
**ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ, ФАРМАКОГНОЗИЯ/PHARMACEUTICAL CHEMISTRY,
PHARMACOGNOSY**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.63> EDN: QAYCZL**ПЕРЕХОД ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ЖИДКУЮ
ЛЕКАРСТВЕННУЮ ФОРМУ**

Научная статья

Круглов Д.С.^{1,*}, Величко В.В.², Прокушева Д.Л.³, Круглова М.Ю.⁴, Ким Н.О.⁵¹ORCID : 0000-0003-1904-7901;²ORCID : 0000-0002-9224-9350;³ORCID : 0009-0009-0480-2311;⁴ORCID : 0009-0009-4954-8214;⁵ORCID : 0000-0003-0683-0833;^{1, 2, 3, 4, 5} Новосибирский государственный медицинский университет, Новосибирск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kruglov_ds[at]mail.ru)

Предложена: 05.09.2026; Принята: 02.10.2026; Опубликовано: 16.10.2026

Аннотация

Целью исследования являлось изучение закономерностей перехода химических элементов из лекарственного растительного сырья в водно-этанольные извлечения в зависимости от концентрации этанола и морфологического органа растения. В качестве объектов исследования использовали листья и плоды черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.). Извлечения получали с использованием водно-этанольных смесей с концентрацией этанола 20, 40, 70 и 90%. Определение содержания химических элементов в исходном сырье и полученных извлечениях проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Для количественной оценки эффективности извлечения использовали коэффициент перехода, рассчитываемый как отношение количества элемента, перешедшего в экстракт, к его исходному количеству в сухом сырье. Установлено, что переход элементов носит выраженный селективный характер и определяется как концентрацией этанола, так и морфологическим органом растения. Средний коэффициент перехода для исследованной совокупности элементов в листьях составлял 0,324; 0,325; 0,278 и 0,188 при использовании 20-, 40-, 70- и 90%-ного этанола соответственно, тогда как для плодов — 0,463; 0,517; 0,370 и 0,340. Показано, что высокое содержание элемента в исходном сырье не является достаточным критерием для прогнозирования его присутствия в экстракте. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и стандартизации лекарственных растительных препаратов.

Ключевые слова: лекарственное растительное сырье, жидкая лекарственная форма, водно-этанольный экстрагент, элементный профиль, коэффициент перехода, *Vaccinium myrtillus* L.

TRANSFER OF TRACE ELEMENTS FROM HERB RAW MATERIALS INTO A LIQUID DOSAGE FORM

Research article

Kruglov D.S.^{1,*}, Velichko V.V.², Prokusheva D.L.³, Kruglova M.Y.⁴, Kim N.O.⁵¹ORCID : 0000-0003-1904-7901;²ORCID : 0000-0002-9224-9350;³ORCID : 0009-0009-0480-2311;⁴ORCID : 0009-0009-4954-8214;⁵ORCID : 0000-0003-0683-0833;^{1, 2, 3, 4, 5} Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russian Federation

* Corresponding author (kruglov_ds[at]mail.ru)

Suggested: 05.09.2026; Accepted: 02.10.2026; Published: 16.10.2026

Abstract

The aim of the study was to investigate the patterns of trace element transfer from vegetable raw materials into hydroethanolic extracts depending on ethanol concentration and plant organ. Leaves and fruits of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) were used as research objects. Extracts were prepared using hydroethanolic mixtures containing 20, 40, 70, and 90% ethanol. The concentrations of trace elements in the raw materials and the resulting extracts were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry. The efficiency of element extraction was quantitatively assessed using the transfer coefficient, calculated as the ratio of the amount of an element transferred into the extract to its initial amount in the dry raw material. The results demonstrated that element transfer was highly selective and depended on both ethanol concentration and plant organ. The mean transfer coefficients for the overall set of elements studied in the leaves were 0.324, 0.325, 0.278, and 0.188 at ethanol concentrations of 20, 40, 70, and 90%, respectively, whereas the corresponding values for the fruits were 0.463, 0.517, 0.370, and 0.340. A high elemental content in the initial raw material was shown to be insufficient for predicting the extent of its transfer into the extract. The findings demonstrate the need to consider the selective extraction of trace elements and may be used in the development and standardization of herbal medicines.

Keywords: herb raw materials, liquid dosage form, hydroethanolic extractant, elemental profile, transfer coefficient, *Vaccinium myrtillus* L.

Введение

Лекарственное растительное сырье (ЛРС) является сложной многокомпонентной системой, химический состав которой определяется не только содержанием биологически активных органических соединений, но и видоспецифичным микроэлементным профилем [1]. Одновременно с этим растительное сырье способно аккумулировать потенциально токсичные элементы, включая свинец, кадмий, мышьяк и ртуть. Поэтому элементный состав ЛРС рассматривается как один из факторов, определяющих качество и безопасность растительных лекарственных препаратов [2], [3], [4]. Современные фармакопейные подходы предусматривают контроль элементных примесей с учетом их токсикологической значимости, а стратегия такого контроля должна основываться на оценке риска для конкретного лекарственного препарата [5].

При этом оценка элементного состава непосредственно исходного ЛРС не позволяет в полной мере охарактеризовать элементный профиль получаемой из него лекарственной формы в связи с тем, что содержание элемента в исходном сырье и его содержание в готовой лекарственной форме являются взаимосвязанными, но не тождественными величинами [2]. Переход элементов из растительной матрицы в водные и спиртовые извлечения носит селективный характер. В исследованиях лекарственного растительного сырья установлены существенные различия в степени перехода макроэлементов, эссенциальных микроэлементов, а также элементов токсикологической значимости при изменении содержания этанола в экстрагенте [6], [7].

Важным аспектом является также то, что элементный профиль лекарственной формы определяется не только абсолютным содержанием соответствующего элемента в сырье. Современные исследования показывают, что их суммарное содержание элементов-токсикантов имеет ограниченную информативность для оценки потенциальной токсикологической нагрузки ЛРП, поскольку различные элементы характеризуются неодинаковой подвижностью и экстрагируемостью [8].

Таким образом, для характеристики элементной безопасности лекарственного растительного препарата целесообразно учитывать не только концентрацию элемента в исходном сырье, но и количественно оценивать его переход в конкретную лекарственную форму. В качестве количественной характеристики может использоваться коэффициент перехода, рассчитываемый как отношение количества элемента, перешедшего в экстракт, к его исходному количеству в сухом сырье. Такой показатель позволяет сопоставлять различные элементы независимо от их исходной концентрации и оценивать эффективность их извлечения при различных технологических условиях.

Проблема приобретает особую актуальность для лекарственных форм, получаемых с использованием водно-этанольных экстрагентов. Вода и этанол обладают различными физико-химическими свойствами и обеспечивают извлечение различных групп соединений растительной матрицы. Поэтому изменение соотношения компонентов экстрагента способно одновременно изменять выход целевых биологически активных веществ и количество минеральных компонентов, поступающих в лекарственную форму. Это обстоятельство особенно важно при разработке технологии растительных препаратов, поскольку оптимизация экстракции исключительно по выходу органических биологически активных соединений потенциально может сопровождаться увеличением перехода отдельных элементов, в том числе токсикологически значимых [3], [8].

В международной практике проблема элементных примесей в растительных лекарственных препаратах рассматривается в контексте общей системы обеспечения качества и управления рисками. При этом результаты масштабного анализа данных по лекарственному растительному сырью подтверждают сохраняющуюся актуальность контроля элементных загрязнителей для обеспечения безопасности растительных лекарственных средств [9], [10].

Несмотря на это, данные о количественных закономерностях перехода элементов непосредственно из нативного лекарственного растительного сырья в лекарственную форму остаются ограниченными. Большинство исследований ориентировано либо на характеристику элементного состава исходного сырья, либо на определение содержания отдельных токсичных элементов в готовом препарате.

В связи с этим представляет интерес исследование закономерностей перехода элементов из нативного лекарственного растительного сырья в лекарственную форму при использовании водно-этанольных экстрагентов различной концентрации. Полученные данные могут быть использованы для совершенствования подходов к стандартизации растительного сырья и препаратов на его основе, а также для оценки потенциальной элементной нагрузки и обеспечения безопасности лекарственных форм растительного происхождения.

Целью исследования являлось изучение закономерностей перехода химических элементов из нативного лекарственного растительного сырья в водно-этанольные извлечения в зависимости от концентрации этанола и вида растительного сырья, а также оценка возможности использования коэффициента перехода для характеристики элементного состава получаемой лекарственной формы.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были заготовлены плоды и листья черники обыкновенной *Vaccinium myrtillus* L. заготовленные в фазу плодоношения на территории Новосибирской области в сосновом лесу (3 км на северо-восток от пос. Седова Заимка, Кубовинский сельсовет, Новосибирский район Новосибирская область — 55°38' с.ш. и 82°91' в.д.). После заготовки сырье доводилось до воздушно-сухого состояния в процессе воздушно-конвективной сушки при 40–50°C. Для получения извлечений из сырья применялась в качестве экстрагента водно-спиртовая смесь с концентрацией этанола 20, 40, 70 и 90%. Навеска измельченного сырья помещалась в колбу, затем прибавляли объем экстрагента в соотношении 1:50. Затем колбу с обратным холодильником помещали на кипящую водяную баню и выдерживали 30 мин. После охлаждения фильтровали и фильтрат дополнительно центрифугировали при 8000 об/мин

в течении 15мин для отделения пылевидной твердой фракции. Определения содержания элементов производили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе ELAN DRC-II (Perkin Elmer Inc.) по методике HСAM № 512-МС [11]. Навеска измельченного сырья или почвы помещали во фторопластовый вкладыш автоклава и добавляли 5 мл азотной кислоты концентрированной, а для определения кремния использовали смесь 5 мл концентрированной азотной кислоты с 0,5 мл кислоты фтористоводородной. Автоклав герметично закрывали и помещали в микроволновую печь. Разложение пробы проводили при ступенчатом подъеме температуры до 160 °С, 180 °С и 200 °С с выдерживанием автоклава на каждой температурной ступени в течение 1 ч. Жидкую пробу разбавления и подкисления вводят в аргоновую индуктивно связанную плазму в виде аэрозоля и ведут определение согласно [12]. Количественное содержание элементов определяют по градуировочным растворам соответствующих элементов с учётом разбавления пробы.

Содержание элементов измерялось по 5–15-ти образцам. Статистическая обработка проводилась по стандартным методикам с определением средних значений и среднеквадратичных отклонений. Значимость различий оценивали по критерию Стьюдента с доверительной вероятностью 95%. Коэффициент перехода оценивался для каждого элемента по формуле:

$$K_{\text{пер}} = \frac{(C_{\text{экстр}} - C_0) \cdot V}{C_{\text{сыр}} \cdot m}$$

где:

$C_{\text{экстр}}$ — концентрация элемента в полученном экстракте;

V — объём экстрагента;

C_0 — содержание элемента в чистом экстрагенте;

m — масса сухого сырья;

$C_{\text{сыр}}$ — содержание элемента в сухом сырье.

Основные результаты

Полученные результаты приведены в таблице.

Таблица 1 - Содержания элементов в сухом сырье листьев и плодов черники и коэффициенты перехода в жидкие экстракты

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.63.1>

Элемент	Листья содержа ние элемент ов, мкг/г	Коэффициент перехода в жидкую форму при концентрации спирта, %				Плоды содержа ние элемент ов, мкг/г	Коэффициент перехода в жидкую форму при концентрации спирта, %			
		20	40	70	90		20	40	70	90
Na	118,0	0,75	0,77	0,95	0,92	736,0	0,64	0,69	0,74	0,88
Mg	2677,0	0,64	0,64	0,73	0,34	781,0	0,57	0,71	0,71	0,76
Si	898,0	0	0	0	0	730,0	0	0	0	0
K	8666,0	0,95	0,89	0,94	0,56	7699,0	0,85	0,91	0,89	0,73
Ca	4683,0	0,29	0,27	0,22	0,09	1247,0	0,83	0,85	0,57	0,64
V	0,3	0,01	0,01	0	0	0,67	0,02	0,05	0	0
Mn	2439,0	0,58	0,54	0,5	0,23	531,0	0,72	0,69	0,61	0,45
Fe	35,9	0,31	0,29	0,19	0,04	19,7	0,56	0,74	0,35	0,22
Co	0,201	0,33	0,29	0,24	0,13	0,106	0,91	0,81	0,46	0,36
Ni	1,13	0,42	0,39	0,41	0,27	1,3	0,66	0,75	0,61	0,68
Cu	8,5	0,07	0,08	0,1	0,18	6,4	0,21	0,17	0,16	0,18
Zn	18,2	0,66	0,45	0,48	0,29	18,3	0,96	0,99	0,57	0,68
Mo	0,119	0,08	0,11	0,1	0,11	0,051	0,27	0,27	0,25	0,15
As	0,2	0,35	0,3	0,34	0,17	0,22	0,29	0,18	0,15	0,04
Se	0,187	0,13	0,15	0,05	0,01	0,16	0,22	0,26	0,29	0,07
Br	38,0	0,06	0,05	0,07	0	61,2	0,04	0,03	0,03	0,02
Sr	6,5	0,27	0,29	0,16	0,08	1,4	0,61	0,85	0,68	0,73
Ag	0,01	0,26	0,59	0,02	0,01	0,0093	0,8	0,74	0,17	0
Cd	0,056	0,22	0,47	0,19	0,11	0,08	0,33	0,29	0,12	0,14
Sn	14,8	0	0	0	0	1,12	0,02	0,02	0,01	0,02
Ba	44,0	0,12	0,1	0,05	0,02	13,8	0,42	0,45	0,2	0,09
La	0,05	0,45	0,2	0,07	0,03	0,018	0,22	0,45	0,12	0,04

Элемент	Листья содержа ние	Коэффициент перехода в жидкую форму при концентрации спирта, %				Плоды содержа ние	Коэффициент перехода в жидкую форму при концентрации спирта, %			
		20	40	70	90		20	40	70	90
Hg	0,021	0,13	0,15	0,15	0,14	0,02	0,56	0,21	0,16	0,09
Tl	0,0007	0,66	0,71	0,76	0,69	0,0007	0,49	0,4	0,9	0,83
Pb	0,214	0,44	0,49	0,23	0,21	0,27	0,63	0,73	0,29	0,17
Bi	0,0022	0,23	0,21	0,22	0,26	0,002	0,38	0,88	0,49	0,57
Th	0,0094	0,37	0,31	0,28	0,15	0,0082	0,25	0,43	0,36	0,36
U	0,0038	0,24	0,25	0,22	0,15	0,0037	0,4	0,36	0,25	0,35

Исследование показало выраженную зависимость степени перехода элементов из растительного сырья в водно-этанольные экстракты от концентрации этанола и морфологического органа растения. Коэффициент перехода рассчитывали как отношение количества элемента, извлечённого в жидкую фазу, к его исходному количеству в сухом сырье.

Средний коэффициент перехода для совокупности исследованных элементов в листьях составлял 0,324, 0,325, 0,278 и 0,188 при использовании 20-, 40-, 70- и 90%-ного этанола соответственно. Для плодов соответствующие значения составляли 0,463, 0,517, 0,370 и 0,340. Таким образом, элементные формы в плодах в целом характеризовались более высокой экстрагируемостью по сравнению с листьями. Максимальная средняя степень перехода элементов из плодов отмечена при использовании 40%-ного этанола. Для различных элементов наблюдались монотонное увеличение или уменьшение коэффициента перехода, а также выраженные максимумы при промежуточных концентрациях этанола. В листьях для 14 из 28 исследованных элементов максимальный коэффициент перехода наблюдался при 20% этанола, для 8 элементов — при 40%, для 3 — при 70% и ещё для 3 — при 90%. В плодах максимальные значения для 12 элементов отмечены при 20%, для 12 — при 40%, и для 2 элементов — при 70 и 90% этанола соответственно.

Для ряда элементов увеличение содержания этанола сопровождалось закономерным снижением их перехода. Наиболее выраженная тенденция наблюдалась для Ca, Mn, Fe, Co, Ba, La и As. Так, коэффициент перехода Fe из листьев снижался от 0,31 при 20% этанола до 0,04 при 90%, тогда как в плодах максимальное значение 0,74 отмечалось при 40% этанола. Для Mn коэффициент перехода снижался с 0,58 до 0,23 в листьях и с 0,72 до 0,45 в плодах. Аналогичная тенденция установлена для As, особенно выраженная в плодах, где коэффициент перехода уменьшался с 0,29 до 0,04.

В противоположность этому для Na наблюдалось увеличение степени перехода при повышении концентрации этанола: в листьях коэффициент возрастал от 0,75 до 0,95, а в плодах — от 0,64 до 0,88. Для Cu аналогичная тенденция была характерна для листьев, где коэффициент перехода увеличивался от 0,07 при 20% до 0,18 при 90% этанола.

Особый интерес представляют элементы, для которых максимальная степень перехода наблюдалась при промежуточной концентрации этанола. Для Pb коэффициент перехода из листьев увеличивался от 0,44 при 20% до 0,49 при 40%, после чего снижался до 0,21 при 90%. В плодах максимальное значение достигало 1,00 при 40% этанола. Для Zn в плодах также отмечен максимум при 40% этанола — 0,99. Для Fe в плодах коэффициент перехода при 40% составлял 0,94, тогда как при 20, 70 и 90% — 0,56, 0,35 и 0,22 соответственно.

Выраженная органоспецифичность установлена также для Hg. В листьях коэффициент перехода практически не зависел от концентрации этанола и находился в диапазоне 0,13–0,15. В плодах, напротив, он снижался от 0,56 при 20% до 0,09 при 90% этанола. Для La наблюдалось смещение оптимальной концентрации экстрагента: максимальный переход из листьев отмечен при 20% этанола (0,45), тогда как из плодов — при 40% (0,45).

Полученные результаты демонстрируют, что высокое содержание элемента в исходном сырье не обязательно сопровождается высокой степенью его перехода в экстракт. Наиболее показательным примером является Si: при содержании 898 мкг/г в листьях и 730 мкг/г в плодах его переход в водно-этанольные экстракты при всех исследованных концентрациях этанола не регистрировался. Следовательно, абсолютное содержание элемента в сырье не может использоваться как единственный критерий прогнозирования его присутствия в получаемом экстракте необходимо учитывать и коэффициент перехода, характеризующий эффективность мобилизации элемента из растительной матрицы. Естественно, что абсолютное количество элемента в экстракте будет определяться совместным влиянием исходной концентрации и степени перехода.

С точки зрения безопасности ЛРС и ЛРП особое значение имеет поведение токсикологически значимых элементов. Для Pb в плодах при 40% этанола коэффициент перехода достигал 0,73, что соответствует практически полному переходу исходного количества элемента в экстракт. Для Cd максимальный переход из листьев также наблюдался при 40% этанола (0,47), тогда как для Hg в плодах наиболее высокий коэффициент отмечен при 20% этанола (0,56) с последующим последовательным снижением при увеличении содержания этанола. Для As повышение концентрации этанола, напротив, сопровождалось снижением степени перехода, особенно выраженным в плодах.

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что экстракция водно-этанольными экстрагентами приводит к селективному перераспределению элементов между растительной матрицей и жидкой фазой. Выбор концентрации этанола способен существенно изменять не только выход биологически активных соединений, но и элементный профиль получаемого экстракта. Поэтому при разработке и стандартизации растительных препаратов целесообразно рассматривать концентрацию этанола как фактор, определяющий одновременно эффективность



извлечения целевых биологически активных веществ и степень перехода минеральных и потенциально токсичных элементов в готовый экстракт.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.63.2>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Community of Reviewers of the International Research Journal

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.63.2>

Список литературы / References

1. Круглов Д.С. Прогностическая применимость микроэлементного профиля растений для задач систематики / Д.С. Круглов // Ботаника в современном мире. Труды Русского ботанического общества. Т. 1: Систематика высших растений. Флористика и география растений. Охрана растительного мира. Палеоботаника. Ботаническое образование. — Махачкала: АЛЕФ, 2018. — С. 58–60.
2. Галенко М.С. Оценка транссредовых переходов тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах корневищ с корнями валерианы и травы пустырника / М.С. Галенко, И.В. Гравель // Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. — 2023. — Т. 13, № 3. — С. 442–452. — DOI: 10.30895/1991-2919-2023-13-3-442-452.
3. Галенко М.С. Элементный состав настоев пустырника, изготовленных различными методами экстракции / М.С. Галенко, Е.О. Бахрушина, И.В. Гравель // Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. — 2025. — Т. 15, № 6. — С. 682–691. — DOI: 10.30895/1991-2919-2025-15-6-682-691.
4. Щукин В.М. Валидация методики определения ртути, свинца, кадмия и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных средствах на его основе методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой / В.М. Щукин, Е.С. Жигилей, А.А. Ерина [и др.] // Химико-фармацевтический журнал. — 2020. — Т. 54, № 9. — С. 57–64. — DOI: 10.30906/0023-1134-2020-54-9-57-64.
5. Steinhoff B. Review: Quality of herbal medicinal products: State of the art of purity assessment / B. Steinhoff // Phytomedicine. — 2019. — Vol. 60. — P. 153003. — DOI: 10.1016/j.phymed.2019.153003.
6. D'Eusario V. Mineral composition analysis of red horse-chestnut (*Aesculus × carnea*) seeds and hydroalcoholic crude extract using ICP OES / V. D'Eusario, A. Marchetti, M. Rivi [et al.] // Molecules. — 2025. — Vol. 30, № 4. — P. 819. — DOI: 10.3390/molecules30040819.
7. Круглов Д.С. Извлечение эссенциальных и токсичных элементов из лекарственного растительного сырья различными экстрагентами / Д.С. Круглов // Международный научно-исследовательский журнал. — 2024. — № 12 (150). — DOI: 10.60797/IRJ.2024.150.32.
8. Chernikova N. Fractional composition of Cd, Pb, and Zn in medicinal plants at the impact territories of a coal-fired power station / N. Chernikova, V. Chaplygin, N. Minkina [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. — 2025. — Vol. 32. — P. 17670–17682. — DOI: 10.1007/s11356-025-36718-4.
9. Albert H. Findings on the heavy metal content in herbal drugs and essential oils - an update / H. Albert, B. Klier, M. Knödler [et al.] // Pharmeuropa Bio & Scientific Notes. — 2018. — P. 62–111. — DOI: 10.1007/978-3-030-69677-1_23.
10. Tomiyasu M. Procedure Validation of Elemental Impurities and Observation in Crude Drugs and Kampo Extracts / M. Tomiyasu, S. Yoshida, H. Zhang [et al.] // Yakugaku Zasshi. — 2025. — Vol. 145, № 12. — P. 983–992. — DOI: 10.1248/yakushi.25-00107.
11. НСАМ № 512-МС. Методика (метод) измерений: определение элементного состава образцов растительного происхождения (травы, листья) атомно-эмиссионным и масс-спектральными методами анализа. — Москва, 2017. — 57 с.
12. Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой : методические указания МУК 4.1.1483-03. — Москва: ФЦ ГСЭН МЗ РФ, 2003. — 36 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kruglov D.S. Prognosticheskaja primenimost' mikroelementnogo profilja rastenij dlja zadach sistematiki [Prognostic applicability of the microelement profile of plants for taxonomy tasks] / D.S. Kruglov // Botanika v sovremennom mire. Trudy Russkogo botanicheskogo obshhestva. T. 1: Sistematika vysshih rastenij. Floristika i geografija rastenij. Ohrana rastitel'nogo mira. Paleobotanika. Botanicheskoe obrazovanie [Botany in the Modern World. Proceedings of the Russian Botanical Society. Vol. 1: Taxonomy of Higher Plants. Floristics and Plant Geography. Protection of the Plant World. Paleobotany. Botanical Education]. — Mahachkala: ALEF, 2018. — P. 58–60. [in Russian]
2. Galenko M.S. Ocenka transsredovykh perehodov tzhazhelykh metallov i mysh'jaka v lekarstvennom rastitel'nom syr'e i lekarstvennykh rastitel'nykh preparatah kornevishh s kornjami valeriany i travy pustyrnika [Assessment of cross-media transitions of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials and herbal medicinal preparations of valerian rhizomes with roots and motherwort herb] / M.S. Galenko, I.V. Gravel' // Vedomosti Nauchnogo centra jekspertizy sredstv medicinskogo primenenija. Reguljatornye issledovanija i jekspertiza lekarstvennykh sredstv [Notes of the Scientific Centre for Expert



- Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation]. — 2023. — Vol. 13, № 3. — P. 442–452. — DOI: 10.30895/1991-2919-2023-13-3-442-452. [in Russian]
3. Galenko M.S. Jelementnyj sostav nastoev pustyrnika, izgotovlennyh razlichnymi metodami jekstrakcii [Elemental composition of motherwort tinctures prepared by various extraction methods] / M.S. Galenko, E.O. Bahrushina, I.V. Gravel' // Reguljatornye issledovaniya i jekspertiza lekarstvennyh sredstv [Regulatory Research and Medicine Evaluation]. — 2025. — Vol. 15, № 6. — P. 682–691. — DOI: 10.30895/1991-2919-2025-15-6-682-691. [in Russian]
4. Shhukin V.M. Validacija metodiki opredelenija rtuti, svinca, kadmija i mysh'jaka v lekarstvennom rastitel'nom syr'e i lekarstvennyh sredstvah na ego osnove metodom mass-spektrometrii s induktivno-svjazannoj plazmoj [Validation of the method for determination of mercury, lead, cadmium and arsenic in medicinal plant raw materials and medicines based on them by inductively coupled plasma mass spectrometry] / V.M. Shhukin, E.S. Zhigilej, A.A. Erina [et al.] // Himiko-farmaceuticheskij zhurnal [Pharmaceutical Chemistry Journal]. — 2020. — Vol. 54, № 9. — P. 57–64. — DOI: 10.30906/0023-1134-2020-54-9-57-64. [in Russian]
5. Steinhoff B. Review: Quality of herbal medicinal products: State of the art of purity assessment / B. Steinhoff // Phytomedicine. — 2019. — Vol. 60. — P. 153003. — DOI: 10.1016/j.phymed.2019.153003.
6. D'Eusano V. Mineral composition analysis of red horse-chestnut (*Aesculus × carnea*) seeds and hydroalcoholic crude extract using ICP OES / V. D'Eusano, A. Marchetti, M. Rivi [et al.] // Molecules. — 2025. — Vol. 30, № 4. — P. 819. — DOI: 10.3390/molecules30040819.
7. Kruglov D.S. Izvlechenie jessencial'nyh i toksichnyh jelementov iz lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ja razlichnymi jekstragentami [Extraction of essential and toxic elements from medicinal plant raw materials by various extractants] / D.S. Kruglov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. — 2024. — № 12 (150). — DOI: 10.60797/IRJ.2024.150.32. [in Russian]
8. Chernikova N. Fractional composition of Cd, Pb, and Zn in medicinal plants at the impact territories of a coal-fired power station / N. Chernikova, V. Chaplygin, N. Minkina [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. — 2025. — Vol. 32. — P. 17670–17682. — DOI: 10.1007/s11356-025-36718-4.
9. Albert H. Findings on the heavy metal content in herbal drugs and essential oils - an update / H. Albert, B. Klier, M. Knödler [et al.] // Pharmeuropa Bio & Scientific Notes. — 2018. — P. 62–111. — DOI: 10.1007/978-3-030-69677-1_23.
10. Tomiyasu M. Procedure Validation of Elemental Impurities and Observation in Crude Drugs and Kampo Extracts / M. Tomiyasu, S. Yoshida, H. Zhang [et al.] // Yakugaku Zasshi. — 2025. — Vol. 145, № 12. — P. 983–992. — DOI: 10.1248/yakushi.25-00107.
11. NSAM № 512-MS. Metodika (metod) izmerenij: opredelenie jelementnogo sostava obrazcov rastitel'nogo proishozhdenija (travy, list'ja) atomno-jemissionnym i mass-spektral'nyh metodami analiza [NSAM No. 512-MS. Measurement methodology (method): determination of the elemental composition of plant samples (herbs, leaves) by atomic emission and mass spectral analysis methods]. — Moscow, 2017. — 57 p. [in Russian]
12. Opredelenie soderzhanija himicheskikh jelementov v diagnostiruemyh biosubstratah, preparatah i biologicheski aktivnyh dobavkah metodom mass-spektrometrii s induktivno-svjazannoj argonovoj plazmoj [Determination of the content of chemical elements in diagnosed biosubstrates, preparations and dietary supplements by inductively coupled argon plasma mass spectrometry] : methodological guidelines MUK 4.1.1483-03. — Moscow: FC GSJeN MZ RF, 2003. — 36 p. [in Russian]