности 75–80%.

Исследование образцов № 1 и № 2 на содержание влаги проводили по ГОСТ 24027.2–80¹.

Отбор проб проводился по ГОСТ 24027.0–80²; для исследования были отобраны по 3 образца обезвоженных и замороженных плодов рябины.

2.1. Методы исследований

2.1.1. Метод 1 — экстракция и последующее колориметрическое определение на длине волны 400 нм

Содержание мономерных фенольных соединений, в частности флавоноидного ряда, определяли по ГОСТ 28887–2019³ (п. 6.13). Метод выбран в связи с простотой выполнения и возможностью оценки его применимости для выделения фенольных соединений из плодов рябины с последующим спектрофотометрическим определением. Сущность метода: отбор пробы плодов рябины массой $0,20 \pm 0,001$ г с дальнейшей экстракцией в присутствии 4 см³ дистиллированной воды и 20 см³ ацетона (исследование 1) или 95%-го этанола (исследование 2) при температуре $(20,0 \pm 2,0)$ °C в течение 60 минут в отсутствие светового воздействия. Далее проводили фильтрацию через бумажный фильтр («синяя лента») и определяли оптическую плотность при длине волны $\lambda = 400$ нм на фотоэлектрическом колориметре КФК-2 (ЗОМ, Россия). В качестве раствора сравнения применяли дистиллированную воду.

Содержание массовой доли мономерных фенольных соединений (в частности флавоноидного ряда) в образцах плодов рябины (мг) рассчитывали по формуле (1):

$$X = \frac{D \times 24}{m \times 8,37} \times \frac{100}{(100 - W)}, \quad (1)$$

где: D — количественная единица оптической плотности образца, е.д.; 24 — количественный объем пробоподготовки, см³; m — масса пробы рябины, г; 8,37 — коэффициент пересчета оптической плотности; W — содержание влаги в плодах, %.

2.1.2. Метод 2 — колориметрическое определение при длине волны 400 нм с построением градуировки по рутину

Анализ количественного содержания фенольных соединений (%) проводили с построением градуировочной шкалы по рутину. Сущность метода заключалась в отборе пробы плодов рябины с последующим экстрагированием 40%-м этанолом объемом 30 см³. Процесс экстрагирования проводился при использовании обратного холодильника при температуре $(60,0 \pm 2,0)$ °C в течение 60 минут. Следующим этапом была фильтрация через бумажные фильтры («синяя лента») полученных экстракционных извлечений пробы в мерную колбу вместимостью 100 см³. Процесс экстракции

¹ ГОСТ 24027.2–80 «Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла». М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. — 10 с.

² ГОСТ 24027.0–80 «Сырье лекарственное растительное. Правила приемки и методы отбора проб». М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. — 5 с.

³ ГОСТ 28887–2019 «Пыльцевая обложка. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2019. — 16 с.

повторяли дополнительно два раза, после чего доводили общий объем до метки 40%-м этанолом (раствор А).

Сущность исследования заключалась в следующем: в мерную колбу вместимостью 25 см³ вносили 1 см³ раствора А, добавляли 1 см³ 2%-го хлорида алюминия и доводили объем до метки 95%-м этанолом. Метод предусматривал подготовку раствора сравнения — смешивание в мерной колбе вместимостью 25 см³ раствора А объемом 1 см³ и 0,2 см³ уксусной кислоты ледяной с дальнейшим доведением до метки 95%-м этанолом. Пробы оставляют на 40 мин в защищенном от света помещении. Далее определяли оптическую плотность при длине волны $\lambda=400$ нм на колориметре фотоэлектрическом КФК-2 (ЗОМ, Россия).

Количественное содержание фенольных соединений (%) в плодах рябины в пересчете на рутин проводили согласно формуле (2) [36]:

$$X = \frac{D \times V_1 \times V_2 \times 1,1}{248 \times m \times (100 - W)} \times 100, \quad (2)$$

где: D — количественная единица оптической плотности образца, е.д.; 248 — удельный показатель пересчета при поглощении рутина в присутствии алюминия хлорида; V — объем раствора А, см³; m — масса пробы плодов рябины, г; 1,1 — поправочный коэффициент на неполноту экстракции фенольных соединений; W — содержание влаги в плодах, %; V_1 — объем колбы для экстракционных извлечений (100 см³); V_2 — объем колбы при пробоподготовке к исследованиям (25 см³).

2.1.3. Метод 3 — экстракция этанолом и последующее колориметрическое определение на длине волны 590 нм

Фотоэлектродиметрическое определение массовой концентрации полифенолов проводили по ГОСТ 34798-2021⁴. Анализ экстракта (на основе 40%-ного этанола) из плодов рябины обусловлен применимостью разных методов для оценки фенольных соединений. Подготовка пробы заключалась в смешивании 10 см³ экстракционного извлечения раствора А (по методу 2), 8 см³ раствора карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) и 0,5 см³ раствора лимонно-аммиачного железа (III), с последующим доведением объема дистиллированной водой до метки мерной колбы (25 см³ в нашем исследовании) и перемешиванием содержимого до получения однородной смеси. Затем колбу с пробой выдерживали при температуре (20±5)°C в течение 10 мин. Подготовка раствора сравнения проводилась аналогично пробоподготовке образца, с заменой 0,5 см³ раствора лимонно-аммиачного железа (III) на 0,5 см³ раствора аммиака. Подготовленные пробы при температуре (20±5)°C выдерживали в течение 10 мин и определяли оптическую плотность при длине волны $\lambda=590$ нм на колориметре фотоэлектрическом КФК-2 (ЗОМ, Россия).

Содержание массовой доли полифенольных соединений в плодах рябины (мг/дм³) вычисляли по формуле (3):

$$X = D \times K, \quad (3)$$

где: D — количественная единица оптической плотности образца, е.д.; K — коэффициент пересчета ($K=820$).

2.1.4. Метод 4 — перманганатометрия

Количественное определение фенольных соединений в плодах рябины проводили окислительно-восстановительным титрованием (перманганатометрией). Выражение результата титрования приводили в пересчете на содержание рутина в образцах. Пробоподготовка заключается в экстрагировании, в качестве растворителя использовали дистиллированную воду температурой (98,0±2,0)°C в количестве 50 см³, продолжительность этапа составляла 5 мин. Процесс титрования заключался в подготовке экстрагированного извлечения в объеме 10 см³, 10 см³ дистиллированной воды, 6 капель индикатора индигокармина в колбу для титрования. В качестве титранта использовали раствор перманганата калия в концентрации 0,05 н, процесс титрования считался окончанным до фиксирования устойчивой желтой окраски. Содержание массовой доли фенольных соединений в плодах рябины по рутину (%) находили по формуле (4):

$$w = \frac{3,2 \times V_{p-pa} \times V_k}{1000 \times m \times V_n} \times 100\%, \quad (4)$$

где: 3,2 — масса рутина (мг), необходимого для окисления в процессе титрования; V_{p-pa} — объем израсходованного титранта, см³; V_k — объем экстрагированной пробы (50 см³); V_n — объем экстракционного извлечения (10 см³); m — масса пробы плодов рябины, г.

Обработка результатов количественного анализа фенольных соединений плодов рябины проводили с использованием статистических методов обработки данных в условиях трех параллельных определений.

⁴ ГОСТ 34798-2021 «Продукция пивоваренная. Идентификация. Фотоэлектродиметрический метод определения массовой концентрации полифенолов». М.: Российский институт стандартизации, 2021. — 11 с

Обработку данных проводили с применением регрессионного анализа программы MS Excel, при проверке адекватности полученных данных использован F-критерий Фишера, при расчете значимости коэффициентов — t-критерий Стьюдента.

3. Результаты и обсуждение

При выборе растворителя для экстракции традиционно рекомендуется учитывать природу экстрагируемого вещества (тип растения, части растения) [18,19].

За основу метода 1 был взят метод, разработанный для пыльцевой обножки. В качестве экстрагента был выбран ацетон, что объясняется химической природой соединения, так как ацетон не вступает в химическое взаимодействие с экстрагируемым веществом. Образцы плодов рябины в замороженном виде подвергались экстракции в присутствии ацетона примерно в 1,8 раза эффективнее по сравнению с обезвоженными плодами.

Зависимости содержания фенольных соединений от измеряемой оптической плотности в образцах плодов рябины, а также полученные значения представлены в Таблицах 1 и 2 (фенольных соединений, мг/100 г — в Таблице 1; флавоноидов, % — в Таблице 2).

Для сравнения двух экстрагентов по методу 1 замена ацетона 95%-ным этанолом при извлечении флавоноидных соединений имела более низкие средние значения, чем при использовании по аналогичному методу 1 с применением ацетона (исследование 1). При исследовании содержания флавоноидов раствор для извлечения должен находиться в условиях кислой среды pH 2–4 е.д., т.к. при извлечении возможен переход полисахаридных комплексов. Одним из решений этой проблемы предлагается исследование экстрактов, полученных при извлечении путем осаждения 95%-ным этанолом. В Таблице 1 отображены зависимости по содержанию фенольных соединений от измеряемой оптической плотности в образцах плодов рябины с применением метода 2. Содержание фенольных соединений было примерно в 1,5 раза выше в замороженных плодах рябины по сравнению с обезвоженными, что подтверждалось разницей между объектами исследования в 0,080%.

Таблица 1. Сравнительная характеристика результатов разных методов количественного определения фенольных соединений ($p=0,95, n=3$)

Table 1. Comparative characteristics of the results of different methods for quantification of phenolic compounds ($p=0.95, n=3$)

Для обезвоженных плодов		Для замороженных плодов	
анализ зависимых факторов	$X_{cp} \pm \Delta X_{cp}^*$	анализ зависимых факторов	$X_{cp} \pm \Delta X_{cp}^*$
Метод 1 колориметрическое определение на длине волны 400 нм (с экстракцией ацетоном)			
$Y = 2,88 - 1,14x$	$1,74 \pm 0,01$	$Y = -0,18 + 3,53x$	$3,11 \pm 0,03$
$R = 0,76; F = 0,34$		$R = 0,90; F = 0,20$	
Метод 1 колориметрическое определение на длине волны 400 нм (с экстракцией 95% этанолом)			
$Y = 2,83 - 1,47x$	$1,39 \pm 0,004$	$Y = 1,64 + 0,46x$	$2,05 \pm 0,007$
$R = 0,86; F = 0,244$		$R = 0,70; F = 0,330$	
Метод 3 колориметрическое определение на длине волны 590 нм (с экстракцией 40% этанолом)			
$Y = 3,50 + 3,06x$	$5,61 \pm 0,04$	$Y = -2,11 + 17,39x$	$9,25 \pm 0,06$
$R = 0,70; F = 0,36$		$R = 0,95; F = 0,15$	

* Примечание: $\pm \Delta X_{cp}$ — расхождение между параллельными измерениями $p=0,95$.

Метод 3, согласно стандарту и проведенному литературному обзору, применим для производства продукции с содержанием этанола. Концентрация обнаруженных полифенолов была выше в замороженных плодах рябины по сравнению с обезвоженными.

Метод 2 основан на количественном определении фенольных соединений посредством использования дифференциальной спектрофотометрии в сочетании реакции с комплексом алюминия хлорида; был разработан для гортензии древовидной. Его выбор объясняется устойчивостью комплекса химических соединений и доступностью при измерении и обработке данных. Процесс определения флавоноидов в плодах рябины по методу 2 имел наименьшие показатели средних значений. При сравнении с методом 1 результаты по содержанию флавоноидов были меньше, однако этот факт можно объяснить определением только рутина из всех флавоноидных соединений.

При сравнении метода 2 (с использованием алюминия хлорида) с литературными данными авторов содержание флавоноидов составило 0,49–1,24% [53].

Исследования фенольных соединений по методу 4, основанному на методе окислительно-восстановительного титрования, проводятся на плодах рябины красной в замороженном и обезвоженном виде. Содержание фенольных соединений в образце № 2 (замороженные плоды) в 1,3 раза больше в сравнении с обезвоженными образцами. Перманганатометрия при сравнении данных образцов по средним значениям (X_{cp}) (Таблица 1) различны не более чем на 20%.

Наиболее доступным методом для определения фенольных соединений был метод 4, не требующий дополнительного оборудования для проведения количественных измерений и применяемый на плодах рябины красной. Опираясь на полученные количественные данные, можно судить об обнаружении фенольных соединений различной природы: метод 1 направлен на исследование общего содержания фенольных соединений, методы 2 и 4 — на пересчет по рутину, метод 3 — на выделение полифенолов. Используемые методы имели ошибку не более 1%. В сравнении с высокоэффективной жидкостной хроматографией методы 1 и 3 указывали на общее содержание фенольных соединений. Они являются нестандартными и возможны для применения после дополнительных исследований и разработки на их основе новых методов количественного анализа фенольных соединений.

Таблица 2. Сравнительная характеристика результатов разных методов количественного определения фенольных соединений по рутину ($p=0,95$, $n=3$)

Table 2. Comparative characteristics of the results of different methods for quantification of phenolic compounds in terms of rutin ($p=0.95$, $n=3$)

Метод 2 колориметрический при длине волны 400 нм с построением градуировки по рутину			
анализ зависимых факторов	$X_{cp} \pm \Delta X_{cp}^*$	анализ зависимых факторов	$X_{cp} \pm \Delta X_{cp}^*$
$Y = -0,03 + 1,29x$ $R=0,98; F=0,09$	$0,03 \pm 0,002$	$Y = -0,09 + 3,12x$ $R=0,75; F=0,32$	$0,04 \pm 0,005$
Метод 4. Перманганатометрия			
$Y = 1,35 + 0,03x$ $R=0,92; F=0,16$	$1,38 \pm 0,06$	$Y = 1,66 + 0,5x$ $R=0,95; F=0,15$	$1,66 \pm 0,02$

* Примечание: $\pm \Delta X_{cp}$ — расхождение между параллельными измерениями $p=0,95$.

По данным авторов, содержание фенольных соединений плодов рябины зависит от биологических особенностей сорта или вида, а также от климатических условий в конкретный год заготовки сырья. Например, рябина сорта *Sorbus sibirica* превосходила сорт *Sorbus aucuparia* на 12,8% [17,53].

4. Выводы

Приведены данные о количественном содержании фенольных соединений в плодах рябины с применением разных методов. Не все применяемые методы имели соответствующую анализу плодового сырья область применения. Используемые методы не применялись ранее для анализа плодового сырья, в частности плодов рябины. В ходе исследования определены наиболее оптимальные экстрагенты для выделения фенольных соединений.

Из используемых методов установлено, что для обезвоженных и замороженных плодов рябины в качестве экстрагента подходят ацетон и 95%-ный этанол (метод 1), а также 40%-ный этанол (метод 3). Наибольшее выделение фенольных соединений наблюдалось при использовании метода 3 и составило 5,61 мг/100 г для обезвоженных плодов и 9,25 мг/100г для замороженных плодов.

При сравнении числовых данных отмечено, что выход фенольных соединений наиболее выражен при исследовании замороженных плодов рябины. Данный факт можно объяснить разрушением клеточной структуры растительной ткани при воздействии низких температур. Обезвоженные плоды рябины подвергались восстановлению клеточной структуры, что, возможно, потребовало увеличения времени экстракции данного вида сырья.

Также можно предположить частичное разрушение фенольных соединений в процессе конвективной сушки, вызванное высокими температурами и изменением осмотического давления.

Использование представленных методов анализа фенольных соединений позволило получить новые данные о применимости различных методов для оценки обезвоженных и замороженных плодов рябины. Полученные результаты количественного анализа распространяются на данные образцы растительного сырья при условии соблюдения всех параметров проведения исследований по приведенным в статье методам. Представленный научный материал может служить теоретической базой для формирования показателей безопасности растительного сырья по содержанию фенольных соединений и разработки соответствующих методов контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Варданян, Л. Р., Арутюнян, С. А., Торосян, Г. О. (2025). Исследование антиоксидантной активности растительного сырья как натурального стабилизатора пищевых продуктов. *Техника и технология пищевых производств*, 55(3), 485–495. [Vardanyan, L. R., Harutyunyan, S. H., Torosyan, G. H. (2025). Antioxidant activity of plant raw materials as natural food stabilizers. *Food Processing: Techniques and Technology*, 55(3), 485–495. (In Russian)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-3-2586>
- Arvinte, O. M., Senila, L., Becze, A., Amariei, S. (2023). Rowanberry — A source of bioactive compounds and their biopharmaceutical properties. *Plants*, 12(18), Article 3225. <https://doi.org/10.3390/plants12183225>
- Zymone, K., Raudone, L., Zvikas, V., Jakštas, V., Janulis, V. (2022). Phytoprofilng of *Sorbus L.* inflorescences: A valuable and promising resource for phenolics. *Plants*, 11(24), Article 3421. <https://doi.org/10.3390/plants11243421>
- Sarv, V., Venskutonis, P. R., Bhat, R. (2020). The *Sorbus* spp. — Underutilised plants for foods and nutraceuticals: Review on polyphenolic phytochemicals and antioxidant potential. *Antioxidants*, 9(9), Article 813. <https://doi.org/10.3390/antiox9090813>
- Rajendran, P., Abdelsalam, S. A., Renu, K., Veeraraghavan, V., Ben Ammar, R., Ahmed, E. A. (2022). Polyphenols as potent epigenetics agents for cancer. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(19), Article 11712. <https://doi.org/10.3390/ijms231911712>
- Lee, S. Y., Park, S.-Y., Lee, G.-E., Kim, H., Kwon, J.-H., Kim, M. J. et al. (2021). Aucuparin suppresses bleomycin-induced pulmonary fibrosis via anti-inflammatory activity. *Journal of Medicinal Food*, 24(2), 151–160. <https://doi.org/10.1089/jmf.2020.4861>
- Aurori, M., Niculae, M., Hanganu, D., Pall, E., Cenariu, M., Vodnar, D. C. et al. (2024). The antioxidant, antibacterial and cell-protective properties of bioactive compounds extracted from rowanberry (*Sorbus aucuparia L.*) fruits in vitro. *Plants*, 13(4), Article 538. <https://doi.org/10.3390/plants13040538>
- Bobinaite, R., Grootaert, C., Van Camp, J., Sarkinas, A., Liaudanskas, M., Žvikas, V. et al. (2020). Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of the extracts isolated from the pomace of rowanberry (*Sorbus aucuparia L.*). *Food Research International*, 136, Article 109310. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109310>
- Hwang, H.-J., Kim, P., Kim, C.-J., Lee, H.-J., Shim, I., Yin, C. S. et al. (2008). Antinociceptive effect of amygdalin isolated from *Prunus armeniaca* on formalin-induced pain in rats. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 31(8), 1559–1564. <https://doi.org/10.1248/bpb.31.1559>
- Ziyatdinova, G. K., Zhupanova, A. S., Budnikov, H. C. (2022). Electrochemical sensors for the simultaneous detection of phenolic antioxidants. *Journal of Analytical Chemistry*, 77(2), 155–172. <https://doi.org/10.1134/S1061934822020125>
- Марахова, А. И. (2015). Методологические аспекты разработки методик количественного анализа при стандартизации лекарственного растительного сырья. *Успехи современного естествознания*, 11, 58–61. [Marakhova, A. I. (2015). Methodological aspects of development of techniques of quantitative analysis in the standardization of medicinal plants. *Advances in Current Natural Sciences*, 11, 58–61. (In Russian)]
- Бояринцев, Д. И., Кузьминов, И. В., Брютова, К. В., Русакова, О. А. (2024). Стандартизация сырья, полученного из надземных органов кипрея узколистного (*Chamaenerion angustifolium L.*). *Химия растительного сырья*, 3, 177–187. [Boyarintsev, D. I., Kuz'minov, I. V., Bryutova, K. V., Rusakova, O. A. (2024). Standardization of raw materials obtained from aerial organs of natural fire-broad (*Chamaenerion angustifolium L.*). *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*, 3, 177–187. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcprpm.20240312495>
- Блинова, О. Л., Гилева, А. А., Хлебников, А. В., Белоногова, В. Д., Турышев, А. Ю. (2021). Разработка методики количественного определения суммы флавоноидов в трехребернике непахучем цветках. *Медико-фармацевтический журнал Пульс*, 23(6), 157–166. [Blinova, O. L., Gileva, A. A., Hlebnikov, A. V., Belonogova, V. D., Turyshev, A. Y. (2021). Development of a method for quantitative determination of the amount of flavonoids in tripleurospermum inodorum's flowers. *Medical and Pharmaceutical Journal Pulse*, 23(6), 157–166. (In Russian)] <https://doi.org/10.26787/mydha-2686-6838-2021-23-6-157-166>
- Леонова, В. Н., Попова, О. И., Красовская, А. В. (2016). Разработка и валидация методики количественного определения флавоноидов в цветках форзиции промежуточной *Forsythia intermedia zabel*. *Химия растительного сырья*, 4, 117–122. [Leonova, V. N., Popova, O. I., Krasovskaya, A. V. (2016). Development and validation of methods of quantitative determination of flavonoids in the flowers of forsythia intermediate (*Forsythia intermedia zabel*). *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*, 4, 117–122. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcprpm.2016041341>
- Гаврилова, Н. А., Шурыгина, М. С., Курдюков, Е. Е., Водопьянова, О. А., Кривов, Д. В. (2020). Новая методика количественного определения флавоноидов в цветках липы. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*, 2(30), 5–13. [Gavrilova, N. A., Shurygina, M. S., Kurdyukov, E. E., Vodop'yanova, O. A., Krivov, D. V. (2020). A new method of quantitative

- determination of flavonoids in linden flowers. *A University Proceedings. Volga Region. Natural Sciences*, 2(30), 5–13. (In Russian) <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2020-2-1>
16. Orsavová, J., Juríková, T., Bednaříková, R., Mlček, J. (2023). Total phenolic and total flavonoid content, individual phenolic compounds and antioxidant activity in sweet rowanberry cultivars. *Antioxidants*, 12(4), Article 913. <https://doi.org/10.3390/antiox12040913>
 17. Пупыкина, К. А., Полякова, Н. В., Кудашкина, Н. В., Красюк, Е. В. (2023). Сравнительный анализ компонентного состава цветков некоторых представителей рода *Syringa* (Oleaceae). *Растительные ресурсы*, 59(2), 152–163. [Pupykina, K. A., Polyakova, N. V., Kudashkina, N. V., Krasuyuk, E. V. (2023). Comparative analysis of the component composition of flowers in some species of the genus *Syringa* (Oleaceae). *Vegetation Resources*, 59(2), 152–163. (In Russian)] <https://doi.org/10.31857/S00353994623020103>
 18. Каримова, Н. Ю., Алексеевко, Е. В., Цветкова, А. А., Бакуменко, О. Е. (2023). Сравнительная биохимическая характеристика ягод лесной и садовой черники как обоснование для применения в качестве источника функциональных пищевых ингредиентов. *Химия растительного сырья*, 4, 199–208. [Karimova, N. Yu., Alekseenko, E. V., Tsvetkova, A. A., Bakumenko, O. E. (2023). Comparative biochemical characteristics of forest and garden bilberries as a rationale for use as a source of functional ingredients. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 4, 199–208. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcpm.20230412171>
 19. Груздев, И. В., Вебер, Н. Э., Скромная, О. В. (2024). Выделение и определение фенольных кислот в плодах рябины (*Sorbus L.*) методом газовой хроматографии. *Аналитика и контроль*, 28(2), 87–97. [Gruzdev, I. V., Veber, N. E., Skrotskaya, O. V. (2024). Isolation and determination of phenolic acids in rowanberry fruits (*Sorbus L.*) by gas chromatography. *Analytics and Control*, 28(2), 87–97. (In Russian)] <https://doi.org/10.15826/analitika.2024.28.2.002>
 20. Куркина, А. В. (2014). Определение содержания суммы флавоноидов в плодах боярышника. *Химико-фармацевтический журнал*, 48(12), 27–30. [Kurkina, A. V. (2014). Determination of total flavonoids in hawthorn fruits. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 48(12), 27–30. (In Russian)] <https://doi.org/10.30906/0023-1154-2014-48-12-27-30>
 21. Шейхмагомедова, П. А., Попова, О. И. (2022). Идентификация фенольных соединений и разработка методики количественного определения суммы фенолкарбоновых кислот в траве фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia* Benth.). *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*, 25(12), 44–50. [Sheykhmagomedova, P. A., Popova, O. I. (2022). Identification of phenolic compounds and development of a method for quantitative determination of the amount of phenolcarboxylic acids in the herb of *Phacelia tanacetifolia* Benth. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*, 25(12), 44–50. (In Russian)] <https://doi.org/10.29296/25877313-2022-12-07>
 22. Шилова, И. В., Барановская, Н. В., Суслов, Н. И., Минакова, М. Ю. (2024). Биологически активные вещества и элементный состав побегов *Vaccinium myrtillus* после сбора плодов (на примере Томской области). *Химия растительного сырья*, 4, 179–189. [Shilova, I. V., Baranovskaya, N. V., Suslov, N. I., Minakova, M. Yu. (2024). Biologically active substances of *Vaccinium Myrtillus* shoots after harvesting fruit (on the example of the Tomsk region). *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 4, 179–189. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcpm.20240412761>
 23. Jha, D. K., Shah, D. S., Talele, S. R., Amin, P. D. (2020). Correlation of two validated methods for the quantification of naringenin in its solid dispersion: HPLC and UV spectrophotometric methods. *SN Applied Sciences*, 2(4), Article 698. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2536-3>
 24. Шамилов, А. А., Бубенчикова, В. Н., Гарсия, Е. Р., Ибаева, Х. А., Ларский, М. В. (2022). Разработка и валидация методики количественного определения фенольных соединений и хлорогеновой кислоты в голубики болотной листвы. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*, 25(2), 14–23. [Shamilov, A. A., Bubenchikova, V. N., Garcia, E. R., Ibaeva, H. A., Larsky, M. V. (2022). Investigation and validation of quantitative analysis of phenolic compounds and chlorogenic acid in the vaccinium uliginosum leaves. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*, 25(2), 14–23. (In Russian)] <https://doi.org/10.29296/25877313-2022-02-03>
 25. Sadeer, N. B., Montesano, D., Albrizio, S., Zengin, G., Mahomoodally, M. F. (2020). The versatility of antioxidant assays in food science and safety — Chemistry, applications, strengths, and limitations. *Antioxidants*, 9, Article 709. <https://doi.org/10.3390/antiox9080709>
 26. Hejniak, J., Baranowska, I., Stencel, S., Bajkacz, S. (2019). Separation and determination of selected polyphenols from medicinal plants. *Journal of Chromatographic Science*, 57(1), 17–26. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmy075>
 27. Seo, C.-S., Shin, H.-K. (2022). Simultaneous analysis for quality control of traditional herbal medicine, gunggha-tang, using liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Molecules*, 27(4), Article 1223. <https://doi.org/10.3390/molecules27041223>
 28. Zheng, H., Zhen, X.-T., Chena, Y., Zhua, S.-C., Ye, L.-H., Yang, S.-W. et al. (2021). In situ antioxidant-assisted matrix solid-phase dispersion microextraction and discrimination of chiral flavonoids from citrus fruit via ion mobility quadrupole time-of-flight high-resolution mass spectrometry. *Food Chemistry*, 343, Article 128422. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128422>
 29. Baranowska, I., Hejniak, J., Magiera, S. (2017). LC-ESIMS/MS method for the enantioseparation of six flavanones. *Analytical Methods*, 9(6), 101–1030. <https://doi.org/10.1039/C6AY02952C>
 30. Bajkacz, S., Baranowska, I., Buszewski, B., Kowalski, B., Ligor, M. (2018). Determination of flavonoids and phenolic acids in plant materials using SLE-SPE-UHPLCMS/MS method. *Food Analytical Methods*, 11(12), 3563–3575. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1332-9>
 31. Гусакова, Г. С., Супрун, Н. П., Раченко, М. А., Чеснокова, А. Н., Чупарина, Е. В. Немчинова, А. И. и др. (2019). Исследование биохимического состава плодов яблони Южного Прибайкалья и продуктов виноделия, сброженных на древесной щепе. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 9(4), 722–736. [Gusakova, G. S., Suprun, N. P., Rachenko, M. A., Chesnokova, A. N., Chuparina, E. V., Nemchinova, A. I. et al. (2019). Study of the biochemical composition of fruits of the Southern Baikal apple tree and its wine products fermented on wood chip. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 9(4), 722–736. (In Russian)] <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-4-722-736>
 32. Munteanu, I. G., Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 7(22), Article 5380. <https://doi.org/10.3390/ijms22075380>
 33. Хисматуллина, Д. И., Нигматьянов, А. А. (2017). Содержание флавоноидов в растительном сырье и их сохранность после термической обработки. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 5(67), 222–224. [Khismatullina, D. I., Nigmatyanov, A. A. (2017). The content of flavonoids in vegetal raw stuff and their preservation after thermal treatment. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 5(67), 222–224. (In Russian)]
 34. Sarv, V., Venskutonis, P. R., Rätsep, R., Aluvee, A., Kazernavičiūtė, R., Bhat, R. et al. (2021). Antioxidants characterization of the fruit, juice, and pomace of sweet rowanberry (*Sorbus aucuparia L.*) cultivated in Estonia. *Antioxidants*, 10(11), Article 1779. <https://doi.org/10.3390/antiox10111779>
 35. Лобанова, А. А., Будаева, В. В., Сакович, Г. В. (2004). Исследование биологически активных флавоноидов в экстрактах из растительного сырья. *Химия растительного сырья*, 1, 47–52. [Lobanova, A. A., Budaeva, V. V., Sakovich, G. V. (2004). Study of biologically active flavonoids in extracts from plant raw materials. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*, 1, 47–52. (In Russian)]
 36. Мурзабулатова, Ф. К., Пупыкина, К. А., Красюк, Е. В., Полякова, Н. В., Шигапов, З. Х. (2023). Анатомическое строение и фитохимический анализ листа, стебля и корня гортензии древовидной (*Hydrangea Arborescens L.*). *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*, 3, 269–277. [Murzabulatoeva, F. K., Pupykina, K. A., Krasuyuk, E. V., Polyakova, N. V., Shigapov, Z. Kh. (2023). Anatomical structure and phytochemical analysis of the leaf, stem and root of hydrangea tree (*Hydrangea arborescens L.*). *Biology Bulletin*, 3, 269–277. (In Russian)] <https://doi.org/10.31857/S10265470235700130>
 37. Хазиев, Р. Ш., Петрова, Д. Н., Габдрахманов, М. Н., Ситенков, А. Ю. (2015). Новые подходы к стандартизации травы зверобоя. *Традиционная медицина*, 2(41), 25–28. [Khaziev, R.Sh., Petrova, D.N., Gabdrakhmanova, M.N., Sitnikov, A. Y. (2015). New approaches to standardization of herb of Hypericum. *Traditional Medicine*, 2(41), 25–28. (In Russian)]
 38. Михайлова, И. В., Кузьмичева, Н. А., Иванова, Е. В., Воронкова, И. П., Филиппова, Ю. В., Шостак, Е. И. и др. (2019). Сравнительный анализ суммарного содержания флавоноидов в различных видах сырья боярышника кроваво-красного (*Crataegus sanguinea*). *Оренбургский медицинский вестник*, VII(2(26)), 48–51. [Mikhailova, I. V., Kuzmicheva, N. A., Ivanova, E. V., Voronkova, I. P., Filippova, Y. V., Shostak, E. I. et al. (2019). Comparative analysis of the total content of flavonoids in different types of blood and red table of raw material (*Crataegus sanguinea*). *Orenburg Medica Herald*, VII(2(26)), 48–51. (In Russian)]
 39. Скрыпник, Л. Н., Мельничук, И. П., Королева, Ю. В. (2020). Пищевая и биологическая ценность плодов боярышника *Crataegus oxyacantha L.* Химия растительного сырья, 1, 265–275. [Skrypnik, L. N., Melnichuk, I. P., Koroleva, Yu. V. (2020). Nutritional and biological value of fruits of *Crataegus oxyacantha L.* *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 1, 265–275. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcpm.2020015452>
 40. Мальцева, Е. М., Егорова, Н. О., Егорова, И. Н., Мухамадияров, Р. А. (2017). Антиоксидантная и антирадикальная активность in vitro экстрактов травы *Sanguisorba Officialis L.*, собранной в различные фазы развития. *Медицина в Кузбассе*, 16(2), 32–38. [Malceva, E. M., Egorova, N. O., Egorova, I. N., Mukhamadiyarov, R. A. (2017). Antioxidant and antiradical activity in vitro of herb extracts of *Sanguisorba Officialis L.*, gathered in various development stages. *Medicine in Kuzbass*, 16(2), 32–38. (In Russian)]
 41. Щербаклова, Л. В., Тихомирова, Л. И., Карпицкий, Д. А., Мартиросян, Ю. Ц., Ескалиева, Б. К. (2019). Особенности накопления флавоноидов в биотехнологическом сырье *Iris sibirica L.* и разработка методики их количественного определения. *Химия растительного сырья*, 4, 327–336. [Shcherbakova, L. V., Tikhomirova, L. I., Karpitsky, D. A., Martirosyan, Yu. Ts., Eskalieva, B. K. (2019). The features of the accumulation of flavonoids in biotechnological raw material of *Iris sibirica L.* the development of methods of quantification. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 4, 327–336. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcpm.2019046095>
 42. Тихомирова, Л. И., Базарнова, Н. Г., Сысоева, А. В., Щербаклова, Л. В. (2018). Фитохимический анализ биотехнологического сырья представителей рода *Potentilla L.* *Химия растительного сырья*, 1, 145–154. [Tikhomirova, L. I., Bazarnova, N.G., Sysoeva, A. V., Shcherbakova, L. V. (2018). Phytochemical analysis of biotechnological raw materials of representatives of the genus *Potentilla L.* *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 1, 145–154. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcpm.2018012734>
 43. Тихомирова, Л. И., Базарнова, Н. Г., Ильичева, Т. Н., Мартиросян, Ю. Ц., Афанасенкова, И. В. (2018). Получение растительного сырья ириса сибирского (*Iris sibirica L.*) методами биотехнологии. *Химия растительного сырья*, 4, 235–245. [Tikhomirova, L. I., Bazarnova, N. G., Ilyicheva, T. N., Martirosyan, Yu. Ts., Afanasevskaya, I. V. (2018). Obtaining plant raw materials of Siberian iris (*Iris sibirica L.*) by biotechnology methods. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*, 4, 235–245. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcpm.2018043887>
 44. Якупова, Э. Н., Зиятдинова, Г. К. (2023). Современные методы и направления развития аналитической химии флаванонов. *Журнал аналитической химии*, 78(4), 291–316. [Yakupova, E. N., Ziyatdinova, G. K. (2023). Modern methods and directions of development of analytical chemistry of flavanones. *Journal of Analytical Chemistry*, 78(4), 291–316. (In Russian)] <https://doi.org/10.31857/S0044450223040163>
 45. Karaboduk, K., Hasdemir, E. (2020). Simultaneous determination of quercetin and luteolin in mate and white tea samples by voltammetry. *Revue Roumaine de Chimie*, 65(4), 375–385. <https://doi.org/10.33224/rch.2020.65.4.07>
 46. Alpar, N., Yardim, Y., Şentürk, Z. (2018). Selective and simultaneous determination of total chlorogenic acids, vanillin and caffeine in foods and beverages by adsorptive stripping voltammetry using a cathodically pretreated boron-doped diamond electrode. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 257, 398–408. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.10.100>

47. Ziyatdinova, G., Budnikov, H. (2018). Carbon nanomaterials and surfactants as electrode surface modifiers in organic electroanalysis. Chapter in a book: *Nanoanalytics: Nanoobjects and Nanotechnologies in Analytical Chemistry*. Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Munich/Boston, 2018. <https://doi.org/10.1515/9783110542011-007>
48. De Silva, K. K. H., Huang, H.-H., Joshi, R. K., Yoshimura, M. (2017). Chemical reduction of graphene oxide using green reductants, *Carbon*, 119, 190–199. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.04.025>
49. Pwavodi, P. C., Ozyurt, V. H., Asir, S., Ozsoz, M. (2021). Electrochemical sensor for determination of various phenolic compounds in wine samples using Fe₃O₄ nanoparticles modified carbon paste electrode. *Micromachines*, 12(3), Article 312. <https://doi.org/10.3390/mi12030312>
50. Huang, J., Shen, X., Hu, Q., Ma, Y., Bai, S., Yue, G. et al. (2016). High sensitivity simultaneous determination of myricetin and rutin using a polyfurfural film modified glassy carbon electrode. *RSC Advances*, 6(98), 95435–95441. <https://doi.org/10.1039/C6RA20459G>
51. Wang, X., Wang, J., Zhang, L., Chen, G. (2019). Carbon nanotube-phenolic resin composite electrode fabricated by far infrared-assisted crosslinking for enhanced amperometric detection. *Electroanalysis*, 31(4), 756–765. <https://doi.org/10.1002/elan.201800604>
52. Przybylska, A., Gackowski, M., Koba, M. (2021). Application of capillary electrophoresis to the analysis of bioactive compounds in herbal raw materials. *Molecules*, 26(8), Article 2135. <https://doi.org/10.3390/molecules26082135>
53. Абдуллина, Р. Г., Пупыкина, К. А., Денисова, С. Г., Пупыкина, В. В. (2021). Биохимический состав плодов некоторых представителей рода *Sorbus* L. коллекции Южно-Уральского ботанического сада. *Химия растительного сырья*, 3, 235–243. [Abdullina, R. G., Pupykina, K. A., Denisova, S. G., Pupykina, V. V. (2021). Biochemical composition of fruits of some representatives of the genus *Sorbus* L. in collection of the South-Ural botanical garden. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 3, 235–243. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021037601>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Нициевская Ксения Николаевна — кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, отдел пищевых систем и биотехнологий, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук 630501, Новосибирская обл., р.п. Краснообск, а/я 463 E-mail: nitsievskayakn@sfscs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7302-106X</p> <p>Станкевич Светлана Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, отдел пищевых систем и биотехнологий, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук 630501, Новосибирская обл., р.п. Краснообск, а/я 463 E-mail: stankevichsv@sfscs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5157-2004</p> <p>Бородай Елена Валерьевна — старший научный сотрудник, отдел пищевых систем и биотехнологий, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук 630501, Новосибирская обл., р.п. Краснообск, а/я 463 E-mail: borodayev@sfscs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4350-085X * автор для контактов</p>	<p>Kseniya N. Nitsievskaya, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Department of Food Systems and Biotechnology, Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences Box 463, Novosibirsk region, 630501, Krasnoobsk, Russia E-mail: nitsievskayakn@sfscs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7302-106X</p> <p>Svetlana V. Stankevich, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Department of Food Systems and Biotechnology, Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences Box 463, Novosibirsk region, 630501, Krasnoobsk, Russia E-mail: stankevichsv@sfscs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5157-2004</p> <p>Elena V. Boroday, Senior Researcher, Department of Food Systems and Biotechnology, Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences Box 463, Novosibirsk region, 630501, Krasnoobsk, Russia E-mail: borodayev@sfscs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4350-085X * corresponding author</p>
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest