

УДК 543.427.4:581.192

ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ЛЕКАРСТВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ

© Н.Н. Яценко, С.В. Житарь, Е.Г. Зиновьева*, А.Н. Лыщиков

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,
Московский пр., 15, Чебоксары, 428015, Россия, zinelgen@mail.ru

Впервые методом РФА проведен элементный анализ одиннадцати видов лекарственно-растительного сырья лесопарковых территорий Чувашской Республики: листьев брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), травы тысячелистника (*Achillea millefolium* L.), листьев крапивы (*Urtica dioica* L.), элеутерококка корневищ (*Eleutherococcus Maxim*), багульника болотного побегов (*Rhododendron tomentosum* или *Ledum palustre*), пижмы цветков (*Tanacetum*), листьев мяты перечной (*Mentha piperita*), травы череды (*Bidens*), листьев толокнянки (*Arctostaphylos*), полыни горькой травы (*Artemisia absinthium*) и травы душицы обыкновенной (*Origanum vulgare*).

Определены 22 химических элемента (K, Ca, P, S, Cl, Cu, Zn, Sr, Si, Mn, Fe, Br, Cr, Ag, Ti, Rb, Zr, V, Pb, Cd, Hg и As) и их соотношение. Выявлено, что уровень содержания макроэлементов (K, Ca, P, S, Cl) в испытуемых образцах варьируется в широких пределах в зависимости от вида растения. Среди макроэлементов в растительном сырье содержится большое количество K и Ca. Среди микроэлементов по содержанию лидирует Si, далее по убывающей следуют Mn, Fe, Sr, Zn, Br и Cu. Листья крапивы имеют максимальное содержание рассматриваемых биогенных элементов. Элементы-токсиканты (Pb, Cd, Hg и As) в образцах не обнаружены. Полученные данные могут быть включены в базы данных химического состава растений Чувашии.

Ключевые слова: лекарственно-растительное сырье, рентгено-флуоресцентный анализ, элементный анализ, макроэлементы, микроэлементы, Чувашская Республика.

Для цитирования: Яценко Н.Н., Житарь С.В., Зиновьева Е.Г., Лыщиков А.Н. Элементный анализ лекарственно-растительного сырья Чувашской Республики рентгенофлуоресцентным методом // Химия растительного сырья. 2025. №3. С. 228–234. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315727>.

Введение

Флора Чувашской Республики (Чувашии) обладает большим разнообразием и представлена более чем 1586 видами сосудистых растений, в том числе лекарственных [1]. Лекарственные препараты и косметические средства на основе лекарственно-растительного сырья (ЛРС) занимают важное место в современной медицине, фармацевтике и косметологии во всем мире [2–4]. Лечебные свойства растений обусловлены наличием в них биологически активных соединений, макро- и микроэлементов [5–7]. В настоящее время имеется большое количество исследований по вопросам определения в растениях биологически активных веществ (алкалоидов, гликозидов, сапонинов, дубильных веществ, флавоноидов, аскорбиновой кислоты и др.) [8–10]. В то же время макро- и микроэлементный состав различных видов растений рассматривается крайне редко [11, 12]. Растения являются природными источниками биогенных элементов, которые находятся в легкодоступной, сбалансированной и усвояемой форме, что помогает оказывать положительное воздействие на оздоровление человека. Фитопродукция из ЛРС должна соответствовать высоким критериям качества и безопасности для здоровья населения. Сведения о точном качественном составе и количественном соотношении элементов (биогенных и экотоксикантов) в растениях важны для принятия решения о целесообразности их практического применения, поэтому *актуальной задачей* является проведение элементного анализа ЛРС.

Одним из перспективных современных инструментальных методов анализа является рентгенофлуоресцентная спектроскопия [13]. Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) обладает такими уникальными возможностями как многоэлементность, экспрессность, воспроизводимость и надежность результатов.

* Автор, с которым следует вести переписку.

С помощью РФА можно изучать твердые тела, жидкости и порошки от микропроб до макрообъектов, в том числе без их разрушения при пробоподготовке и анализе [14–17]. Целью данной работы является применение метода рентгенофлуоресцентной спектроскопии для проведения элементного анализа лекарственного растительного сырья Чувашии.

Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись одиннадцать образцов распространенного в Чувашии лекарственно-растительного сырья: листья брусники (лат. *Vaccinium vitis-idaea*, семейство Вересковые или Эриковые (лат. *Ericaceae*)), трава тысячелистника (порезная трава, лат. *Achillea millefolium* L., семейство Астровые или Сложноцветные (лат. *Asteraceae*)), листья крапивы (лат. *Urtica dioica* L., семейство Крапивные (лат. *Urticaceae*)), элеутерококка корневища (лат. *Eleutherococcus Maxim*, семейство Аралиевые (лат. *Araliaceae*)), багульника болотного побеги (рододендрон войлочный, лат. *Rhododendron tomentosum* или *Ledum palustre*, семейство Вересковые (лат. *Ericaceae*)), пижмы цветки (лат. *Tanacetum*, семейство Астровые или Сложноцветные (лат. *Asteraceae*)), листья мяты перечной (мята холодная, мята английская, лат. *Mentha piperita*, семейство Яснотковые (лат. *Lamiaceae*)), трава череды (лат. *Bidens*, семейство Астровые (лат. *Asteraceae*)), листья толокнянки (лат. *Arctostaphylos*, семейство Вересковые (лат. *Ericaceae*)), полыни горькой трава (лат. *Artemisia absinthium*, семейство Астровые (лат. *Asteraceae*)) и трава душицы обыкновенной (лат. *Origanum vulgare*, семейство Яснотковые (лат. *Lamiaceae*)).

Сбор и заготовку дикорастущих растений проводили в весенне-осенний период 2022–2023 года в фазу цветения в лесопарковых территориях г. Чебоксары Чувашской Республики.

Пробоподготовка заключалась в высушивании воздушно-теньевым методом отдельных частей ЛРС: *травы* (душица, полынь горькая, череда, тысячелистник); *листьев* (толокнянка, мята перечная, крапива и брусника); *цветков* (пижма), *побегов* (багульник болотный) и *корневищ* (элеутерококк). Далее части ЛРС перемалывали в ручной кофемолке с последующим измельчением в агатовой ступке до порошкообразного состояния. Затем брали навеску порошка массой 5 г и формировали таблетки диаметром 32 мм с помощью ручного гидравлического пресса Specac® Atlas 15T manual hydraulic press.

Для проведения элементного анализа применяли энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр EDX-7000P (Shimadzu, Япония), оснащенный трубкой с Rh-анодом в качестве рентгеновского генератора, высокопроизводительным кремниевым дрейфовым детектором (SDD) и пятью первичными фильтрами с автоматической сменой. Измерения проводили в атмосфере воздуха. Таблетку-излучатель (испытуемый образец) помещали в прибор без подложки. Диаметр коллиматора во всех измерениях составлял 10 мм. Спектры РФА исследуемых образцов ЛРС снимали в режимах, приведенных в таблице 1. Для идентификации элементов использовали их наиболее интенсивные характеристические линии $K\alpha$. Определение количественного содержания каждого элемента проводили безэталонным способом фундаментальных параметров, включенным в программный пакет PCEDX-Navi к спектрометру.

Статистическую обработку результатов проводили для пяти параллельных измерений образцов таблеток ЛРС при доверительной вероятности 0.95. Погрешность определения не превышала 5%. Фрагменты спектров на примере образца травы душицы приведены на рисунках 1–3.

Результаты и обсуждение

Ежегодный мировой растущий спрос на лекарственные средства, БАДы и косметические препараты природного растительного происхождения обуславливает необходимость проведения исследований, направленных на тщательное изучение свойств ЛРС. Растения как носители макро- и микроэлементов, принимая участие в биогеохимическом круговороте веществ в природе, способны по пищевой цепочке оказывать влияние на состояние здоровья птиц, животных и людей. По элементному составу растений можно определить степень загрязненности территории их произрастания и риски заболеваемости населения, длительное время проживающего в зоне с высокими антропогенными нагрузками от сельскохозяйственных и промышленных предприятий [18]. Поэтому проведение анализа ЛРС на биогенные элементы и экотоксиканты имеет важное значение. Следует также отметить, что информация об элементном составе дикорастущих лекарственных трав Чувашии практически отсутствует за последнее десятилетие в рецензируемой литературе.

Таблица 1. Режимы съемки спектров РФА для ЛРС

Элементы	U, кВ	I, мкА	Фильтр	Диапазон энергии, кэВ	Диапазон аналитического сигнала, кэВ	t ₁ , с	t ₂ , %
Al–U	50	19–29	–	0–40	4.00–35.00	60	30–31
Na–Sc	15	260–310	–	0–20	0.00–4.40	60	29–30
S–Ca	15	414–532	#2	0–20	2.10–4.10	60	29–31
Cr–Fe	50	23–45	#3	0–40	5.00–7.00	60	29–30
Zn–As, Pb	50	171–307	#4	0–40	8.50–14.50	60	29–30
Ru–Sb	50	1000	#1	0–40	18.50–28.00	60	9–15

Здесь U – ускоряющее напряжение на рентгеновской трубке, I – сила тока, t₁ – время съёмки, t₂ – время между съёмками.

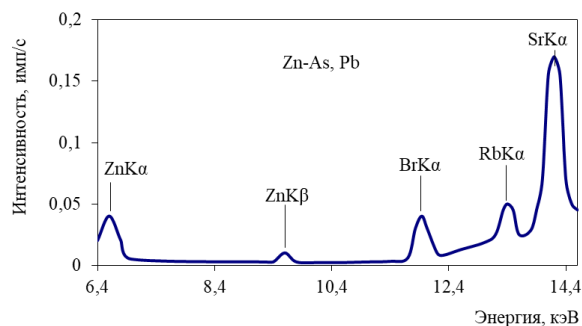


Рис. 1. РФА-спектр травы душицы для элементов Zn–As, Pb

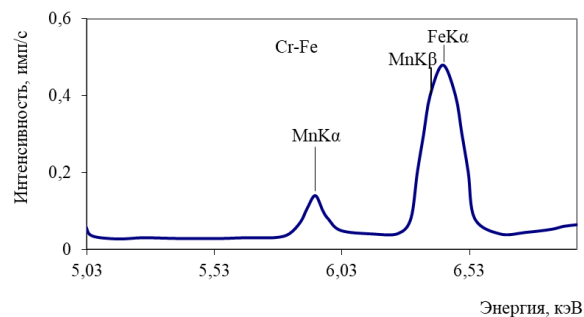


Рис. 2. РФА-спектр травы душицы для элементов Cr–Fe

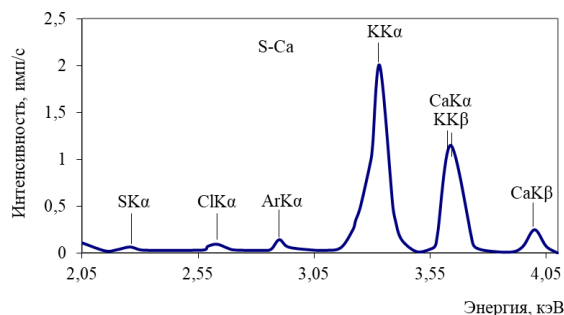


Рис. 3. РФА-спектр травы душицы для элементов S–Ca

Элементный анализ для большого количества проб растительного происхождения удобно проводить мультифункциональным экспресс-методом РФА. С учетом возможностей прибора нами определены 22 химических элемента (K, Ca, P, S, Cl, Cu, Zn, Sr, Si, Mn, Fe, Br, Cr, Ag, Ti, Rb, Zr, V, Pb, Cd, Hg и As) и их соотношение в 11 образцах ЛРС Чувашской Республики. Результаты определений представлены в таблицах 2 и 3.

По данным таблицы 2 видно, что уровень содержания каждого из макроэлементов в испытуемых образцах ЛРС варьируется в широких пределах в зависимости от вида растения. Из пяти макроэлементов (K, Ca, P, S, Cl) во всех растениях содержится большое количество калия и кальция по сравнению с другими элементами, что сходится с литературными данными [12, 19]. Максимальное содержание калия выявлено для листьев мяты перечной, а кальция – для листьев крапивы. Оба растения являются лидерами по суммарному содержанию одновременно калия и кальция.

Соотношение макроэлементов Ca и P, равное 2 : 1.5 соответственно, считается оптимальным в кормовых рационах в животноводстве [20]. Корневища элеутерококка имеют наиболее сбалансированное по данному показателю значение Ca : P = 2.6 : 1.5; в побегах багульника болотного выявлено почти десятикратное превышение по кальцию (Ca : P = 21 : 1.5).

Большие количества фосфора обнаружены в листьях крапивы, корневищах элеутерококка, цветках пижмы и траве горькой полыни, а серы – в листьях крапивы и мяты перечной. Цветки пижмы, листья мяты перечной и крапивы характеризуются большим количеством хлора.

Наибольшая сумма всех макроэлементов установлена для листьев крапивы (57770 мг/кг), наименьшая – для побегов багульника болотного (8410 мг/кг).

Таблица 2. Содержание макроэлементов в образцах ЛРС

Образец	Содержание микроэлемента, мг/кг				
	K	Ca	P	S	Cl
Душицы трава	12910	7850	970	1390	1230
Полыни горькой трава	20190	6080	2360	2000	3300
Толокнянки листья	4690	5750	600	520	140
Череды трава	22570	7160	1240	1950	3230
Мяты перечной листья	26150	18630	1560	2410	5280
Пижмы цветки	20220	7150	2620	1470	5540
Багульника болотного побеги	2570	4500	320	790	230
Элеутерококка корневище	18370	5380	3220	1430	600
Крапивы листья	23600	22170	3220	3910	4870
Тысячелистника трава	13940	7080	1250	1160	2730
Брусники листья	3040	4810	470	1150	0

Таблица 3. Содержание микроэлементов в образцах ЛРС

Образец	Содержание микроэлемента, мг/кг						
	Cu	Zn	Sr	Si	Mn	Fe	Br
Душицы трава	10	30	20	1170	30	110	10
Полыни горькой трава	10	30	20	1290	30	260	30
Толокнянки листья	0	30	30	0	30	40	0
Череды трава	20	60	20	1200	120	200	130
Мяты перечной листья	10	30	40	2310	50	290	0
Пижмы цветки	20	20	20	0	60	60	10
Багульника болотного побеги	10	30	0	470	540	90	0
Элеутерококка корневище	10	30	10	0	1200	50	10
Крапивы листья	10	20	130	5030	20	170	10
Тысячелистника трава	10	20	30	4260	40	270	10
Брусники листья	10	20	10	370	1280	60	0

Из данных таблицы 3 следует, что среди микроэлементов по содержанию в ЛРС лидирует Si, далее по убывающей следуют Mn, Fe, Sr, Zn, Br и Cu. Как и в случае макроэлементов, наибольшая сумма всех микроэлементов установлена для листьев крапивы (5390 мг/кг). Следовательно, листья крапивы имеют максимальный набор рассматриваемых биогенных элементов. Минимальное суммарное содержание микроэлементов выявлено для цветков пижмы (190 мг/кг).

Меди больше всего обнаружено в траве череды и цветках пижмы; цинка – в цветках пижмы; стронция и кремния – в листьях крапивы; марганца – в корневищах элеутерококка; железа – в листьях перечной мяты и брома – в траве череды.

Сравнительный РФА анализ микроэлементного состава травы тысячелистника различных районов Пермского края [10] и собранного нами на территории Чувашской Республики показывает, что показатели содержания Fe и Sr коррелируют. В чувашских образцах практически на порядок больше Si, а в пермских – высокое содержание Fe, Zn и Cu. Это подтверждает необходимость периодического мониторинга элементного состава ЛРС, на который оказывают влияния множество факторов (ареал произрастания, состав почвы, внесение удобрений, качество воды, уровень запыленности и т.д.). Также из таблиц 2 и 3 следует, что элементный состав ЛРС сильно зависит и от вида самого растения.

Элемент рубидий в количестве, не превышающем 10 мг/кг, обнаружен в листьях брусники, побегах багульника болотного, цветках пижмы, травах череды, горькой полыни и душицы. Титан выявлен в листьях брусники и мяты в количестве 20 и 50 мг/кг соответственно. Серебро имеется в следующих видах ЛРС, в мг/кг: в листьях брусники (50), корневищах элеутерококка (70) и цветках пижмы (40).

Элементы Cr, Zr, V, Pb, Cd, Hg и As в исследуемых образцах ЛРС не обнаружены, что обусловлено экологически благоприятной средой произрастания растений. Применение таких ЛРС может считаться безопасным.

Заключение

Таким образом, метод РФА является подходящим и надежным для быстрого элементного анализа лекарственно-растительного сырья. Впервые проведено комплексное изучение качественного и

количественного состава биогенных элементов и экотоксикантов в ЛРС Чувашской Республики. Установлено, что из одиннадцати образцов различных ЛРС листья крапивы имеют максимальное содержание рассматриваемых биогенных элементов (K, Ca, P, S, Cl, Cu, Zn, Sr, Si, Mn, Fe и Br). Все образцы богаты калием, кальцием и кремнием. Элементы-токсиканты (Pb, Cd, Hg и As) не обнаружены. Полученные экспериментальные данные могут быть включены в базы данных химического состава растений Чувашии, которые на сегодняшний день отсутствуют. Регулярный контроль качества ЛРС по элементному составу позволит получать качественные и безопасные медицинские и косметологические препараты, а также своевременно оценивать состояние окружающей среды.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Гафурова М.М. Сосудистые растения Чувашской Республики. Флора Волжского бассейна. Тольятти, 2014. Т. 3. 333 с.
2. Лужанин В.Г., Куркин В.А., Гравель И.В. Качество лекарственных растительных препаратов: новые аспекты и решения // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. 2023. №13(2). С. 128–133. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2023-13-2-128-133>.
3. Сафонова Н.В., Трофимова Е.О. Обзор российского рынка растительных препаратов // REMEDIUM. 2021. №3. С. 11–22. <https://doi.org/10.21518/1561-5936-2021-3-11-22>.
4. Сидельников Н.И. Актуальные направления изучения перспективных видов лекарственных растений // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. 2024. №14(2). С. 128–131. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2024-14-2-128-131>.
5. Ященко Н.Н., Житарь С.В., Зиновьева Е.Г. УФ-определение фенолсодержащих соединений в индийских биологически активных добавках // Бутлеровские сообщения. 2024. Т. 77, №2. С. 112–116. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/24-77-2-112>.
6. Лебедева М.А., Кукушкина Т.А., Шалдаева Т.М., Пшеничкина Ю.А., Храмова Е.П. Биологически активные вещества и антиоксидантная активность некоторых растений семейства Asteraceae, культивируемых в условиях Западной Сибири // Химия растительного сырья. 2022. №3. С. 99–107. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220310740>.
7. Bubenchikova V., Chernikov M., Pozdnyakov D., Shamilov A., Garsiya E. Vaccinium vitis-idaea L.: Chemical Contents, Pharmacological Activities // Pharmaceutical Sciences. 2020. Vol. 26. Pp. 344–362. <https://doi.org/10.34172/PS.2020.54>.
8. Belhacini N., Alem K., Boumendjel A., Messarah M. Evaluation of Antioxidant and Dermato-protective activities of Origanum vulgare extracts // Research Journal of Pharmacy and Technology. 2023. Vol. 16, no. 12. Pp. 5631–5636. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00910>.
9. Kukhtenko H., Bevez N., Konechnyi Yu., Kukhtenko O., Jasicka-Misiak I. Spectrophotometric and Chromatographic Assessment of Total Polyphenol and Flavonoid Content in Rhododendron tomentosum Extracts and Their Antioxidant and Antimicrobial Activity // Molecules. 2024. Vol. 29. 1095. <https://doi.org/10.3390/molecules29051095>.
10. Omer G., Mohammed L. Total Phenolic, Flavonoids and Vitamin C Contents with Antioxidant Activity of Urtica dioica L. Leaves Growing in Zakho, Kurdistan Region-Iraq. // Baghdad Science Journal. 2023. Vol. 21. <https://doi.org/10.21123/bsj.2023.8658>.
11. Николаева И.В., Кравченко А.А., Палесский С.В., Нечепуренко С.Ф., Семенова Д.В. Элементный анализ растительных стандартных образцов методами масс-спектрометрии атомно-эмиссионной спектроскопии индуктивно-связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. №85(6). С. 11–24. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-6-11-24>.
12. Отмахов В.И., Рабцевич Е.С., Петрова Е.В., Шилова И.В., Шелег Е.С., Бабенков Д.Е. Элементный анализ лекарственных растений Сибири методом дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии с многоканальным

- анализатором эмиссионных спектров // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. №85(1(II)). С. 60–66. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-1-II-60-66>.
13. Ревенко А.Г. Применение рентгенофлуоресцентного анализа в биологии и медицине // Аналитика и контроль. 2020. Т. 24. №4. С. 236–276. <https://doi.org/10.15826/analitika.2020.24.4.00>.
 14. Храмова Е.П., Чанкина О.В., Сыева С.Я., Костикова В.А., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С. Элементный состав растений Горного Алтая // Сибирский физический журнал. 2019. Т. 14, №3. С. 86–96. <https://doi.org/10.25205/2541-9447-2019-14-3-86-96>.
 15. Каликина И.Ю., Турышев А.Ю., Белоногова В.Д., Курицын А.В., Пучнина С.В., Бузмакова Н.А. Применение рентгенофлуоресцентного и радиационного методов для анализа лекарственного растительного сырья на примере *Achillea millefolii herba* // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2023. №12 (4-1). С. 104–111. [https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4\(1\)-1597](https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4(1)-1597).
 16. Ревенко А.Г., Шарыкина Д.С. Применение рентгенофлуоресцентного анализа для исследования химического состава чая и кофе // Аналитика и контроль. 2019. Т. 23, №1. С. 6–23. <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.1.015>.
 17. Кузьменко А.Н., Краснюк (мл.) И.И., Боков Д.О., Плахотная О.Н., Евграфов А.А., Родин М.Н., Кузьменко И.А., Нестерова Н.В., Самылина И.А. Изучение химического состава плодов яблони домашней методом рентгенофлуоресцентного анализа // Фармация. 2024. №73 (1). С. 10–15. <https://doi.org/10.29296/25419218-2024-01-02>.
 18. Васильева И.Е., Шабанова Е.В. Определение микроэлементов в растениях методом дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии // Аналитика и контроль. 2019. Т. 23, №3. С. 298–313. <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.3.011>.
 19. Загурская Ю.В., Сиромля Т.И. Оценка элементного химического состава растений *Leonurus quinquelobatus* (на примере Западной Сибири) // Ученые записки Казанского университета. Сер. Естеств. науки. 2018. Т. 160. С. 419–435.
 20. Зиновьева Е.Г., Федоров П.И., Смирнова С.Н., Житарь С.В., Яценко Н.Н., Маркова С.А., Заживихина Е.И. Определение химических показателей растительных кормов Чувашской Республики // Бутлеровские сообщения. 2020. Т. 61, №2. С. 51–56. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/20-61-2-51>.

Поступила в редакцию 29 августа 2024 г.

После переработки 27 декабря 2024 г.

Принята к публикации 14 мая 2025 г.

Yashchenko N.N., Zhitar S.V., Zinovjeva E.G., Lyshchikov A.N. ELEMENTAL ANALYSIS OF MEDICINAL PLANT MATERIALS CHUVASH REPUBLIC USING X-RAY FLUORESCENCE METHOD*

Chuvash State University named after I.N. Ulyanova, Moskovsky pr., 15, Cheboksary, 428015, Russia, zinelgen@mail.ru

For the first time, an elemental analysis of eleven types of medicinal plant raw materials from forested areas of the Chuvash Republic was carried out using XRF: lingonberry leaves (*Vaccinium vitis-idaea*), yarrow grass (*Achillea millefolium* L.), nettle leaves (*Urtica dioica* L.), Eleutherococcus rhizomes (*Eleutherococcus Maxim*), wild rosemary (*Rhododendron tomentosum* or *Ledum palustre*), tansy flower (*Tanacetum*), peppermint leaves (*Mentha piperita*), string grass (*Bidens*), bearberry leaves (*Arctostaphylos*), wormwood (*Artemisia absinthium*) and oregano herb (*Origanum vulgare*).

22 chemical elements have been identified (K, Ca, P, S, Cl, Cu, Zn, Sr, Si, Mn, Fe, Br, Cr, Ag, Ti, Rb, Zr, V, Pb, Cd, Hg and As) and their ratio. It was revealed that the level of macroelements (K, Ca, P, S, Cl) in the tested samples varies widely depending on the type of plant. Among macroelements, plant materials contain large amounts of K and Ca. Among microelements, Si is the leader in content, followed in decreasing order by Mn, Fe, Sr, Zn, Br and Cu. Nettle leaves have the maximum content of the considered nutrients. Toxic elements (Pb, Cd, Hg and As) were not found in the samples. The obtained data can be included in the database of the chemical composition of plants in Chuvashia.

Keywords: medicinal plant raw materials, X-ray fluorescence analysis, elemental analysis, macroelements, microelements, Chuvash Republic.

For citing: Yashchenko N.N., Zhitar S.V., Zinovjeva E.G., Lyshchikov A.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 3, pp. 228–234. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315727>.

References

1. Gafurova M.M. *Sosudistyye rasteniya Chuvashskoy Respubliki. Flora Volzhskogo basseyna*. [Vascular plants of the Chuvash Republic. Flora of the Volga basin]. Tolyatti, 2014, vol. 3, 333 p. (in Russ.).

* Corresponding author.

2. Luzhanin V.G., Kurkin V.A., Gravel' I.V. *Vedomosti Nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniya. Regulyatornyye issledovaniya i ekspertiza lekarstvennykh sredstv*, 2023, no. 13(2), pp. 128–133. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2023-13-2-128-133>. (in Russ.).
3. Safonova N.V., Trofimova Ye.O. *REMEDIUM*, 2021, no. 3, pp. 11–22. <https://doi.org/10.21518/1561-5936-2021-3-11-22>. (in Russ.).
4. Sidel'nikov N.I. *Vedomosti Nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniya. Regulyatornyye issledovaniya i ekspertiza lekarstvennykh sredstv*, 2024, no. 14(2), pp. 128–131. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2024-14-2-128-131>. (in Russ.).
5. Yashchenko N.N., Zhitar' S.V., Zinov'yeva Ye.G. *Butlerovskiye soobshcheniya*, 2024, vol. 77, no. 2, pp. 112–116. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/24-77-2-112>. (in Russ.).
6. Lebedeva M.A., Kukushkina T.A., Shaldayeva T.M., Pshenichkina Yu.A., Khramova Ye.P. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2022, no. 3, pp. 99–107. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220310740>. (in Russ.).
7. Bubenchikova V., Chernikov M., Pozdnyakov D., Shamilo A., Garsiya E. *Pharmaceutical Sciences*, 2020, vol. 26, pp. 344–362. <https://doi.org/10.34172/PS.2020.54>.
8. Belhacini N., Alem K., Boumendjel A., Messarah M. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 2023, vol. 16, no. 12, pp. 5631–5636. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00910>.
9. Kukhtenko H., Bezv N., Konechnyi Yu., Kukhtenko O., Jasicka-Misiak I. *Molecules*, 2024, vol. 29, 1095. <https://doi.org/10.3390/molecules29051095>.
10. Omer G., Mohammed L. *Baghdad Science Journal*, 2023, vol. 21. <https://doi.org/10.21123/bsj.2023.8658>.
11. Nikolayeva I.V., Kravchenko A.A., Palevskiy S.V., Nechepurenko S.F., Semenova D.V. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2019, no. 85(6), pp. 11–24. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-6-11-24>. (in Russ.).
12. Otmakhov V.I., Rabtsevich Ye.S., Petrova Ye.V., Shilova I.V., Sheleg Ye.S., Babenkov D.Ye. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2019, no. 85(1(II)), pp. 60–66. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-1-II-60-66>. (in Russ.).
13. Revenko A.G. *Analitika i kontrol'*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 236–276. <https://doi.org/10.15826/analitika.2020.24.4.00>. (in Russ.).
14. Khramova Ye.P., Chankina O.V., Syryeva S.Ya., Kostikova V.A., Rakshun Ya.V., Sorokoletov D.S. *Sibirskiy fizicheskiy zhurnal*, 2019, vol. 14, no. 3, pp. 86–96. <https://doi.org/10.25205/2541-9447-2019-14-3-86-96>. (in Russ.).
15. Kalikina I.Yu., Turyshchey A.Yu., Belonogova V.D., Kuritsyn A.V., Puchnina S.V., Buzmakova N.A. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*, 2023, no. 12 (4-1), pp. 104–111. [https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4\(1\)-1597](https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4(1)-1597). (in Russ.).
16. Revenko A.G., Sharykina D.S. *Analitika i kontrol'*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 6–23. <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.1.015>. (in Russ.).
17. Kuz'menko A.N., Krasnyuk (ml.) I.I., Bokov D.O., Plakhotnaya O.N., Yevgrafov A.A., Rodin M.N., Kuz'menko I.A., Nesterova N.V., Samylina I.A. *Farmatsiya*, 2024, no. 73 (1), pp. 10–15. <https://doi.org/10.29296/25419218-2024-01-02>. (in Russ.).
18. Vasil'yeva I.Ye., Shabanova Ye.V. *Analitika i kontrol'*, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 298–313. <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.3.011>. (in Russ.).
19. Zagurskaya Yu.V., Siromlya T.I. *Uchenyye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser. Yestestv. Nauki*, 2018, vol. 160, pp. 419–435. (in Russ.).
20. Zinov'yeva E.G., Fedorov P.I., Smirnova S.N., Zhitar S.V., Yashchenko N.N., Markova S.A., Zazhivikhina Ye.I. *Butlerovskiye soobshcheniya*, 2020, vol. 61, no. 2, pp. 51–56. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/20-61-2-51>. (in Russ.).

Received August 29, 2024

Revised December 27, 2024

Accepted May 14, 2025

Сведения об авторах

Ященко Наталья Николаевна – доцент, кандидат химических наук, n.yashenko.n@mail.ru

Житарь Светлана Владимировна – доцент, кандидат химических наук, svezhi@yandex.ru

Зиновьева Елена Геннадьевна – доцент, кандидат химических наук, zinengen@mail.ru

Лыщиков Анатолий Николаевич – профессор, доктор химических наук, analitika2011@mail.ru

Information about authors

Yashchenko Natalia Nikolayevna – associate professor, Ph.D. in Chemistry, n.yashenko.n@mail.ru

Zhitar Svetlana Vladimirovna – associate professor, Ph.D. in Chemistry, svezhi@yandex.ru

Zinovieva Elena Gennadievna – associate professor, Ph.D. in Chemistry, zinengen@mail.ru

Lyshchikov Anatoly Nikolaevich – professor, Grand PhD in Chemistry, analitika2011@mail.ru