



Оригинальная статья / Research article

Анализ элементного состава отдельных видов *Sedum (Rhodiola) spp.* и *Orthilia secunda*

И. И. Тернинко, А. В. Лёзина, Ю. Э. Генералова, М. А. Романова*

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО СПбХФУ Минздрава России), 197376, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 14, лит. А

*Контактное лицо: Романова Маргарита Алексеевна. E-mail: romanova.margarita@pharminnotech.com

ORCID: И. И. Тернинко – <https://orcid.org/0000-0002-2942-1015>; А. В. Лёзина – <https://orcid.org/0000-0002-4738-8570>; Ю. Э. Генералова – <https://orcid.org/0000-0002-2573-6036>; М. А. Романова – <https://orcid.org/0000-0003-0225-8294>.

Статья поступила: 06.05.2021

Статья принята в печать: 07.02.2022

Статья опубликована: 25.02.2022

Резюме

Введение. Ортилия однобокая *Orthilia secunda* (L.) House, родиола четырехлепестная *Sedum quadrifidum* Pall. и родиола разнозубчатая *Rhodiola heterodonta* (Hook. f. & Thomson) Boriss. активно используются в народной медицине для лечения гинекологических патологий, однако сырье указанных видов зарегистрировано в качестве БАДов, поскольку отсутствуют данные комплексного фитохимического анализа и критерии стандартизации. Ввиду значимости макро- и микроэлементов для терапии/профилактики гинекологических патологий определение элементного состава лекарственного растительного сырья является важным этапом фитохимического исследования растений с целью введения их в официальную медицину.

Цель. Анализ макро- и микроэлементного состава корневищ и корней р. четырехлепестной, р. разнозубчатой в сравнении с р. розовой и сравнение минерального состава травы ортилии однобокой из трех мест заготовки.

Материалы и методы. Для целей исследования трава ортилии однобокой *Orthilia secunda* (L.) House была заготовлена в трех фитонотических зонах – южная часть Казахстана (июль 2018 года), Тюменская область (заготовка июль-август 2019 года) и Пермский край (июль 2019 года). Корневища и корни р. розовой были заготовлены в Питомнике СПбХФУ в пос. Лемболово, Ленинградская область (2019 год). ЛРС р. четырехлепестной было приобретено в аптечной сети г. Санкт-Петербурга, место и время заготовки по информации на упаковке – Алтай, март 2019 года. Р. разнозубчатая была заготовлена в Таджикистане (март 2018 года). Анализ элементного состава ЛРС проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Optima 8000 (Perkin Elmer, США) с предварительной пробоподготовкой методом «мокрой» минерализации в соответствии с рекомендациями ГФ РФ XIV ОФС.1.2.1.1.0004.15 и ОФС.1.5.3.0009.15 на базе ЦКП «Аналитический центр». Статистическую обработку результатов проводили при помощи программ Microsoft Excel и IBM SPSS Statistics (расчет критерия Манна – Уитни) по ОФС.1.1.0013.15.

Результаты и обсуждение. По результатам эксперимента ($P = 95\%$) и расчетам критерия Манна – Уитни (нулевая гипотеза отвергается) установлено, что р. четырехлепестная содержит большее количество натрия, железа, алюминия и марганца в сравнении с другими видами родиол, причем содержание марганца в 3 раза больше, чем в р. розовой, и в 4,9 раз больше, чем в р. разнозубчатой. Р. разнозубчатая отличается большим содержанием кальция, калия и магния. Результаты изучения элементного состава травы ортилии показали, что регион заготовки не оказывает значительного влияния на минеральный профиль растения. Однако в ортилии однобокой, заготовленной в Казахстане, отмечено высокое содержание бария, также незначительно преобладают железо и магний, что может быть связано с техногенным загрязнением почв в данном регионе. Отмечено значительное содержание марганца в траве ортилии (339,0 мг/кг), что выше, чем в сырье родиолы розовой (17,7 мг/кг), которая относится к манганофилам. Это дает возможность отнести ортилию к растениям, избирательно накапливающим марганец, и позиционировать ее как индикатор почв, богатых солями этого элемента. Результаты статистической обработки позволили установить достоверный интервал среднего значения, который характеризует неопределенность результатов анализа и ОКО (RSD), которое характеризует прецизионность полученных результатов. Также путем расчета критерия Манна – Уитни для пула непараметрических данных было установлено, что различия между выборками родиол и ортилий (сравнение выборок внутри рода) являются статистически значимыми. Исключения составляют установленные значения цинка и калия в ортилии однобокой, заготовленной в Казахстане и Пермском крае (нулевая гипотеза принимается, то есть различия между выборками оказались статистически незначимыми), а также количественное содержание марганца в ортилии из Тюменской области и Пермского края.

Заключение. Р. четырехлепестная накапливает максимальное количество элементов в сравнении с фармакопейным видом р. розовой. К мажоритарным микроэлементам растений рода *Rhodiola* относится барий и стронций; р. четырехлепестная позиционируется как манганофил. В траве ортилии значительно преобладает марганец, что также дает возможность отнести ее к манганофилам. Суммарное содержание меди, железа, цинка и кальция в сырье р. разнозубчатой и траве ортилии подтверждает перспективность разработки фитопрепаратов на их основе для лечения и профилактики гинекологических патологий.

Ключевые слова: родиола розовая, родиола четырехлепестная, родиола разнозубчатая, ортилия однобокая, макроэлементы, микроэлементы, атомно-эмиссионная спектроскопия

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы участвовали в планировании и составлении дизайна эксперимента. А. В. Лёзина проводила пробоподготовку всех видов ЛРС для атомно-эмиссионной спектроскопии, участвовала в интерпретации результатов эксперимента и статистической обработке, написании статьи. Ю. Э. Генералова проводила атомно-эмиссионную спектроскопию.

Для цитирования: Тернинко И. И., Лёзина А. В., Генералова Ю. Э., Романова М. А. Анализ элементного состава отдельных видов *Sedum (Rhodiola) spp.* и *Orthilia secunda*. *Разработка и регистрация лекарственных средств.* 2022;11(1):132–139. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-1-132-139>

Analysis of the Elemental Composition of Individual Species *Sedum (Rhodiola) spp.* and *Orthilia secunda*

Inna I. Terninko, Alyona V. Lezina, Yulia E. Generalova, Margarita A. Romanova*

Saint-Petersburg State Chemical-Pharmaceutical University, 14A, Prof. Popov str., Saint-Petersburg, 197376, Russia

*Corresponding author: Margarita A. Romanova. E-mail: romanova.margarita@pharminnotech.com

ORCID: Inna I. Terninko – <https://orcid.org/0000-0002-2942-1015>; Alyona V. Lezina – <https://orcid.org/0000-0002-4738-8570>; Yulia E. Generalova – <https://orcid.org/0000-0002-2573-6036>; Margarita A. Romanova – <https://orcid.org/0000-0003-0225-8294>.

Received: 06.05.2021 Revised: 07.02.2022 Published: 25.02.2022

Abstract

Introduction. *Orthilia secunda* (L.) House, *Sedum quadrifidum* Pall., *Rhodiola heterodonta* (Hook. f. & Thomson) Boriss. are actively used in folk medicine for the treatment of gynecological pathologies, however, the raw materials of these species are registered as dietary supplements, since there are no data from complex phytochemical analysis and standardization criteria. Since macro- and microelements are of great importance for the therapy and prevention of gynecological diseases, the determination of the elemental composition of medicinal plant raw materials is an important stage in a comprehensive phytochemical research of these plants with the purpose of introducing them into official medicine.

Aim. Analysis of the macro- and microelement composition of the rhizomes and roots of *Sedum quadrifidum*, *Rhodiola heterodonta* in comparison with *Sedum roseum* and analysis of the mineral composition of the herb *Orthilia secunda* from three harvesting sites.

Materials and methods. For research purposes, the grass of *Orthilia secunda* (L.) House was harvested in three phytocenotic zones – the southern part of Kazakhstan (July 2018), the Tyumen region (harvesting July-August 2019) and the Perm region (July 2019). Rhizomes and roots of *Sedum rosea* were harvested in the SPCPU in the village Lembolovo, Leningrad region (2019). Medicinal plant raw material of *Sedum quadrifidum* was purchased in a pharmacy chain in St. Petersburg, the place and time of procurement according to the information on the package is Altai, March 2019. *Rhodiola heterodonta* was harvested in Tajikistan (March 2018). The analysis was carried out by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (AES) on an Optima 8000 spectrometer (Perkin Elmer, USA) with preliminary sample preparation by the wet mineralization method in accordance with the recommendations of the State Foundation of the Russian Federation XIV OFS1.2.1.1.0004.15 and OFS 1.5. 3.0009.15 on the basis of the Center for Collective Use "Analytical Center". Statistical processing of the results was carried out using the Microsoft Excel program according to GM.1.1.0013.15.

Results and discussion. According to the results of the experiment, it was found that *Sedum quadrifidum* contains a greater amount of sodium, iron, aluminum, and manganese in comparison with other types of Rhodiols, and the content of manganese is 3 times higher than in the *Sedum rosea*, and 4.9 times more than in the *Rhodiola heterodonta*. *Rhodiola heterodonta* is distinguished by a high content of calcium, potassium, and magnesium. The results of studying the elemental composition of *Orthilia* herb showed that the harvesting region does not significantly affect the mineral profile of the plant. However, in *Orthilia secunda* (L.) House harvested in Kazakhstan, a high content of barium is noted, iron, magnesium, manganese, and zinc also slightly prevail, which may be associated with technogenic soil pollution in this region. A significant content of manganese was noted in the herb of *orthilia* (1801.50 mg/kg), which is higher than in the raw material of *rhodiola*, which belongs to manganophiles. This makes it possible to classify *orthilia* as a plant that selectively accumulates manganese, and to position it as an indicator of soils rich in salts of this element. The results of statistical processing made it possible to establish the confidence interval of the mean value, which characterizes the uncertainty of the analysis results and the RSD, which characterizes the precision of the results obtained.

Conclusion. *Sedum quadrifidum* accumulates the maximum number of elements in comparison with *Sedum roseum*. Barium and strontium are the major microelements of the *Rhodiola*. *Sedum quadrifidum* is marketed as a manganophil. In the herb of *Orthilia*, manganese is significantly prevalent, which makes it possible to classify *Orthilia* as a manganophilous species. The total content of copper, iron, zinc and calcium in the raw material of *Rhodiola heterodonta* and *Orthilia secunda* herb confirms the prospects for the development of phytopreparations based on these species of raw materials for the treatment and prevention of gynecological pathologies.

Keywords: *Sedum roseum*, *Sedum quadrifidum*, *Rhodiola heterodonta*, *Orthilia secunda*, macroelements, microelements, atomic emission spectrometry

Conflict of interest. The authors declare that they have no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. All authors participated in the planning and design of the experiment. Alyona V. Lezina carried out sample preparation of all types of PRM for atomic emission spectroscopy, participated in the interpretation of experimental results and statistical processing, and wrote an article. Yulia E. Generalova performed atomic emission spectroscopy.

For citation: Terninko I. I., Lezina A. V., Generalova Yu. E., Romanova M. A. Analysis of the elemental composition of individual *Species sedum (Rhodiola) spp.* and *Orthilia secunda*. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv = Drug development & registration*. 2022;11(1):132–139. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-1-132-139>

ВВЕДЕНИЕ

Применение растительных препаратов всегда оставалось в фокусе фармакотерапии отдельных патологических состояний (гинекологических, желудочно-кишечных и др.), а также педиатрической и гериатрической практиках [1]. Так, по данным, полученным немецкими исследователями [2], около 30,1% пациентов с гинекологическими заболеваниями ис-

пользуют фитотерапию в качестве дополнения к основному лечению [3].

Определение элементного состава лекарственного растительного сырья (ЛРС) является важным этапом комплексного фитохимического исследования, поскольку растения могут избирательно накапливать те или иные макро- и микроэлементы, которые в составе минеральных комплексов с различными био-

логически активными веществами (БАВ) могут переходить в состав лекарственных растительных препаратов и благодаря этому расширять (корректировать, потенцировать и/или изменять) спектр их фармакологических эффектов. Кроме того, элементы имеют собственную фармакологическую активность и оказывают влияние на осуществление ряда физиологических процессов в организме человека.

Участие микро- и макроэлементов в метаболизме связано с построением скелета (кальций, фосфор), поддержанием осмотического давления (натрий, калий), кроветворением (железо, медь) [4]. Многие из них являются активаторами и кофакторами ферментов (магний, медь, железо и др.) [5].

Так, алюминий участвует в процессах регенерации соединительной и эпителиальной ткани, способен влиять на функцию паращитовидных желез [6], однако в высоких концентрациях является токсичным элементом [7]. Железо необходимо для нормального газообмена и функционирования многих ферментов, в том числе каталазы, которая защищает организм от избытка перекиси водорода, продуцирующейся лейкоцитами. Дефицит железа встречается почти у 25 % населения планеты [8]. Женский организм особенно подвержен дефициту железа в виду его физиологических особенностей. Так, например, при беременности дефицит железа [9] может способствовать развитию патологий плода [10] и невынашиванию [11].

Кальций необходим для построения скелетной ткани, сократимости мышечной ткани, а также в комплексе с витамином D участвует в коллагенообразовании, улучшает измененную иммунную реакцию на менструальное кровотечение, что улучшает течение первичной дисменореи [12]. Магний снижает риск развития воспалительных заболеваний органов малого таза, а его дефицит может приводить к нарушению менструального цикла, возникновению патологии вульвы и замедленному заживлению шейки матки после лечения патологических процессов. Биохимическая активность магния способствует профилактике основных акушерских осложнений, таких как плацентарная недостаточность, преэклампсия. Известно, что 70 % плацентарных белков и гормонов женщины являются магнием зависимыми [13].

Медь является компонентом ряда ферментов и важных белков. Симптомы дефицита меди включают нейтропению, анемию, остеопороз, неврологические симптомы [14]. В экспериментах дефицит меди непосредственно приводил к железодефицитной анемии вследствие нарушения абсорбции железа [15].

Цинк также необходим для роста и репродукции [16]. У женщин он играет важную роль в регуляции менструального цикла, в частности, процесс фолликулогенеза связан с антиоксидантными явлениями в клетке и регулируется уровнем цинка. Данный элемент также регулирует все эстрогензависимые процессы, поскольку входит в структуру рецепторов

эстрогенов. Кроме того, пониженный уровень цинка [17] наблюдается в крови женщин, страдающих предменструальным синдромом [18].

Для лечения различных гинекологических патологий в народной медицине активно используется комбинация ортилии однобокой *Orthilia secunda* L. (матка боровая) и родиолы четырехлепестной *Sedum quadrifidum* Pall. – syn. *Rhodiola quadrifida* (Pall.) Fisch. & C.A. Mey. (красная щетка).

Ортилия однобокая – это многолетнее травянистое растение, относящееся к семейству Вересковые (*Ericaceae*), которое произрастает в лесах Европы, Западной и Восточной Сибири, Малой и Средней Азии, на севере Монголии и в восточной части Китая. В качестве сырья заготавливают траву. Родиола четырехлепестная (семейство Толстянковые – *Crassulaceae*) районирована на Алтае, в Восточной Сибири и в высокогорных районах Монголии. В качестве сырья заготавливают корневища и корни.

На данный момент применение сырья этих растений ограничивается только БАДами, что обусловлено отсутствием комплексного фитохимического изучения и критериев стандартизации. Данные об элементном анализе сырья этих видов растений отсутствуют.

Кроме того, интерес представляет сравнительное изучение элементного профиля родственного р. четырехлепестной вида – р. разнозубчатой *Rhodiola heterodonta* (Hook. f. & Thorns.) Boriss. (syn. *Sedum heterodontum* Hook. f. & Thomson), который географически произрастает в высокогорных районах Средней Азии, на территории Узбекистана, Киргизии и Таджикистана.

Учитывая совокупные данные о популярности этих растений в народной медицине для терапии/профилактики гинекологических заболеваний, значимости элементов для течения этих патологий, а также отсутствие информации об изучении элементного профиля этих растений, можно говорить об актуальности исследования.

Цель работы – проанализировать макро- и микроэлементный состав корневищ и корней р. четырехлепестной, р. разнозубчатой в сравнении с р. розовой, а также, учитывая влияние эколого-фитоценотических условий места произрастания на элементный профиль сырья, сравнить минеральный состав травы ортилии однобокой из трех мест заготовки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали корневища и корни р. розовой, заготовленные в Питомнике СПХФУ в (пос. Лемболово, Ленинградская область) в 2019 году, р. четырехлепестной, приобретенные в аптечной сети г. Санкт-Петербурга и, по информации на упаковке, заготовленные на Алтае (март 2019 года), р. разнозубчатой, заготовленной в Таджикистане, в районе горной системы Памиро-Алай (март, 2018 год), и траву ортилии однобокой, заготовленной в Тюменской области (июнь 2019 года), Перм-

ском крае (август 2019 года) и в Казахстане (Северный Казахстан, район Кокшетау, август 2018 года). Сырье высушивали методом естественной воздушно-теневой сушки до характерной ломкости.

Анализ осуществляли методом атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Optima 8000 (PerkinElmer, США) в соответствии с рекомендациями ГФ РФ XIV ОФС.1.2.1.1.0004.15 и ОФС.1.5.3.0009.15 [19]. Испытания проводили с использованием парка оборудования ЦКП «Аналитический центр ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России» в рамках соглашения № 075-15-2021-685 от 26 июля 2021 года при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Статистическую обработку результатов эксперимента осуществляли с помощью программы Microsoft Excel по ОФС.1.1.0013.15 «Статистическая обработка результатов химического эксперимента» [19]. Устанавливали показатели: среднее значение, дисперсию, стандартное отклонение, относительное стандартное отклонение и доверительный интервал. Критерий Манна – Уитни рассчитывали с помощью программы IBM SPSS Statistics версия 28.0.0.0 (190).

Пробоподготовка: около 0,4 г (точная навеска) высушенного измельченного (3–5 мм) сырья помещали в сосуд из тефлона, добавляли 5 мл азотной кислоты концентрированной для АЭС (65 % для анализа, с контролируемым содержанием следовых количеств элементов, PanReac, Германия, п. 0001722942, годен до 03.2025) и 3 мл перекиси водорода 30 % (ос.ч. 8-4, ООО «НПФ Химмедсервис», Россия, п. 04, годен до 12.2022), аккуратно перемешивали, оставляли на 10 мин для удаления паров. Затем сосуд герметично закрывали и помещали в микроволновую систему BERGHOF Speed wave Entry Two, устанавливали температурный режим для минерализации растительных объектов (согласно рекомендациям оборудования). После остывания растворы переносили в полимерные мерные колбы (класс точности А) вместимостью 50 мл, доводили до метки водой очищенной деионизированной с электропроводностью менее 0,5 См · см⁻¹.

В качестве стандартных образцов (СО), по растворам которых осуществляли построение калибровочных кривых, использовали Multi-element Calibration Standard 3 с аттестованными значениями концентрации (10 мкг/мл в 5%-й азотной кислоте) элементов (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hg, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Tl, Zn, U, V) (PerkinElmer, США, п. CL5-199МКВY1, годен до 30.04.2021) и PurePlusMercury 10 мкг/мл в 5%-й азотной кислоте (PerkinElmer, США, п. CL9-102HG Y1, годен до 30.11.2021).

Условия проведения испытания были подобраны исходя из рекомендаций ПО спектрометра и проверены отдельными верификационными испытаниями (специфичность, линейность, сходимости, ПКО): скорость потока плазмообразующего газа – 10 л/мин, дополнительного газа – 0,2 л/мин, скорость потока газа для распыления пробы – 0,7 л/мин; мощность плазмы 1300 Вт, положение обзора эмиссии аксиаль-

ное; скорость подачи раствора – 1,5 мл/мин, для промывки ускоренная подача растворителя 2,5 мл/мин, время задержки – 25 сек., время считывания 0,1–1,0 сек., повторов интегрирования (реплик) – 3.

Спектрометр монохроматический регистрирует интенсивность сигнала и по калибровочной кривой, построенной по растворам СО для каждого конкретного элемента, определяет значение концентрации испытуемого раствора. Содержание элементов (X, мг/кг) в образце рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{C_x \cdot V_1}{m} \cdot 100,$$

где C_x – концентрация элемента по градуировочной кривой, мг/л; V_1 – объём испытуемого раствора, мл; m – масса навески, мг.

В соответствии с рекомендациями ОФС.1.2.1.1.0004.15 каждый испытуемый раствор анализировали в 3 повторностях и проводили 2 параллельных определения каждого анализируемого объекта [19]. Сходимость результатов оценивали по СО (RSD) (критерий приемлемости RSD – 2 %, для микроконцентраций допустимо RSD до 30 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В корневищах и корнях р. розовой, р. четырехлепестной и р. разнозубчатой, а также ортилии однобокой из трёх мест заготовки было идентифицировано и установлено количество 12 элементов.

Тяжелые металлы и мышьяк (элементы, ПДК которых нормирована в ГФ РФ в ОФС.1.5.3.0009.15) в испытуемых образцах не идентифицированы, следовательно, их содержание меньше предела количественного определения (ПКО) данным методом [19].

По результатам статистической обработки были установлены средние значения для каждого элемента, определен доверительный интервал, который характеризует неопределенность результатов анализа, а также было рассчитано относительное стандартное отклонение (RSD) (таблица 1). Данные, полученные в ходе статистической обработки, не отягощены грубыми ошибками и являются статистически значимыми, что говорит о достоверности полученных результатов.

Результаты анализа элементного профиля сырья трёх видов родиол в сравнительном аспекте, представленные в таблице 1, позволяют сделать вывод, что р. четырехлепестная отличается превалированием большинства микроэлементов в сравнении с другими видами родиол. Так, в р. четырехлепестной содержится в 2 раза больше алюминия, чем в р. разнозубчатой и в 3,4 раза больше, чем в р. розовой, а железа в 3,8 раз и в 2,1 раз больше, чем в р. розовой и р. разнозубчатой соответственно.

Также в р. четырёхлепестной обнаружено высокое содержание натрия и марганца, причем содержание марганца в 3 раза больше, чем в р. розовой, и в 4,9 раз

Таблица 1. Элементный состав сырья трёх видов родиол

Table 1. Elemental composition of raw materials of three species of Rhodiola

Группа Group	Элемент Element	Суточная потребность, мг/день [9, 20] Daily requirement, mg/day [9, 20]	Содержание элементов, мг/кг* (n = 6, P = 95 %) Element content, mg/kg* (n = 6, P = 95 %)		
			Р. розовая, $x_{cp.} \pm \Delta x_r$, RSD (%) S. roseum, $x_{av.} \pm \Delta x_r$, RSD (%)	Р. четырех-лепестная, $x_{cp.} \pm \Delta x_r$, RSD (%) S. quadrifidum, $x_{av.} \pm \Delta x_r$, RSD (%)	Р. разно-зубчатая, $x_{cp.} \pm \Delta x_r$, RSD (%) R. heterodonta, $x_{av.} \pm \Delta x_r$, RSD (%)
Макроэлементы Microelements	Na	500	66,5 ± 2,0 0,47	105,3 ± 11,0*** 1,41	78,6 ± 3,0 0,38
	Ca	1000	3666,0 ± 630,0 2,65	5518,0 ± 89,0* 0,10	6345,0 ± 195,0 0,33
	Mg	400	711,0 ± 75,0 1,71	787,0 ± 148,0 1,68	959,0 ± 11,0 0,20
	K	2500	4416,0 ± 147,0 0,44	3177,0 ± 679,0** 6,06	8131,0 ± 519,0 0,99
Микроэлементы Microelement	Al	40	253,0 ± 81,0 8,56	864,0 ± 58,0*** 0,69	446,0 ± 21,0 0,7
	Fe	18	164,0 ± 45,0 7,97	628,0 ± 62,0*** 0,70	299,0 ± 28,0 1,23
	Ba	Не установлена Not installed	45,9 ± 3,70 1,15	18,70 ± 1,0*** 0,29	24,8 ± 0,2 0,08
	Cu	1,00	2,4 ± 0,50 2,41	3,8 ± 0,90 1,92	2,7 ± 0,1 0,6
	Mn	2,00	17,7 ± 3,7 3,50	52,0 ± 7,0*** 1,08	10,6 ± 0,6 0,76
	Rb	1,00-2,00	6,6 ± 0,5 1,07	2,8 ± 0,6* 3,02	3,3 ± 0,3 0,96
	Sr	0,80-3,00	21,6 ± 4,0 2,02	23,5 ± 1,3 0,69	21,0 ± 0,5 0,30
	Zn	12,00	6,3 ± 1,3 2,15	7,3 ± 0,9** 1,01	13,2 ± 0,3 0,28

Примечание. n – количество вариантов в выборке; $x_{cp.} \pm \Delta x_i$ – среднее значение выборки с доверительным интервалом; RSD – относительное стандартное отклонение, %.

* Различия с р. розовой.

**Различия с р. разнозубчатой.

Note. n – is the number of options in the sample, $x_{av.} \pm \Delta x_i$ is the mean value of the sample with a confidence interval, RSD is the relative standard deviation, %.

* Differences from r. rosea.

** Differences from r. heterodonta.

больше, чем в р. разнозубчатой. Поэтому можно утверждать, что родиолы (в частности р. четырехлепестная) относятся к манганофилам и могут быть индикаторами почв с высоким содержанием марганца.

В р. разнозубчатой обнаружено в два раза большее количество кальция и калия, чем в других видах родиол, и более высокое содержание магния и цинка.

Данные таблицы 1 представлены в виде диаграмм на рисунках 1 и 2.

Статистическая обработка результатов изучения элементного состава травы ортилии (таблица 2) показала, что несмотря на ряд значимых различий содержания большинства элементов, уровень их накопления однопорядковый. Регион заготовки не оказывает существенного влияния на минеральный профиль растения.

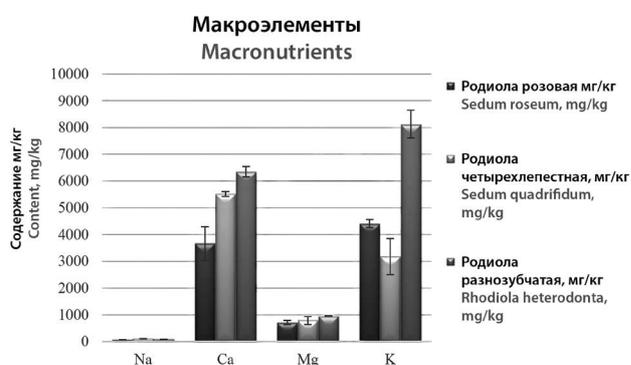


Рисунок 1. Макроэлементный состав сырья трёх видов родиол

Figure 1. Macroelement composition of the raw material of three species of Rhodiola

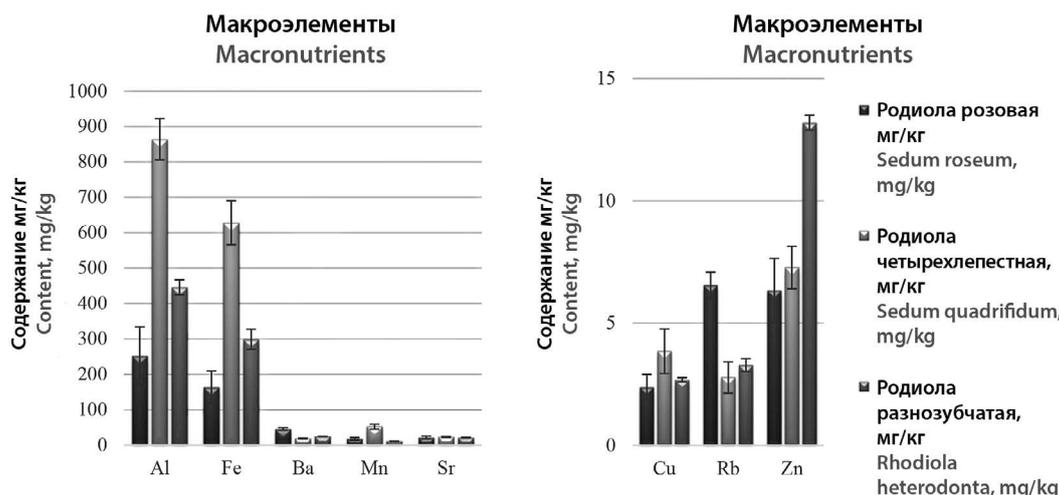


Рисунок 2. Микроэлементный состав сырья трёх видов родиол

Figure 2. Microelement composition of raw materials of three species of Rhodiola

Таблица 2. Элементный состав травы ортилии однобокой из различных регионов заготовки

Table 2. Elemental composition of the herb of *Orthilia secunda* from different regions of the harvest

Группа Group	Элемент Element	Содержание элементов, мг/кг* (n = 6, P = 95 %) Element content, mg/kg* (n = 6, P = 95 %)		
		Ортилия однобокая (Казахстан), $x_{cp} \pm \Delta x_i$, RSD (%) <i>Orthilia secunda</i> (Kazakhstan), $x_{av.} \pm \Delta x_i$, RSD (%)	Ортилия однобокая (Пермь), $x_{cp} \pm \Delta x_i$, RSD (%) <i>Orthilia secunda</i> (Perm), $x_{av.} \pm \Delta x_i$, RSD (%)	Ортилия однобокая (Тюмень), $x_{cp} \pm \Delta x_i$, RSD (%) <i>Orthilia secunda</i> (Tyumen), $x_{av.} \pm \Delta x_i$, RSD (%)
Макроэлемент Macroelement	Na	85,7 ± 0,3 0,05	139,6 ± 17,6 1,33	59,3 ± 4,6 0,82
	Ca	7019,0 ± 63,0 1,88	7685,0 ± 37,0 0,05	6481,0 ± 563,0 0,93
	Mg	1802,0 ± 275,0 1,58	1604,0 ± 1,0 0,01	1586,0 ± 121,0 0,85
	K	12670,0 ± 1938,0 1,60	12265,0 ± 435,0 0,37	10600,0 ± 99,0 0,11
Микроэлементы Microelement	Al	686,0 ± 90,0 1,41	540,0 ± 23,0 0,52	863,0 ± 25,0 0,32
	Fe	127,0 ± 6,0 0,61	98,0 ± 11 1,12	108,0 ± 10,0 0,95
	Ba	111,0 ± 28,0 4,03	62,0 ± 1,0 0,23	81,0 ± 6,0 0,92
	Cu	4,8 ± 0,70 1,74	4,9 ± 0,9 1,92	4,2 ± 0,2 0,55
	Mn	339,0 ± 29,0 8,51	228,0 ± 56,0 3,96	239,0 ± 59,0 3,97
	Rb	3,4 ± 0,2 0,97	5,60 ± 0,3 0,60	3,9 ± 0,1 0,33
	Sr	35,5 ± 7,8 2,32	49,2 ± 1,2 0,40	29,2 ± 2,1 3,72
	Zn	22,50 ± 5,60 5,01	20,80 ± 0,2 0,10	16,4 ± 2,8 1,80

Примечание. n – количество вариантов в выборке; $x_{cp} \pm \Delta x_i$ – среднее значение выборки с доверительным интервалом; RSD – относительное стандартное отклонение, %.

Note. n – is the number of options in the sample; $x_{av.} \pm \Delta x_i$ is the mean value of the sample with a confidence interval, RSD is the relative standard deviation, %.

В ортилии однобокой, заготовленной в Казахстане, обнаруживается более высокое содержание железа, бария, марганца и магния, что может говорить о техногенном загрязнении места заготовки. Содержание марганца в ортилии, независимо от места произрастания, в 10 раз выше, чем в корневищах и корнях родиолы, традиционно относящейся к растениям – манганофилам (рисунки 3, 4) [21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты элементного анализа сырья трех видов родиол позволяют сделать заключение о видовом различии макро- и микроэлементного профиля этих растений. Так, р. четырехлепестная отличается избирательным накоплением большинства элементов в сравнении с другими (в т. ч. и фармакопейным) видами и содержит в три раза больше алюминия и железа, а также имеет наибольшую концентрацию натрия и марганца в сравнении с фармакопейным видом – р. розовой.

Полученные данные позволяют гипотетически прогнозировать более выраженное противовоспалительное и регенерирующее действие минеральных комплексов видоспецифичных фенольных соединений р. четырехлепестной необходимых в терапии гинекологических заболеваний в сравнении официальным видом р. розовой.

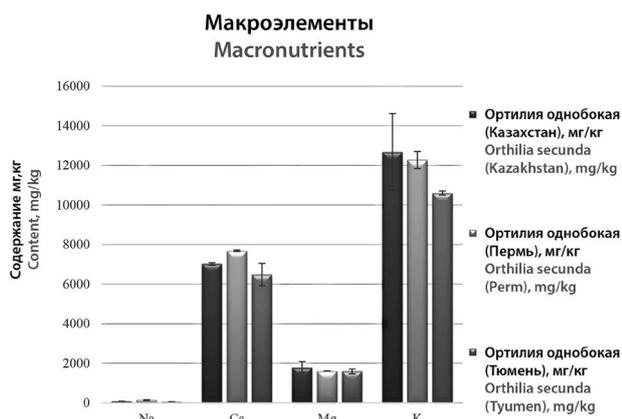


Рисунок 3. Макроэлементный состав сырья ортилии однобокой из трех регионов заготовки

Figure 3. Macroelement composition of raw materials of *Orthilia secunda* from three regions of the harvest

Минеральный профиль травы ортилии не зависит от региона произрастания. Обращает на себя внимание содержание марганца, которое в 10 раз выше аналогичного показателя в корнях с корневищами родиолы, что также дает возможность отнести ортилию к растениям, избирательно накапливающим марганец, и позиционировать ее как индикатор почв, богатых солями этого элемента.

Суммарное содержание таких целевых элементов, как медь, железо, цинк и кальций в сырье р. четырехлепестной и траве ортилии подтверждает перспективность разработки фитопрепаратов на основе данных видов сырья для лечения и профилактики гинекологических патологий.

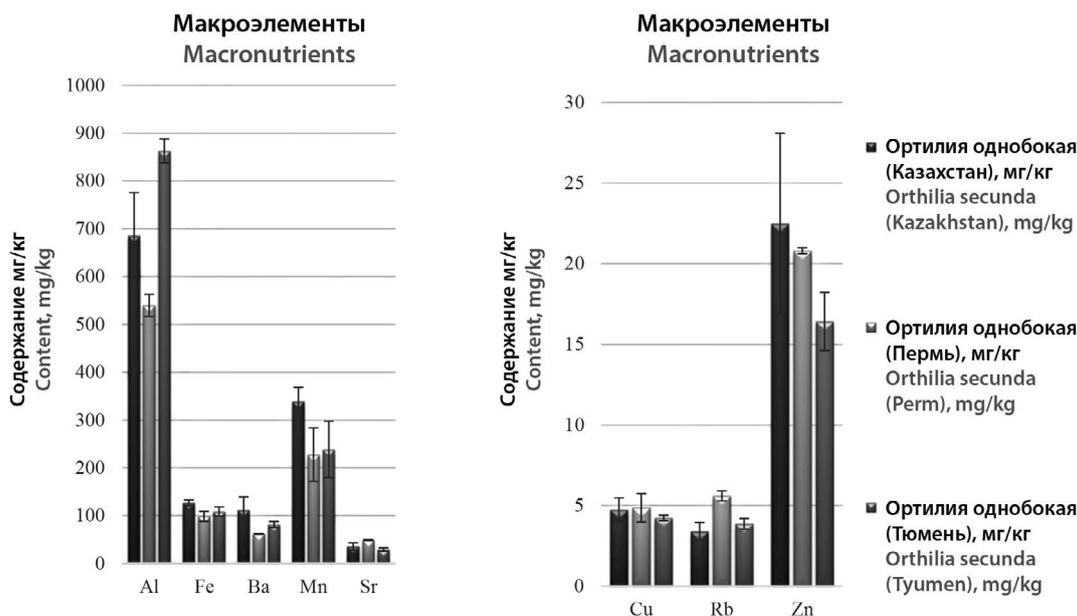


Рисунок 4. Микроэлементный состав сырья ортилии однобокой из трех регионов заготовки

Figure 4. Microelement composition of raw material of *Orthilia secunda* from three regions of the harvest

ЛИТЕРАТУРА

1. Yang M., Lee H. S., Hwang M. W., Jin M. Effects of Korean red ginseng (*Panax Ginseng Meyer*) on bisphenol A exposure and gynecologic complaints: single blind, randomized clinical trial of efficacy and safety. *BMC Complement Altern Med.* 2014;25(14):265. DOI: 10.1186/1472-6882-14-265.
2. Drozdoff L., Klein E., Kiechle M., Paepke D. Use of biologically based complementary medicine in breast and gynecological cancer patients during systemic therapy. *BMC complementary and alternative medicine.* 2018;18(1):1–7. DOI: 10.1186/s12906-018-2325-3.
3. Della Corte L., Noventa M., Ciebiera M., Magliarditi M., Sleiman Z., Karaman E., Catena U., Salvaggio C., Falzone G., Garzon S. Phytotherapy in endometriosis: an up-to-date review. *J Complement Integr Med.* 2020;17(3):1–12. DOI: 10.1515/jcim-2019-0084.
4. Cesar G. Fraga. Relevance, essentiality, and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine.* 2005;26:235–244. DOI: 10.1016/j.mam.2005.07.013.
5. Ciosek Z., Kot K., Kosik-Bogacka D., Łanocha-Arendarczyk N., Rotter I. The Effects of Calcium, Magnesium, Phosphorus, Fluoride, and Lead on Bone Tissue. *Biomolecules.* 2021;11(4):506. DOI: 10.3390/biom11040506.
6. Шугалей И. В., Гарабаджиу А. В., Илюшин М. А., Судариков А. М. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы. *Экологическая химия.* 2012;21(3):168–172.
7. Yokel R. A. Aluminum reproductive toxicity: a summary and interpretation of scientific reports. *Critical Reviews in Toxicology.* 2020;50(7):551–593. DOI: 10.1080/10408444.2020.1801575.
8. Румянцев А. Г., Захарова И. Н., Чернов В. М., Тарасова И. С., Заплатников А. Л., Коровина Н. А., Боровик Т. Э., Звонкова Н. Г., Мачнева Е. Б., Лазарева С. И., Васильева Т. М. Распространенность железодефицитных состояний и факторы, на нее влияющие. *Медицинский совет.* 2015;6:62–66. DOI: 10.21518/2079-701X-2015-6-62-66.
9. Keats E. C., Haider B. A., Tam E., Bhutta Z. A. Multiple-micronutrient supplementation for women during pregnancy. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2019;3. DOI: 10.1002/14651858.cd004905.pub6.
10. Абашин С. Ю. Железодефицит у женщин и возможности его коррекции. *Онкогинекология.* 2015;1:63–69.
11. Ендина А. В., Гладилин Г. П. Регуляция обмена железа у женщин репродуктивного возраста с доброкачественной патологией

- тела матки, осложненной кровотечением. *Фундаментальные исследования*. 2013;7(1):87–90.
12. Геворгян А. П., Сибирская Е. В. Первичная дисменорея с позиции сегодняшнего дня. *Проблемы репродукции*. 2018;24(6):32–38. DOI: 10.17116/repro20182406132.
 13. Назаренко Е. Г. Магний и женская репродуктивная система. *Медицинский совет*. 2019;7:119–125. DOI: 10.21518/2079-701X-2019-7-119-125.
 14. Ахмеджанова З. И., Жиемурадова Г. К., Данилова Е. А., Каримов Д. А. Макро- и микроэлементы в жизнедеятельности организма и их взаимосвязь с иммунной системой (обзор литературы). *Журнал теоретической и клинической медицины*. 2020;1:16–21.
 15. Громова О. А., Торшин И. Ю., Хаджидис А. К. Анализ молекулярных механизмов воздействия железа (II), меди, марганца в патогенезе железодефицитной анемии. *Клиническая фармакология и фармакоэкономика*. 2010;1:1–9.
 16. Prasad A. S. Zinc in Human Health: Effect of Zinc on Immune Cells. *Molecular Medicine*. 2008;14(5-6):353–357. DOI: 10.2119/2008-00033.
 17. Олина А. А., Садыкова Г. К. Значение дефицита цинка в формировании нарушений репродуктивного здоровья (обзор литературы). *Пермский медицинский журнал*. 2015;32(5):138–143. DOI: 10.17816/pmj325138-143.
 18. Ayana G., Moges T., Samuel A. Dietary zinc intake and its determinants among Ethiopian children 6–35 months of age. *BMC Nutrition*. 2018;4(30):1–6. DOI: 10.1186/s40795-018-0237-8.
 19. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV издание: официальный текст. М.: Федеральная электронная медицинская библиотека; 2018. Доступно по: <http://www.femb.ru/femb/pharmacopea.php>. Ссылка активна на 30.03.2021.
 20. Коденцова В. М. Витамины и минералы как фактор предупреждения дефектов развития плода и осложнений беременности. *Медицинский совет*. 2016;9:106–114. DOI: 10.21518/2079-701X-2016-9-106-114.
 21. Куркин В. А. Родиола розовая (золотой корень): стандартизация и создание лекарственных препаратов: монография. Самара: ООО «Офорт»; ГБОУ ВПО СамГМУ Минздрава России; 2015. 240 с.
 9. Keats E. C., Haider B. A., Tam E., Bhutta Z. A. Multiple-micronutrient supplementation for women during pregnancy. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2019;3. DOI: 10.1002/14651858.cd004905.pub6.
 10. Abashin S. Yu. Iron deficiency in women and the possibility of its correction. *Onkoginekologiya*. 2015;1:63–69. (In Russ.)
 11. Endina A. V., Gladilin G. P. Regulation of iron metabolism in women of reproductive age with benign pathology of the uterine body complicated by bleeding. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research*. 2013;7(1):87–90. (In Russ.)
 12. Gevorgyan A. P., Sibirskaya E. V. Primary dysmenorrhea from the position of today. *Problemy reproduktivnoy = Russian Journal of Human Reproduction*. 2018;24(6):32–38. DOI: 10.17116/repro20182406132. (In Russ.)
 13. Nazarenko E. G. Magnesium and the female reproductive system. *Meditsinskiy sovet = Medical Council*. 2019;7:119–125. DOI: 10.21518/2079-701X-2019-7-119-125. (In Russ.)
 14. Akhmedzhanova Z. I., Zhiemuratova G. K., Danilova E. A., Karimov D. A. Macro- and microelements in the life of the body and their relationship with the immune system (literature review). *Zhurnal teoreticheskoy i klinicheskoy meditsiny*. 2020;1:16–21. (In Russ.)
 15. Gromova O. A., Torshin I. Yu., Khadzhdidis A. K. Analysis of the molecular mechanisms of the effect of iron (II), copper, manganese in the pathogenesis of iron deficiency anemia. *Klinicheskaya farmakologiya i farmakoeconomika*. 2010;1:1–9. (In Russ.)
 16. Prasad A. S. Zinc in Human Health: Effect of Zinc on Immune Cells. *Molecular Medicine*. 2008;14(5-6):353–357. DOI: 10.2119/2008-00033.
 17. Olina A. A., Sadykova G. K. The importance of zinc deficiency in the formation of reproductive health disorders (literature review). *Permskiy meditsinskiy zhurnal = Perm Medical Journal*. 2015;32(5):138–143. (In Russ.) DOI: 10.17816/pmj325138-143.
 18. Ayana G., Moges T., Samuel A. Dietary zinc intake and its determinants among Ethiopian children 6–35 months of age. *BMC Nutrition*. 2018;4(30):1–6. DOI: 10.1186/s40795-018-0237-8.
 19. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii XIV izdanie: ofitsial'nyy tekst* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV edition: official text]. Moscow: Federal'naya elektronnyaya medicinskaya biblioteka; 2018. Available at: <http://www.femb.ru/femb/pharmacopea.php>. Accessed: 30.03.2021. (In Russ.)
 20. Kodentsova V. M. Vitamins and minerals as a factor in the prevention of fetal developmental defects and pregnancy complications. *Meditsinskiy sovet = Medical Council*. 2016;9:106–114. DOI: 10.21518/2079-701X-2016-9-106-114. (In Russ.)
 21. Kurkin V. A. *Rodiola rozovaya (zolotoykoren'): standartizatsiya i sozдание lekarstvennykh preparatov: monografiya* [Rhodiolarosea (golden root) standardization and establishment of drugs: monograph]. Samara: ООО «Офорт»; ГБОУ ВПО Сам ГМУ Минздрава России; 2015. 240 p. (In Russ.)

REFERENCES

1. Yang M., Lee H. S., Hwang M. W., Jin M. Effects of Korean red ginseng (*Panax Ginseng Meyer*) on bisphenol A exposure and gynecologic complaints: single blind, randomized clinical trial of efficacy and safety. *BMC Complement Altern Med*. 2014;25(14):265. DOI: 10.1186/1472-6882-14-265.
2. Drozdoff L., Klein E., Kiechle M., Paepke D. Use of biologically based complementary medicine in breast and gynecological cancer patients during systemic therapy. *BMC complementary and alternative medicine*. 2018;18(1):1–7. DOI: 10.1186/s12906-018-2325-3.
3. Della Corte L., Noventa M., Ciebiera M., Magliarditi M., Sleiman Z., Karaman E., Catena U., Salvaggio C., Falzone G., Garzon S. Phytotherapy in endometriosis: an up-to-date review. *J Complement Integr Med*. 2020;17(3):1–12. DOI: 10.1515/jcim-2019-0084.
4. Cesar G. Fraga. Relevance, essentiality, and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine*. 2005;26:235–244. DOI: 10.1016/j.mam.2005.07.013.
5. Ciosek Z., Kot K., Kosik-Bogacka D., Łanocha-Arendarczyk N., Rotter I. The Effects of Calcium, Magnesium, Phosphorus, Fluoride, and Lead on Bone Tissue. *Biomolecules*. 2021;11(4):506. DOI: 10.3390/biom11040506.
6. Shugaley I. V., Garabadzhiu A. V., Ilyushin M. A., Sudarikov A. M. Some aspects of the influence of aluminum and its compounds on living organisms. *Ekologicheskaya khimiya*. 2012;21(3):168–172. (In Russ.)
7. Yokel R. A. Aluminum reproductive toxicity: a summary and interpretation of scientific reports. *Critical Reviews in Toxicology*. 2020;50(7):551–593. DOI: 10.1080/10408444.2020.1801575.
8. Rumyantsev A. G., Zakharova I. N., Chernov V. M., Tarasova I. S., Zaplatnikov A. L., Korovina N. A., Borovik T. E., Zvonkova N. G., Machneva E. B., Lazareva S. I., Vasil'eva T. M. The prevalence of iron deficiency states and factors affecting it. *Meditsinskiy sovet = Medical Council*. 2015;6:62–66. DOI: 10.21518/2079-701X-2015-6-62-66. (In Russ.)