

Разработка подхода к стандартизации экстракта родиолы разнозубчатой, произрастающей в Таджикистане

С.С. Джаборова¹, С.Дж. Юсуфи¹, Дж.Т. Бобокалонов², В. Душенков³, С.С. Сатторов⁴, Ф.А. Ахмедов¹, З.Б. Сакипова⁵

¹ГУ «Научно-исследовательский фармацевтический центр Министерства здравоохранения и социальной защиты населения Республики Таджикистан»;

²ГУ «Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана»;

³Школа наук об окружающей среде и биологии Ратгерса, США;

⁴НОУ «Медико-социальный институт Таджикистана», Душанбе, Таджикистан;

⁵Казахский национальный медицинский университет имени С. Асфендиярова, Алматы, Казахстан

Цель исследования. Провести анализ экстракта корня *Rhodiola heterodonta*, который произрастает в Таджикистане, с помощью сверхэффективной жидкостной хроматографии, оснащённой масс-спектрометрическим детектором высокого разрешения. Основная задача - разработать методику для стандартизации лекарственного препарата на основе этого экстракта.

Материалы и методы. Объектом исследования стали корневища и корни родиолы разнозубчатой (*R.H.*), собранные в ноябре 2021 года в горах Балджуанского района Хатлонской области Республики Таджикистан. Также был изучен сухой экстракт, полученный методом репродукции из корневищ и корней родиолы. Фитохимическое исследование проводилось с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием.

Результаты. В спиртовом экстракте корневищ *R. Heterodonta*, произрастающего в Таджикистане, не был обнаружен розавин. Поэтому результаты исследования сосредоточены на салидрозиде, тирозоле и гетеродонтозиде - трёх фитохимических веществах, ранее обнаруженных в *R. Heterodonta*. В сухом экстракте корневища *Rhodiola heterodonta* было обнаружено 13,8 мг салидрозида (п-гидроксифенил-β-D-глюкозид), который является основным компонентом родиолы. В среднем содержание тирозола в сухом экстракте составляло 2,3 мг на грамм сухой массы. В нашем исследовании с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии концентрация гетеродонтозида в сухом экстракте составила 0,52 миллиграмма на грамм. Это означает, что в составе *R. Heterodonta* содержание салидрозида и тирозола (2,3 миллиграмма на грамм) было значительно выше, чем концентрация гетеродонтозида (0,52 миллиграмма на грамм).

Заключение. Эти результаты демонстрируют, насколько уникален химический состав *Rhodiola heterodonta*, что делает его особенно привлекательным для будущих исследований, особенно в области изучения его адаптогенных и антиоксидантных свойств.

Ключевые слова:

родиола разнозубчатая, стандартизация, фитохимия, салидрозид, тирозол, экстракт, жидкостная хроматография

Для цитирования:

Джаборова С.С., Юсуфи С.Дж., Бобокалонов Дж.Т., Душенков В., Сатторов С.С., Ахмедов Ф.А., Сакипова З.Б. Разработка подхода к стандартизации экстракта родиолы разнозубчатой, произрастающей в Таджикистане. Евразийский научно-медицинский журнал «Сино». 2025; 6(1): 102-115. <https://doi.org/10.54538/2707-5265-2025-6-1-102-115>

DOI: 10.54538/2707-5265-2025-6-1-102-115

Development of an approach to standardization of rhodiola heterodonta extract growing in Tajikistan

S.S. Jaborova¹, S.J. Yusufi¹, J.T. Bobokalonov², V. Dushenkov³,
S.S. Sattorov⁴, F.A. Akhmedov¹, Z.B. Sakipova⁵

¹State Institution "Research Pharmaceutical Center of the Ministry of Health and Social Protection of the Population of the Republic of Tajikistan";

²State Institution "Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin of the National Academy of Sciences of Tajikistan";

³Rutgers School of Environmental and Biological Sciences, USA;

⁴Non-state Educational Institution "Medical and Social Institute of Tajikistan", Dushanbe, Tajikistan;

⁵Kazakh National Medical University named after S. Asfendiyarov, Almaty, Kazakhstan

Objective: To analyze the root extract of *Rhodiola heterodonta*, which grows in Tajikistan, using ultra-high-performance liquid chromatography equipped with a high-resolution mass spectrometric detector. The main objective is to develop a method for standardizing a medicinal product based on this extract.

Materials and Methods: The object of the study was the rhizomes and roots of *Rhodiola heterodonta* (R.H.), collected in November 2021 in the mountains of the Baljuvan district of the Khatlon region of the Republic of Tajikistan. A dry extract obtained by the reprecipitation method from the rhizomes and roots of *Rhodiola* was also studied. The phytochemical study was carried out using high-performance liquid chromatography with mass spectrometric detection.

Results: Rosavin was not detected in the ethanol extract of *R. heterodonta* rhizomes grown in Tajikistan. Therefore, the results of this study focused on salidroside, tyrosol, and heterodontoside, three phytochemicals previously identified in *R. heterodonta*. In the dry extract of *Rhodiola heterodonta* rhizome, 13.8 mg of salidroside (p-hydroxyphenethyl- β -D-glucoside), which is the main component of *rhodiola*, were detected. On average, the tyrosol content in the dry extract was 2.3 mg per gram of dry weight. In our study, using high-performance liquid chromatography and mass spectrometry, the heterodontoside concentration in the dry extract was 0.52 milligrams per gram. This means that the content of salidroside and tyrosol (2.3 milligrams per gram) in *R. heterodonta* was significantly higher than the concentration of heterodontoside (0.52 milligrams per gram).

Conclusion: These results demonstrate how unique the chemical composition of *Rhodiola heterodonta* is, making it particularly attractive for future research, especially in the area of its adaptogenic and antioxidant properties. It was proposed to standardize the objects of study - medicinal raw materials and dry extract from the rhizomes and roots of *Rhodiola heterodonta* - using the HPLC-DMD method. The aim of this study is to quantify the permissible content of salidroside and tyrosol.

Key words:

Rhodiola heterodonta, standardization, phytochemistry, salidroside, tyrosol, extract, liquid chromatography

For citation:

Jaborova S.S., Yusufi S.D., Bobokalonov J.T., Dushenkov V., Sattorov S.S., Akhmedov F.A., Sakipova Z.B. Development of an approach to standardization of *Rhodiola heterodonta* extract growing in Tajikistan. *Eurasian Scientific and Medical Journal "Sino"*. 2025; 6(1): 102-115. <https://doi.org/10.54538/2707-5265-2025-6-1-102-115>

Актуальность. Лекарственные растения по-прежнему остаются важным источником биологически активных веществ, которые могут быть использованы для лечения и профилактики заболеваний различного происхождения. Царство растений можно назвать настоящим хранилищем биологически активных соединений, обладающих разнообразными химическими структурами, защитными, лечебными и профилактическими свойствами. В мире существуют уникальные уголки, где наблюдается высокий уровень биоразнообразия. Горные районы Таджикистана отличаются исключительным разнообразием климата, ландшафта и условий для жизни. С одной из самых больших высот в мире, эти места предлагают продолжительные градиенты осадков и температур, разнообразные почвенные субстраты и богатую геологию. Всё это способствует обилию видов растений и уникальных типов растительности [1, 2]. В настоящее время в этом регионе зарегистрировано около 4300 видов сосудистых растений, из которых почти 1500 являются эндемиками. Эти виды принадлежат к 60 семействам и 188 родам [3, 4]. Это число не является окончательным, так как недавно были описаны новые виды из Таджикистана [5, 6]. Особое место среди них занимают растения рода *Rhodiola*, которые относятся к семейству *Crasulaceae*. Эти растения представляют большой интерес для фармацевтической промышленности, поскольку они широко используются в народной медицине различных стран мира [7]. На данный момент известно около 200 видов этого рода [8]. Среди них наиболее изученным является родиола розовая (*Rhodiola rosea* L.), которая используется в качестве адаптогенного средства в официальной медицине нескольких

стран [9]. Однако в высокогорье Таджикистана чаще всего можно встретить эндемик - четырехлепестную родиолу разнозубчатую (*Rhodiola heterodonta* (Hook. f. & Thomson) Boriss.) [10]. В современной народной медицине Таджикистана отвары, настои и настойки корней родиолы используются как эффективное средство против лихорадки и для повышения тонуса. Эти препараты применяются при нервных, желудочно-кишечных (например, при язве желудка) и гинекологических заболеваниях [11, 12].

В народной медицине разных стран родиолу используют для лечения трахомы в виде глазных капель. Также её включают в состав противоопухолевых сборов, применяют при переломах костей, ранах, лихорадке и диарее. В современной научной медицине корень родиолы применяют в виде спиртовой настойки как тонизирующее и адаптогенное средство, которое помогает при гипотонии [11, 13-15]. В связи с этим особенно актуальным становится исследование химического состава *Rhodiola heterodonta*, которая растёт в высокогорных районах Таджикистана. На основе этого исследования можно разработать и стандартизировать лекарственный препарат. Широкое применение растений рода Родиолы в народной и современной медицине напрямую связано с их уникальным химическим составом.

В настоящее время для исследования профилей метаболитов растений, особенно новых, применяются два основных метода: ядерный магнитный резонанс (ЯМР) и масс-спектрометрия (МС). ЯМР, в свою очередь, отличается высокой воспроизводимостью, и даёт возможность абсолютно точно количественно оценивать обнаруженные сигналы. Однако его низкая чувствительность накладывает ограничения на возможность расшиф-

ровки структуры соединений, особенно в сложных смесях [16–19]. Напротив, способность масс-спектрометрии (МС) выявлять несколько компонентов при очень низких концентрациях делает её мощным и универсальным инструментом для анализа многокомпонентных смесей, особенно в сочетании с хроматографией или электрофорезом [20–22]. Масс-спектрометрия (МС) — это метод, который позволяет идентифицировать вещества на основе их масс-спектров или масс-спектров с фрагментацией (МС/МС). В последнее время активно используется сочетание жидкостной хроматографии сверхвысокого давления (UHPLC) с МС. Эта комбинация обеспечивает быстрое разделение и обнаружение широкого спектра малых молекул, что значительно расширяет возможности исследования [23, 24]. К сожалению, не существует единого метода, который можно было бы использовать для точной интерпретации спектров масс-спектрометрии (МС) или tandem-масс-спектрометрии (МС/МС). Также отсутствуют базы данных спектров ЖХ-МС. Поэтому главным способом идентификации веществ является правильное определение их элементного состава, как это было предложено в работе [25]. Для этих целей существуют высокоточные масс-спектрометры, такие как времяпролётные (TOF) и масс-спектрометры с Фурье-преобразованием (FT), включая ионно-циклотронный резонанс с Фурье-преобразованием (FT-ICR) и технологию Orbitrap. FT-ICR-MS обладают чрезвычайно высокой разрешающей способностью - до 1 000 000 и более, что позволяет с высокой точностью измерять распределение изотопов [26–28]. Поэтому использование сверхвысокоэффективной жидкостной хроматографии (UHPLC) в сочетании с масс-спектроме-

трией высокого разрешения (Orbitrap) позволяет более точно и детально исследовать фитохимический состав растительного материала.

Цель исследования. Провести анализ экстракта корня *Rhodiola heterodonta*, который произрастает в Таджикистане, с помощью сверхэффективной жидкостной хроматографии, оснащённой масс-спектрометрическим детектором высокого разрешения. Основная задача - разработать методику для стандартизации лекарственного препарата на основе этого экстракта.

Материалы и методы. Для нашего исследования мы использовали корневища и корни родиолы разнозубчатой, собранные в период массового цветения в Балджуванском районе Хатлонской области Республики Таджикистан. Собранные сырьё было тщательно очищено и высушено при температуре 40 °C в течение 24 часов. В качестве объекта исследования был выбран сухой экстракт, полученный методом резорбции из корневищ и корней родиолы разнозубчатой. Для проведения фитохимического анализа использовался метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором.

Получение экстрактов из корня родиолы. Экстракты были получены методом мацерации при постоянном перемешивании. Предварительно очищенные от пыли корни были тщательно измельчены, после чего 1000 г сырья поместили в лабораторный экстрактор BL-EO-50L. В экстрактор поместили 3000 миллилитров подготовленного экстрагента - 60% этилового спирта, и оставили на три часа при комнатной температуре. После этого добавили ещё 2200 миллилитров экстрагента и продолжили процесс в течение одного часа при температуре 43°C. Затем смесь перемешивали: сначала в

течение часа при скорости 15 оборотов в минуту, а потом ещё один час при 25 оборотах. Извлечение собрали из экстрактора, получив 5200 миллилитров готового продукта. Оставшийся шрот залили свежим 60-процентным этиловым спиртом в объёме 1300 миллилитров и настаивали в течение двух часов. После этого извлечение полностью собрали в сборник. Полученный экстракт упаривали до 40% объёма в вакуум-выпарном аппарате RE-5002 производства Китая. Процесс проходил при следующих условиях: температура водяной бани составляла $60 \pm 1^\circ\text{C}$, а разрежение составляло 175 ± 2 mbar. Упаренные экстракты разливали в стеклянные ёмкости и замораживали в морозильной камере при температуре $-24,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$ в течение 8 часов.

Процесс высушивания проходил в сублимационной сушилке ТОРТ-10А, произведённой в Китае. В течение 24 часов при комнатной температуре и остаточном давлении $0,1 \pm 0,03$ mbar, масса сухого экстракта составила 160 ± 15 г. Это было получено из первого выхода объёмом $5,2 \pm 0,1$ л. Второй выход экстрактивных веществ (1000 мл) дал массу 40 ± 5 г.

Анализ с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрического детектора. Для проведения фитохимического анализа 10 мг порошка растения *R. heterodonta* растворяли в 1 мл 80%-ного этанола. Образец анализировали, используя как отрицательную, так и положительную ионизацию масс-спектрального анализа.

Анализ методом сверхвысокопроизводительной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (UPLC/MS) проводился в соответствии с ранее описанной методикой [29] на жидкостном хроматографе сверхвысокого давления Dionex UltiMate 3000 RSLC.

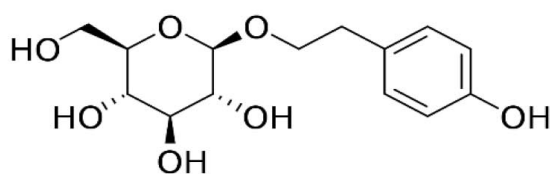
Рабочая станция хроматографа была оснащена программным обеспечением Xcalibur v. 4.0 от ThermoFisher Scientific, которое интегрировалось с контрольным программным обеспечением Dionex SII LC, штатив для растворителей/дегазатор SRD-3400, безимпульсный хроматографический насос HPG-3400RS, автоматический пробоотборник WPS-3000RS, отделение для колонок TCC-3000RS и матричный фотодиодный детектор DAD-3000RS. После детектора с фотодиодной матрицей, поток элюента направлялся на масс-спектрометр высокого разрешения и высокой точности массы (MS) Q Exactive Plus Orbitrap, производства Thermo Scientific, Waltham, MA. Массовое детектирование осуществлялось в режиме полного сканирования MS от 100 до 1000 m/z с использованием отрицательной и положительной ионизации через интерфейс электрораспыления (ESI). Скорость потока защитного газа составляла 30 условных единиц, скорость потока вспомогательного газа - 7, а скорость потока продувочного газа - 1. Напряжение распыления равнялось 3500 вольт (-3500 для отрицательного ESI) при температуре капилляра 275°C . Массовое разрешение достигало 140 000 m/ Δ m (полная ширина на уровне половины высоты). Соединения были разделены на обращенно-фазовой колонке Phenomenex Kinetex C8 размером $100 \times 2,1$ мм, с размером частиц 2,6 мкм и порами 100 Å. Подвижная фаза состояла из двух компонентов: растворителя А (0,5% уксусной кислоты класса ACS в воде класса LCMS, pH 3–3,5) и растворителя В (100% ацетонитрила класса LCMS). Скорость потока подвижной фазы составляла 0,20 миллилитра в минуту. Для всех анализов применялся градиентный режим. Начальные условия градиента: 95% компонента А и 5% компонента В. В течение 30 минут соотношение достигало 5% А и 95% В. Это соотношение сохранялось в течение сле-

дующих 8 минут, а затем в течение следующих 4 минут возвращалось к исходным условиям. Между последующими инъекциями был установлен восьмиминутный интервал для выравнивания. Среднее давление насоса, используемое при этих параметрах, обычно составляло около 3900 PSI для начальных условий [29].

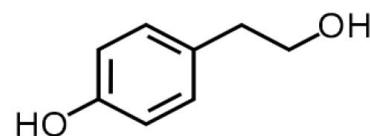
Для фитохимического анализа 10 мг экстракта *R. heterodonta* растворяли в 50 мл 80%-ного этанола. Хроматографический анализ проводился на жидкостном хроматографе сверхвысокого давления Shimadzu Nexera XR, который был оснащён программным пакетом LabSolutions от Shimadzu, безимпульсный хроматографический насос LC-40D XR, автоматический автосемплер SIL-40 XR, а также отделение для колонок CTO-40S и детектора с фотодиодной матрицей SPD-M40. Для разделения смесей компонентов использовалась обращённо-фазовая колонка Shim-pack GIS C18, имевшая размеры 250×4,1 мм и частицы диаметром

5 мкм. Температура колонки составляла 40°C, а ввод пробы осуществлялся с помощью автоматического шприца, в который помещалось 1 мкл образца. Подвижная фаза была составлена из двух растворителей: воды (растворитель А) и ацетонитрила (растворитель В). Скорость потока подвижной фазы составляла 1 мл/мин., и для всех анализов применялся градиентный режим. Начальные условия градиента были следующими: 95% А и 5% В. Через 20 минут соотношение достигало 80% А и 20% В, которое сохранялось в течение следующих 8 минут. Затем в течение следующих 4 минут соотношение возвращалось к исходным условиям. Между вводами проб был предусмотрен 10-минутный интервал уравнивания.

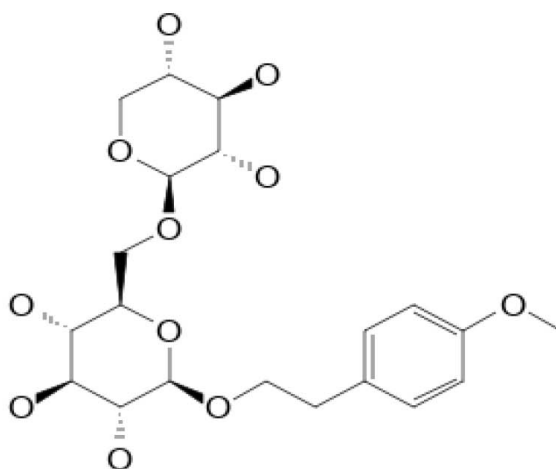
Результаты и их обсуждение. Корневище *R. heterodonta* богато вторичными метаболитами, включая проантоцианидиновые соединения. В спиртовом экстракте эти соединения обнаруживаются вместе с



Салидрозид



Тирозол



Гетеродонтозид

Рис. 1. Структура основных компонентов экстракта корня *Rhodiola heterodonta*

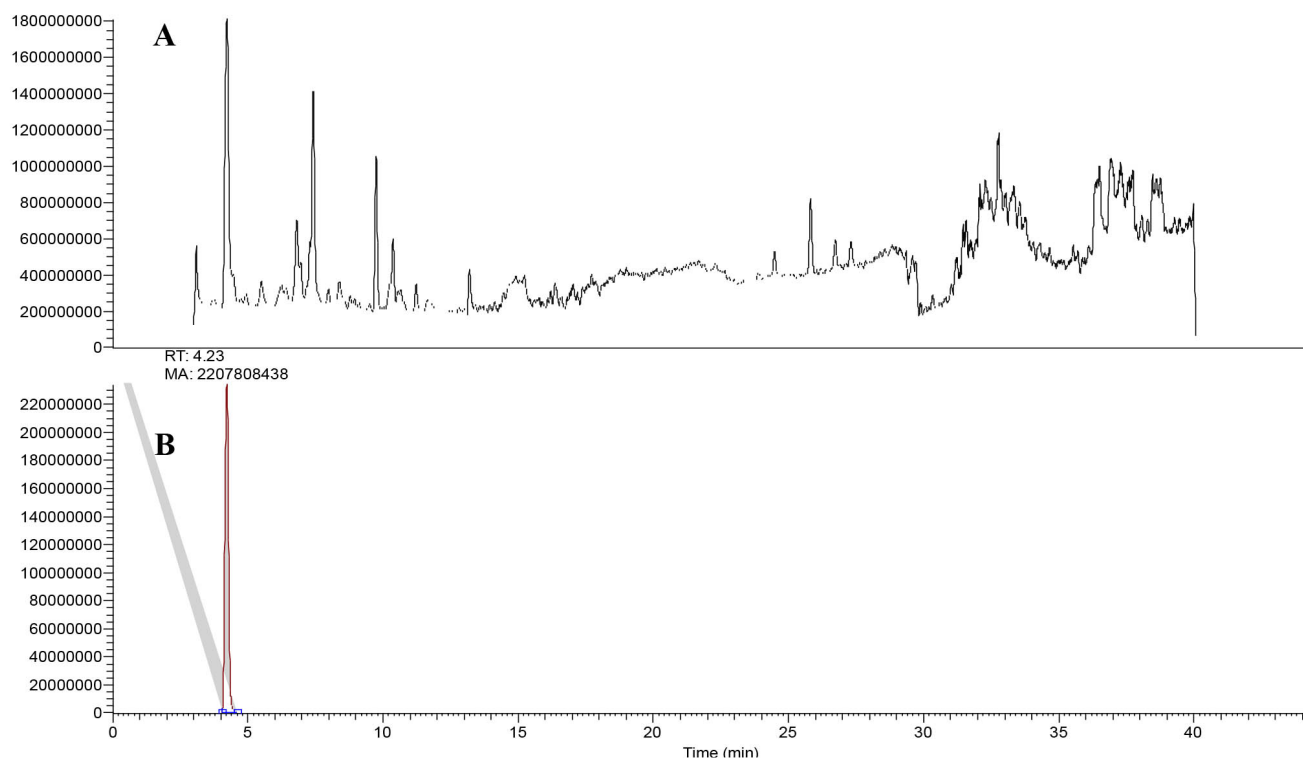


Рис. 2. Масс-хроматограммы салидрозида (C₁₄ H₂₀ O₇) 300 Da: А – хроматограмма полного ионного тока с (-) ESI; В – хроматограмма экстрагированных ионов при 299,1 m/z. Интегральный пик для салидрозида около 4,2 мин.

фенилэтаноидами, что создаёт трудности при их качественном и количественном анализе из-за схожести ультрафиолетового (УФ) профиля [30]. В составе спиртового экстракта из фенилэтаноидной фракции были обнаружены семь основных компонентов, представленных на рисунке 1. К ним относятся тирозол, гетеродонтозид, салидрозид, метиловый эфир тирозола, виридозид, могорозид и цианогенный глюкозид родиоцианозид А [31]. Для *R. rosea* розавин служит маркером, который позволяет с высокой точностью оценивать качество сырья и препаратов на его основе. Надлежащий контроль качества сырья и препаратов *R. rosea* представляет собой глобальную проблему [32].

Хотя в некоторых исследованиях было обнаружено наличие розавина в экстракте корневищ *R. heterodonta* [33], в нашем случае мы не смогли обнаружить его в спиртовом экстракте корне-

вищ того же растения, произрастающего в Таджикистане. Поэтому результаты исследования были сосредоточены на салидрозиде, тирозоле и гетеродонтозиде. Все эти три фитохимических вещества ранее были обнаружены в *Rhodiola heterodonta* [33].

Салидрозид (п-гидрокси фенетил-β-D-глюкозид) является основным компонентом родиолы и, вероятно, отвечает за многие наблюдаемые эффекты экстракта родиолы. Согласно монографии Фармакопеи США (USP), салидрозид является одним из официально признанных компонентов пищевых добавок, изготовленных из *R. rosea*. Он также используется для стандартизации корневища *R. rosea* [32]. Было обнаружено, что содержание салидрозида в сухом экстракте корневища *R. heterodonta* составляет 13,8 мг на грамм сухого вещества экстракта (рис. 2).

Одним из преимуществ масс-спектрометрии перед другими аналитическими методами, такими как УФ-детектирование, является её способность не только обнаруживать, но и подтверждать структуру исследуемого вещества на основе анализа фрагментации предшествующего иона. В условиях отрицательной ионизации с помощью электрораспыления молекула салидрозида ($C_{14}H_{20}O_7$, молекулярная масса 300,12 Да) легко образует молекулярный ион с m/z 299,11 ($[M-H]$). На рисунке 3 представлен спектр ионов, образующихся в результате фрагментации молекулярного иона салидрозида, а также схема процесса.

В процессе фрагментации молекулярного иона салидрозида были выделены пять основных ионных продуктов с массами: 270,11, 179,06, 137,06, 119,06 и 113,02. Ионы с массами 179,06 ($C_6H_{11}O_6$) и 137,06 ($C_8H_9O_2$) представляют собой глюкозу и агликон с пара-тирозолом, которые образуются в результате распада молекулярного иона салидрозида. Ион-продукт с мо-

лекулярной массой 270,06 ($C_{13}H_{18}O_6$) образовался в результате потери молекулы метилгидрата из молекулярного иона салидрозида. Ион-продукт с молекулярной массой 119,06 (C_8H_7O) образовался в результате потери молекулы воды из иона с молекулярной массой 137,06. Также можно предположить, что ион-продукт с m/z 113,02 ($C_5H_5O_3$) образуется в результате потери одной молекулы муравьиного альдегида и двух молекул воды из иона с m/z 179,06. Исходя из этого, можно сделать вывод, что ионы с m/z 270,06, 179,06, 137,06, 119,06 и 113,02 были характерными ионами-продуктами салидрозида.

Наряду с салидрозидом, тирозол также содержится в корневище родиолы и часто используется для стандартизации продукции [32]. В сухом экстракте корневища *R. heterodonta* содержание тирозола составляло в среднем 2,3 миллиграмма на грамм сухой массы экстракта (рис. 4).

Масс-спектр тирозола и его предполагаемые пути фрагментации в режиме

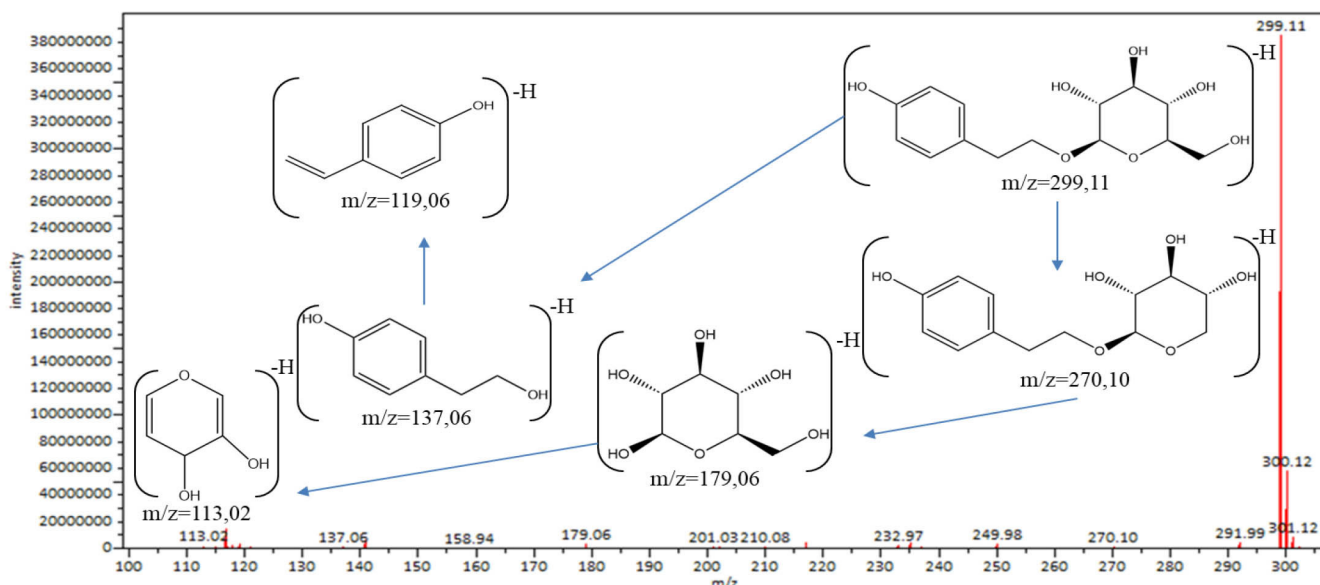


Рис. 3. Масс-спектр салидрозида и предполагаемые пути его фрагментации в режиме отрицательных ионов, используя ион-предшественник с массой 299,11

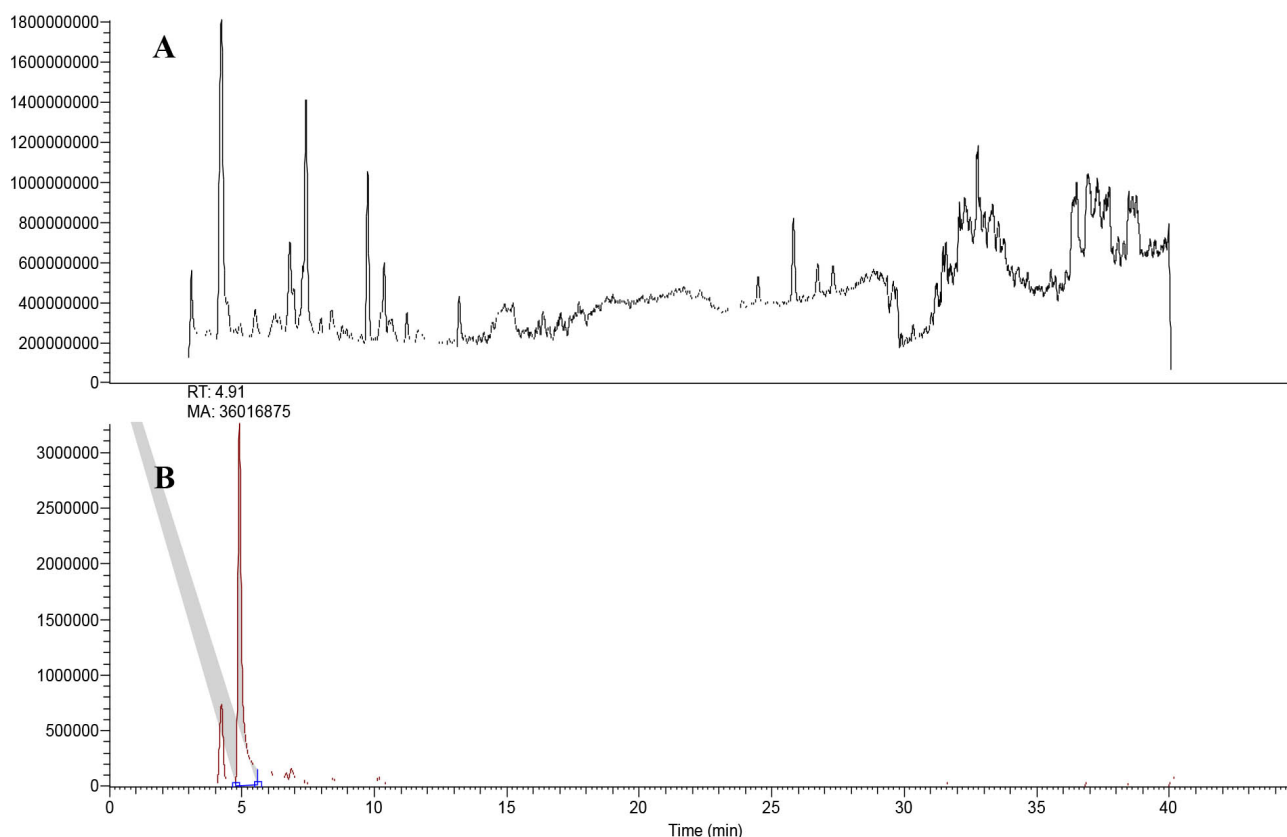


Рис. 4. Масс-хроматограммы тирозола (C₈H₁₀O₂) с массой 138 Da: А – хроматограмма полного ионного тока, полученная с использованием (-) ESI; В – хроматограмма экстрагированных ионов при 137 m/z. Интегральный пик для тирозола наблюдается около 4,9 минуты

отрицательных ионов с $m/z=137,06$ приведены на рисунке 5.

В процессе фрагментации тирозола были выявлены два основных ионных продукта с массами ионов (m/z) 137,06 и 119,05. Молекулярным ионом стал ион с массой 137,06, который представляет собой соединение C₈H₉O₂. Ион-продукт с массой 119,06 (C₈H₇O) образовался в результате потери молекулы воды от исходного иона с массой 137,06. Таким образом, можно заключить, что ионы с массами 137,06 и 119,06 являются характерными ионами-продуктами фрагментации тирозола. В 2006 году в растении *R. heterodonta* был обнаружен новый фенилэтанонидный гликозид, получивший название «гетеродонтозид». Он был очищен в виде белого порошка

и имел молекулярную формулу C₂₀H₃₀O₁₁, что было установлено по пику молекулярного иона на времяпролётном масс-спектрометре высокого разрешения с ионизацией электрораспылением, наблюдаемым при m/z 447,1875 с (+) ESI и данные спектроскопии ЯМР ¹H и ¹³C [31]. Сообщалось, что он является самым распространённым фенилэтанонидом в сухом экстракте, полученном из *R. heterodonta*, который был обработан 80%-ным этанолом. Содержание составляло 53,2 мг на грамм сухого вещества [31]. В нашем анализе, проведённом с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии, было обнаружено, что концентрация этого соединения составляет 0,52 мг/г сухого экстракта (рисунок 6). Эти

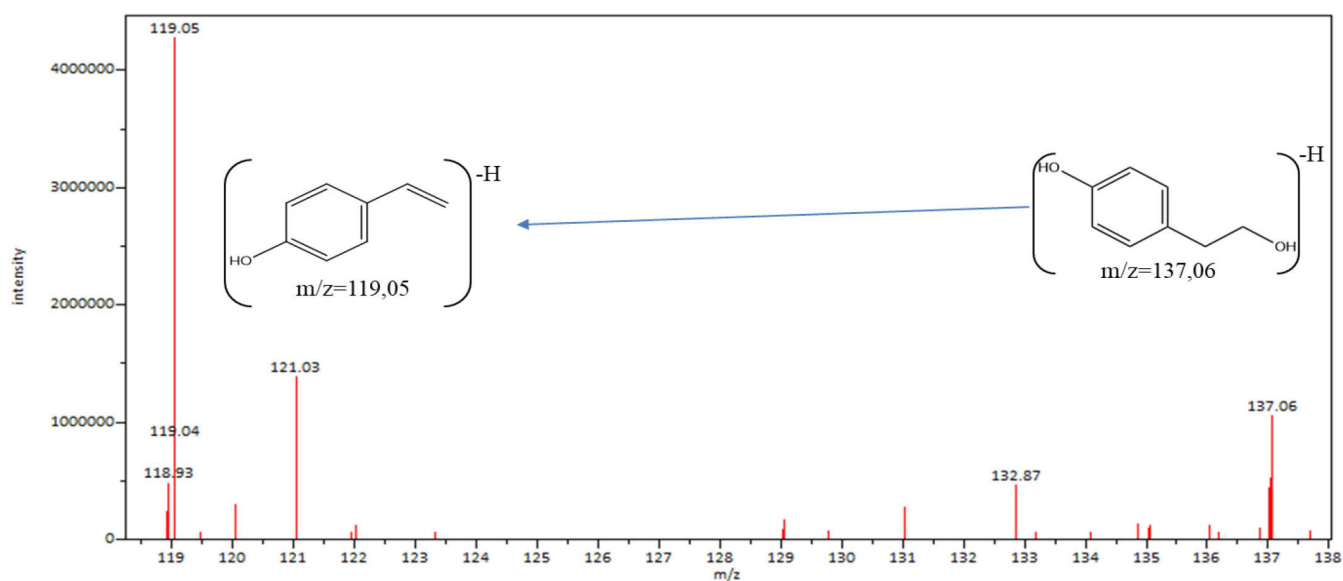


Рис. 5. Масс-спектр тирозола и предполагаемые пути его фрагментации в режиме отрицательных ионов с $m/z=137,06$ в качестве иона-предшественника

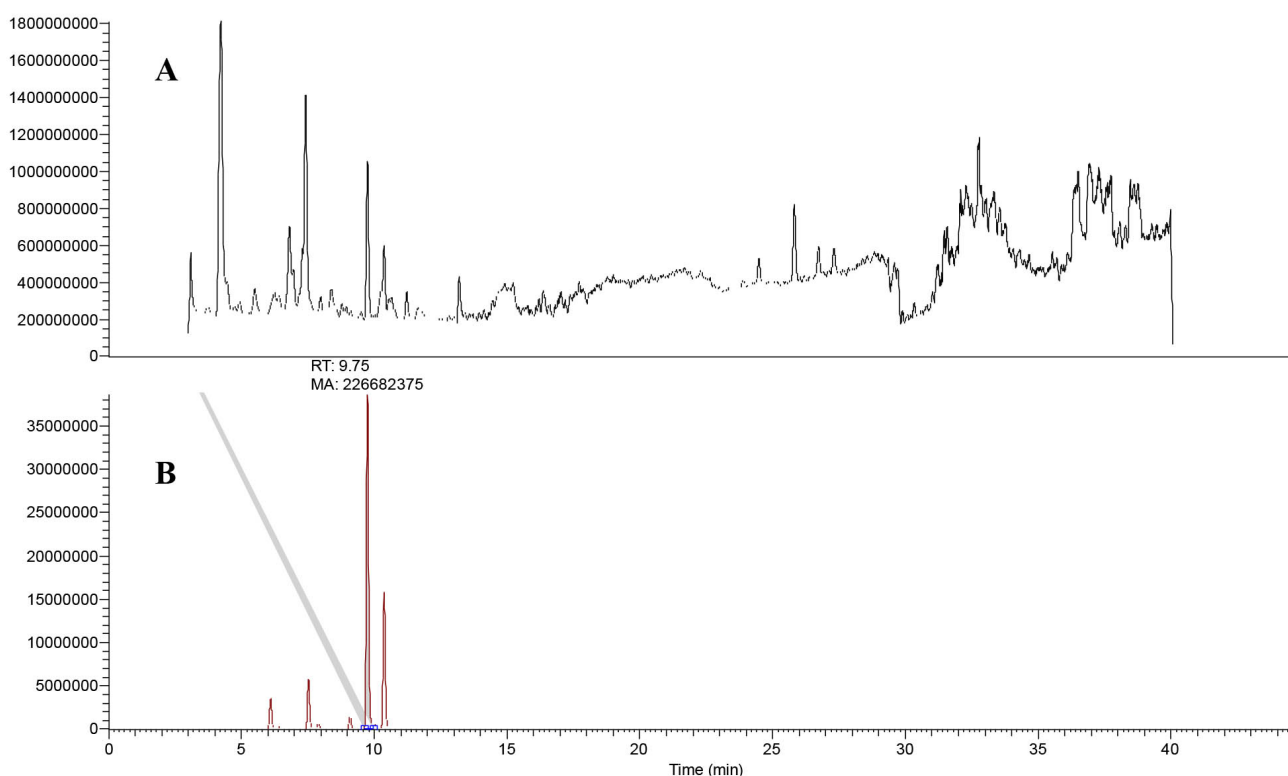


Рис. 6. Масс-хроматограммы возможного гетеродонтозида ($C_{21}H_{34}O_{10}$) с молекулярной массой 446 Da: А – хроматограмма полного ионного тока, полученная с использованием (-ESI); В – хроматограмма экстрагированных ионов с молекулярным весом 445,2 m/z ; Интегральный пик наблюдался примерно 9,7 минут. Концентрация гетеродонтозида составила 0,52 мг/г в пересчёте на сухую массу экстракта

результаты отличаются от данных, полученных другими авторами [31, 33]. Разница в результатах может быть обусловлена различными факторами: методом

экстракции, выбранным аналитическим подходом, а также различиями во времени сбора и месте произрастания растений.

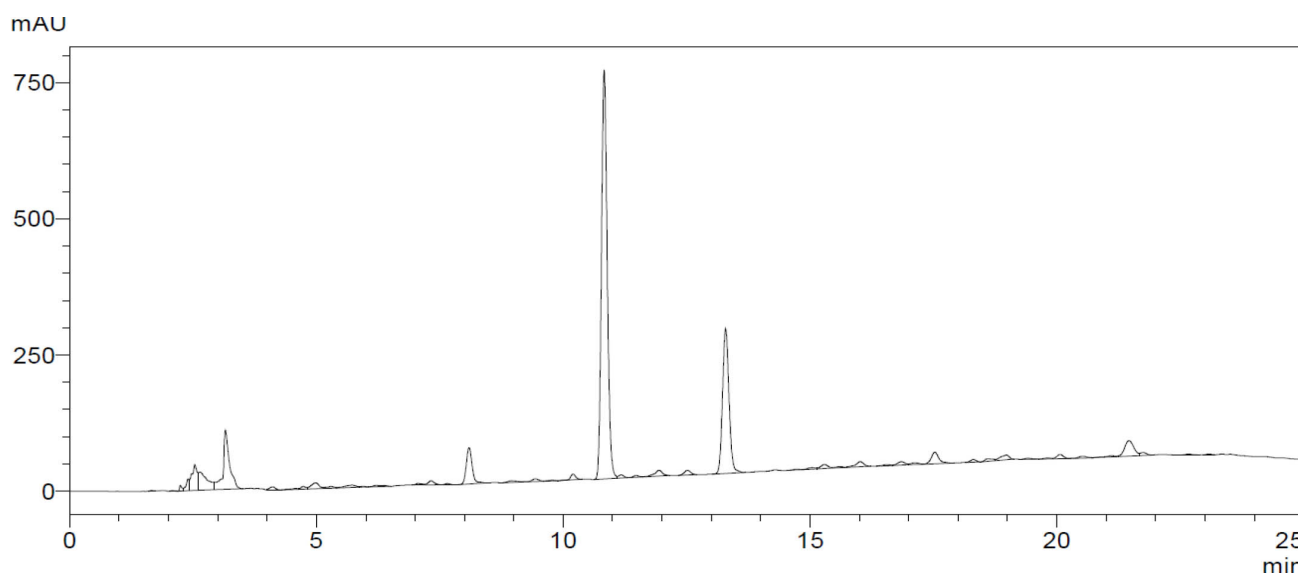


Рис. 7. Хроматограмма экстракта *R. heterodonta*, полученная с помощью ВЭЖХ с диодоматричным детектором. Время удерживания салидрозида составляет 10.818 минуты, а тирозола - 13.287 минуты

Исходя из этого, количество салидрозида (13,8 мг/г) и тирозола (2,3 мг/г), в основном, было значительно выше, чем концентрация гетеродонтозида (0,52 мг/г). Поскольку ВЭЖХ с УФ детектором является наиболее распространённым методом в лабораториях и на его основе в основном разрабатываются методы контроля качества, для разделения компонентов *R. heterodonta* был выбран именно этот метод (рис. 7). Как видно из рисунка 7, на хроматограмме можно выделить два основных пика, соответствующие салидрозиду и тирозолу.

Таким образом, в данной статье представлены основные направления разработки фармакопейного метода для анализа сырья и препаратов *R. heterodonta*. Было предложено использовать метод ВЭЖХ-ДМД, который считается универсальным для одновременного определения двух наиболее значимых биологически активных соединений - салидрозида и тирозола - в корнях *R. heterodonta*, произрастающего в Таджикистане. Этот метод также позволяет оценить чистоту экстракта. Поэтому для стандартиза-

ции препаратов на основе *R. heterodonta* можно использовать ВЭЖХ-ДМД с определением допустимого содержания салидрозида и тирозола.

Фитохимический анализ корневищ и корней *Rhodiola heterodonta*, а также их сухого экстракта, выявил следующие результаты: средняя концентрация салидрозида составила 13,8 мг/г на сухую массу экстракта, тирозола - 2,3 мг/г, а гетеродонтозида - 0,52 мг/г. При этом не был обнаружен розавин, который считается характерным химическим веществом для представителей рода *Rhodiola*.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что *Rhodiola heterodonta* обладает уникальными химическими свойствами, что делает её перспективным объектом для дальнейших исследований, особенно в области изучения её адаптогенных и антиоксидантных свойств.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Grubov V.I. Schlussbetrachtung zum Florenwerk Rasteniya Central'noj Azii [Die Pflanzen Zentralasiens] und die

- Begründung der Eigenständigkeit der mongolischen Flora. Feddes Repert. 2010; 121(1–2): 7–13.
2. Diment A., Hotham P., Mallon D. First biodiversity survey of Zorkul reserve, Pamir Mountains, Tajikistan. Oryx. 2012; 46(1): 13–13.
 3. Nowak A., Nobis M. Illustrated flora of Tajikistan and adjacent areas. Polish Botanical Society. 2020.
 4. Nobis M., Nowak A. New data to the vascular flora of the central Pamir Alai Mountains (Tajikistan, Central Asia). Part II. Casopis slezského zemského muzea (A). 2011; 60(3): 259–262.
 5. Fritsch R.M., Friesen N. *Allium oreotadzhikorum* and *Allium vallivanchense*, two new species of *Allium* subg. *Polyprason* (Alliaceae) from the Central Asian Republic Tajikistan. Feddes Repert. 2009; 120(3–4): 221–231.
 6. Nobis M., Nowak A. New data to the vascular flora of the central Pamir Alai Mountains (Tajikistan, Central Asia). Part II. Casopis slezského zemského muzea (A). 2011; 60(3): 259–262.
 7. Lyozina A.V., Terninko I., Generalova Y., Dzhaborova S. Analysis of genus specific phenolic compounds in plants of the genus *Rhodiola* Spp. In a comparative aspect // chemistry of plant raw material. 2022; 3: 187–193.
 8. Chiang H.M., Chen H.C., Wu C.S., Wu P.Y., Wen K.C. *Rhodiola* plants: Chemistry and biological activity. J Food Drug Anal. 2015; 23(3): 359–369.
 9. Panossian A., Wikman G., Sarris J. Rosenroot (*Rhodiola rosea*): Traditional use, chemical composition, pharmacology and clinical efficacy. Phytomedicine. 2010; 17(7): 481–493.
 10. Юсуфи С.Д., Джаборова С.С., Хайдарова М.А., Сатторов С., Сакипова З.Б. Антиоксидантная активность корней и корневищ родиолы разнозубчатой и травы котовника некрупоцветкового, произрастающей в Таджикистане. Здравоохранение Таджикистана. 2022; 2: 99–104. doi.org/10.52888/0514-2515-2022-353-2-100-105
 11. Кароматов И.Д., Юсупова Г.С. Растение адаптоген – Родиола. Биология и интегративная медицина. 2018; 6(23): 209–240. Karomatov I.D., Yusupova G.S. Rasteniye adaptogen – Rodiola [Adaptogen plant – *Rhodiola*]. Biologiya i integrativnaya meditsina. 2018; 6(23): 209–240.
 12. Захидов Х. Канзи шифо. Сокровищница лечебных средств. Душанбе: Ирфон. 1991: 791. Zakhidov KH. Kanzi shifo. Sokrovishchnitsa lechebnykh sredstv. [Kanzi shifo. Treasury of medicinal remedies]. Dushanbe: Irfon. 1991: 791.
 13. Panossian A.G. Adaptogens in Mental and Behavioral Disorders. Psychiatric Clinics of North America. 2013; 36(1): 49–64.
 14. Li H., Chen C. Inhibition of autophagy enhances synergistic effects of Salidroside and anti-tumor agents against colorectal cancer. BMC Complement Altern Med. 2017; 17(1): 538.
 15. Kim H.K., Choi Y.H., Verpoorte R. NMR-based plant metabolomics: where do we stand, where do we go? Trends Biotechnol. Elsevier Current Trends. 2011; 29(6): 267–275.
 16. Mishra S., Ankit S.R., Gogna N., Dorai K. NMR-based metabolomic profiling of the differential concentration of phytomedicinal compounds in pericarp, skin and seeds of *Momordica charantia* (bitter melon). Taylor & Francis. 2020; 36(1): 390–395. https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1762190.
 17. Angamuthu S., R. Ramaswamy, C.,

- Thangaswamy, S., Sadhasivam D.R., Nallaswamy V.D., Subramanian R. et al. Metabolic annotation, interactions and characterization of natural products of mango (*Mangifera indica* L.): ¹H NMR based chemical metabolomics profiling. *Process Biochemistry*. Elsevier. 2021; 108: 18–25.
18. Colquhoun I.J. Use of NMR for metabolic profiling in plant systems. *J Pestic Sci*. 2007; 32(3): 200–212.
19. Wolfender J.L., Wolfender J.L., Glauser G., Boccard J., Rudaz S. MS-based plant metabolomic approaches for biomarker discovery. *Nat Prod Commun. Natural Product Incorporation*. 2009; 4(10): 1417–1430.
20. Zhang W., Ramautar R. CE-MS for metabolomics: Developments and applications in the period 2018–2020. *Electrophoresis*. John Wiley & Sons, Ltd. 2021; 42(4): 381–401.
21. Geisberger T. Ce-MS-Based Metabolomics: Recent Advances. *Metabolomics: Open Access*. Hilaris SRL. 2021; 11(4): 1–3.
22. William A.J., Allwood J.W., Goodacre R. An introduction to liquid chromatography–mass spectrometry instrumentation applied in plant metabolomic analyses. *Phytochemical Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd. 2010; 21(1): 33–47.
23. Theodoridis G., Gika H.G., Wilson I.D. Mass spectrometry-based holistic analytical approaches for metabolite profiling in systems biology studies. *Mass Spectrom Rev*. John Wiley & Sons, Ltd. 2011; 30(5): 884–906.
24. Li Y., Li Y., Kuhn M., Gavin A.C., Bork P. Identification of metabolites from tandem mass spectra with a machine learning approach utilizing structural features. *Bioinformatics*. 2020; 36(4): 1213–1218.
25. Khodjaniazova S., Nazari M., Garrard K.P., Matos M.P.V., Jackson G.P., Muddiman D.C. Characterization of the Spectral Accuracy of an Orbitrap Mass Analyzer Using Isotope Ratio Mass Spectrometry. 2018 Feb 6; 90(3): 1897–1906. doi: 10.1021/acs.analchem
26. Marshall A.G. Milestones in fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry technique development. *Int J Mass Spectrom*. Elsevier. 2000; 200(1–3): 331–356.
27. Erve J.C., Gu M., Wang Y., DeMaio W., Talaat R.E. Spectral Accuracy of Molecular Ions in an LTQ/Orbitrap Mass Spectrometer and Implications for Elemental Composition Determination // *J Am Soc Mass Spectrom*. No longer published by Elsevier. 2009; 20(11): 2058–2069.
28. Skubel S.A., Dushenkov V., Graf B.L., Niu Q., Poulev A., Kalariya H.M., Foxcroft L.C., Raskin I. Rapid, field-deployable method for collecting and preserving plant metabolome for biochemical and functional characterization. *PLoS One*. 2018; 13(9): e0203569.
29. Kaur G., Kaur K., Singh V., Panag N., Saluja P. Species of the Genus *Rhodiola* Found in the Western Himalayas // *Immunity Boosting Medicinal Plants of the Western Himalayas*. Singapore: Springer Nature Singapore. 2023; 393–431.
30. Grace M.H., Yousef G.G., Kurmukov A.G., Raskin I., Lila M.A. Phytochemical characterization of an adaptogenic preparation from *Rhodiola heterodonta*. *Nat Prod Commun*. 2009; 4(8): 1053–1058.
31. Kurkin V.A., Ryazanova T.K. Current Aspects of Standardization of *Rhodiola rosea* L. Rhizomes and Roots. *Pharm Chem J*. 2021; 55(8): 793–797.
32. Yunuskhodjaev A.N., Iskandarova S.F., Kurmukov A.G. Phytochemical characterization and preclinical studies of *Rhodiola heterodonta* dry extract. *World Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2015; 1812–1816.
33. Ma Y.C., Wang X.Q., Hou F.F., Ma J., Luo M., Lu S., Jin P., Terevsky N., Chen A., Xu I., Patel A.V., Gorecki D. Rapid resolution liquid chromatography (RRLC) analysis for quality control of *Rhodiola rosea* roots and commercial standardized products. *Nat Prod Commun*. 2011; 6(5): 645–650.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Финансовой поддержки не было.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

***Джаборова Сахоба Саломудиновна** - аспирант ГУ «Научно-исследовательский фармацевтический центр Республики Таджикистан», Таджикистан.

E-mail: jaborova_sahoba@mail.ru

Юсуфи Саломудин Джаббор — доктор фармацевтических наук, профессор, академик Национальной академии наук Таджикистана, старший научный сотрудник ГУ «Научно-исследовательский фармацевтический центр Республики Таджикистан», Таджикистан.

E-mail: salomudin@mail.ru

https://orcid.org/0000-0002-1442-9508

Бобокалонов Джамшед Толехмуродович - кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник ГУ «Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Республики Таджикистан», Таджикистан.

E-mail: jamshedb@mail.ru

Душенков Вячеслав — Школа экологических и биологических наук в Ратгерс, PhD, профессор, США.

E-mail: dushenkov@sebs.rutgers.edu

Саторов Саидбек - доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой микробиологии, вирусологии и иммунологии ГУ «Медико-социальный институт Таджикистана», Таджикистан.

E-mail: satorov1955@gmail.com

Ахмедов Фарход Аламхоневич — директор ГУ «Научно-исследовательский фармацевтический центр Республики Таджикистан», Таджикистан.

E-mail: farhod0677@mail.ru

Сакипова Зуриядда Бектемировна — доктор фармацевтических наук, директор школы фармации ГОУ «Казахский национальный медицинский университет имени С. Асфендиярова», Казахстан.

E-mail: sakipova.z@kaznmu.kz

*Автор для корреспонденции.

FINANCING

There was no financial support.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

***Jaborova Sahoba Salomudinovna** — Scientific Research Pharmaceutical Center of the Republic of Tajikistan, PhD student, Tajikistan.

E-mail: jaborova_sahoba@mail.ru

Yusufi Salomudin Jabbor — Scientific Research Pharmaceutical Center of the Republic of Tajikistan, Senior Researcher, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tajikistan.

E-mail: salomudin@mail.ru

https://orcid.org/0000-0002-1442-9508

Bobokalonov Jamshed Tolehmuurodovich — V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Senior Researcher, Candidate of Biological Sciences, Tajikistan.

E-mail: jamshedb@mail.ru

Dushenkov Vyacheslav — School of Environmental and Biological Sciences at Rutgers, PhD, Professor, USA.

E-mail: dushenkov@sebs.rutgers.edu

Sattorov Saidbek - Tajik Medical and Social Institute, Head of Department, Doctor of Medical Sciences, Professor, Tajikistan.

E-mail: satorov1955@gmail.com

Ahmedov Farhod Alamkhonovich — Scientific Research Pharmaceutical Center of the Republic of Tajikistan, Director, Tajikistan.

E-mail: farhod0677@mail.ru

Sakipova Zuriyadda Bektemirovna — Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Director of the School of Pharmacy, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Kazakhstan.

E-mail: sakipova.z@kaznmu.kz

*Author for correspondence.