

Статья поступила в редакцию: 14.08.2026

Статья принята к публикации: 27.08.2026

Статья опубликована: 07.09.2026

УДК + 543.42+582.675.1

DOI: 10.32743/UniChem.2026.147.9.23344

Состав и содержание микро- и макроэлементов в надземной и подземной частях растения *Aconitum talassicum*

Эшматов Жасурбек Муродович

независимый исследователь Ферганский государственный университет

Республика Узбекистан, г. Фергана

ORCID: 0009-0007-5090-5894

Жалолов Икболжон Жамолович

проф. кафедры химии

Ферганский государственный университет

Республика Узбекистан, г. Фергана

ORCID: 0009-0003-3530-5699

Турсунов Жахонгир Исроилович

д-р филос. (PhD) по хим. наукам, доц.

кафедра химии, Ферганский государственный университет

Республика Узбекистан, г. Фергана

ORCID: 0000-0002-6910-6300

E-mail: bioximik1177@mail.ru

Шергазиев Киличбек Маруфжон угли

ст. преп. кафедры химии

Ферганский государственный университет

Республика Узбекистан, г. Фергана

ORCID: 0000-0001-5917-7255

Composition and content of micro- and macroelements in the aboveground and underground parts of *Aconitum talassicum*

Eshmatov Jasurbek Murodovich

Independent Researcher

Fergana State University

Republic of Uzbekistan, Fergana

Jalolov Iqboljon Jamolovich

professor

Department of Chemistry, Fergana State University

Republic of Uzbekistan, Fergana

Tursunov Jakhongir Isroilovich

doctor of Philosophy (PhD)

in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry, Fergana State University

Republic of Uzbekistan, Fergana

Sherg'oziyev Qilichbek Marufjon o'g'li

senior Lecturer

Department of Chemistry, Fergana State University

Republic of Uzbekistan, Fergana

Аннотация

В настоящей работе методом оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) получены сравнительные данные об элементном составе надземной и подземной частей *Aconitum talassicum* Попов, собранного в условиях Узбекистана. Цель исследования — определить содержание макро-, микро- и потенциально токсичных элементов и выявить особенности их распределения между органами растения. Надземную часть и корни одного растения анализировали отдельно после микроволновой минерализации смесью концентрированной азотной кислоты и пероксида водорода в системе Berghof Speedwave Xpert. Измерения выполняли на спектрометре PerkinElmer Avio 200; каждый минерализат измеряли трижды. Установлено, что содержание К в надземной части и корнях составило соответственно 27 130 и 7 712 мг/кг, Fe — 321,4 и 1 434 мг/кг, Zn — 224,2 и 31,22 мг/кг, Pb — 0,2508 и 4,223 мг/кг. Калий и цинк преимущественно накапливались в надземной части, тогда как железо, марганец, стронций и свинец — в корнях. Новизна работы заключается в получении сравнительных данных о распределении элементов между органами исследованного экземпляра *A. talassicum* из Узбекистана. Поскольку исследован один биологический образец, результаты следует рассматривать как первичную характеристику, требующую подтверждения на расширенной выборке.

Abstract

In this study, inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) was used to obtain comparative data on the elemental composition of the aboveground and underground parts of *Aconitum talassicum* Popov collected in Uzbekistan. The aim was to determine macro-, micro-, and potentially toxic elements and evaluate their distribution between plant organs. The aboveground part and roots of one plant were analyzed separately after microwave digestion with concentrated nitric acid and hydrogen peroxide using a Berghof Speedwave Xpert system. Measurements were performed on a PerkinElmer Avio 200 spectrometer; each mineralizate was measured three times. The K content in the aboveground part and roots was 27,130 and 7,712 mg/kg, respectively; Fe, 321.4 and 1,434 mg/kg; Zn, 224.2 and 31.22 mg/kg; and Pb, 0.2508 and 4.223 mg/kg. Potassium and zinc predominated in the aboveground part, whereas iron, manganese, strontium, and lead predominated in the roots. The novelty lies in comparative data on elemental distribution between the organs of the examined *A. talassicum* specimen from Uzbekistan. Since only one biological sample was studied, the findings should be regarded as preliminary and require confirmation in a larger sample.

Ключевые слова: *Aconitum talassicum*, надземная часть, корень, макроэлементы, микроэлементы, минеральный состав, ICP-OES, микроволновая минерализация.

Keywords: *Aconitum talassicum*, aerial part, root, macroelements, microelements, mineral composition, ICP-OES, microwave digestion.

Библиографическое описание: Состав и содержание микро- и макроэлементов в надземной и подземной частях растения *Aconitum talassicum* // *Universum: химия и биология* : электрон. научн. журн. Эшматов Ж.М. [и др.]. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23344>

Введение

Биологические свойства и качество лекарственного растительного сырья зависят не только от органических метаболитов, но и от состава минеральных элементов. Эссенциальные элементы участвуют в ферментативных, фотосинтетических и окислительно-восстановительных процессах, тогда как накопление потенциально токсичных элементов требует отдельного контроля при оценке безопасности сырья [4, 3].

Род *Aconitum* L. семейства *Ranunculaceae* объединяет фармакологически значимые, но токсичные растения, основными характерными компонентами которых являются дитерпеноидные алкалоиды. Современные обзоры подчёркивают анальгетический и противовоспалительный потенциал представителей рода, одновременно указывая на их узкий терапевтический диапазон, кардио- и нейротоксичность [13,2,9].

Исследования *Aconitum* в последние годы сосредоточены преимущественно на фитохимии, токсикологии и омиксных подходах. При этом межорганные различия метаболитов и элементного профиля рассматриваются как важная составляющая стандартизации и установления происхождения растительного сырья [7].

Анализ неорганических элементов в *Aconiti Kusnezoffii Radix* и продуктах его переработки показал информативность элементного профилирования для оценки происхождения и потенциального риска [15]. Применение ICP-OES при анализе лекарственных растений обосновано высокой многоэлементностью, чувствительностью и широким аналитическим диапазоном метода [11].

Исследования других лекарственных видов подтверждают, что корни, стебли, листья и генеративные органы способны существенно различаться по накоплению Fe, Mn, Zn, Cu, Sr, Ba и потенциально токсичных элементов. Следовательно, объединение разных органов в одну пробу может скрывать органоспецифические закономерности [12, 5].

Aconitum talassicum Porov является представителем флоры Центральной Азии; его ареал связан с горными экосистемами региона. В отличие от ряда фармакопейных видов рода *Aconitum*, для *A. talassicum* сведения об элементном составе отдельных органов практически отсутствуют. Исследование экземпляра из Узбекистана представляет интерес как исходная характеристика регионального растительного сырья и как основа для последующего сравнения популяций, сезонов и условий произрастания [1, 6].

Целью настоящего исследования являлось установление элементного профиля наземной и подземной частей *A. talassicum* методом ICP-OES, количественная оценка содержания макро-, микро- и потенциально токсичных элементов, а также выявление особенностей их органоспецифического распределения.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили наземная часть и корни *Aconitum talassicum* Porov. Таксономическое наименование вида сверяли с ботаническими источниками и международными номенклатурными базами [3, 4, 13]. На рисунке 1 представлены общий вид растения и исследованные морфологические части.



Рисунок 1. Морфологические особенности *Aconitum talassicum* Попов: а — растение в естественных условиях произрастания; б — надземная часть (соцветие); в — подземная часть (корневища и корни)

Один экземпляр растения был собран в фазе цветения в июле 2025 года в окрестностях села Эрташсай, перевал Камчик, Ташкентская область, Узбекистан. Надземную часть и корни данного экземпляра отделяли и исследовали как две самостоятельные пробы.

Таким образом, исследование включало один биологический образец (одно растение), разделённый на надземную и подземную части. Полученные данные характеризуют исследованный экземпляр и не предназначены для оценки внутривидовой, сезонной или географической вариабельности.

После сбора надземную часть очищали от посторонних примесей, а корни тщательно освобождали от частиц почвы, промывали проточной, затем бидистиллированной водой и высушивали фильтровальной бумагой. Надземную и подземную части высушивали в лабораторных условиях отдельно, измельчали до однородного размера частиц и хранили в чистых сухих закрытых ёмкостях.

Из каждого измельчённого и гомогенизированного образца на аналитических весах отбирали навеску массой 0,1000 г и количественно переносили в тefлоновый автоклав. К навеске добавляли 3 мл концентрированной азотной кислоты квалификации «особо чистая» и 2 мл 30 %-ного пероксида водорода квалификации «чистая для анализа».

Автоклав герметично закрывали и помещали в микроволновую систему пробоподготовки Berghof Speedwave Xpert. Разложение проводили с постепенным повышением температуры до 230 °С при максимальном давлении 40 бар в течение 35–45 мин; температуру и давление контролировали автоматически.

После охлаждения минерализат количественно переносили в мерную колбу вместимостью 100 мл. Стенки автоклава 2–3 раза промывали бидистиллированной водой, промывные воды объединяли с минерализатом, раствор доводили до метки бидистиллированной водой и тщательно перемешивали.

Определение элементов методом ICP-OES

Содержание элементов определяли методом оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре PerkinElmer Avio 200. Раствор через автоматическую систему подачи поступал в распылительную камеру, после чего в аргонной плазме происходили атомизация, ионизация и возбуждение аналитов. Используемые стандартные рабочие условия приведены в таблице 1.

Перед измерениями прибор калибровали с использованием сертифицированных многоэлементных стандартных растворов. Концентрацию рассчитывали по соответствующей градуировочной зависимости с учётом массы навески, конечного объёма 100 мл и общего коэффициента разбавления 1000. Аналитические линии (нм): K 766,490; Ca 317,933; Mg 285,213; Na 589,592; P 213,617; Fe 238,204; Al 396,153; Mn 257,610; Zn 213,857; Cu 327,393; B 249,677; Ba 233,527; Sr 407,771; Co 228,616; Ni 231,604; Cr 267,716; Pb 220,353; Cd 228,802; As 188,979; Hg 253,652; Se 196,026.

Каждый минерализат измеряли три раза в рамках одной инструментальной серии ($n = 3$, инструментальные повторы). В таблицах приведены среднее значение, SD и RSD трёх инструментальных измерений одного раствора; эти показатели характеризуют инструментальную повторяемость, а не вариабельность независимых минерализаций или биологических образцов.

Для элементов, не давших достоверного аналитического сигнала в рабочем диапазоне применённой процедуры, использовано обозначение «не обнаружено». Численные значения LOD, LOQ и коэффициентов градуировочных зависимостей в исходном протоколе отсутствовали; поэтому работа не претендует на полную самостоятельную валидацию метода.

Методический подход соответствует современному применению ICP-OES для многоэлементного анализа лекарственного растительного сырья. Ограничения аналитической валидации и единичный характер биологического образца учтены при интерпретации результатов.

Таблица 1.

Стандартные рабочие условия ICP-OES-анализа

Параметр	Значение
Прибор	PerkinElmer Avio 200 ICP-OES
Мощность ВЧ-генератора	1500 Вт
Расход плазмообразующего аргона	8,0 л/мин
Расход вспомогательного аргона	0,2 л/мин
Расход газа распылителя	0,7 л/мин
Скорость подачи образца	1,5 мл/мин
Режим наблюдения плазмы	аксиальный/радиальный, в зависимости от элемента
Число повторных измерений	3

Результаты и их обсуждение

ICP-OES-анализ позволил получить первичные количественные данные о содержании макро-, микро- и потенциально токсичных элементов в надземной части и корнях исследованного экземпляра *A. talassicum*.

Таблица 2.

Содержание макро- и микроэлементов в надземной части растения *Aconitum talassicum*

№	Элемент	Химический символ	Содержание, мг/кг	SD	RSD, %
1	Калий	K	27130	62,399	0,23
2	Кальций	Ca	Не обнаружено	—	—
3	Магний	Mg	Не обнаружено	—	—
4	Натрий	Na	Не обнаружено	—	—
5	Фосфор	P	Не обнаружено	—	—
6	Железо	Fe	321,4	1,478	0,46
7	Алюминий	Al	165,7	2,353	1,42
8	Марганец	Mn	68,76	0,206	0,30
9	Цинк	Zn	224,2	2,735	1,22
10	Медь	Cu	10,66	0,174	1,63
11	Бор	B	Не обнаружено	—	—
12	Барий	Ba	15,21	0,075	0,49
13	Стронций	Sr	0,0023	0,000009	0,39
14	Кобальт	Co	0,0918	0,00072	0,78
15	Никель	Ni	7,654	0,031	0,41
16	Хром	Cr	11,71	0,121	1,03
17	Свинец	Pb	0,2508	0,0022	0,86
18	Кадмий	Cd	Не обнаружено	—	—
19	Мышьяк	As	Не обнаружено	—	—
20	Ртуть	Hg	0,0203	0,000024	0,12

Aconitum talassicum

Примечание: данные представлены как среднее $\pm$ SD для трёх повторных инструментальных измерений одного минерализата ($n = 3$, инструментальные повторы); RSD — относительное стандартное отклонение. «Не обнаружено» — аналитический сигнал отсутствовал в рабочем диапазоне применённой процедуры.

Таблица 3.

Содержание макро- и микроэлементов в корнях растения *Aconitum talassicum*

№	Элемент	Химический символ	Содержание, мг/кг	SD	RSD, %
1	Калий	K	7712	43,187	0,56
2	Кальций	Ca	Не обнаружено	—	—
3	Магний	Mg	Не обнаружено	—	—
4	Натрий	Na	Не обнаружено	—	—

№	Элемент	Химический символ	Содержание, мг/кг	SD	RSD, %
5	Фосфор	P	Не обнаружено	—	—
6	Железо	Fe	1434	18,929	1,32
7	Алюминий	Al	106,8	0,929	0,87
8	Марганец	Mn	162,3	0,909	0,56
9	Цинк	Zn	31,22	0,0062	0,02
10	Медь	Cu	13,45	0,226	1,68
11	Бор	B	Не обнаружено	—	—
12	Барий	Ba	24,16	0,268	1,11
13	Стронций	Sr	43,31	0,420	0,97
14	Кобальт	Co	Не обнаружено	—	—
15	Никель	Ni	0,008	0,000033	0,41
16	Хром	Cr	11,54	0,144	1,25
17	Свинец	Pb	4,223	0,084	1,99
18	Кадмий	Cd	Не обнаружено	—	—
19	Мышьяк	As	Не обнаружено	—	—
20	Ртуть	Hg	0,0192	0,000117	0,61
21	Селен	Se	2,393	0,0089	0,37

Примечание: данные представлены как среднее $\pm$ SD для трёх повторных инструментальных измерений одного минерализата ($n = 3$, инструментальные повторы); RSD — относительное стандартное отклонение. «Не обнаружено» — аналитический сигнал отсутствовал в рабочем диапазоне применённой процедуры.

При исследовании элементного состава корней растения *Aconitum talassicum* методом ICP-OES среди определённых элементов наибольшее содержание было установлено для калия — 7712 мг/кг. Содержание железа составило 1434 мг/кг, марганца — 162,3 мг/кг, алюминия — 106,8 мг/кг. Кроме того, содержание стронция составило 43,31 мг/кг, цинка — 31,22 мг/кг, бария — 24,16 мг/кг, меди — 13,45 мг/кг, а хрома — 11,54 мг/кг.

Преимущественное накопление Fe, Mn, Sr и Pb в корнях согласуется с непосредственным контактом корневой системы с почвенным субстратом. В современных исследованиях лекарственных растений также показаны выраженные межорганные различия элементного профиля, однако направление и величина различий зависят от вида, органа, почвы, географического происхождения и подготовки проб [12, 5, 10, 14]. Поэтому прямое количественное сопоставление *A. talassicum* с другими таксонами возможно только как ориентировочное.

Повышенное накопление Fe, Mn, Sr и ряда других элементов в корнях согласуется с непосредственным контактом корневой системы с почвой и с данными о различиях элементного профиля между органами лекарственных растений. Однако прямое количественное сопоставление между видами следует проводить осторожно, поскольку на концентрации влияют почва, географическое происхождение, фаза развития и подготовка проб.

Концентрация Pb составила 0,2508 мг/кг в надземной части и 4,223 мг/кг в корнях. Этот результат подтверждает необходимость контроля потенциально токсичных элементов в лекарственном растительном сырье. Вместе с тем обнаружение элемента в одном экземпляре растения не позволяет оценить риск для здоровья без данных о форме употребления, извлечении элемента, дозе и продолжительности воздействия.

Содержание Sr в обеих частях было близким: 11,71 мг/кг в надземной части и 11,54 мг/кг в корнях. Для Hg также не выявлено выраженного межорганный различия: 0,0203 и 0,0192 мг/кг соответственно. Cd и As не обнаружены в рабочем диапазоне применённой процедуры.

Для Ni отношение надземная часть/корень составило около 957, поскольку в корнях определено 0,008 мг/кг против 7,654 мг/кг в надземной части. Для Sr наблюдалась противоположная картина: 0,0023 мг/кг в надземной части и 43,31 мг/кг в корнях. Указанные значения сверены с исходной таблицей и сохранены, однако столь резкие контрасты могут быть чувствительны к пределу количественного определения, матричным эффектам и единичной минерализации. Их следует рассматривать как предварительные и подтвердить независимой повторной минерализацией и анализом расширенной выборки.

В совокупности результаты свидетельствуют о различиях распределения элементов между надземной частью и корнями исследованного экземпляра *A. talassicum*. Практическая значимость данных состоит в формировании исходной базы для дальнейшего фитохимического и экологического мониторинга вида; экстраполяция выявленного профиля на вид в целом пока преждевременна.

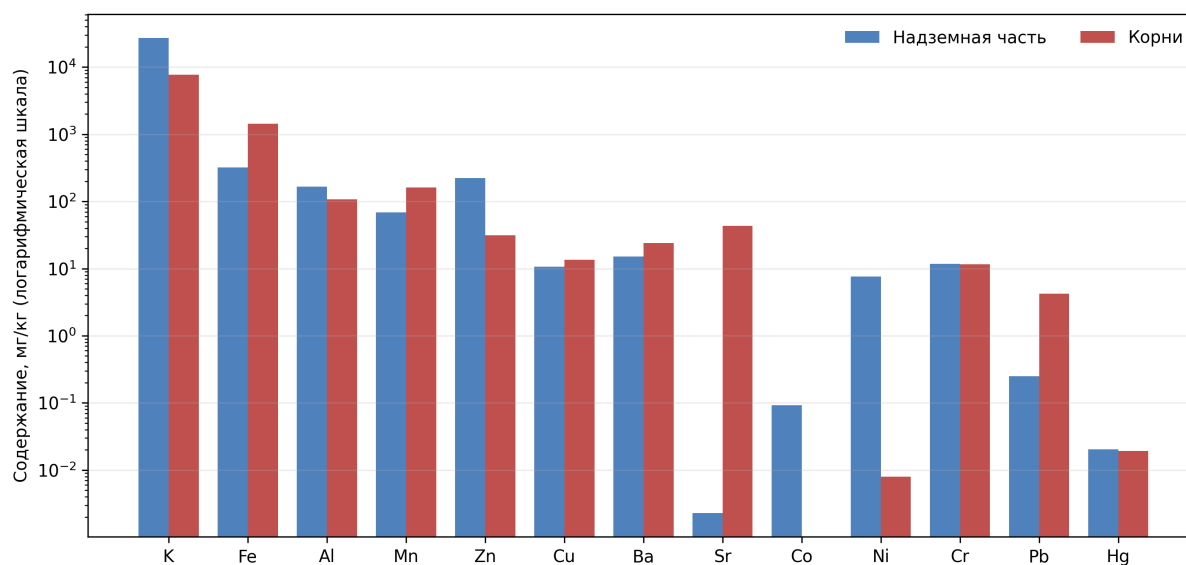


Рисунок 2. Сравнительное распределение элементов в надземной части и корнях *Aconitum talassicum* (логарифмическая шкала; «не обнаружено» не отображено)

Ограничениями исследования являются один биологический образец, отсутствие независимых повторных минерализаций и неполный набор показателей аналитической валидации. Поэтому установленные различия характеризуют изученный экземпляр и не должны без дополнительной выборки экстраполироваться на весь вид *A. talassicum*.

Заключение

В исследованном экземпляре *A. talassicum* более высокие концентрации К, Zn и Al установлены в надземной части, тогда как Fe, Mn, Sr, Cu, Ba и Pb — в корнях. Наиболее заметные различия получены для К (27 130 против 7 712 мг/кг), Fe (321,4 против 1 434 мг/кг), Zn (224,2 против 31,22 мг/кг) и Pb (0,2508 против 4,223 мг/кг). Научная новизна состоит в сравнительной характеристике элементного состава двух органов экземпляра *A. talassicum*, собранного в Узбекистане. Практическая значимость заключается в создании исходных данных для контроля качества сырья и последующего экологического мониторинга. Ограничения исследования — один биологический образец, отсутствие независимых повторных минерализаций и неполная аналитическая валидация. Перспективы работы включают расширение выборки, анализ почвы, определение LOD/LOQ, использование сертифицированного референтного материала и повторную проверку Sr и Ni.

Список литературы

1. Агапова Н.Д. Семейство лютиковые (Ranunculaceae) // Жизнь растений: в 6. — 1980. — Т. 5. — С. 210–216.
2. Chan Y.-T., Wang N., Feng Y. The toxicology and detoxification of Aconitum: traditional and modern views // Chinese Medicine. — 2021. — Т. 16. — DOI: 10.1186/s13020-021-00472-9.
3. Douvris C., Vaughan T., Bussan D.D., Bartzas G. et al. How ICP-OES changed the face of trace element analysis: Review of the global application landscape // Science of the Total Environment. — 2023. — Т. 905. — Art. 167242. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167242.
4. Ebrahimzadeh G., Omer A.K., Naderi M., Sharafi K. Human health risk assessment of potentially toxic and essential elements in medicinal plants consumed in Zabol, Iran, using the Monte Carlo simulation method // Scientific Reports. — 2024. — Т. 14. — Art. 23756. — DOI: 10.1038/s41598-024-75159-w.
5. Häßler M., Wetzels K., Warnecke L. et al. Assessment of the differentiation of Sambucus nigra plant parts using a multi-target and suspect screening by LC-HRMS and ICP-OES // Analytical and Bioanalytical Chemistry. — 2025. — Т. 417. — P. 6209–6220. — DOI: 10.1007/s00216-025-06112-7.
6. International Plant Names Index (IPNI). Aconitum talassicum Popov / International Plant Names Index. — [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ipni.org/n/707867-1> (дата обращения: 15.08.2026).
7. Kakkar R.A., Haneen M.A., Parida A.C., Sharma G. The known, unknown, and the intriguing about members of a critically endangered traditional medicinal plant genus Aconitum // Frontiers in Plant Science. — 2023. — Т. 14. — Art. 1139215. — DOI: 10.3389/fpls.2023.1139215.
8. Ma L., Yang L., Tang L. et al. Sample preparation techniques for quality evaluation and safety control of medicinal and edible plants: Overview, advances, applications, and future perspectives // Journal of Pharmaceutical Analysis. — 2025. — Т. 15. — Art. 101296. — DOI: 10.1016/j.jpha.2025.101296.

9. Nyirimigabo E., Xu Y., Li Y., Wang Y., Agyemang K., Zhang Y. A review on phytochemistry, pharmacology and toxicology studies of *Aconitum* // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. – 2015. – Т. 67, № 1. – P. 1–19. – DOI: 10.1111/jphp.12310.
10. Oladeji O.M., Kopaopa B.G., Mugivhisa L.L. et al. Investigation of Heavy Metal Analysis on Medicinal Plants Used for the Treatment of Skin Cancer by Traditional Practitioners in Pretoria // *Biological Trace Element Research*. – 2024. – Т. 202. – P. 778–786. – DOI: 10.1007/s12011-023-03701-4.
11. Pereira Junior J.B., Carvalho V.S., Ferreira W.Q., Araujo R.G.O., Ferreira S.L.C. Green sample preparation of medicinal herbs in closed digester block for elemental determination by ICP OES // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. – 2024. – Т. 238. – Art. 115810. – DOI: 10.1016/j.jpba.2023.115810.
12. Tekman E. Asgarlı T., Yuca H., Atila A., Çeçen Ö., Karakaya S. Exploring Quantitative Biological Major, Trace, and Ultratrace Elements Composition and Qualitative Primary-Secondary Metabolites in Lamiaceae Medicinal Plants from Turkey // *Biological Trace Element Research*. – 2025. – Т. 203. – P. 1188–1201. – DOI: 10.1007/s12011-024-04219-z.
13. Wang T., Rangji C., Liu W., Ma J., Zhou R., Leng L., Zhang Y. Multi-Omics on Traditional Medicinal Plant of the Genus *Aconitum*: Current Progress and Prospect // *Molecules*. – 2025. – Т. 30, № 1. – Art. 118. – DOI: 10.3390/molecules30010118.
14. Wang C., Li H., Sun J. et al. Study on enrichment characteristics of Chinese herbal medicine based on LIBS technology // *Optoelectronics Letters*. – 2023. – Т. 19. – P. 88–94. – DOI: 10.1007/s11801-023-2104-3.
15. Yang D., Wang Y., Shen Y. et al. Assessment of Health Risk from *Aconiti Kusnezoffii* Radix to its Processed Products and Origin Traceability Through Inorganic Element Analysis // *Biological Trace Element Research*. – 2026. – Т. 204. – P. 4987–5001. – DOI: 10.1007/s12011-026-05011-x.

References

1. Agapova N.D. The buttercup family (Ranunculaceae) // *Life of Plants: in 6 volumes, part 1* / edited by A.L. Takhtadzhyan. Moscow: Prosveshchenie. – 1980. – Т. 5. – P. 210–216.
2. Chan Y.-T., Wang N., Feng Y. The toxicology and detoxification of *Aconitum*: traditional and modern views // *Chinese Medicine*. – 2021. – Т. 16. – DOI: 10.1186/s13020-021-00472-9.
3. Douvris C., Vaughan T., Bussan D.D., Bartzas G. et al. How ICP-OES changed the face of trace element analysis: Review of the global application landscape // *Science of the Total Environment*. – 2023. – Т. 905. – Art. 167242. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167242.
4. Ebrahimzadeh G., Omer A.K., Naderi M., Sharafi K. Human health risk assessment of potentially toxic and essential elements in medicinal plants consumed in Zabol, Iran, using the Monte Carlo simulation method // *Scientific Reports*. – 2024. – Т. 14. – Art. 23756. – DOI: 10.1038/s41598-024-75159-w.

5. Häßler M., Wetzel K., Warnecke L. et al. Assessment of the differentiation of *Sambucus nigra* plant parts using a multi-target and suspect screening by LC-HRMS and ICP-OES // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2025. – T. 417. – P. 6209–6220. – DOI: 10.1007/s00216-025-06112-7.
6. International Plant Names Index (IPNI). *Aconitum talassicum* Popov – URL: <https://www.ipni.org/n/707867-1>. (accessed 04.09.2026)
7. Kakkar R.A., Haneen M.A., Parida A.C., Sharma G. The known, unknown, and the intriguing about members of a critically endangered traditional medicinal plant genus *Aconitum* // *Frontiers in Plant Science*. – 2023. – T. 14. – Art. 1139215. – DOI: 10.3389/fpls.2023.1139215.
8. Ma L., Yang L., Tang L. et al. Sample preparation techniques for quality evaluation and safety control of medicinal and edible plants: Overview, advances, applications, and future perspectives // *Journal of Pharmaceutical Analysis*. – 2025. – T. 15. – Art. 101296. – DOI: 10.1016/j.jpha.2025.101296.
9. Nyirimigabo E., Xu Y., Li Y., Wang Y., Agyemang K., Zhang Y. A review on phytochemistry, pharmacology and toxicology studies of *Aconitum* // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. – 2015. – T. 67, № 1. – P. 1–19. – DOI: 10.1111/jphp.12310.
10. Oladeji O.M., Kopaopa B.G., Mugivhisa L.L. et al. Investigation of Heavy Metal Analysis on Medicinal Plants Used for the Treatment of Skin Cancer by Traditional Practitioners in Pretoria // *Biological Trace Element Research*. – 2024. – T. 202. – P. 778–786. – DOI: 10.1007/s12011-023-03701-4.
11. Pereira Junior J.B., Carvalho V.S., Ferreira W.Q., Araujo R.G.O., Ferreira S.L.C. Green sample preparation of medicinal herbs in closed digester block for elemental determination by ICP OES // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. – 2024. – T. 238. – Art. 115810. – DOI: 10.1016/j.jpba.2023.115810.
12. Tekman E. Asgarlı T., Yuca H., Atila A., Çeçen Ö., Karakaya S. Exploring Quantitative Biological Major, Trace, and Ultratrace Elements Composition and Qualitative Primary-Secondary Metabolites in Lamiaceae Medicinal Plants from Turkey // *Biological Trace Element Research*. – 2025. – T. 203. – P. 1188–1201. – DOI: 10.1007/s12011-024-04219-z.
13. Wang T., Rangji C., Liu W., Ma J., Zhou R., Leng L., Zhang Y. Multi-Omics on Traditional Medicinal Plant of the Genus *Aconitum*: Current Progress and Prospect // *Molecules*. – 2025. – T. 30, № 1. – Art. 118. – DOI: 10.3390/molecules30010118.
14. Wang C., Li H., Sun J. et al. Study on enrichment characteristics of Chinese herbal medicine based on LIBS technology // *Optoelectronics Letters*. – 2023. – T. 19. – P. 88–94. – DOI: 10.1007/s11801-023-2104-3.
15. Yang D., Wang Y., Shen Y. et al. Assessment of Health Risk from *Aconiti Kusnezoffii* Radix to its Processed Products and Origin Traceability Through Inorganic Element Analysis // *Biological Trace Element Research*. – 2026. – T. 204. – P. 4987–5001. – DOI: 10.1007/s12011-026-05011-x.