

УДК 615.3223

3.4.2 Фармацевтическая химия, фармакогнозия

DOI: 10.37903/vsgma.2025.3.22 EDN: MUBJFF

**ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ МИКРОЛЕМЕНТОВ В ЛЕКАРСТВЕННОМ РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ**

© Дьякова Н.А.

Воронежский государственный университет, Россия, 394006, Воронеж, Университетская площадь, 1

*Резюме*

**Цель.** Экспериментальное изучение содержания токсичных микроэлементов в дикорастущем лекарственном растительном сырье естественных экотопов Воронежской области.

**Методика.** В качестве объектов исследования использовали фармакопейные виды лекарственного растительного сырья: лопуха обыкновенного (*Arctium lappa* L.) корни, одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* F.H.Wigg) корни, подорожника большого (*Plantago major* L.) листья, крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) листья, липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.) цветки, пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) цветки, полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.) траву, пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.) траву, тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) траву, горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.) траву. Микроэлементный состав образцов изучали методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

**Результаты.** Среди определяемых токсичных элементов к сильно накапливаемым из почв в ряде видов растительного сырья отнесен кадмий. Ртуть сильно накапливается в крапиве двудомной листьях. Средний уровень биологического поглощения отмечен для свинца, висмута и бария – преимущественно в изучаемых корнях и листьях растений.

**Заключение.** Результаты исследования микроэлементного состав изучаемых видов лекарственного растительного сырья могут быть использованы в медицинской и фармацевтической практике.

**Ключевые слова:** Воронежская область, токсичные микроэлементы, алюминий, барий, бериллий, висмут, кадмий, ртуть, свинец, лекарственное растительное сырье

**PECULIARITIES OF TOXIC MICROELEMENTS ACCUMULATION IN MEDICINAL PLANT RAW MATERIALS OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION**

Dyakova N.A.

Voronezh State University, 1, University Square, 394006, Voronezh, Russia,

*Abstract*

**Objective.** The purpose of the experimental study of the content of toxic trace elements in wild-growing medicinal plant raw materials of natural ecotopes of the Voronezh region.

**Methods.** Pharmacopoeial types of herbal raw materials were used as the objects of the study: common burdock (*Arctium lappa* L.) roots, dandelion medicinal (*Taraxacum officinale* F.H.Wigg) roots, plantain large (*Plantago major* L.) leaves, nettle dioecious (*Urtica dioica* L.) leaves, heart-shaped linden (*Tilia cordata* Mill.) flowers, common tansy (*Tanacetum vulgare* L.) flowers, wormwood bitter (*Artemisia absinthium* L.) grass, motherwort five-lobed (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.) grass, common yarrow (*Achillea millefolium* L.) grass, bird highlander (*Polygonum aviculare* L.) grass. The microelement composition of the samples was studied by mass spectroscopic method after acid-microwave decomposition.

**Results.** Among the determined toxic elements, cadmium is strongly accumulated from soils in a number of types of plant raw materials. Mercury accumulates strongly in nettles of dioecious leaves. The average level of biological absorption was noted for lead, bismuth and barium - mainly in the studied roots and leaves of plants.

**Conclusion.** The results of the study of the microelement composition of the studied types of medicinal plant raw materials can be used in medical and pharmaceutical practice.

**Keywords:** Voronezh region, toxic trace elements, aluminum, barium, beryllium, bismuth, cadmium, mercury, lead, medicinal plant raw materials

## Введение

В настоящее время считаются перспективными исследования, которые направлены на поиски новых фармакологически значимых веществ растительного происхождения, их различных комбинаций, которые будут оказывать суммированный терапевтический эффект, а также включение их в новые лекарственные формы [6, 7]. Фармакологическая активность лекарственного растительного сырья (ЛРС) зависит не только от основной группы биологически активных веществ (БАВ) (таких как алкалоиды, дубильные вещества, эфирные масла, сапонины и т.д.), а также от микроэлементного качественного и количественного составов и комплексов данных элементов. Существует прямая генетическая взаимосвязь между содержанием основных БАВ и микроэлементов, так как последние являются ферментами и участвуют в биосинтезе БАВ [2, 13].

Особый интерес в этом отношении представляют микроэлементы, содержание которых в теле человека варьирует в пределах 0,001-0,00001% [4, 5]. Среди микроэлементов особую группу составляют токсичные микроэлементы, для которых установлена роль в развитии патологических состояний организма человека [9]. ЛРС и препараты на его основе могут служить важными источниками таких токсичных микроэлементов, как алюминий, барий, бериллий, висмут, кадмий, ртуть, свинец [8, 9].

Микроэлементы играют определённую роль в жизнедеятельности растений, поэтому и присутствуют в них в различных количествах. Накопление токсичных микроэлементов приводит к нарушению обмена веществ и физиологических процессов как растительного, так и человеческого организма [11, 12]. В сочетании с другими действующими веществами микроэлементы могут проявлять определённую фармакологическую активность и влиять на фармакологическое действие БАВ: повышать или понижать их всасываемость, резорбтивные свойства, быть синергистами или антагонистами, а также уменьшать или усиливать их токсическое действие [10].

Алюминий, находясь в почвенном растворе в избытке, приводит к нарушению развития корневой системы растений, деструкции листьев (скручиванию, появлению белых пятен). Выявлено отрицательное влияние алюминия на усвоение растениями железа и азота. Токсичность алюминия для человека заключается в подавлении размножения и роста клеток, прежде всего, клеток крови, соединительной и нервной тканей, нарушении выработки пищеварительных ферментов [1, 8]. Барий также способен влиять на рост растений, вызывая нарушение вегетативного развития. В растительных тканях барий подавляет активность каталазы и аскорбатпероксидазы. В организме человека барий снижает уровень сывороточного калия, блокирует пассивную проводимость калия в мышцах, вызывая невозбудимость всех видов мускулатуры и их паралич [1, 9].

Бериллий в растениях способен угнетать фосфатазы, снижать всасывание эссенциальных элементов, что обычно проявляется побурением и недоразвитием корней и листьев. Бериллий относится к доказанным мутагенам, канцерогенам, аллергенам, в организме человека подавляет работу ряда ферментов, синтез белка. Хроническое отравление бериллием вызывает развитие аутоиммунных процессов, дерматозов, эрозий слизистых органов желудочно-кишечного тракта, фиброза легких, нарушение функций сердца, почек, печени [1, 8].

Висмут также способен ингибировать ряд ферментов, снижать проницаемости биологических мембран и вызывать нарушение обмена веществ в растительном организме, что часто проявляется угнетением роста корневой системы. Висмут нейротоксичен, способен накапливаться в костях, вызывая остеопороз [1, 9].

Кадмий – один из самых токсичных элементов. Токсичность металла для растений проявляется в нарушении активности ферментов, торможении фотосинтеза, нарушении транспирации, а также ингибировании восстановления диоксида азота до его монооксида. Является антагонистом ряда эссенциальных элементов питания (магний, кальций, медь, цинк, марганец, селен). Попадая в организм человека, кадмий нарушает фосфорно-кальциевый обмен, вызывая остеопороз. Токсично действует на печень, почки, центральную нервную систему, канцероген [1, 10].

Ртуть, накапливаясь в растениях, ингибирует ряд ферментов и подавляет многочисленные метаболические процессы, включая усвоение питательных веществ и фотосинтез. Ртуть и ее органические соединения относятся к протоплазматическим ядам, высокотоксичны для выделительной и нервной систем, поражают периферическую и центральную нервную системы, что выражается в нарушениях сенсорно-моторного характера и проявляется в атаксии, нарушении походки, сокращении поля зрения, затруднении дыхания [1, 10].

Свинец тормозит рост и развитие растений преимущественно подавляя рост корней из-за нарушения деления клеток в верхушке корня. Свинец -протоплазматический яд, поражающий почти все органы и системы организма человека. Нарушает процессы синтеза гемоглобина,

обмена витаминов, снижает иммунную защита организма, стимулирует развитие парезов и параличей [1, 10].

Ведущими при формировании химического состава растений являются генетический и экологический факторы. Различные токсичных микроэлементы накапливаются во всех частях растений, однако, с разной интенсивностью. На накопление в растениях различных микроэлементов влияют содержание элемента в почве, его химическая форма, вид растения, распределение элемента по органам [2, 13].

Цель исследования – изучение содержания токсичных микроэлементов в дикорастущем лекарственном растительном сырье естественных экотопов Воронежской области.

## Методика

В качестве объектов исследования использовали фармакопейные виды ЛРС: лопуха обыкновенного (*Arctium lappa* L.) корни, одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* F.H.Wigg) корни, подорожника большого (*Plantago major* L.) листья, крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) листья, липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.) цветки, пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) цветки, полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.) траву, пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.) траву, тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) траву, горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.) траву. В исследовании представлены разные виды ЛРС, включающие в себя различные органы или группы органов растений (листья, цветки, трава, корни), от разных форм производящих растений – травянистые и древесные формы растительности [19]. Заготовку лекарственного растительного сырья осуществляли в экологически чистом месте в естественных зарослях в Воронежском государственном природном биосферном заповеднике в Рамонском районе Воронежской области. Изучаемые травы, листья и цветки заготавливали в период цветения производящих растений, корни – в начале осени. Для изучения биологического поглощения токсичных микроэлементов дикорастущим ЛРС из почвы проводили отбор проб верхних слоев почв (0-10 см от поверхности).

Из измельченного сырья отбирались образцы для анализа, которые подвергались кислотному разложению смесью кислот с использованием систем микроволновой пробоподготовки. Навеску образца помещали во фторопластовый вкладыш и добавляли 5 мл смеси азотной и плавиковой кислоты. Автоклав с пробой во вкладыше помещали в микроволновую печь и разлагали пробу, используя программу разложения, рекомендованную производителем печи. Растворенную пробу количественно переносили в пробирку объемом 15 мл, троекратно встряхивая вкладыш с крышкой с 1 мл деионизированной воды и перенося каждый смыв в пробирку, доводили объем до 10 мл деионизированной водой, закрывали и перемешивали. Автоматическим дозатором со сменным наконечником отбирали аликвотную часть 1 мл и доводили до 10 мл 0,5%-ной азотной кислотой, закрывали защитной лабораторной пленкой. Для контроля правильности определения использовался метод добавок. Рабочие стандартные растворы для этого готовили путем смешивания нескольких опорных многоэлементных стандартных растворов для масс-спектрометрии («Perkin-Elmer»), содержащие разные группы элементов.

Микроэлементный состав лекарственного растительного сырья определяли методом масс-спектро스코пии с индуктивно связанной плазмой на приборе «ELAN-DRC» на базе Новосибирского государственного медицинского университета в соответствии с МУК 4.1.1483-03 «Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой». При написании работы пользовались классификацией биологически значимых элементов по А.П. Авцыну [9]. Коэффициенты биологического поглощения рассчитывали по А.И. Перельману [2].

## Результаты исследования и их обсуждение

Общий минеральный комплекс изучаемых видов ЛРС (определено более 60 элементов) составил от 19,1 мг/г (в одуванчика лекарственного корнях) до 76,8 мг/г (в крапивы двудомной листьях) (табл. 1). Среди токсичных микроэлементов наиболее высоким содержанием отличается алюминий. Его абсолютное содержание в ЛРС составило от 14,6 мкг/г в пижмы обыкновенной цветках до 1256,6 мкг/г в подорожника большого листьях (табл. 1). При этом доля алюминия в общем минеральном комплексе растительного сырья составила от 0,03% в пижмы обыкновенной цветках до 2,35% в одуванчика лекарственного корнях и горца птичьего траве (табл. 2).

Таблица 1. Содержание токсичных микроэлементов в дикорастущем ЛРС, мкг/г

Элемент	Al	Ba	Be	Bi	Cd	Hg	Pb	Всего определено элементов
Горца птичьего трава	869,7	12,0	0,03	0,005	0,093	0,003	0,3	37046
Крапивы двудомной листья	128,4	31,2	0,01	0,008	0,012	0,063	0,4	76757
Липы сердцевидной цветки	78,8	15,3	0,01	0,002	0,002	0,001	0,1	38531
Лопуха большого корни	1036,8	38,4	0,03	0,011	0,053	0,005	0,6	48063
Одуванчика лекарственного корни	447,7	9,7	0,02	0,005	0,034	0,003	2,0	19064
Пижмы обыкновенной цветки	14,6	4,2	0,08	0,002	0,003	0,001	0,1	42252
Подорожника большого листья	1256,6	145,7	0,04	0,009	0,027	0,006	0,7	61500
Полыни горькой трава	135,6	12,0	<0,01	0,004	0,025	0,005	0,4	43979
Пустырника пятилопастного трава	191,4	70,3	0,02	0,001	0,034	0,004	0,2	58066
Тысячелистника обыкновенного трава	116,5	9,3	0,01	0,012	0,022	0,003	0,3	32771
Почва	31100,0	290,0	2,00	0,110	0,023	0,050	4,0	34184

Содержание бария в изучаемых видах сырья варьировало от 4,2 мкг/г (в пижмы обыкновенной цветках) до 145,7 мкг/г (в подорожника большого листьях), составляя соответственно от 0,01% до 0,24% общего минерального состава.

Наиболее высокий уровень накопления свинца в ЛРС естественных экотопов Центрального Черноземья отмечен в одуванчика лекарственного корнях (2,0 мкг/г), для остальных видов сырья отмечен на уровне 0,1-0,7 мкг/г. Относительный уровень содержания в минеральном комплексе ЛРС элемента в одуванчика лекарственного корнях составил 0,01%, для остальных видов сырья не превышало 0,001%.

Таблица 2. Доля токсичных микроэлементов в общем элементном комплексе ЛРС, %

Элемент	Al	Ba	Be	Bi	Cd	Hg	Pb
Горца птичьего трава	2,35	0,03	0,0001	<0,0001	0,0003	<0,0001	0,0008
Крапивы двудомной листья	0,17	0,04	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0006
Липы сердцевидной цветки	0,20	0,04	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003
Лопуха большого корни	2,16	0,08	0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0013
Одуванчика лекарственного корни	2,35	0,05	0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0102
Пижмы обыкновенной цветки	0,03	0,01	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003
Подорожника большого листья	2,04	0,24	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0010
Полыни горькой трава	0,31	0,03	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0008
Пустырника пятилопастного трава	0,33	0,12	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0004
Тысячелистника обыкновенного трава	0,36	0,03	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0008
Почва	7,08	0,07	0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0009

Наибольшее абсолютное и относительное содержание бериллия отмечено в пижмы обыкновенной цветках (0,08 мкг/г и 0,0002% соответственно), а для остальных видов изучаемого сырья не превышало 0,04 мкг/г, то есть не более 0,0001% общего минерального комплекса растительного сырья.

Кадмий в наибольшем количестве содержался в горца птичьего траве (0,093 мкг/г), а в наименьших абсолютных концентрациях накапливался в изучаемых цветках растений естественных экотопов (пижмы обыкновенной и липы сердцевидной – 0,003 и 0,002 мкг/г соответственно). Относительное содержание кадмия в минеральном комплексе растительного сырья также отличалось наибольшими значениями для горца птичьего травы – 0,0003%, а в минеральном комплексе остальных видов ЛРС доля элемента не превышала 0,0001%.

Относительное содержание ртути и висмута в минеральном комплексе изучаемого растительного сырья не превышало 0,0001%. Наиболее высокий уровень содержания ртути отмечен в крапиве двудомной листьях (0,063 мкг/г), наименьший – в пижмы обыкновенной и липы сердцевидной цветках (0,001 мкг/г). Наибольшее содержание висмута определено в тысячелистника обыкновенного трава (0,012 мкг/г) и лопуха большого корнях (0,011 мкг/г).

Для подробного изучения особенностей аккумуляции токсичных микроэлементов изучаемыми видами ЛРС из почв рассчитывались коэффициенты биологического поглощения (табл. 3) и анализировались согласно классификации А.И. Перельмана (табл. 4).

Таблица 3. Коэффициенты биологического поглощения токсичных микроэлементов изучаемыми видами ЛРС из почв

Элемент	Al	Ba	Be	Bi	Cd	Hg	Pb
Пижмы обыкновенной цветки	0,03	0,04	0,01	0,05	4,04	0,05	0,07
Горца птичьего трава	<0,01	0,11	<0,01	0,07	0,52	1,25	0,11
Крапивы двудомной листья	<0,01	0,05	<0,01	0,11	0,10	0,02	0,03
Липы сердцевидной цветки	0,03	0,13	0,01	0,10	2,30	0,10	0,15
Лопуха большого корни	0,01	0,03	0,01	0,05	1,48	0,05	0,49
Одуванчика лекарственного корни	<0,01	0,01	0,04	0,02	0,13	0,02	0,03
Подорожника большого листья	0,04	0,50	0,02	0,08	1,17	0,13	0,16
Полыни горькой трава	<0,01	0,04	<0,01	0,04	1,09	0,09	0,09
Пустырника пятилопастного трава	0,01	0,24	0,01	0,01	1,48	0,08	0,06
Тысячелистника обыкновенного трава	<0,01	0,03	<0,01	0,11	0,96	0,05	0,07

Для ряда видов ЛРС естественных экотопов Центрального Черноземья к сильно накапливаемым из почв токсичным микроэлементам следует отнести кадмий (коэффициенты биологического поглощения элемента более 1,0 для лопуха большого и одуванчика лекарственного корней, подорожника большого листьев, горца птичьего, пустырника пятилопастного и полыни горькой травы), а для остальных видов ЛРС – элементам среднего захвата. Ртуть сильно накапливается в крапиве двудомной листьях, для лопуха большого корней и подорожника большого листьев металл отнесен к элементам среднего захвата. Барий отнесен к элементам среднего захвата подорожника большого и крапивы двудомной листьями, лопуха большого корнями, пустырника пятилопастного травой; висмут – тысячелистника обыкновенного травой, лопуха большого корнями, липы сердцевидной цветками; свинец – одуванчика лекарственного и лопуха большого корнями, крапивы двудомной и подорожника большого листьями.

Таблица 4. Биологическое поглощение токсичных микроэлементов в изучаемых видах ЛРС согласно классификации по А.И. Перельману

Элементы	Сильно накапливаемые ( $n \times 10^0 - n \times 10^1$ )	Среднего захвата ( $n \times 10^{-1} - n \times 10^0$ )	Слабого захвата ( $n \times 10^{-1} - n \times 10^{-2}$ )
Горца птичьего трава	Cd	-	Al, Ba, Be, Bi, Hg, Pb
Крапивы двудомной листья	Hg	Ba, Cd, Pb	Bi
Липы сердцевидной цветки	-	Cd, Bi	Ba, Hg, Pb
Лопуха большого корни	Cd	Ba, Bi, Hg, Pb	Al, Be
Одуванчика лекарственного корни	Cd	Pb	Al, Ba, Be, Bi, Hg
Пижмы обыкновенной цветки	-	Cd	Ba, Be, Bi, Hg, Pb
Подорожника большого листья	Cd	Ba, Hg, Pb	Al, Be, Bi
Полыни горькой трава	Cd	-	Ba, Bi, Hg, Pb
Пустырника пятилопастного трава	Cd	Ba	Al, Be, Bi, Hg, Pb
Тысячелистника обыкновенного трава	-	Bi, Cd	Ba, Hg, Pb

## Заключение

Изучено содержание токсичных микроэлементов в дикорастущем лекарственном растительном сырье естественных экотопов Воронежской области. Среди определяемых токсичных элементов к сильно накапливаемым из почв в ряде видов растительного сырья отнесен кадмий. Ртуть сильно накапливается в крапиве двудомной листьях. Средний уровень биологического поглощения отмечен для свинца, висмута и бария – преимущественно в изучаемых корнях и листьях растений. Результаты исследования микроэлементного состав изучаемых видов лекарственного растительного сырья могут быть использованы в медицинской и фармацевтической практике.

## Литература (references)

1. Биогенные элементы и их физиологическая роль / Ю.П. Афиногенов, И.А. Бусыгина, Е.Г. Гончаров. – Воронеж: Издательский Дом ВГУ, 2008. – 143 с. [*Biogenny'e e'lementy' i ix fiziologicheskaya rol'*. Biogenic elements and their physiological role / Yu.P. Afinogenov, I.A. Busy'gina, E.G. Goncharov. – Voronezh: Izdatel'skiy Dom VGU, 2008. – 143 p. (in Russian)]
2. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – Москва: МГУ, 1999. – 610 с. [*Geohimiya landshafta*. Landscape geochemistry / A.I. Perel'man, N.S. Kasimov. – Moskva: MGU, 1999. – 610 p. (in Russian)]
3. Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Том 4. – М.: ФЭМБ, 2018. – 1883 с. [*Gosudarstvennaya farmakopeya Rossijskoj Federacii. Izdanie XIV, Tom 4*. State Pharmacopoeia of the Russian Federation. Edition XIV. V. 4. Moscow: FEMB, 2018. – 1883 p. (in Russian)]
4. Дьякова Н.А. Изучение минерального комплекса корней лопуха обыкновенного // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2022. – Т.21, №1. – С. 175-180. [D'yakova N.A. *Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoj medicinskoj akademii*. Bulletin of the Smolensk State Medical Academy. – 2022. – V.21, N1. – P. 175-180. (in Russian)]
5. Дьякова Н.А. Изучение минерального комплекса корней одуванчика лекарственного // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2022. – Т.21, №2. – С. 171-186. [D'yakova N.A. *Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoj medicinskoj akademii*. Bulletin of the Smolensk State Medical Academy. – 2022. – V.21, N2. – P. 171-176. (in Russian)]
6. Дьякова Н.А. Изучение особенностей накопления флавоноидов травой горца птичьего, произрастающего в различных урбо- и агробиоценозах Воронежской области // Вестник Смоленской государственной медицинской академии – 2020. – №4. – С. 158-163. [D'yakova N.A. *Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoj medicinskoj akademii*. Bulletin of the Smolensk State Medical Academy. – 2020. – N4. – P. 158-163. (in Russian)]
7. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П. Особенности накопления биологически активных веществ в корнях одуванчика лекарственного синантропной флоры Воронежской области // Вестник Смоленской государственной медицинской академии – 2020. – №4. – С. 152-157. [D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. *Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoj medicinskoj akademii*. Bulletin of the Smolensk State Medical Academy. – 2020. – N4. – P. 152-157. (in Russian)]
8. Медицинская элементология / А.В. Скальный, М.Г. Скальная, А.А. Киричук, А.А. Тиньков. – Москва: Наука, 2021. – 199 с. [*Medicinskaya e'lementologiya*. Medical elementology / A.V. Skal'ny'j, M.G. Skal'naya, A.A. Kirichuk, A.A. Tin'kov. – Moskva: Nauka, 2021. – 199 p. (in Russian)]
9. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатия / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкова. – Москва: Медицина, 1991. – 496 с. [*Mikroe'lementozy' cheloveka: e'tiologiya, klassifikaciya, organopatiya*. Human trace elements: etiology, classification, organopathy / A.P. Avcyn, A.A. Zhavoronkov, M.A. Rish, L.S. Strochkova. – Moskva: Medicina, 1991. – 496 p. (in Russian)]
10. Фармацевтическая экология / Н.А. Дьякова, С.П. Гапонов, А.И. Сливкин. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 288 с. [*Farmaceuticheskaya e'kologiya*. Pharmaceutical ecology / N.A. D'yakova, S.P. Gaponov, A.I. Slivkin. – Sankt-Peterburg : Lan', 2022. – 288 p. (in Russian)]
11. Hill C. H., Matrone G. Chemical parameters in the study of in vivo and in vitro interactions of transition elements // Federation Proceedings. – 1970. – N29(4). – P.1474-1481.
12. Li J., Assmann S.M. Mass Spectrometry. An Essential Tool in Proteome Analysis // Plant Physiology. – 2000. – N123(3). – P. 807-810.
13. Wada O., Yanagisawa H. Trace elements, with special reference to the usefulness and safety of zinc // Medicine and Drug Journal. – 1997. – N33(12). – P. 126-134.

## Информация об авторах

Дьякова Нина Алексеевна – доктор фармацевтических наук, доцент, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». E-mail: Ninochka\_V89@mail.ru

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 17.01.2025

Принята к печати 25.09.2025