

УДК 574.24: 615.322

https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/11

Дьякова Н.А.

## МИНЕРАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ И ВИДОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫМИ РАСТЕНИЯМИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

N.A. Dyakova

### MINERAL PROFILES AND SPECIES FEATURES OF ACCUMULATION OF ELEMENTS BY MEDICINAL PLANTS OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

**Аннотация.** Лекарственные растения широко используются как традиционной, так и в народной медицине, при этом способны накапливать не только жизненно необходимые, но и токсичные элементы. Цель работы – изучение минерального профиля и видовых особенностей аккумуляции макро- и микроэлементов лекарственными растениями заповедной зоны Воронежской области на примере трав полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.), тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) и пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.). Заготовку растительного сырья проводили в фенофазу цветения производящих растений в Воронежском государственном природном биосферном заповеднике. Параллельно с заготовкой растительного сырья были отобраны пробы почвы с верхнего горизонта (0–20 см) с места произрастания для последующего сравнительного анализа. Методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой определяли элементный состав растительных и почвенных образцов после предварительной пробоподготовки методом кислотного и микроволнового разложения. В образцах почв и растительного сырья определено 59 элементов. Все изученные растения – активные аккумуляторы фосфора, калия, цинка и меди, что подчеркнуто их жизненно необходимым значением в физиологии растений. Однако произрастая на одной и той же почве, лекарственные растения формируют различный минеральный профиль надземной части, отражающий их адаптационные стратегии. Выявленные особенности к гипераккумуляции меди полынью горькой, кобальта и никеля пустырником пятилопастным, лития тысячелистником создают специфический минеральный профиль, который может модулировать активность ферментов, участвующих в синтезе алкалоидов, терпеноидов, флавоноидов, т.е. напрямую влиять на фармакологический потенциал сырья. Проведённый анализ подчёркивает, что оценка лекарственного растительного сырья должна включать не только анализ основных биологически активных соединений, но и полный скрининг микро- и

**Abstract.** Medicinal plants are widely used in both traditional and folk medicine and are capable of accumulating not only essential but also toxic elements. The purpose of the work is to study the mineral profile and species characteristics of the accumulation of macro- and microelements by medicinal plants in the protected area of the Voronezh region using the herbs *Artemisia absinthium* L., *Achillea millefolium* L., and *Leonurus quinquelobatus* Gilib. as examples. Harvesting of plant raw materials was carried out in the phenophase of flowering plants in the Voronezh State Natural Biosphere Reserve. In parallel with the collection of plant materials, soil samples were collected from the upper horizon (0–20 cm) at the growing site for subsequent comparative analysis. Inductively coupled plasma mass spectrometry was used to determine the elemental composition of the plant and soil samples after preliminary sample preparation using acid and microwave digestion. Fifty-nine elements were identified in soil and plant material samples. All studied plants are active accumulators of phosphorus, potassium, zinc, and copper, underscoring their vital importance in plant physiology. However, even when grown in the same soil, medicinal plants develop different mineral profiles in their aboveground parts, reflecting their adaptive strategies. The identified hyperaccumulation of copper by wormwood, cobalt and nickel by motherwort, and lithium by yarrow create a specific mineral profile that can modulate the activity of enzymes involved in the synthesis of alkaloids, terpenoids, and flavonoids, thereby directly influencing the pharmacological potential of the raw materials. The analysis underscores that the evaluation of medicinal plant materials should include not only an analysis of the main biologically active compounds but also a

макроэлементного состава с учётом уникальной биогеохимической стратегии каждого вида.

**Ключевые слова:** Воронежский государственный природный биосферный заповедник, полыни горькой трава, пустырника пятилопастного трава, тысячелистника обыкновенного трава; микроэлементный состав, коэффициент биологического поглощения.

**Сведения об авторе:** Дьякова Нина Алексеевна, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия, Ninochka\_V89@mail.ru

comprehensive screening of the micro- and macroelement composition, taking into account the unique biogeochemical strategy of each species.

**Keywords:** Voronezh State Natural Biosphere Reserve, wormwood bitter grass, motherwort five-lobed grass, yarrow grass, microelement composition, biological absorption coefficient.

**About the author:** Nina A. Dyakova, Voronezh State University, Voronezh, Russia, Ninochka\_V89@mail.ru

---

Дьякова Н.А. Минеральный профиль и видовые особенности аккумуляции элементов лекарственными растениями Центрального Черноземья // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 123-135. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/11>

Dyakova, N.A. (2026). Mineral Profiles and Species Features of Accumulation of Elements by Medicinal Plants of the Central Black Earth Region. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 123-135. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/11>

---

**Введение.** Современными научными данными убедительно доказывается важное значение макро- и микроэлементов в процессе формирования фармакологической активности лекарственного растительного сырья (ЛРС) [3; 6; 19]. Установлено, что минеральные компоненты тесно сопряжены с высокомолекулярными органическими структурами растений, выполняя функции кофакторов в ферментативных системах, обеспечивая пространственную стабильность биомолекул или входя в состав активных центров физиологически активных соединений [1; 2; 14; 15]. При этом ЛРС выступает не только накопителем эссенциальных элементов, но и депо для техногенных загрязнителей, в том числе тяжелых металлов, что является критическим фактором, определяющим доброкачественность и безопасность фитопрепаратов [2; 11]. В свете вышеизложенного особую значимость приобретает региональные исследования минерального профиля ЛРС. Для лекарственных растений, произрастающих в условиях Центрально-Черноземного региона, в научной литературе представлены лишь фрагментарные сведения, ограниченные, как правило, анализом ограниченного перечня химических элементов. Это существенно затрудняет формирование комплексного представления об их минеральном профиле и не позволяет в полной мере охарактеризовать видоспецифичную накопительную способность ЛРС [8; 9].

К числу типичных представителей лекарственной флоры Центрального Черноземья, в том числе Воронежской области, обладающих широким спектром применения, относятся такие виды, как тысячелистник обыкновенный, полынь горькая и пустырник пятилопастной [13].

Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) – многолетнее травянистое растение, типичный синантропный вид с высокой экологической пластичностью [13]. Трава

тысячелистника обыкновенного известна кровоостанавливающим, противовоспалительным, бактерицидным, ранозаживляющим, спазмолитическим и желчегонным действием [23; 26]. Биологическая активность тысячелистника обусловлена сложным комплексом биологически активных соединений, включающим эфирное масло (до 0,9%), флавоноиды, сесквитерпеновые лактоны, алкалоиды, дубильные вещества, органические кислоты, витамины, а также макро- и микроэлементы [13; 15; 20; 23].

Полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.) – многолетнее травянистое растение, синантропный рудеральный вид с широким ареалом [13]. Полыни горькой трава оказывает желчегонное, спазмолитическое, противовоспалительное, гепатопротекторное, антисептическое и противопаразитарное действие [12; 21; 22]. Наиболее значимыми группами биологически активных соединений являются эфирное масло (до 0,8%), горькие сесквитерпеновые лактоны (до 0,4%), флавоноиды (до 1,8%), дубильные вещества (до 10%), фенолкарбоновые кислоты, кумарины, лигнаны, сапонины, органические кислоты, витамины группы В, С и РР. Растение также накапливает значительное количество макро- (калий, кальций, магний) и микроэлементов (цинк, медь, железо, марганец) [3; 4; 15; 16; 19].

Пустырник пятилопастной (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.) – многолетнее травянистое растение, типичный рудеральный евроазиатский вид [13]. Пустырника пятилопастного трава используется как седативное, кардиотоническое, спазмолитическое и диуретическое средство [18; 24; 25]. Фармакологическая активность пустырника обусловлена комплексом биологически активных соединений: флавоноиды (до 1,5%), иридоиды, алкалоиды (до 0,4%), дубильные вещества (до 2,5%), эфирное масло, сапонины, аскорбиновая кислота, каротиноиды. Накапливает широкий спектр макро- (калий, кальций, магний) и микроэлементов, проявляя способность к концентрации селена, молибдена, бора и никеля, что важно учитывать при заготовке сырья [9; 10].

**Цель исследования** – изучение минерального профиля и видовых особенностей аккумуляции макро- и микроэлементов лекарственными растениями заповедной зоны Воронежской области на примере трав полыни горькой, тысячелистника обыкновенного и пустырника пятилопастного.

**Материалы и методы исследования.** Заготовку ЛРС проводили в фенотазу цветения производящих растений на территории Воронежского государственного биосферного заповедника [5]. Траву срезали, затем сушили в условиях естественной тени. Параллельно отбирали пробы почвы верхнего горизонта (0–20 см) с целью последующего сравнительного анализа.

Пробоподготовку выполняли с использованием системы микроволнового разложения после обработки смесью концентрированных азотной и плавиковой кислот. Полученный после разложения раствор количественно переносили в мерную пробирку, выполняя трехкратное смывание реактора деионизованной водой (порциями по 1 мл). Для проведения анализа методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой аликвотную часть раствора разбавляли в 10 раз 0,5% раствором азотной кислоты. Определение

микроэлементного состава выполняли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «ELAN-DRC» в соответствии с методическими указаниями МУК 4.1.1483-03. Контроль правильности получаемых результатов осуществляли с помощью метода добавок [7]. Все анализы выполняли в трехкратной повторности, после чего данные подвергали статистической обработке при доверительной вероятности  $p \leq 0,05$  (t-критерий Стьюдента 4,30).

Для анализа способности ЛРС накапливать химические элементы из почвы был рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП). Расчет проводили по формуле (1):

$$\text{КБП} = C_{\text{лрс}} / C_{\text{почва}} \quad (1)$$

где:  $C_{\text{лрс}}$  – концентрация элемента в ЛРС;  $C_{\text{почва}}$  – концентрация элемента в почве [14].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Анализ, выполненный методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, позволил идентифицировать в образцах ЛРС и сопряженной почве 59 химических элементов (табл. 1). Полученные данные легли в основу распределения элементов по трем категориям: макроэлементы (концентрация которых превышает 0,1%), эссенциальные (биогенные) микроэлементы, а также токсичные и недостаточно изученные элементы [1; 14]. При сопоставлении видовых особенностей накопления установлено, что максимальное суммарное содержание изученных микро- и макроэлементов зафиксировано в траве пустыrnика пятилопастного (58,1 мг/г). Полученные результаты коррелируют с имеющимися в литературе данными о том, что наиболее высокой накопительной способностью как в отношении токсикантов, так и в отношении биогенных веществ отличаются растения, характеризующиеся развитой поверхностью листовых пластинок и наличием опушения [13].

Таблица 1

Результаты исследования минерального профиля ЛРС и почв

Элемент	Содержание элемента, мкг/г				КБП		
	<i>A. millefolium.</i>	<i>L. quinquelobatus</i>	<i>A. absinthium</i>	Почва	<i>A. millefolium</i>	<i>L. quinquelobatu</i>	<i>A. absinthium</i>
Макроэлементы							
Ca	10938 ± 856	16905 ± 996	10009 ± 741	19660 ± 838	0,56	0,86	0,51
K	14535 ± 702	30612 ± 796	25933 ± 616	10500 ± 502	1,38	2,92	2,47
Mg	2407 ± 148	4019 ± 258	1983 ± 146	4400 ± 146	0,55	0,91	0,45
Na	39 ± 1,8	56 ± 2,9	41 ± 1,1	3300 ± 79	0,01	0,02	0,01
P	2813 ± 89	4330 ± 77	4267 ± 99	730 ± 91	3,85	5,93	5,85
Эссенциальные микроэлементы							
Co	0,21 ± 0,026	0,56 ± 0,069	0,20 ± 0,025	3,3 ± 0,41	0,06	0,17	0,06
Cr	0,38 ± 0,047	0,34 ± 0,042	0,59 ± 0,073	4,2 ± 0,52	0,09	0,08	0,14
Cu	6,55 ± 0,81	6,47 ± 0,80	12,54 ± 1,56	3,1 ± 0,38	2,11	2,09	4,05
Fe	115 ± 14,3	192 ± 23,8	185,0 ± 22,9	19100 ± 1368	0,01	0,01	0,01

Li	1,644 ± 0,204	0,284 ± 0,035	0,074 ± 0,009	8,50 ± 1,05	0,19	0,03	0,01
Mn	38,3 ± 4,75	60,3 ± 7,48	45,67 ± 5,66	370,0 ± 45,9	0,10	0,16	0,12
Mo	1,15 ± 0,14	0,67 ± 0,08	0,925 ± 0,115	0,9 ± 0,11	1,32	0,77	1,06
Ni	0,86 ± 0,11	1,39 ± 0,17	1,09 ± 0,14	2,30 ± 0,29	0,37	0,60	0,47
Se	0,028 ± 0,003	0,030 ± 0,003	0,041 ± 0,004	8,5 ± 1,05	<0,01	<0,01	<0,01
Si	1623 ± 91	1499 ± 86	1262,4 ± 78	347000 ± 528	<0,01	<0,01	<0,01
V	0,58 ± 0,01	0,76 ± 0,05	0,25 ± 0,02	78,00 ± 2,67	0,01	0,01	<0,01
Zn	19,6 ± 2,4	27,0 ± 3,3	25,27 ± 3,13	12,0 ± 1,5	1,63	2,25	2,11
Токсичные и малоизученные микроэлементы							
Ag	0,073 ± 0,006	0,028 ± 0,004	0,014 ± 0,001	0,19 ± 0,01	0,38	0,15	0,07
Al	116,5 ± 8,4	191,4 ± 13,7	135,6 ± 7,8	31100 ± 856	<0,01	0,01	<0,01
As	0,210 ± 0,015	0,19 ± 0,012	0,364 ± 0,025	0,90 ± 0,07	0,23	0,21	0,40
Au	0,0013 ± 0,0001	0,0032 ± 0,0003	0,0055 ± 0,0004	0,060 ± 0,005	0,02	0,05	0,09
Ba	9,31 ± 0,85	70,3 ± 5,7	11,98 ± 0,49	290,0 ± 24,0	0,03	0,24	0,04
Be	0,008 ± 0,001	0,015 ± 0,001	0,001 ± 0,0001	2,00 ± 0,2	<0,01	0,01	<0,01
Bi	0,012 ± 0,001	0,001 ± 0,0001	0,004 ± 0,0004	0,110 ± 0,008	0,11	0,01	0,04
Cd	0,022 ± 0,002	0,034 ± 0,002	0,025 ± 0,002	0,02 ± 0,002	0,96	1,48	1,09
Ce	0,13 ± 0,01	0,18 ± 0,02	0,15 ± 0,01	38,0 ± 4,7	<0,01	<0,01	<0,01
Cs	0,022 ± 0,001	0,019 ± 0,002	0,04 ± 0,003	2,30 ± 0,12	0,01	0,01	0,02
Dy	0,011 ± 0,001	0,011 ± 0,001	0,01 ± 0,001	2,00 ± 0,13	0,01	0,01	0,01
Er	0,005 ± 0,0005	0,0069 ± 0,0005	0,005 ± 0,0004	1,20 ± 0,10	<0,01	0,01	<0,01
Eu	0,002 ± 0,0002	0,001 ± 0,0001	0,003 ± 0,0002	0,650 ± 0,045	<0,01	<0,01	<0,01
Ga	0,044 ± 0,003	0,069 ± 0,004	0,065 ± 0,005	8,80 ± 0,09	0,01	0,01	0,01
Gd	0,0102 ± 0,001	0,019 ± 0,002	0,012 ± 0,001	3,00 ± 0,17	<0,01	0,01	<0,01
Ge	0,002 ± 0,0002	0,0087 ± 0,001	0,003 ± 0,0002	1,10 ± 0,14	<0,01	0,01	<0,01
Hf	0,0077 ± 0,0006	0,015 ± 0,001	0,006 ± 0,0005	1,60 ± 0,12	<0,01	0,01	<0,01
Hg	0,0027 ± 0,0002	0,0041 ± 0,0003	0,0045 ± 0,0005	0,050 ± 0,006	0,05	0,08	0,09
Ho	0,006 ± 0,0005	0,007 ± 0,0006	0,002 ± 0,0002	0,36 ± 0,03	0,02	0,02	0,01
La	0,065 ± 0,004	0,086 ± 0,007	0,07 ± 0,007	18,00 ± 0,73	<0,01	<0,01	<0,01
Lu	0,002 ± 0,0002	0,003 ± 0,0002	0,001 ± 0,0001	0,16 ± 0,02	0,01	0,02	0,01
Nb	0,017 ± 0,001	0,029 ± 0,002	0,024 ± 0,002	6,70 ± 0,42	<0,01	<0,01	<0,01
Nd	0,08 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,061 ± 0,005	15,0 ± 1,2	0,01	0,01	<0,01
Pb	0,27 ± 0,02	0,23 ± 0,02	0,35 ± 0,03	4,0 ± 0,4	0,07	0,06	0,09
Pr	0,015 ± 0,002	0,021 ± 0,002	0,016 ± 0,002	4,10 ± 0,51	<0,01	0,01	<0,01
Rb	9,5 ± 0,67	5,68 ± 0,23	27,66 ± 2,17	63,0 ± 7,8	0,15	0,09	0,44
Sb	0,023 ± 0,002	0,031 ± 0,003	0,061 ± 0,005	0,41 ± 0,03	0,06	0,08	0,15
Sc	0,84 ± 0,05	0,92 ± 0,06	0,54 ± 0,04	50,0 ± 3,2	0,02	0,02	0,01
Sm	0,017 ± 0,001	0,047 ± 0,002	0,011 ± 0,001	3,20 ± 0,23	0,01	0,01	<0,01
Sn	0,33 ± 0,02	0,42 ± 0,03	0,46 ± 0,04	1,20 ± 0,06	0,28	0,35	0,38
Sr	81,6 ± 5,1	65,2 ± 4,1	24,9 ± 2,1	73,0 ± 5,1	1,12	0,89	0,34
Ta	0,001 ± 0,0001	0,0017 ± 0,0001	0,002 ± 0,0002	0,50 ± 0,04	<0,01	<0,01	<0,01
Tb	0,006 ± 0,0005	0,005 ± 0,0004	0,002 ± 0,0002	0,44 ± 0,04	0,01	0,01	<0,01
Te	0,061 ± 0,006	0,053 ± 0,005	0,004 ± 0,0005	0,10 ± 0,01	0,61	0,53	0,04
Th	0,016 ± 0,002	0,016 ± 0,002	0,021 ± 0,002	5,40 ± 0,47	<0,01	<0,01	<0,01
Ti	12,5 ± 1,07	19,2 ± 1,38	9,52 ± 1,02	2400 ± 198	0,01	0,01	<0,01
Tl	0,0032 ± 0,0003	0,0069 ± 0,0004	0,0016 ± 0,0002	0,230 ± 0,03	0,01	0,03	0,01
Tm	0,004 ± 0,0004	0,003 ± 0,0003	0,001 ± 0,0001	0,160 ± 0,012	0,03	0,02	0,01
U	0,0052 ± 0,0004	0,0069 ± 0,0007	0,016 ± 0,0015	1,20 ± 0,11	<0,01	0,01	0,01
W	0,0098 ± 0,0011	0,0096 ± 0,0011	0,15 ± 0,01	0,78 ± 0,07	0,01	0,01	0,19
Y	0,043 ± 0,004	0,069 ± 0,007	0,054 ± 0,004	9,90 ± 1,11	<0,01	0,01	0,01
Yb	0,005 ± 0,0004	0,005 ± 0,0004	0,005 ± 0,0004	1,10 ± 0,11	<0,01	<0,01	<0,01
Zr	0,21 ± 0,01	0,36 ± 0,03	0,26 ± 0,02	78,0 ± 9,7	<0,01	<0,01	<0,01
Всего	32771 ± 764	58066 ± 400	43979 ± 653	439370 ± 482			

Почвенный покров участков сбора образцов характеризуется достаточной обеспеченностью основными макроэлементами (калий, кальций, магний). Анализ содержания приоритетных токсичных элементов (свинец, никель, ртуть, кадмий, мышьяк) показал, что их концентрации в почве не превышают значений регионального геохимического фона, а в ряде случаев оказываются ниже его. Выявленные уровни накопления экотоксикантов позволяют сделать вывод об отсутствии выраженной техногенной нагрузки на территории заготовки сырья [8; 14].

Тысячелистник обыкновенного трава проявляет избирательную способность к концентрированию фосфора (КБП 3,85) и калия (КБП 1,38). Интенсивное накопление фосфора, по-видимому, обусловлено его ключевой ролью в энергетическом обмене (участие в составе АТФ и АДФ) и процессах биосинтеза физиологически активных соединений. Повышенное относительно почвенных концентраций содержание калия, выступающего главным осмотическим регулятором растительной клетки, является широко распространенной закономерностью для многих видов растений [2; 11]. Несмотря на значительное содержание кальция в почвенном субстрате, растение эффективно лимитирует поступление этого элемента (КБП 0,56), аналогичная картина наблюдается и для натрия (КБП 0,01). Подобное явление, вероятно, отражает адаптационные механизмы к произрастанию на почвах с умеренным содержанием данных элементов либо специфику метаболических путей, не требующих высоких концентраций этих катионов [2].

Среди эссенциальных микроэлементов трава тысячелистника характеризуется повышенным поглощением меди (КБП 2,11), цинка (КБП 1,63) и молибдена (КБП 1,32), которые выполняют кофакторную роль в ферментативных системах. Медь является структурным компонентом оксидаз, цинк входит в состав дегидрогеназ и синтаз, а молибден необходим для функционирования нитратредуктазы [2; 11]. Выявленная аккумуляция этих элементов косвенно свидетельствует о высокой интенсивности окислительно-восстановительных и биосинтетических реакций в растительном организме. Накопление фосфора, меди и цинка может быть сопряжено с проявлением таких фармакологических свойств тысячелистника, как противовоспалительное и ранозаживляющее действие [1; 17]. Примечательной физиологической особенностью исследуемого вида ЛРС является заметное накопление стронция (КБП 1,12), выступающего биохимическим аналогом кальция [2; 11]. Избирательная аккумуляция стронция на фоне сдерживания поступления кальция (КБП 0,56) может указывать на несовершенство дискриминационных механизмов транспортных систем, которые недостаточно четко дифференцируют эти двухвалентные катионы, однако при этом растение обладает эффективными путями элиминации избыточного кальция. Не исключено также наличие у стронция специфических функций в метаболизме тысячелистника.

Тысячелистник обыкновенный имеет хорошо выраженные барьерные свойства в отношении широкого спектра токсичных элементов. Для большинства тяжелых металлов, токсикантов и редкоземельных элементов (включая алюминий, хром, свинец, уран и

другие) значения КБП находятся в пределах 0,01–0,1, что подтверждает существование надежных механизмов корневой эксклюзии. Исключение составляет литий, КБП которого достигает 0,19. Известно, что литий способен модулировать нейромедиаторный обмен [1; 17], что потенциально может быть соотнесено с некоторыми аспектами нейротропного действия тысячелистника (седативный, спазмолитический эффекты).

Полыни горькой трава также обладает ярко выраженной избирательностью в процессе накопления химических элементов. Исследуемое сырье характеризуется исключительно высокой способностью к концентрации фосфора (КБП 5,85) и калия (КБП 2,47). При этом поступление кальция и натрия в растительный организм существенно ограничено (соответствующие показатели составляют 0,51 и 0,01), что типично для видов, адаптированных к произрастанию на почвах, не склонных к засолению и с умеренным содержанием кальция [2; 11].

Полынь горькая демонстрирует уникальные аккумулятивные свойства в отношении меди (КБП 4,05). Известно, что медь выступает кофактором целого ряда ключевых ферментативных систем – оксидаз, цитохромоксидазы, супероксиддисмутазы, которые принимают непосредственное участие в процессах тканевого дыхания, обезвреживании активных форм кислорода, а также в биосинтезе фенольных соединений и терпеноидов [2; 17]. Можно предположить наличие прямой корреляции между интенсивным накоплением меди и продукцией специфических вторичных метаболитов – горьких сесквитерпеновых лактонов (в частности, абсинтина и артабсина), с которыми связаны основные фармакологические эффекты полыни (стимуляция аппетита, желчегонное действие) [1; 17]. Помимо меди, трава полыни горькой активно накапливает цинк (КБП 2,11) и молибден (КБП 1,06), тогда как поглощение никеля оценивается как умеренное (КБП 0,47).

Изучение барьерных функций полыни горькой показало, что при достаточно низких значениях КБП для большинства токсичных элементов (алюминий, свинец, хром, редкоземельные металлы) растение обнаруживает повышенную аккумуляцию кадмия (КБП 1,09). Также обращает на себя внимание значительное содержание рубидия (КБП 0,44), являющегося биохимическим аналогом калия, и мышьяка (КБП 0,40), который проявляет сходство с фосфором [2; 11]. Данные факты свидетельствуют о наличии у полыни горькой мощной, но недостаточно селективной системы поглощения элементов из почвенного раствора, что можно рассматривать как важную видоспецифичную характеристику, требующую обязательного контроля при заготовке и использовании ЛРС.

Пустырника пятилопастного трава характеризуется наиболее выраженной универсальной аккумулятивной способностью в отношении широкого круга макро- и микроэлементов среди исследованных видов. Растение демонстрирует исключительно высокое поглощение фосфора (КБП 5,93) и калия (КБП 2,92), что указывает на его повышенную потребность в фосфатах, задействованных в синтезе фосфолипидных компонентов мембран, нуклеотидов и других жизненно важных соединений [2]. Содержание магния в ЛРС практически соответствует его концентрации в почве (КБП 0,91),

однако абсолютные значения достаточно велики, что обусловлено значимостью данного элемента для образования хлорофилла и функционирования магний-зависимых АТФаз [2]. Накопление кальция также находится на уровне, близком к почвенному (КБП 0,86). Примечательно, что соотношение кальция и фосфора в сырье сохраняется примерно 4:1, что сходно с другими анализируемыми видами, несмотря на существенные различия в абсолютных концентрациях элементов.

Пустырник пятилопастной активно накапливает в надземной части цинк (КБП 2,25) и медь (КБП 2,09), причем их содержание отличается высокими абсолютными значениями. Помимо этого, для растения характерны значительные коэффициенты накопления кобальта, никеля и марганца. Это свидетельствует о высокой активности ферментных комплексов, в которых данные металлы выполняют кофакторные функции (кобальт – в витамине В12, марганец – в супероксиддисмутазе и др.) [2; 11; 17]. Интенсивное поглощение фосфора, калия, магния, а также широкого спектра микроэлементов (кобальт, молибден, бор) может вносить вклад в реализацию фармакологических эффектов пустырника – кардиотонического, седативного и диуретического [1; 17].

Барьерные механизмы пустырника пятилопастного, ограничивающие поступление токсичных элементов, проявляются слабее по сравнению с тысячелистником обыкновенным и полынью горькой. Наиболее показательным в этом отношении является высокий коэффициент накопления кадмия (КБП 1,48). Растение не только не препятствует поступлению этого токсиканта, но и, вероятно, активно транспортирует его в надземные органы, задействуя системы переноса, предназначенные для физиологически близких элементов (например, цинка или кальция). Также следует отметить относительно повышенные показатели накопления ртути, бария и таллия, что требует дополнительного внимания при оценке безопасности сырья.

Таким образом, все рассматриваемые виды ЛРС – активные аккумуляторы фосфора и калия, особенно пустырника пятилопастного и полыни горькой травы, что подчёркивает критическую роль фосфора и калия в физиологии данных растений. Полыни горькой трава резко выделяется как супераккумулятор меди (КБП 4,05). У остальных растений КБП меди также высок (на уровне 2,1), что указывает на универсальную важность этого элемента для ферментативных систем.

Тысячелистника обыкновенного (в большей степени) и полыни горькой травы обладают высокой селективностью в минеральном питании. Они активно накапливают эссенциальные элементы (калий, фосфор, цинк, медь), и блокируют поступление остальных, что характеризует их метаболизм как высокоспециализированный. Пустырника пятилопастного трава характеризуется более низкой селективностью в накоплении элементов, что может быть адаптацией к нестабильным условиям или быстрому росту. Самый тревожный градиент отмечен для кадмия – от умеренного накопления (в тысячелистника обыкновенного и полыни горькой травах) к активному (в пустырника пятилопастного траве).

Выявленные особенности к гипераккумуляции меди полынью горькой, кобальта и никеля пустырником пятилопастным, лития тысячелистником создают специфический минеральный профиль, который может модулировать активность ферментов, участвующих в синтезе алкалоидов, терпеноидов, флавоноидов [1; 11; 17], т. е. напрямую влиять на фармакологический потенциал сырья. Данное предположение требует отдельного исследования и может явиться перспективным для дальнейшего изучения.

**Выводы.** Результаты исследования элементного профиля лекарственных трав Центрального Черноземья показывают, что даже растущие на одном почвенном субстрате растения используют принципиально разные стратегии минерального питания, детерминированные их генетикой и экологической нишей. Проведённый анализ подчёркивает, что оценка лекарственного растительного сырья должна включать не только анализ основных биологически активных соединений, но и полный скрининг микро- и макроэлементного состава с учётом уникальной биогеохимической стратегии каждого вида. Изученные особенности элементного профиля лекарственных трав могут служить основой для разработки стандартизованных препаратов и БАД, направленных на коррекцию элементного статуса человека.

### Литература

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатия. М.: Медицина, 1991. 496 с.
2. Афиногенов Ю.П., Бусыгина И.А., Гончаров Е.Г. Биогенные элементы и их физиологическая роль. – Воронеж: Издательский Дом ВГУ, 2008. 143 с.
3. Ботов А.Ю., Северин А.П., Яцюк В.Я., Сипливая Л.Е. Элементный состав некоторых растений семейства Asteraceae // Научные Ведомости Белгородского Государственного Университета. Серия: Медицина. Фармация. 2011. № 22-2. С. 164-166.
4. Бузук Г.Н., Эльяшевич Е.Г. Фармакогностическая характеристика полыни горькой *Artemisia absinthium* L. Обзор литературы // Вестник фармации. 2009. № 4 (46). С. 87-97.
5. Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Т. 4. М.: ФЭМБ, 2018. 1883 с.
6. Гравель И.В., Иващенко Н.В., Самылина И.А. Микроэлементный состав спазмолитического сбора и его компонентов // Фармация. 2011. № 1. С. 9-11.
7. 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. Т. 24, № 3. С. 46-56. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-3-46-56>
8. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П. Эколого-гигиеническая оценка состояния почв антропогенных экосистем Воронежской области // Известия

Калининградского государственного технического университета. 2020. № 59. С. 61-72.  
DOI:10.46845/1997-3071-2020-59-61-72

9. Дьякова Н.А. Анализ накопления тяжелых металлов и мышьяка травой *Leonurus quinquelobatus* Gilib. // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2021. № 2 (54). С. 48-56. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06>

10. Загурская Ю.В. Систематика, морфология и лекарственные свойства растения *Leonurus quinquelobatus* Gilib // Успехи современного естествознания. 2014. № 12. С. 56-59.

11. Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. 129 с.

12. Кароматов И.Д., Каххорова С.И. Лекарственное растение полынь горькая – химический состав, лечебные свойства // Биология и интегративная медицина. 2018. № 9(26). С. 84-101.

13. Куркин В.А. Фармакогнозия. Самара: Офорт, 2004. 1179 с.

14. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999. 610 с.

15. Попов А.И. Элементный состав надземной части *Achillea millefolium* L. // Растительные ресурсы. 1993. Т. 29, № 3. С. 100-105.

16. Северин А.П., Сипливая Л.Е., Яцюк В.Я. Изучение химического состава водных извлечений растений рода *Artemisia* L. // International journal of applied and fundamental research. 2011. № 3. С. 144.

17. Скальный А.В., Скальная М.Г., Киричук А.А., Тиньков А.А. Медицинская элементология. М.: Наука, 2021. 199 с.

18. Хишова О.М., Голяк Ю.А. Фармакологическое действие и применение в медицине пустырника // Вестник фармации. 2003. № 4. С. 54-56.

19. Чибрик Т.С. Изменчивость микроэлементного состава *Artemisia absinthium* L. // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2014. № 11. С. 106-113.

20. Шаталина Н.В., Первышина Г.Г., Ефремов А.А., Гордиенко Г.П., Агафонова Е.А., Гончаров Д.В. Содержание некоторых биологически активных веществ в траве тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium*), произрастающего в Красноярском крае // Химия растительного сырья. 2002. № 3. С. 13-16.

21. Beshay E.V.N. Therapeutic efficacy of *Artemisia absinthium* against *Hymenolepis nana*: in vitro and in vivo studies in comparison with the anthelmintic praziquantel // Journal of Helminthology. 2018. Vol. 92, № 3. P. 298-308. <https://doi.org/10.1017/S0022149X17000529>

22. Bora K.S., Sharma A. Neuroprotective effect of *Artemisia absinthium* L. on focal ischemia and reperfusion-induced cerebral injury // Journal of Ethnopharmacology. 2010. Vol. 129, № 3. P. 403-409. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.04.015>

23. Falconieri D., Piras A., Porcedda S., Marongiu B., et al. Chemical composition and biological activity of the volatile extracts of *Achillea millefolium* // Natural Product Communications. 2011. Vol. 6, No. 10. P. 1527-1530. <https://doi.org/10.1177/1934578X1100601034>

24. Marciniuk P., Gawrońska B., Marciniuk J., Joachimiak A.J. Taxonomic individuality of *Leonurus cardiaca* and *Leonurus quinquelobatus* in view of morphological and molecular studies // *Plant Systematics and Evolution*. 2014. Vol. 300, № 2. P. 255-261. <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0878-6>

25. Rącz G., Rącz-Kotilla E. Sedative and antihypertensive activity of *Leonurus quinquelobatus* // *Planta Medica*. 1989. Vol. 55, № 1. P. 97. <https://doi.org/10.1055/s-2006-961847>

26. Saeidnia S., Gohari A.R., Mokhber-Dezfuli N., Kiuchi F. A review on phytochemistry and medicinal properties of the genus *Achillea* // *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*. – 2011. Vol. 19, № 3. P. 173-186. <https://doi.org/10.1007/s00000-011-0123>

### References

1. Avtsyn, A.P., Zhavoronkov, A.A., Rish, M.A., & Strochkova, L.S. (1991). *Mikroelementozy cheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatiya* [Human microelementoses: etiology, classification, organopathy]. Moscow: Meditsina. (in Russ.).

2. Afinogenov, Yu.P., Busygina, I.A., & Goncharov, E.G. (2008). *Biogennye elementy i ikh fiziologicheskaya rol'*. Voronezh: Izdatel'skii Dom VGU. (in Russ.).

3. Botov, A.Yu., Severin, A.P., Yatsyuk, V.Ya., & Siplivaya, L.E. (2011). Elementnyi sostav nekotorykh rastenii semeistva Asteraceae. *Nauchnye Vedomosti Belgorodskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*, (22-2), 164-166. (in Russ.).

4. Buzuk, G.N., & El'yashevich, E.G. (2009). Farmakognosticheskaya kharakteristika polyni gor'koi *Artemisia absinthium* L. Obzor literatury. *Vestnik farmatsii*, (4), 87-97. (in Russ.)

5. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiiskoi Federatsii. Izdanie XIV*. T. 4. (2018). Moscow: FEMB. (in Russ.).

6. Gravel', I.V., Ivashchenko, N.V., & Samylina, I.A. (2011). Mikroelementnyi sostav spazmoliticheskogo sbora i ego komponentov. *Farmatsiya*, (1), 9-11. (in Russ.).

7. Dunilin, A.D., Trineeva, O.V., Chistyakova, A.S., & Gudkova, A.A. (2023). Elementnyi sostav kashtana konskogo (*Aesculus hippocastanum* L.) tsvetkov, proizrastayushchego v Voronezhskoi oblasti. *Mikroelementy v meditsine*, 24(3), 46-56. (in Russ.). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-3-46-56>

8. D'yakova, N.A., Slivkin, A.I., & Gaponov, S.P. (2020). Ekologo-gigienicheskaya otsenka sostoyaniya pochv antropogennykh ekosistem Voronezhskoi oblasti. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, (59), 61-72. (in Russ.). <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2020-59-61-72>

9. D'yakova, N.A. (2021). Analiz nakopleniya tyazhelykh metallov i mysh'yaka travoi *Leonurus quinquelobatus* Gilib. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta*, (2), 48-56. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06>

10. Zagurskaya, Yu.V. (2014). Sistematika, morfologiya i lekarstvennye svoistva rasteniya *Leonurus quinquelobatus* Gilib. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, (12), 56-59. (in Russ.).

11. П'ин, V.B. (1985). *Elementarnyi khimicheskii sostav rastenii*. Novosibirsk: Nauka. (in Russ.).
12. Karomatov, I.D., & Kakhkhorova, S.I. (2018). Lekarstvennoe rastenie polyn' gor'kaya – khimicheskii sostav, lechebnye svoistva. *Biologiya i integrativnaya meditsina*, (9), 84-101. (in Russ.).
13. Kurkin, V.A. (2004). *Farmakognoziya*. Samara: Ofort. (in Russ.).
14. Perel'man, A.I., & Kasimov, N.S. (1999). *Geokhimiya landshafta*. Moscow: MGU. (in Russ.).
15. Popov, A.I. (1993). Elementnyi sostav nadzemnoi chasti *Achillea millefolium* L.. *Rastitel'nye resursy*, 29(3), 100-105. (in Russ.).
16. Severin, A.P., Siplivaya, L.E., & Yatsyuk, V.Ya. (2011). Izuchenie khimicheskogo sostava vodnykh izvlechenii rastenii roda *Artemisia* L. *International journal of applied and fundamental research*, (3), 144. (in Russ.).
17. Skal'nyi, A.V., Skal'naya, M.G., Kirichuk, A.A., & Tin'kov, A.A. (2021). *Meditsinskaya elementologiya*. Moscow: Nauka. (in Russ.).
18. Khishova, O.M., & Golyak, Yu.A. (2003). Farmakologicheskoe deistvie i primenenie v meditsine pustyrnika. *Vestnik farmatsii*, (4), 54-56. (in Russ.).
19. Chibrik, T.S. (2014). Izmenchivost' mikroelementnogo sostava *Artemisia absinthium* L. *Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana*, (11), 106-113. (in Russ.).
20. Shatalina, N.V., Pervyshina, G.G., Efremov, A.A., Gordienko, G.P., Agafonova, E.A., & Goncharov, D.V. (2002). Soderzhanie nekotorykh biologicheskii aktivnykh veshchestv v trave tysyachelistnika obyknovennogo (*Achillea millefolium*), proizrastayushchego v Krasnoyarskom krae. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, (3), 13-16. (in Russ.).
21. Beshay, E.V.N. (2018). Therapeutic efficacy of *Artemisia absinthium* against *Hymenolepis nana*: in vitro and in vivo studies in comparison with the anthelmintic praziquantel. *Journal of Helminthology*, 92(3), 298-308. <https://doi.org/10.1017/S0022149X17000529>
22. Bora, K.S., & Sharma, A. (2010). Neuroprotective effect of *Artemisia absinthium* L. on focal ischemia and reperfusion-induced cerebral injury. *Journal of Ethnopharmacology*, 129(3), 403-409. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.04.015>
23. Falconieri, D., Piras, A., Porcedda, S., Marongiu, B., et al. (2011). Chemical composition and biological activity of the volatile extracts of *Achillea millefolium*. *Natural Product Communications*, 6(10), 1527-1530. <https://doi.org/10.1177/1934578X1100601034>
24. Marciniuk, P., Gawrońska, B., Marciniuk, J., & Joachimiak, A. J. (2014). Taxonomic individuality of *Leonurus cardiaca* and *Leonurus quinquelobatus* in view of morphological and molecular studies. *Plant Systematics and Evolution*, 300(2), 255-261. <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0878-6>
25. Rącz, G., & Rącz-Kotilla, E. (1989). Sedative and antihypertensive activity of *Leonurus quinquelobatus*. *Planta Medica*, 55(1), 97. <https://doi.org/10.1055/s-2006-961847>

26. Saeidnia, S., Gohari, A.R., Mokhber-Dezfuli, N., & Kiuchi, F. (2011). A review on phytochemistry and medicinal properties of the genus *Achillea*. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 19(3), 173-186. <https://doi.org/10.1007/s00000-011-0123>

дата поступления: 21.02.2026

дата принятия: 03.06.2026

© Дьякова Н.А., 2026