

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО ПРОФИЛЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ТРАВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

© Дьякова Н.А.

Воронежский государственный университет (ВГУ)

Россия, 394018, Воронежская область, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1

Современные исследования подтверждают фундаментальную роль макро- и микроэлементов в формировании биологической активности лекарственных растений. Лекарственные растения, такие как горец птичий (*Polygonum aviculare* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), пустырник пятилопастной (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.), широко используются как в традиционной, так и в народной медицине, при этом способны накапливать как жизненно необходимые, так и токсичные элементы.

Цель – провести сравнительный элементный анализ лекарственных трав, заготовленных в природном фитоценозе Воронежской области.

Материалы и методы. Травы растений заготовлены в фенофазу цветения на территории Воронежского государственного биосферного заповедника (экологически чистая зона). Параллельно с заготовкой трав были отобраны пробы почвы с верхнего горизонта (0–20 см). Методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «ELAN-DRC» в соответствии с методическими указаниями МУК 4.1.1483-03 определяли элементный состав лекарственных трав и почвы после предварительной пробоподготовки методом кислотного и микроволнового разложения.

Результаты. Количественно определено 59 элементов. Все изученные растения – активные аккумуляторы фосфора, калия, цинка и меди, что подчеркнуто их жизненно необходимым значением в физиологии растений. Тысячелистника обыкновенного и полыни горькой травы обладают высокой селективностью в минеральном питании – активно накапливают эссенциальные элементы и блокируют поступление остальных, что характеризует их метаболизм как высокоспециализированный. Горца птичьего и пустырника пятилопастного травы характеризуются более низкой селективностью в накоплении элементов, поглощают элементы более широким фронтом, что может быть адаптацией к нестабильным условиям или быстрому росту. 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.

Заключение. Проведенные исследования подтверждают богатый и безопасный макро- и микроэлементный профиль лекарственных трав естественного фитоценоза Центрального Черноземья. Однако, произрастая на одной и той же почве, лекарственные растения формируют абсолютно различный элементный состав надземной части, отражающий их адаптационные стратегии и потенциальные возможности для использования в медицине и нутрициологии.

Ключевые слова: полыни горькой трава; горца птичьего трава; пустырника пятилопастного трава; тысячелистника обыкновенного трава; микроэлементы; макроэлементы; коэффициенты биологического поглощения.

Дьякова Нина Алексеевна – д-р фарм. наук, доцент, доцент кафедры фармацевтической технологии, ВГУ, г. Воронеж. ORCID iD: 0000-0002-0766-3881. E-mail: Ninochka_V89@mail.ru

Современные исследования подтверждают фундаментальную роль макро- и микроэлементов в формировании биологической активности лекарственного растительного сырья (ЛРС) [1]. Эти элементы находятся в тесной связи с высокомолекулярными органическими соединениями, выступая кофакторами ферментов, стабилизаторами структуры или активными центрами биологически активных веществ (БАВ) [2]. Такая органо-минеральная форма способствует их высокой биодоступности и усвояемости в организме человека по сравнению с неорганическими солями, что усиливает фармакологический эффект суммарных растительных препаратов [3].

Однако, наряду с эссенциальными элементами, растения способны аккумулировать и поллютанты антропогенного происхождения, в частности, токсичные тяжелые металлы, что

напрямую влияет на качество и безопасность сырья [4, 5]. В контексте этих данных особую актуальность приобретает изучение элементного состава аборигенной флоры отдельных регионов. Так, для лекарственных растений Центрального Черноземья, в частности, Воронежской области, характерен существенный пробел в исследованиях. Имеющиеся единичные работы, как правило, ограничиваются анализом узкого набора элементов, что не позволяет составить целостную картину их минерального профиля, выявить видовые особенности аккумуляции и оценить ресурсный потенциал лекарственной флоры [6–8].

Одними из характерных представителей лекарственной флоры Воронежской области, сырье которого широко заготавливается как в промышленных целях, так и населением

для личного пользования, являются горец птичий (*Polygonum aviculare* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), пустырник пятилопастной (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.) [9].

Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) – многолетнее травянистое растение, типичный синантропный вид с высокой экологической пластичностью. На территории России он встречается повсеместно, за исключением крайних северных районов и засушливых степей. Растение неприхотливо к почвенным условиям, устойчиво к засухе и может произрастать на бедных субстратах [9]. Трава тысячелистника обыкновенного известна кровоостанавливающим, противовоспалительным, бактерицидным, ранозаживляющим, спазмолитическим и желчегонным действием [10-15]. 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 [16-22].

Горец птичий (*Polygonum aviculare* L.) – однолетнее травянистое растение, синантропный вид евроазиатского происхождения, горец птичий демонстрирует высокую экологическую пластичность. Широко распространен в умеренных зонах Евразии и Северной Америки, исключительно устойчив к неблагоприятным условиям: засухе, уплотнению и засолению почв, механическому вытаптыванию [9]. Горца птичьего трава – ценное ЛРС, имеющее диуретическое, противовоспалительное, спазмолитическое, кровоостанавливающее, гипотензивное, гастропротекторное и антимикробное действие. Основную фармакологическую ценность определяет высокое содержание флавоноидов (до 9,5%), дубильных веществ, фенолкарбоновых кислот, триосиоктадиеновых кислот, каротиноидов. Горца птичьего трава богата водорастворимыми соединениями кремния, а также рядом других макро- и микроэлементов (калий, цинк, медь, марганец и др.) [10, 11, 23-25].

Полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.) – многолетнее травянистое растение, синантропный рудеральный вид с широким ареалом. На территории России она распространена почти повсеместно в европейской части и Западной Сибири. Часто встречается на нарушенных местообитаниях: залежах, пустырях, вдоль дорог, формируя доминирующие сообщества на отвалах и карьерах [9]. Полынь горькой трава оказывает желчегонное, спазмолитическое, противовоспалительное, гепатопротекторное, антисептическое и противопаразитарное действие. 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) [10, 11, 26-30].

Пустырник пятилопастной (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.) – многолетнее травянистое растение, типичный рудеральный евроазиатский вид, пустырник распространен на большей части Европы, в Сибири и на Кавказе, активно колонизирует антропогенные местообитания: пустыри, обочины дорог, береговые склоны и залежные земли, предпочитая богатые азотом почвы [9]. Пустырника пятилопастного трава используется как седативное, кардиотоническое, спазмолитическое, противовоспалительное и диуретическое средство. 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. Растение также накапливает широкий спектр макро- (калий, кальций, магний) и микроэлементов, проявляя способность к концентрации селена, молибдена, бора и никеля, что важно учитывать при заготовке сырья [10, 11, 31-35].

Цель исследования – сравнительный элементный анализ лекарственных трав, заготовленных в природном фитоценозе Воронежской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования использовали горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.), тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), полынь горькой (*Artemisia absinthium* L.), пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.) траву. Заготовку ЛРС проводили в фазу цветения производящих растений на территории Воронежского государственного биосферного заповедника [11]. Травы срезали, затем сушили в условиях естественной тени. Параллельно отбирали пробы почвы верхнего горизонта (0-20 см) с целью последующего сравнительного анализа.

Отобранные образцы ЛРС и почвы подвергали кислотному разложению для перевода элементов в растворенную форму. Навеску образца помещали во фторопластовый реактор, куда добавляли 5 мл смеси концентрированных азотной (HNO₃) и плавиковой (HF) кислот. Про-

боподготовку выполняли с использованием системы микроволнового разложения, по программе, рекомендованной производителем оборудования. Полученный после разложения раствор количественно переносили в мерную пробирку на 15 мл, выполняя трехкратное смывание реактора деионизованной водой (порциями по 1 мл). Объем полученного раствора доводили до 10 мл той же водой. Для проведения анализа методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой аликвотную часть раствора (1 мл) 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. Для построения калибровочных графиков использовали серийные многоэлементные стандартные растворы («Perkin-Elmer»). Контроль правильности получаемых результатов осуществляли с помощью метода добавок [6, 7]. Все анализы выполняли в трехкратной повторности, после чего данные подвергали статистической обработке при доверительной вероятности $p \leq 0,05$.

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

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

где:

$C_{\text{ЛРС}}$ – концентрация элемента в ЛРС;
 $C_{\text{почва}}$ – концентрация элемента в почве [7, 8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой позволило определить в ЛРС 59 элементов (таблица 1). Все элементы были классифицированы на три группы: макроэлементы (содержание $>0,1\%$), эссенциальные микроэлементы и токсичные/малоизученные элементы [3].

Почва в месте отбора образцов достаточно богата макроэлементами (калий, кальций, магний). При этом содержание большинства тяжелых металлов (свинец, никель, ртуть, кадмий, мышьяк) в почве находится на уровне регионального геохимического фона или ниже, что указывает на отсутствие сильного техногенного загрязнения [4, 5].

Наибольшая масса учтенных микро- и макроэлементов отмечена в пустырника пятилопастного траве (58,1 мг/г), что на 75% больше, чем в тысячелистника обыкновенного траве (32,7 мг/г), на 25% больше, чем в полыни горькой

траве (43,9 мг/г). Известно, что наибольшим средством к аккумуляции как токсичных, так и жизненно необходимых элементов обладают виды растений с соответствующими морфологическими и анатомическими особенностями органов, а именно с крупными листовыми пластинками и опушенными волосками [4], что наиболее характерно для пустырника пятилопастного травы.

Полыни горькой трава демонстрирует стратегию селективной аккумуляции элементов. Она направленно концентрирует узкий спектр критически важных элементов, проявляя сильную барьерную функцию для большинства других. Так, полыни горькой трава является мощнейшим накопителем фосфора (КБП 5,85) и калия (КБП 2,47). Это указывает на исключительно высокую потребность в этих элементах для энергетического обмена (фосфор) и осмотической регуляции (калий) [2]. При этом кальций и натрий поглощаются крайне ограниченно (КБП 0,51 и 0,01 соответственно), что характерно для видов, избегающих засоления и избытка кальция [2]. В отношении эссенциальных микроэлементов полыни горькой трава проявляется как выдающийся аккумулятор меди (КБП 4,05). Медь – кофактор ключевых ферментов (оксидаз, цитохромоксидазы, супероксиддисмутазы), участвующих в дыхании, детоксикации активных форм кислорода и, что критично, в биосинтезе фенольных соединений и терпеноидов [2, 3]. Высокое содержание меди может напрямую коррелировать с интенсивностью синтеза горьких сесквитерпеновых лактонов (абсинтина, артабсина), определяющих ее основное фармакологическое действие (желчегонное, аппетитное) [2]. Также активно полыни горькой трава накапливает цинк (КБП 2,11) и молибден (КБП 1,06), накопление никеля (КБП 0,47) оценивается как умеренное.

Полыни горькой трава обладает эффективной барьерной функцией. При низком КБП для большинства тяжелых металлов (алюминий, свинец, хром, редкоземельные элементы) она показывает относительно высокое накопление кадмия (КБП 1,09) и умеренную аккумуляцию для мышьяка (0,40). Также отмечено высокое содержание и КБП для рубидия (0,44), который часто ведет себя как аналог калия, и мышьяка (0,40), который является химическим аналогом фосфора [2]. Это говорит о мощной и неспецифичной системе поглощения данных элементов из почвы полыню горькой и является важной особенностью вида, требующей контроля.

Таблица 1

Table 1

Результаты элементного анализа ЛРС и почв

The results of the elemental analysis of medicinal plant raw materials and soils

Элемент Element	Содержание элементов, мкг/г Content, µg/g					КБП Biological absorption coefficient			
	<i>Achillea millefolium</i> L.	<i>Leonurus quinquelobatus</i> Gilib.	<i>Artemisia absinthium</i> L.	<i>Polygonum aviculare</i> L.	Почва Soil	<i>Achillea millefolium</i> L.	<i>Leonurus quinquelobatus</i> Gilib.	<i>Artemisia absinthium</i> L.	<i>Polygonum aviculare</i> L.
Макроэлементы Macroelements									
K	14535	30612	25933	21498	10500	1.38	2.92	2.47	2.05
Ca	10938	16905	10009	7029	19660	0.56	0.86	0.51	0.36
Na	39	56	41	683	3300	0.01	0.02	0.01	0.21
Mg	2407	4019	1983	3237	4400	0.55	0.91	0.45	0.74
P	2813	4330	4267	1783	730	3.85	5.93	5.85	2.44
Эссенциальные элементы Essential elements									
V	0.58	0.76	0.25	3.33	78.00	0.01	0.01	<0.01	0.04
Fe	115	192	185.0	527.5	19100	0.01	0.01	0.01	0.03
Co	0.21	0.56	0.20	0.83	3.3	0.06	0.17	0.06	0.25
Si	1623	1499	1262.4	1239.7	347000	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Li	1.644	0.284	0.074	0.578	8.50	0.19	0.03	0.01	0.07
Ni	0.86	1.39	1.09	1.91	2.30	0.37	0.60	0.47	0.83
Mn	38.3	60.3	45.67	24.78	370.0	0.10	0.16	0.12	0.07
Cu	6.55	6.47	12.54	5.02	3.1	2.11	2.09	4.05	1.62
Mo	1.15	0.67	0.925	0.552	0.9	1.32	0.77	1.06	0.63
Se	0.028	0.030	0.041	0.021	8.5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cr	0.38	0.34	0.59	1.22	4.2	0.09	0.08	0.14	0.29
Zn	19.6	27.0	25.27	25.76	12.0	1.63	2.25	2.11	2.15
Токсичные и малоизученные элементы Toxic and poorly understood elements									
Cd	0.022	0.034	0.025	0.093	0.02	0.96	1.48	1.09	4.04
As	0.210	0.19	0.364	0.08	0.90	0.23	0.21	0.40	0.09
Hg	0.0027	0.0041	0.0045	0.0027	0.050	0.05	0.08	0.09	0.05
Pb	0.27	0.23	0.35	0.28	4.0	0.07	0.06	0.09	0.07
Al	116.5	191.4	135.6	869.7	31100	<0.01	0.01	<0.01	0.03
Ba	9.31	70.3	11.98	12	290.0	0.03	0.24	0.04	0.04
Be	0.008	0.015	0.001	0.028	2.00	<0.01	0.01	<0.01	0.01
W	0.0098	0.0096	0.15	0.06	0.78	0.01	0.01	0.19	0.08
Bi	0.012	0.001	0.004	0.005	0.110	0.11	0.01	0.04	0.05
Gd	0.0102	0.019	0.012	0.071	3.00	<0.01	0.01	<0.01	0.02
Ga	0.044	0.069	0.065	0.202	8.80	0.01	0.01	0.01	0.02
Hf	0.0077	0.015	0.006	0.028	1.60	<0.01	0.01	<0.01	0.02
Ge	0.002	0.0087	0.003	0.028	1.10	<0.01	0.01	<0.01	0.03
Ho	0.006	0.007	0.002	0.009	0.36	0.02	0.02	0.01	0.03
Dy	0.011	0.011	0.01	0.049	2.00	0.01	0.01	0.01	0.02

Элемент Element	Содержание элементов, мкг/г Content, µg/g					КБП Biological absorption coefficient			
	<i>Achillea millefolium</i> L.	<i>Leonurus quinquelobatus</i> Gilib.	<i>Artemisia absinthium</i> L.	<i>Polygonum aviculare</i> L.	Почва Soil	<i>Achillea millefolium</i> L.	<i>Leonurus quinquelobatus</i> Gilib.	<i>Artemisia absinthium</i> L.	<i>Polygonum aviculare</i> L.
Eu	0.002	0.001	0.003	0.017	0.650	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
Au	0.0013	0.0032	0.0055	0.0022	0.060	0.02	0.05	0.09	0.04
Yb	0.005	0.005	0.005	0.023	1.10	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Y	0.043	0.069	0.054	0.249	9.90	<0.01	0.01	0.01	0.03
La	0.065	0.086	0.07	0.34	18.00	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Lu	0.002	0.003	0.001	0.004	0.16	0.01	0.02	0.01	0.03
Nd	0.08	0.11	0.061	0.315	15.0	0.01	0.01	<0.01	0.02
Nb	0.017	0.029	0.024	0.133	6.70	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Sn	0.33	0.42	0.46	2.149	1.20	0.28	0.35	0.38	1.79
Pr	0.015	0.021	0.016	0.083	4.10	<0.01	0.01	<0.01	0.02
Rb	9.5	5.68	27.66	7.46	63.0	0.15	0.09	0.44	0.12
Sm	0.017	0.047	0.011	0.063	3.20	0.01	0.01	<0.01	0.02
Ag	0.073	0.028	0.014	0.01	0.19	0.38	0.15	0.07	0.05
Sc	0.84	0.92	0.54	0.32	50.0	0.02	0.02	0.01	0.01
Sr	81.6	65.2	24.95	33.51	73.0	1.12	0.89	0.34	0.46
Sb	0.023	0.031	0.061	0.034	0.41	0.06	0.08	0.15	0.08
Tl	0.0032	0.0069	0.0016	0.0134	0.230	0.01	0.03	0.01	0.06
Ta	0.001	0.0017	0.002	0.014	0.50	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
Te	0.061	0.053	0.004	0.4	0.10	0.61	0.53	0.04	4.00
Tb	0.006	0.005	0.002	0.01	0.44	0.01	0.01	<0.01	0.02
Ti	12.5	19.2	9.52	55.32	2400	0.01	0.01	<0.01	0.02
Th	0.016	0.016	0.021	0.11	5.40	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Tm	0.004	0.003	0.001	0.004	0.160	0.03	0.02	0.01	0.03
U	0.0052	0.0069	0.016	0.03	1.20	<0.01	0.01	0.01	0.03
Cs	0.022	0.019	0.04	0.06	2.30	0.01	0.01	0.02	0.03
Ce	0.13	0.18	0.15	0.72	38.0	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Zr	0.21	0.36	0.257	1.231	78.0	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Er	0.005	0.0069	0.005	0.024	1.20	<0.01	0.01	<0.01	0.02
Всего Total	32771	58066	43979	37046	439370				

Тысячелистника обыкновенного трава является селективным концентратором фосфора (КБП 3,85) и калия (КБП 1,38). Высокое содержание фосфора связано с его ролью в энергетическом обмене (АТФ, АДФ) и синтезе биологически активных соединений. Накопление калия в степе-ни, превышающей почвенное содержание, ха-рактерно для большинства растений, так как он является основным осмотическим катионом [2, 3]. Тысячелистника обыкновенного трава прояв-

ляет черты кальциефобного и натриефобного растения. При высоком содержании кальция в почве растение активно ограничивает его по-ступление (КБП 0,56), так же как и натрия (КБП 0,01). Это может указывать на адаптацию к поч-вам с умеренным содержанием этих элементов или специфику физиологических процессов, не требующих их избытка [3]. Из эссенциальных микроэлементов тысячелистника обыкновенного трава избирательно аккумулирует медь

(КБП 2,11), цинк (КБП 1,63) молибден (КБП 1,32), которые являются важнейшими компонентами ферментов. Медь входит в состав оксидаз, цинк – дегидрогеназ и синтаз, молибден – нитратредуктаз [2, 3]. Их активное накопление косвенно свидетельствует о высоком уровне окислительно-восстановительных и синтетических процессов. Высокое содержание фосфора, меди, цинка может коррелировать с противовоспалительной, ранозаживляющей активностью тысячелистника обыкновенного травы [2, 3].

Обращает на себя внимание также значительное накопление тысячелистника обыкновенного травой стронция (КБП 1,12), который является биохимическим аналогом кальция [2, 3]. Накопление стронция при сдерживании кальция (КБП 0,56) – интересная физиологическая особенность тысячелистника обыкновенного травы. Вероятно, тысячелистник обыкновенный обладает транспортными системами, которые плохо различают эти ионы, но при этом имеет эффективные механизмы выведения избытка кальция. Стронций также может занимать в метаболизме растения специфическую нишу. Барьерная функция тысячелистника обыкновенного травы четко выражена. Для подавляющего большинства тяжелых, токсичных и редкоземельных элементов (алюминий, хром, свинец, уран и др.) КБП не превышает 0,01-0,1, что указывает на наличие эффективных механизмов их эксклюзии на уровне корневой системы. Однако отмечено относительно высокое накопление лития (КБП 0,19). Литий может влиять на нейромедиаторный обмен [2, 3], что, возможно, имеет связь с некоторыми аспектами фармакологического действия тысячелистника (седативный, спазмолитический эффекты).

Горец птичий представляет собой вид с умеренной аккумуляцией, но ослабленной селективностью. Он активно поглощает широкий круг элементов из почвенного раствора, демонстрируя менее избирательные механизмы поглощения. Горца птичьего трава активно накапливает калий (КБП 2,05). Поглощение фосфора (КБП 2,44) также находится на относительно высоком уровне. Интересно повышенное (почти в 20 раз относительно других лекарственных трав) накопление натрия (КБП 0,21), что может указывать на большую толерантность к этому элементу или особенности ионного баланса. Поглощение кальция также ограничено (КБП 0,36). Горца птичьего трава проявляет наиболее сбалансированный и активный захват широкого спектра микроэлементов, лидирует по аккумуляции кобальта, никеля, хрома, а также активно поглощает ванадий, железо, литий. Накопление меди также оценивается как сильное.

Горца птичьего трава демонстрирует ослабленную барьерную функцию. Является гипераккумулятором кадмия (КБП 4,04), что является критически важным фактором. Также крайне высоко накапливает теллур (КБП 4,00) и олово (КБП 1,79). Это указывает на пассивный или слабо контролируемый массовый поток элементов из почвы вместе с водой либо на наличие специфических механизмов толерантности к их высоким внутренним концентрациям. Показатели по алюминию, редкоземельным элементам, титану, цирконию также многократно (в 5-15 раз) выше, чем у полыни горькой травы, хотя КБП остаются низкими (<0,03). Таким образом, ЛРС горца птичьего категорически нельзя заготавливать вблизи промышленных зон, дорог, на загрязненных почвах из-за его чрезвычайной способности накапливать кадмий, теллур и олово. Его применение в медицине и фармации должно сопровождаться строжайшим химико-токсикологическим анализом. Накопление в тканях горца птичьего травы широкого спектра элементов, включая потенциально токсичные, может быть использовано с целью детоксикации почв.

Пустырника пятилопастного трава является мощным универсальным аккумулятором макро- и микроэлементов. Пустырника пятилопастного трава активно концентрирует фосфор (КБП 5,93) и калий (КБП 2,92). Это говорит об исключительно высокой потребности в фосфатах для синтеза фосфолипидов мембран, нуклеотидов и других соединений [2]. Накопление магния почти в равновесии с почвой (КБП 0,91) при высоком абсолютном содержании объясняется важностью элемента для биосинтеза хлорофилла и магний-зависимых АТФаз [2]. Аккумуляция кальция также находится на близком к почвенному содержанию уровне (КБП 0,86). Соотношение концентраций кальция и фосфора примерно 4:1, что близко и к другим анализируемым видам ЛРС, но при абсолютно других уровнях содержания элементов. Пустырника пятилопастного трава активно аккумулирует в траве цинк (КБП 2,25) и медь (КБП 2,09), но в больших количествах. Кроме того, пустырника пятилопастного трава демонстрирует высокие КБП для кобальта, никеля, марганца. Это указывает на активность ферментных систем, где эти элементы выступают кофакторами (например, кобальт – в витамине B12, марганец – в супероксиддисмутазе [2, 3]). Высокое накопление фосфора, калия, магния, комплекса микроэлементов (кобальт, молибден, бор) может поддерживать кардиотоническое, седативное, диуретическое действие пустырника пятилопастного травы [2].

Барьерная функция пустырника пятилопастного травы относительно ослаблена по сравне-

нию с тысячелистником обыкновенным и полынью горькой. Наиболее показательное высокое накопление кадмия (КБП 1,48), который растение не только пассивно пропускает, но и активно транспортирует его в надземную часть, возможно, используя пути переноса для физиологических аналогов (цинк, кальций). Также относительно высокими стоит считать накопление ртути, бария, таллия.

Заключение. 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. Все рассматриваемые лекарственные травы – активные аккумуляторы фосфора. Пустырника пятилопастного и полыни горькой травы – абсолютные лидеры, что подчеркивает критическую роль фосфора в энергетическом обмене данных растений. Все растения активно накапливают калий, что физиологически обусловлено его осмотической ролью. Полыни горькой трава резко выделяется как супераккумулятор меди (КБП 4,05). У остальных растений КБП меди также высок (1,6-2,1), 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. Горца птичьего трава и, в меньшей степени, пустырника пятилопастного трава характеризуются более низкой селективностью в накоплении элементов, поглощают элементы более широким фронтом, что может быть адаптацией к нестабильным условиям или быстрому росту. Их механизмы различия между полезными и токсичными аналогами (например, цинк и кадмий) работают хуже, а у горца птичьего они практически отсутствуют. Самый тревожный градиент отмечен для кадмия – от умеренного накопления (в тысячелистника обыкновенного и полыни горькой травах) к активному (в пустырника пятилопастного трава) и гипераккумуляции (в горца птичьего трава). Горец птичий требует особой осторожности как потенциально опасный источник кадмия.

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 ал-

калоидов, терпеноидов, флавоноидов, т.е. напрямую влиять на фармакологический потенциал сырья.

Проведенный анализ подчеркивает, что оценка лекарственного растительного сырья должна включать не только анализ основных биологически активных соединений, но и полный скрининг микро- и макроэлементного состава с учетом 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.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Автор заявляет об отсутствии финансирования.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Гравель И.В., Иващенко Н.В., Самылина И.А. Микроэлементный состав спазмолитического сбора и его компонентов. *Фармация*. 2011;(1):9-11 [Gravel' I.V., Ivashchenko N.V., Samylina I.A. Microelement composition of spasmolytic collection and its components. *Farmaciya*. 2011;(1):9-11 (in Russ.)]. EDN: NDCUNN.
2. Афиногенов Ю.П., Бусыгина И.А., Гончаров Е.Г. *Биогенные элементы и их физиологическая роль*. Воронеж: Издательский Дом ВГУ; 2008. 143 с. [Afinogenov Y.P., Busygina I.A., Goncharov E.G. *Biogenic elements and their physiological role*. Voronezh: Voronezh State University Publishing House; 2008. 143 p. (in Russ.)].
3. Скальный А.В., Скальная М.Г., Киричук А.А., Тиньков А.А. *Медицинская элементология*. Москва: Наука; 2021. 199 с [Skal'nyj A.V., Skal'naya M.G., Kirichuk A.A., Tin'kov A.A. *Medical elementology*. Moscow: Nauka; 2021. 199 p. (in Russ.)].
4. Dyakova N.A. Study into Peculiarities of Accumulation of Heavy Metals and Arsenic in Medicinal Plant Raw Materials of Synanthropic Flora of Voronezh Oblast. *Russian Agricultural Sciences*. 2025;51(5): 890–896. DOI: 10.3103/S1068367425701666
5. Pavlova Yu.A., Slivkin A.I., Dyakova N.A., Vervikina A.A. Study of Flavonoid Accumulation Patterns in Common Yarrow Herb of Synanthropic Flora in Rostov Oblast. *Russian Agricultural Sciences*. 2024;50(4):418–422. DOI: 10.3103/S1068367424700460
6. Dyakova N.A. Features of accumulation of macro- and trace elements by medicinal plant raw materials of Voronezh region. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2023;56(11):1471–1476. DOI: 10.1007/s11094-023-02816-1. EDN: VBVDYG.
7. Dyakova N.A. Features of extracting macroelements from medicinal plant raw materials into infusions and decoctions. *Pharmaceutical Chemistry Journal*.

- 2023;56(12):1633-1638. DOI: 10.1007/s11094-023-02838-9. EDN: MPXPVS.
8. Dyakova N.A. features of extraction of rare-earth elements from medicinal plant raw materials into infusions and decoctions. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2023;57(5):688-693. DOI: 10.1007/s11094-023-02939-5. EDN: JOCHLI.
9. Куркин В.А. *Фармакогнозия*. Самара: Офорт; 2004. 1179 с. [Kurkin VA *Pharmacognosy*. Samara: Ofort; 2004. 1179 p. (in Russ.)].
10. *Регистр лекарственных средств России*. [Registrl lekarstvennyh sredstv Rossii. (in Russ.)]. URL: <https://www.rlsnet.ru/>
11. *Государственная фармакопея Российской Федерации*. Издание XIV. Том 4. Москва: ФЭМБ; 2018. 1883 с. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. Edition XIV. Volume 4. Moscow: FEMB; 2018. 1883 p. (in Russ.)].
12. Fierascu I., Ungureanu C., Avramescu S.M., Fierascu R.C., Ortan A., Soare L.C., Paunescu A. In vitro antioxidant and antifungal properties of *Achillea millefolium* L. *Rom Biotechnol Lett*. 2015;20(4):10626-10636.
13. Benedek B., Kopp B., Melzig M.F. *Achillea millefolium* L. – is the anti-inflammatory activity mediated by protease inhibition? *J Ethnopharmacol*. 2007;113(2):312-317. DOI: 10.1016/j.jep.2007.06.014.
14. Moloudizargari M., Aghajanshakeri S., Javaherypour S., Escort M., Velzi S., Velzi S. A current update on the phytopharmacological aspects of *Achillea millefolium*. *J Pharm Biomed Sci*. 2014;4(4):310-317.
15. Georgieva L., Gadjalova A., Mihaylova D., Pavlov A. *Achillea millefolium* L. – phytochemical profile and in vitro antioxidant activity. *Int Food Res J*. 2015;22(4):1347-1352.
16. Zhao HJ, Zou Q. Protective effects of exogenous antioxidants and phenolic compounds on photosynthesis of wheat leaves under high irradiance and oxidative stress. *Photosynthetica*. 2002;40(4):523-527. DOI: 10.1023/A:10212345678.
17. Saeidnia S., Gohari A.R., Mokhber-Dezfuli N., Kiu-chi F. A review on phytochemistry and medicinal properties of the genus *Achillea*. *DARU J Pharm Sci*. 2011;19(3):173-186. DOI:10.1007/s00000-011-0123.
18. Pavlova Y.A., Slivkin A.I., Dyakova N.A., Vervikina A.A. Study of flavonoid accumulation patterns in common yarrow herb of synanthropic flora in Rostov oblast. *Russ Agric Sci*. 2024;50(4):418-422. DOI: 10.3103/S1068367424700460.
19. Falconieri D., Piras A., Porcedda S., Marongiu B., Gonçalves M.J., Cabral C., Cavaleiro C., Salgueiro L. Chemical composition and biological activity of the volatile extracts of *Achillea millefolium*. *Nat Prod Commun*. 2011;6(10):1527-1530. DOI: 10.1177/1934578X1100601030
20. Bączek K.A., Kosakowska O.L., Przybył J.L., Kuźma P., Ejdyś M., Obiedziński M., Węglarz Z. Intraspecific variability of yarrow (*Achillea millefolium* L. s.l.) in respect of developmental and chemical traits. *Herba Pol*. 2015;61(3):37-52. DOI: 10.1515/HEPO-2015-0021.
21. Dyakova N.A., Korenskaya I.M., Slivkin A.I., Gaponov S.P. Features of accumulation and qualitative composition of essential oil of common yarrow herb from Voronezh region. *Pharm Chem J*. 2022;56(9):1226-1233. DOI: 10.1007/s11094-022-02779-9. EDN: SLVGRZ.
22. Vitalini S., Beretta G., Iriti M., Orsenigo S., Basilico N., Dall'Acqua S., Iorizzi M., Fico G. Phenolic compounds from *Achillea millefolium* L. and their bioactivity. *Acta Biochim Pol*. 2011;58(2):203-209.
23. Pavlova Yu.A., Dyakova N.A., Vervikina A.A., Slivkin A.I. Features of the accumulation of flavonoids in medicinal plant raw materials of the synanthropic flora of Rostov region. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2024;58(4):666-671. DOI: 10.1007/s11094-024-03192-0. EDN: MIQMDA.
24. Талыкова Н.М., Дворникова Л.Г., Турецкова В.Ф. Изучение свободных и связанных сахаров в горца птичьего траве, произрастающего в Алтайском крае. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2022;(3):120-125. [Talykova N.M., Dvornikova L.G., Turetskova V.F. Study of free and bound sugars in knotgrass herb growing in the Altai region. *Vestn Voronezh Gos Univ Ser Khim Biol Farm*. 2022;(3):120-125. (in Russ.)]. EDN: GKQAEI.
25. Талыкова Н.М., Турецкова В.Ф., Кудрикова Л.Е. Горца птичий флоры Алтая как перспективный источник фенолоксилов. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2025;(1):100-106. [Talykova N.M., Turetskova V.F., Kudrikova L.E. Knotweed of Altai flora as a promising source of phenolic acids. *Vestn Voronezh Gos Univ Ser Khim Biol Farm*. 2025;(1):100-106. (in Russ.)]. EDN: LMJBAT.
26. Monzote L., Pinon A., Scull R., Setzer W.N. Chemistry and leishmanicidal activity of the essential oil from *Artemisia absinthium* from Cuba. *Nat Prod Commun*. 2014;9(12):1799-1804. DOI: 10.1177/1934578X1400901234.
27. Baghban Taraghdari S., Nematy M., Mazidi M., Kamgar M., Soukhtanloo M., Hosseini M., Rakhshandeh H., Norouzy A., et al. The effect of hydro-alcoholic extract of *Artemisia absinthium* on appetite in male rats. *Avicenna J Phytomed*. 2015;5(2):78-83.
28. Basiri Z., Zeraati F., Esna-Ashari F., Mohammadi F., Razzaghi K., Aragchian M., Moradkhani S. Topical Effects of *Artemisia Absinthium* Ointment and Liniment in Comparison with Piroxicam Gel in Patients with Knee Joint Osteoarthritis: A Randomized Double-Blind Controlled Trial. *Iran J Med Sci*. 2017;42(6):524-531.
29. Beshay E.V.N. Therapeutic efficacy of *Artemisia absinthium* against *Hymenolepis nana*: in vitro and in vivo studies in comparison with the anthelmintic praziquantel. *J Helminthol*. 2018;92(3):298-308. DOI: 10.1017/S0022149X17000529
30. Bora K.S., Sharma A. Neuroprotective effect of *Artemisia absinthium* L. on focal ischemia and reperfusion-induced cerebral injury. *J Ethnopharmacol*. 2010;129(3):403-409. DOI: 10.1016/j.jep.2010.04.015.
31. Marciniuk P., Gawrońska B., Marciniuk J., Joachimiak A.J. Taxonomic individuality of *Leonurus cardiaca* and *Leonurus quinquelobatus* in view of morpho-

- logical and molecular studies. *Plant Syst Evol.* 2014;300(2):255–261. DOI: 10.1007/s00606-013-0878-6.
32. Rácz G., Rácz-Kotilla E. Sedative and antihypertensive activity of *Leonurus quinquelobatus*. *Planta Med.* 1989;55(1):97. DOI:10.1055/s-2006-961847.
33. Ahmed F., Islam M.A., Rahman M.M. Antibacterial activity of *Leonurus sibiricus* aerial parts. *Fitoterapia.* 2006;77(4):316–317. DOI: 10.1016/j.fitote.2006.03.001.
34. Wojtyniak K., Szymański M., Matławska I. *Leonurus cardiaca* L. (motherwort): a review of its phytochemistry and pharmacology. *Phytother Res.* 2012;27(8):1115–1120. DOI: 10.1002/ptr.4850.
35. Ritter M., Melichar K., Strahler S., Kuchta K., Schulte J., Sartiani L., Cerbai E., Mugelli A., et al. Cardiac and electrophysiological effects of primary and refined extracts from *Leonurus cardiaca* L. (Ph.Eur.). *Planta Med.* 2010;76(6):572–582. DOI: 10.1055/s-0029-1240602.

Поступила в редакцию 29.01.2026

Подписана в печать 25.04.2026

Для цитирования: Дьякова Н.А. Сравнительный анализ элементного профиля лекарственных трав Центрального Черноземья. *Человек и его здоровье.* 2026;29(1):53–62. DOI: 10.21626/vestnik/2026-1/06. EDN: PGWSYU.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ELEMENTAL PROFILE OF MEDICINAL HERBS OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

© Dyakova N.A.

Voronezh State University (VSU)

1, Universitetskaya Pl., Voronezh, Voronezh region, 394006, Russian Federation

Modern studies confirm the fundamental role of macro- and microelements in the formation of biological activity of medicinal plants. Medicinal plants such as knotweed (*Polygonum aviculare* L.), yarrow common (*Achillea millefolium* L.), wormwood bitter (*Artemisia absinthium* L.), motherwort five-lobed (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.) are widely used as traditional, and in traditional medicine, while being able to accumulate both vital and toxic elements.

Objective – to conduct a comparative elemental analysis of medicinal herbs harvested in the natural phytocenosis of the Voronezh region.

Materials and methods. Plant herbs are harvested in the phenophase of flowering on the territory of the Voronezh State Biosphere Reserve (environmentally friendly zone). In parallel with grass harvesting, soil samples were taken from the upper horizon (0-20 cm). The elemental composition of medicinal herbs and soil after preliminary sample preparation by the method of acid and microwave decomposition was determined by the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma on the ELAN-DRC spectrometer in accordance with the methodological instructions of MUK 4.1.1483-03.

Results. 59 elements were quantified. All studied plants are active batteries of phosphorus, potassium, zinc and copper, which is emphasized by their vital importance in plant physiology. Yarrow and wormwood of bitter grass have high selectivity in mineral nutrition - they actively accumulate essential elements, and block the flow of the rest, which characterizes their metabolism as highly specialized. Highlanders of bird and motherwort five-lobed grass are characterized by lower selectivity in the accumulation of elements, absorb elements with a wider front, which can be an adaptation to unstable conditions or rapid growth. The identified features for hyperaccumulation of copper by wormwood, cobalt and nickel motherwort, five-lobed, lithium yarrow create a specific mineral profile that can modulate the activity of enzymes involved in the synthesis of alkaloids, terpenoids, flavonoids, i.e. directly affect the pharmacological potential of the raw material.

Conclusion. The studies carried out confirm the rich and safe macro- and microelement profile of medicinal herbs of natural phytocenosis of the Central Black Earth Region. However, growing on the same soil, medicinal plants form a completely different elemental composition of the aerial part, reflecting their adaptation strategies and potential opportunities for use in medicine and nutritionology.

Keywords: wormwood bitter grass; highlander bird grass; motherwort five-lobed grass; yarrow common grass; trace elements; macronutrients; biological absorption coefficients.

Dyakova Nina A. – Dr. Sci. (Pharm.), Associate Professor, Assistant Professor, Department of Pharmaceutical Technology, VSU, Voronezh, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0002-0766-3881. E-mail: Ninochka_V89@mail.ru

CONFLICT OF INTEREST

The author declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

SOURCE OF FINANCING

The author states that there is no funding for the study.

Received 29.01.2026

Accepted 25.04.2026

For citation: Dyakova N.A. Comparative analysis of elemental profile of medicinal herbs of the central Black Earth Region. *Humans and their health*. 2026;29(1):53–62. DOI: 10.21626/vestnik/2026-1/06. EDN: PGWSYU.