

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ТРАВЫ И КОРНЕВИЩ С КОРНЯМИ
СИНЮХИ ГОЛУБОЙ, КУЛЬТИВИРУЕМОЙ
В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ****А.С. Чистякова, А.С. Болгов, Г.Ю. Шестакова, А.А. Гудкова***ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, Университетская пл., 1

РЕЗЮМЕ. Химический состав всех растений представлен компонентами как органического, так и минерального происхождения. Минеральный комплекс влияет на организм человека, включает разнообразные макро-, микро-, ультрамикроэлементы, а также токсичные соединения. Синюха голубая давно разрешена к медицинскому использованию, однако до настоящего времени нет данных, дающих целостное представление о минеральном составе растения.

Цель исследования – изучение элементного состава растительного сырья синюхи голубой, культивируемой в Воронежской области.

Материалы и методы. Объекты исследования – высушенные образцы травы синюхи голубой первого и второго года вегетации, образец корневищ с корнями синюхи голубой второго года вегетации, заготовленные, согласно правилам сбора, от культивируемых растений в г. Боброве Воронежской области, а также почвы с места произрастания растений. Минеральный состав исследуемых объектов изучали методом хромато-масс-спектрологии с индуктивно связанной плазмой.

Результаты. Методом хромато-масс-спектрологии определено количественное содержание 43 элементов. Макроэлементы составляют значительную часть минерального комплекса растительного сырья синюхи голубой, присутствуют в количестве 92–95% в траве независимо от срока сбора сырья и 85,38% – в корневищах с корнями синюхи. Микроэлементы в траве синюхи содержатся в количестве 7,09 и 6,16% для первого и второго года вегетации соответственно. Токсичные элементы находятся в количестве 0,03 и 0,009% от общего содержания минеральных компонентов в траве синюхи, заготовленной в первый и второй годы жизни растения, соответственно и 0,013% – в корневищах с корнями синюхи.

Выводы. Установлены различия в аккумуляции элементов в зависимости от морфологической части растения, а также года вегетации. Показано, что все исследуемые органы синюхи голубой включают в себя высокое содержание калия, кальция и кремния. Элементами сильного накопления в траве синюхи являются фосфор, калий, кальций, ртуть. В корневищах с корнями к сильно накапливаемым элементам относятся фосфор, цинк, стронций. Согласно действующей нормативной документации на лекарственное растительное сырье, содержание тяжелых металлов и мышьяка в растительном сырье синюхи не превышает установленных значений. Показана зависимость содержания некоторых элементов в растении от их содержания в почве, что необходимо учитывать при культивировании и заготовке растительного сырья синюхи голубой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: синюха голубая, минеральные компоненты, элементный состав, хромато-масс-спектрология, распределение по Перельману.

Для цитирования: Чистякова А.С., Болгов А.С., Шестакова Г.Ю., Гудкова А.А. Элементный состав травы и корневищ с корнями синюхи голубой, культивируемой в Воронежской области. Микроэлементы в медицине. 2025;26(1):45–53. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-45-53.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все больше заметна тенденция к возрождению интереса к растениям, выпавшим по разным причинам из поля зрения ученых. К подобным растениям относится синю-

ха голубая, корневища с корнями которой являлись востребованными в качестве отхаркивающего и седативного средства до середины XX века (Мальцева и др., 2010; Атаввулаева, Кароматов, 2018), далее растение было незаслуженно

* Адрес для переписки:

Гудкова Алевтина Алексеевна

E-mail: al.f84@mail.ru

забыто. В наши дни, кроме подземных органов, внимание исследователей привлекает трава синюхи голубой, входящая в состав биологически активных добавок седативного действия. Известно, что все органы растения имеют богатый химический состав, включающий в себя тритерпеновые сапонины, фенольные соединения, органические кислоты и др. (Шестакова и др., 2021). По мере изучения растения выявляются новые соединения в его составе, а также дополнительные фармакологические эффекты.

Химический состав всех растений представлен компонентами как органического, так и минерального происхождения. Минеральный комплекс способен проявлять собственное влияние на организм человека, включает разнообразные макро-, микро-, ультрамикроэлементы, а также токсичные соединения. Информация о составе и количественном содержании отдельных элементов позволяет предположить безопасность использования растительного сырья в медицинских целях (Лужанин и др., 2023). Элементы из почвы поглощаются растительным организмом неодинаково и концентрируются разными морфологическими частями по-разному, в зависимости от фазы вегетации растения, места его произрастания. Они вступают в биохимические процессы в растительном организме, влияют на синтез органических веществ, находятся в комплексах с последними в виде солей, что показывает значимость и актуальность исследования элементного состава растительного сырья.

Ц е л ь р а б о т ы – изучение элементного состава растительного сырья синюхи голубой, культивируемой в Воронежской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом в работе выступали два высушенных образца синюхи голубой травы и один образец синюхи голубой корневищ с корнями. Первый образец травы заготовлен на первый год жизни растения в июне 2020 года, второй образец собирали во время цветения растения в июне 2021 года. Корневища и корни выкапывали на второй год жизни растения в начале сентября 2021 года. В работе использовали растения, культивируемые на частном участке в г. Боброве Воронежской области. Выращивание синюхи голубой проводили без использования минеральных удобрений в экологически чистом месте. После сбора образцы травы подвергали высушиванию в тени, образцы подземных органов, тща-

тельно очистив от земли, высушивали в камерной сушилке при температуре 55 °С. Растительное сырье хранили в картонных коробках в сухих помещениях (ГФ РФ XIV, 2018; Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01, 2002).

Минеральный состав исследуемых объектов изучали методом хромато-масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой с использованием системы «ELAN-DRC». Пробоподготовку осуществляли согласно МВИ N 002-XMC-2009 «Методика выполнения измерений массовых долей 62 элементов в почвах, донных отложениях, горных породах и сплавах цветных металлов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой», а также МУК 4.1.1483-03 «Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавок методом массспектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой» (Колосова, Тринеева, 2022). Перед проведением эксперимента, образцы травы и корневищ с корнями синюхи голубой подвергали измельчению до размера частиц сырья 0,5–1 мм. Точные навески образцов сырья синюхи голубой помещали в патрон из фторопласта и добавляли смесь плавиковой и азотной кислот, затем подвергали кислотному разложению с помощью систем микроволновой пробоподготовки. Пробу троекратно промывали деионизированной водой. Аликвоту отбирали автоматическим дозатором (1,0 мл), доводили до 10 мл азотной кислотой и использовали для определения элементного состава. Правильность определения контролировали с помощью метода добавок. Для получения рабочих стандартных растворов смешивали нескольких опорных многоэлементных стандартных растворов для масс-спектрометрии (Perkin-Elmer). стандартные растворы готовили путем смешивания нескольких опорных многоэлементных стандартных растворов для масс-спектрометрии (Perkin-Elmer) или аналогичные, содержащие разные группы элементов. Используемые референс-стандарты для анализа почв: почва дерново-подзолистая ГСО 5360-90, ООКО-153, почва дерново-подзолистая супесчаная ГСО 2498-83-2500-83, СДПС-1, СДПС-2, СДПС-3. Для анализа проб растительного происхождения использовали ГСО состава травосмеси (Тр-1), ГСО 8922-2007, ГСО состава элодеи канадской (ЗК-1), ГСО 8921- 2007, ГСО состава листа березы (ЛБ-1), ГСО 8923-2007 (Гудкова 2019; Колосова и др. 2023).

Для математического расчета коэффициента биологического накопления минеральных компонентов в сырье синюхи голубой анализировали также и почву с места культивирования растений. Образцы почвы отбирали в момент заготовки растительного сырья, высушивали до постоянной массы, просеивали через сито с диаметром отверстий 0,50 мм (Гудкова, 2019; Дьякова, 2022; Дунилин, 2023).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования в изучаемых объектах определили 43 элемента (табл. 1). Сравнивая содержание элементов в изучаемых объектах, выявили варьирование их количества в зависимости от времени заготовки сырья. Макроэлементы составляют значительную часть минерального комплекса растительного сырья синюхи голубой, они присутствуют в траве (в пересчете на абсолютно сухое сырье) независимо от срока сбора сырья в количестве 92–95%, в корневищах с корнями синюхи – 85,38%. Микроэлементы в траве синюхи содержатся в количестве 7,09 и 6,16% для первого и второго года вегетации соответственно.

Токсичные элементы находятся в количестве 0,03 и 0,009% от общего содержания минеральных компонентов в траве синюхи, заготовленной в первый и второй годы жизни растения соответственно, и 0,013% – в корневищах с корнями синюхи.

Минеральный комплекс синюхи голубой включает в себя также такой класс элементов,

как лантаноиды цериевой группы, содержание которых в траве растения составило 0,001%, в подземных органах 0,01%. Лантаноиды в малых количествах перспективны к использованию в качестве антигипертензивных, гипогликемических и гипохолестеринемических, гепатопротекторных, антикоагулянтных, противоопухолевых средств, способны влиять на ферментативную систему (Pałasz, Czekaj, 2000; Andreea Cârâc, 2017; Qize Zhang et al., 2021; Скобин и др., 2019).

Анализируя отдельные макроэлементы в корневищах с корнями синюхи, следует отметить, что в подземных органах в 11 раз выше содержание Na, в 1,5 раза Mg и в 1,2 раза P, чем в траве растения, заготовленной на втором году жизни. Однако количество K и Ca значительно ниже, чем в надземной части (на 64 и 12% соответственно). Суммарное содержание микроэлементов в корневищах с корнями синюхи голубой значительно выше, чем в траве, и составляет 21,6%.

Необходимо отметить, что как надземная, так и подземная части синюхи голубой включают в себя высокое содержание макроэлементов, особенно K (2,4 и 2,7% от массы сухого сырья для травы первого и второго года вегетации и 0,99% для подземных органов) и Ca (1,6 и 1,7% от массы сухого сырья для травы первого и второго года вегетации и 1,5% для подземных органов). Из микроэлементов преобладает Si (0,21 и 0,24% от массы сухого сырья для травы первого и второго года вегетации и 0,44% для подземных органов).

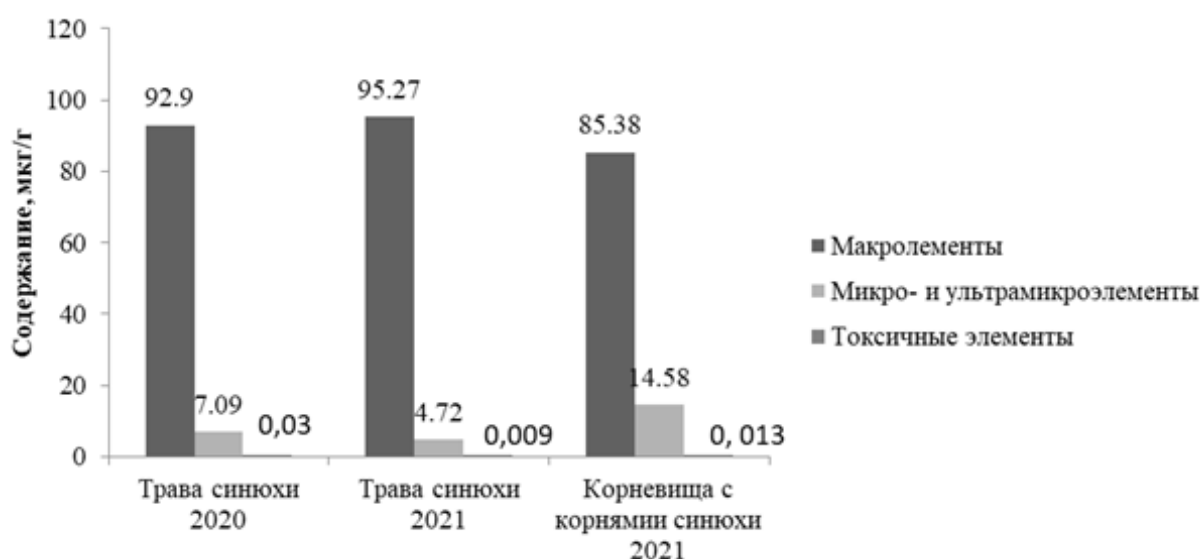


Рис. 1. Содержание макро- и микроэлементов в растительном сырье синюхи голубой

Таблица 1. Элементный состав травы и корневищ с корнями синюхи голубой

Элемент	Растительное сырье, мкг/г			Почва, мкг/г	
	Трава	Трава	Корневища с корнями		
	2020 г.	2021 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.
<i>Макроэлементы</i>					
Натрий	122,200	126,50	1360,70	4440,0	3300,0
Магний	2181,50	2309,30	2903,20	5600,0	6300,0
Фосфор	5600,60	6267,50	7478,70	780,0	840,0
Калий	24544,80	27947,10	9977,20	16700,0	14100,0
Кальций	16097,20	17228,0	15043,10	15300,0	18200,0
<i>Микро – и ультрамикроэлементы</i>					
Кремний*	2759,0	1567,0	4440,00	347000,0	263000,0
Алюминий	432,10	483,40	3497,90	46200,0	38800,0
Железо*	326,200	349,00	2472,80	29300,0	27800,0
Стронций	62,580	59,280	95,510	95,000	75,800
Марганец*	39,100	42,900	107,600	583,00	630,00
Цинк*	30,100	34,440	98,060	83,000	76,000
Титан	22,500	23,400	171,200	3290,0	3340,0
Барий	11,540	11,660	40,250	380,0	290,0
Рубидий	7,800	8,070	11,540	87,000	77,000
Хром*	3,200	3,670	7,690	64,000	45,000
Медь*	3,160	3,620	11,780	29,000	30,000
Ванадий*	3,160	3,560	10,730	67,000	66,000
Литий*	1,380	1,480	3,260	36,000	27,000
Молибден*	1,300	1,300	1,380	1,300	1,600
Никель*	0,860	0,930	4,830	37,000	43,000
Селен*	0,560	0,580	0,410	1,200	0,900
Цирконий	0,480	0,440	3,610	110,00	110,00
Олово	0,320	0,320	0,930	3,200	2,900
Кобальт*	0,290	0,290	1,400	12,000	11,500
Скандий	0,190	0,190	1,080	следы	следы
Иттрий	0,110	0,110	1,150	18,000	16,200
Галлий	0,100	0,097	1,033	13,000	14,000
Ниобий	0,050	0,050	0,450	8,200	9,800
Сурьма	0,050	0,040	0,310	0,530	0,500
Торий	0,045	0,043	0,509	8,700	8,600
Цезий	0,040	0,030	0,350	4,000	3,100
Уран	0,024	0,024	0,300	1,400	1,200
Германий	0,015	0,014	0,110	1,300	0,900
Висмут	0,010	0,010	0,030	0,140	0,100
Таллий	0,007	0,006	0,076	0,350	0,400
<i>Токсичные элементы</i>					
Свинец	1,360	1,150	5,010	16,000	17,500
Ртуть	0,0064	<0.0001	<0.0001	0,01	0,01
Мышьяк	0,300	0,440	0,480	8,800	7,400
Кадмий	0,134	0,138	0,208	0,390	0,350
<i>Лантаноиды</i>					
Лантан	0,170	0,170	1,570	27,000	23,000
Церий	0,380	0,360	3,040	65,000	60,000
Празеодим	0,040	0,040	0,390	7,400	5,900
Неодим	0,160	0,160	1,540	23,000	19,700

Примечание: * – эссенциальные микроэлементы.

Поскольку все минеральные компоненты в растениях находятся в легко усваиваемой форме (в виде комплексов с органическими соединениями и минеральных водорастворимых солей), растительное сырье синюхи голубой может быть расценено в качестве дополнительного источника элементов, необходимых для нормальной жизнедеятельности организма. Ежедневная потребность организма человека в кремнии составляет 20–30 мг в пересчете на SiO_2 . Кремний, содержащийся в растениях, образует комплексы с лигнином, входит в состав клеточных стенок (Колесников, 2001; Гинс, 2017), благодаря чему увеличивается его всасываемость (Зеленков и др., 2016). Кремний участвует в синтезе коллагена, костной ткани, укрепляет стенки капилляров, участвует в липидном обмене (Гинс, 2017), в

иммунных реакциях, входит в состав митохондрий (Колесников, 2001). Содержащийся в растении в большом количестве кальций отвечает за формирование костной ткани, эластичность мышц, здоровье кожных покровов, положительно воздействует на сердечно-сосудистую и нервную систему (Михеева, 2013). Калий отвечает за нормальное проведение электрических импульсов внутри клетки, поддержании осмотического давления, кислотно-основного и водного баланса организма (Погожева и др., 2020).

При оценке доли некоторых элементов в сумме минеральных компонентов в растительном сырье синюхи, выявлено, что в траве синюхи голубой, независимо от года вегетации, элементы присутствуют в равных долях с преобладанием К и Са (рис. 2).

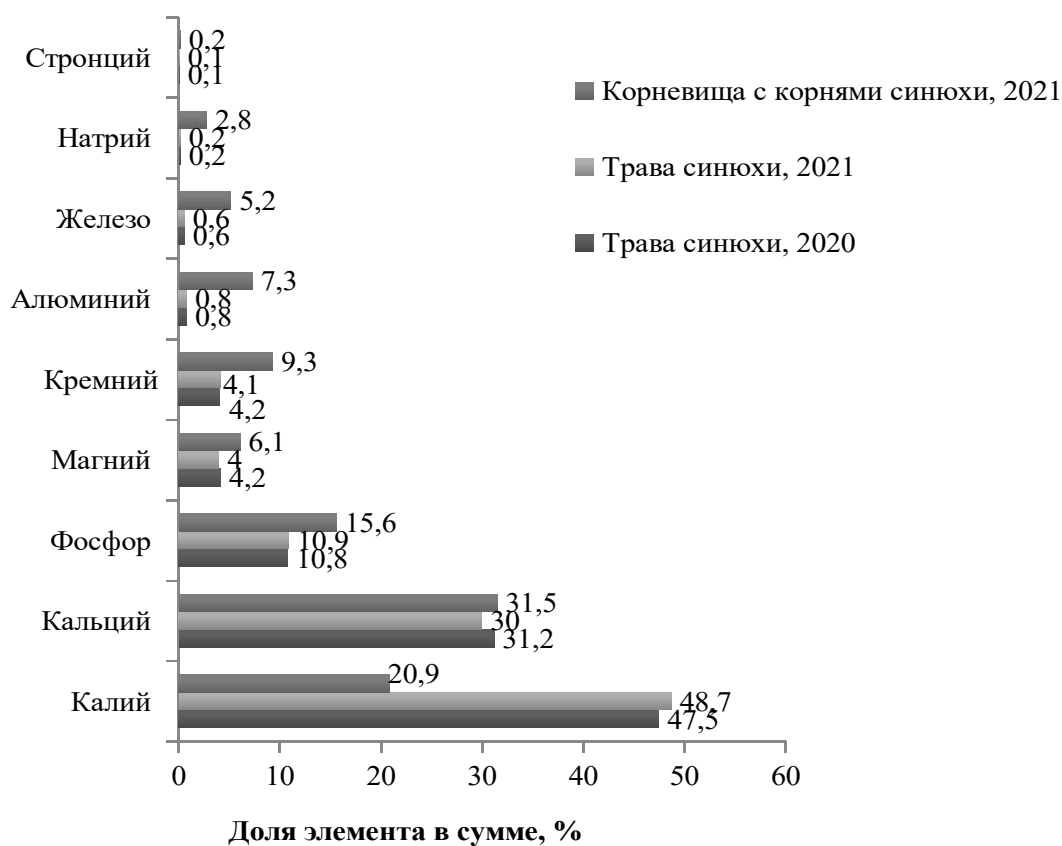


Рис. 2. Доли наиболее важных элементов в минеральном комплексе синюхи голубой

Доли Са и Sr в сумме элементов надземных и подземной части растения сходны, но на Са в корневищах с корнями синюхи приходится большая часть (20,9% от всей суммы элементов). Кроме того, в растительном сырье и почвах с места культивирования синюхи голубой обнаружены элементы, содержащиеся в количествах менее 0,001 мкг/кг (Be, Ga, Tl, W, Au, а также, принад-

лежащие к классу лантаноидов: Er, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Yb, Tm, Eu, Lu).

В результате оценки коэффициента биологического накопления элементов травой и подземными органами синюхи голубой, зависимости между содержанием элементов в растительном сырье и почвах установлено не было. Выявлено, что к элементам сильного накопления в траве

синюхи голубой относятся Р, К, Са и Нг (табл. 2). В корневищах с корнями энергично накапливается Нг, а к сильно накапливаемым элементам относятся Р, Zn и Sr. Подобное различие в накоплении ртути между подземными и надземными органами растения может быть объяснимо способностью тканей надземной части растения к поглощению паров ртути из атмосферного воздуха (Гордеева и др., 2012).

К элементам слабого накопления и среднего захвата для травы первого года заготовки относятся Mg, Cu, Zn, Se, Sr, Mo и Sb, на втором году жизни дополнительно захватываются Rb и Bi, в подземных органах – Li, Ca, K, Co, Cu, Ge, Rb, Mo, Sb, Bi, U и др.

Несмотря на то, что содержание токсичных элементов (ртути и др.) в растении находится на допустимом уровне, установленном нормативной документацией (см. табл. 1), – свинца не более 6,0 мг/кг, ртути не более 0,1 мг/кг, мышьяка не более 0,5 мг/кг, кадмия не более 1,0 мг/кг (ГФ РФ XIV, 2018), при дальнейшем культивировании растения необходимо учитывать факт способности к накоплению и захвату для данных элементов.

Анализ данных литературы по содержанию некоторых элементов, на примере подземных органов синюхи голубой, заготовленных в Брянской области (Торики, 2017), позволил установить особенности накопления элементов, аналогичные описанным в настоящей работе (табл. 3).

Таблица 2. Распределение элементов по их способности к накоплению в растительном сырье синюхи голубой

Распределение элементов по Перельману	Трава, 2020 г.	Трава, 2021 г.	Корневища с корнями, 2021 г.
Энергично накапливаемые	–	–	Hg
Сильно накапливаемые	P, K, Ca, Hg	P, K, Ca, Hg	P, Sr
Слабого накопления и среднего захвата	Mg, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo	Mg, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Bi	Li, Na, Mg, K, Ca, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, As, Se, Rb, Mo, Bi, U
Слабого захвата	Li, Na, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ge, Rb, Cd, Sn, Tl, Bi, U	Li, Na, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ge, Cd, Sn, Tl, U	Be, Al, Si, Ti, Fe, Ga, Y, Zr, Nb, Cd, Sn, La, Ce, Pr, Nd, Tl

Таблица 3. Сравнительный анализ содержания некоторых элементов в корневищах с корнями синюхи голубой, заготовленной в Воронежской и Брянской областях

Элемент	Содержание, %	
	Корневища с корнями синюхи, Воронежская область	Корневища с корнями синюхи, Брянская область (Торики, 2017)*
Натрий	1360,70	70,0
Магний	2903,20	1900,0
Фосфор	7478,70	4200,0
Калий	9977,20	19000,0
Кальций	15043,10	8100,0
Железо	2472,80	840,0
Кремний	4400,00	970,0
Алюминий	3497,90	2000,0
Стронций	95,51	62,0
Марганец	107,60	160,0
Медь	11,78	3,1
Никель	4,80	1,9
Цинк	98,06	17,0
Барий	40,25	46,0
Свинец	5,010	0,99
Ртуть	0,034	<0,05
Мышьяк	0,480	0,17
Кадмий	0,208	0,22

П р и м е ч а н и е : * – литературные данные.

Среди макроэлементов наибольшей способностью накапливаться обладают К, Са и Р, среди микроэлементов – Al, Si и Mn. Необходимо отметить, что сырье, заготовленное в Брянской области, больше накапливает К, в то время как подземные органы, собранные в Воронежской области, интенсивнее накапливают Са. Для объяснения закономерностей накопления данных элементов проведен анализ типов почв, который показал, что в Бобровском районе Воронежской области присутствует преимущественно чернозем обыкновенный, в то время как в Унечском районе Брянской области – дерново-подзолистые почвы.

Согласно единому реестру почвенных ресурсов России (Единый государственный реестр почвенных ресурсов России, 2019), в состав дерново-подзолистых почв в наибольшем количестве входят соединения кремния (около 80%), алюминия (около 10%), Fe (около 2,7%) и К (около 2,3%), в составе исследуемых образцов почвы (черноземов обыкновенных) преобладают Si (около 30%), Al (около 3,8%), железо (около 2,7%), кальций (около 1,8%) и калий (около 1,4%).

Таким образом, показано, что элементный состав синюхи голубой частично зависит от состава почв, что необходимо учитывать при заго-

товке растительного сырья и закладывании участков для культивирования растения.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования проанализирован состав элементов травы и подземных органов синюхи голубой, заготовленной в Воронежской области. Установлены различия в их количественном содержании в зависимости от морфологической части растения и года вегетации. Выявлено, что все органы растения накапливают К, Са и Si. Показано, что ни в траве, ни в корневищах с корнями синюхи голубой количества токсичных элементов не превышают ПДК, установленные действующей нормативной документацией.

Расчет коэффициентов биологического накопления показал, что в траве синюхи способны накапливаться Р, К, Са и Hg, а в корневищах с корнями – Hg, Р, Zn и Sr.

Сравнительный анализ содержания некоторых элементов в подземных органах синюхи голубой, заготовленных в Воронежской и Брянской областях, показал зависимость содержания некоторых элементов в растении от их содержания в почве, что необходимо учитывать при культивировании и заготовке растительного сырья синюхи голубой.

Конфликт интересов

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

Conflict of interest

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

ЛИТЕРАТУРА

- Атавуллаева Ш., Кароматов И.Д. Лекарственное растение синюха лазурная. Биология и интегративная медицина. 2018; 22(5): 67–72.
- Гинс В.К., Гинс М.С., Колесников М.П. Содержание кремния во фракциях растительного белка. Овощи России. 2017; 34(1): 64–66.
- Гордеева О.Н., Белоголова Г.А., Андрулайтис Л.Д. Биогеохимические особенности миграции ртути в системе «Почва – растение» Южного Прибайкалья. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2012; 3: 23–32.
- Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. 2018. Т. 4.
- Гудкова А.А., Чистякова А.С., Сливкин А.И., Сорокина А.А. Сравнительное изучение минерального комплекса травы горца почечуйного (*Polygonum persicaria* L.) и горца войлочного (*Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell). Микроэлементы в медицине. 2019; 20(1): 25–42.
- Дунилин А.Д., Тринеева О.В., Чистякова А.С., Гудкова А.А. Элементный состав каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.) цветков, произрастающего в Воронежской области. Микроэлементы в медицине. 2023; 24(3): 46–56.
- Дьякова Н.А. Особенности накопления макро- и микроэлементов в траве тысячелистника обыкновенного флоры Воронежской области. Человек и его здоровье. 2022; 2: 90–96.
- Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. 2019.
- Зеленков В.Н., Потапов В.В. Биологическая активность соединений кремния Часть 1. Природные и синтетические кремнийсодержащие соединения. Медико-биологические аспекты (обзор литературы). Вестник Российской академии естественных наук. 2016; 3–12.
- Колесников М.П. Формы кремния в растениях. Успехи биологической химии. 2001; 41: 301–332.

Колосова О.А., Тринеева О.В. Сравнительная оценка аккумуляции различных элементов из почвы сырьем валериан сомнительной и волжской, произрастающих на территории Воронежской области. Микрорэлементы в медицине. 2022; 23(1): 54–66.

Лужанин В.Г., Куркин В.А., Гравель И.В. Качество лекарственных растительных препаратов: новые аспекты и решения. Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. 2023; 13(2): 128–133.

Мальцева А.А., Брежнева Т.А., Сорокина А.А. Разработка методики хроматографического определения полимониозидов. Сорбционные и хроматографические процессы. 2014; 14(4): 684–690.

Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Пироговская Г.В., Ермолович И.Е. Перспективы использования кремниевых препаратов в сельском хозяйстве (обзор научной литературы). Почвоведение и агрохимия. 2022; 68(1). 219–234.

Михеева Л.А., Брынских Г.Т., Миронычева Т.С. Сравнительный анализ содержания кальция в кальцийсодержащих фармацевтических препаратах и биологически активных добавках. Ульяновский медико-биологический журнал. 2013; 1: 104–108.

Погожева А.В. Коденцова В.М. О рекомендуемом потреблении и обеспеченности населения калием и магнием. РМЖ. 2020; 28(3): 8–12.

Реут А.А., Денисова С.Г., Бекшенева Л.Ф., Аллаярова И.Н. Особенности накопления тяжелых металлов в некоторых представителях родов *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L. Аграрный вестник Урала. 2023; 236 (7): 93–104.

Скобин М.И., Крюков Т.В., Феофанова М.А., Рясенский С.С. ИК-спектроскопическое исследование комплексного соединения церия (III) с высокомолекулярным гепарином. Вестник ТвГУ. Серия "Химия". 2019. №4. 117–124 с.

Ториков В.Е., Мешков И.И. Особенности выращивания и элементный состав синюхи голубой (*Polemonium coeruleum* L.). Пермский аграрный вестник. 2017; 18(2): 120–125.

Шестакова Г.Ю., Гудкова А.А., Чистякова А.С. Агафонов В.А. Органические кислоты синюхи голубой. Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2021; 138: 85–89.

Andrea C. Biological and biomedical applications of the lanthanides compounds: a mini review. Proc. Rom. Acad., Series B. 2017; 19(2): 69–74.

Pałasz A., Czekaj P. Toxicological and cytophysiological aspects of lanthanides action. Acta Biochim Pol. 2000; 47(4): 1107–1114.

Zhang Q., O'Brien S., Grimm J. Biomedical Applications of Lanthanide Nanomaterials, for Imaging, Sensing and Therapy. Nanotheranostics. 2022; 6(2): 184–194.

ELEMENTAL COMPOSITION OF GRASS AND RHIZOMES WITH ROOTS OF POLEMONIUM BLUE (*POLEMONIUM CAERULEUM* L.), CULTIVATED IN THE VORONEZH REGION

A.S. Chistyakova, A.S. Bolgov, G.Yu. Shestakova, A.A. Gudkova

Voronezh State University, Universitetskaya pl., 1, Voronezh, 394006, Russian Federation

ABSTRACT. The chemical composition of all plants is represented by components of both organic and mineral origin. The mineral complex affects the human body, includes various macroelements, trace elements, ultramicroelements, as well as toxic compounds. *Polemonium caeruleum* L. has long been approved for medical use, however, to date there is no data giving a complete picture of the mineral composition of the plant.

The purpose of the study is to investigate the elemental composition of the plant material of blue cornelian fern, cultivated in the Voronezh region.

Materials and methods. The objects of the work were dried samples of the grass of *Polemonium caeruleum* L. of the first and second years of vegetation, and a sample of rhizomata cum radicibus of *Polemonium caeruleum* L. of the second year of vegetation, prepared according to the rules of collection from cultivated plants in the city of Bobrov, Voronezh region. The mineral composition of the studied objects was studied by the method of chromatography-mass spectroscopy with inductively coupled plasma.

Results. The analysis of elements of the grass and rhizomata cum radicibus of *Polemonium caeruleum* L. cultivated in the Voronezh region was carried out. The elements in the grass of *Polemonium caeruleum* L., regardless of the year of collection, are distributed as follows (in descending concentration): macroelements K>Ca>P>Mg>Na, in underground organs Ca>K>P>Mg>Na; trace elements in the grass of blue polemonium Si>Al>Fe>Sr>Mn>Zn, in underground organs Si>Al>Fe>Ti>Mn>Zn>Sr. Elements of strong accumulation in the grass of *Polemonium caeruleum* L. are P, K, Ca, Hg. In rhizomata cum radicibus, elements of strong accumulation include P, Zn, Sr. Toxic elements in the plant material of bluehead are at an acceptable level, however, with further cultivation of the plant it is necessary to take into account the fact of their ability to accumulate and capture by the plant.

Conclusions. The plant material of *Polemonium caeruleum* L. is a promising source of elements (in particular potassium, silicon, etc.) and can be recommended for diseases associated with their deficiency. The content of 58 elements

was determined by the chromatograph mass spectrometry method. Differences in the accumulation of elements depending on the morphological part of the plant, but also the year of vegetation were established.

KEYWORDS: *Polemonium caeruleum*, mineral components, elemental composition, chromato-mass spectroscopy, Perelman distribution.

For citation: Chistyakova A.S., Bolgov A.S., Shestakova G.Yu., Gudkova A.A. Elemental composition of grass and rhizomes with roots of polemonium blue (*Polemonium caeruleum* L.), cultivated in the Voronezh region. Trace elements in medicine. 2025;26(1):45–53. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-45-53

REFERENCES

- Andrea C. Biological and biomedical applications of the lanthanides compounds: a mini review. Proc. Rom. Acad., Series B. 2017; 19(2): 69–74.
- Atavullaeva Sh., Karomatov I.D. Medicinal plant *Polemonium coeruleum* L. Biologija i integrativnaja medicina. 2018; 22: 67–72. (In Russ.).
- D'jakova N.A. Features of accumulation of macro- and microelements in the grass of common yarrow of the Voronezh region flora. Chelovek i ego zdorov'e. 2022: 90–96. (In Russ.). Gosudarstvennaja farmakopeja Rossijskoj Federacii. XIV izd. 2018; 4. (In Russ.).
- Dunilin A.D., Trineeva O.V., Chistjakova A.S., Gudkova A.A. [Elemental composition of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) flowers growing in the Voronezh region]. Mikrojelementy v medicine. 2023, 24;3:46–56. (in Russ.)
- Gins V.K., Gins M.S., Kolesnikov M.P. Silicon content in plant protein fractions. Ovoshhi Rossii. 2017; 34(1): 64–66. (In Russ.).
- Gordeeva O.N., Belogolova G.A., Andrulajtis L.D. Biogeochemical features of mercury migration in the Soil-plant system of the Southern Baikal region. Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Biologija. Jekologija. 2012; 3: 23–32. (In Russ.).
- Gudkova A.A., Chistjakova A.S., Slivkin A.I., Sorokina A.A. Comparative study of the mineral complex of the herb *Polygonum persicaria* L. and *Persicaria tomentosa* (Schränk) E.P. Bicknell). Mikrojelementy v medicine. 2019, 20;1:25–42. (in Russ.).
- Kolesnikov M.P. Forms of silicon in plants. Uspehi biologicheskoi himii. 2001; 41: 301–332. (in Russ.).
- Kolosova O.A., Trineeva O.V. Comparative assessment of the accumulation of various elements from the soil by raw materials of doubtful and Volga valerian growing in the territory of the Voronezh region. Mikrojelementy v medicine. 2022; 23(1): 54–66. (In Russ.).
- Luzhanin V.G., Kurkin V.A., Gravel' I.V. The quality of herbal medicines: new aspects and solutions. Vedomosti Nauchnogo centra jekspertizy sredstv medicinskogo primeneniya Reguljatornye issledovaniya i jekspertiza lekarstvennyh sredstv. 2023; 13(2): 128–133. (In Russ.).
- Mal'ceva A.A., Brezhneva T.A., Sorokina A.A. Development of a method for chromatographic determination of polymoniosides. Sorbicionnye i hromatograficheskie process. 2014; 14: 684–690. (In Russ.).
- Matychenkov V.V., Bocharnikova E.A., Pirogovskaja G.V., Ermolovich I.E. Prospects for the use of silicon drugs in agriculture (review). Pochvovedenie i agrohimiya. 2022; 1(68): 219–234. (In Russ.).
- Miheeva L.A., Brynskih G.T., Mironycheva T.S. Comparative analysis of calcium content in calcium-containing pharmaceutical preparations and dietary supplements. Ul'janovskij mediko-biologicheskij zhurnal. 2013; 1: 104–108. (in Russ.).
- Palasz A., Czekaj P. Toxicological and cytophysiological aspects of lanthanides action. Acta Biochim Pol. 2000; 47(4): 1107–1114.
- Pogozheva A.V., Kodentsova V.M. On the recommended consumption and provision of the population with potassium and magnesium. RMZh. 2020; 28(3): 8–12. (In Russ.).
- Reut A. A., Denisova S. G., Beksheneva L. F., Allajarova I. N. [Features of accumulation of heavy metals in some representatives of the genera *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L. Agrarnyj vestnik Urala. 2023; 236(7): 93–104. (In Russ.).
- Shestakova G.Ju., Gudkova A.A., Chistjakova A.S., Agafonov V.A. Organic acids of *Polemonium coeruleum* L. Bjulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada. 2021; 138: 85–91. (In Russ.).
- Skobin M.I., Krjukov T.V., Feofanova M.A., Rjasenskij S.S. IR spectroscopic study of the complex compound of cerium (III) with high molecular weight heparin. Vestnik TvGU. Serija "Himija". 2019; 4: 117–124. (In Russ.).
- The State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV ed. 2018; 4.
- Torikov V.E., Meshkov I.I. Features of cultivation and elemental composition of blue cyanosis cornflower (*Polemonium coeruleum* L.). Permskij agrarnyj vestnik. 2017; 2(18): 120–125. (In Russ.).
- Unified State Register of Soil Resources of Russia. 2019. (In Russ.).
- Zelenkov V.N., Potapov V.V. Biological activity of silicon compounds Part 1. Natural and synthetic silicon-containing compounds. Medical and biological aspects (review). Vestnik Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. 2016; 3–12. (in Russ.).
- Zhang Q., O'Brien S., Grimm J. Biomedical Applications of Lanthanide Nanomaterials, for Imaging, Sensing and Therapy. Nanotheranostics. 2022; 6(2): 184–194.