

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

УДК 574.24:615.322

DOI 10.34014/2227-1848-2022-2-139-147

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ЛИСТЬЯМИ КРАПИВЫ ДВУДОМНОЙ (*URTICA DIOICA* L.)

Н.А. Дьякова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Россия

Исследования элементного состава дикорастущего сырья являются актуальными и значимыми в силу высокой эффективности и биологической доступности металлоорганических форм, содержащихся в растениях. Однако имеющиеся сведения о содержании элементов в лекарственном растительном сырье Воронежской области касаются лишь нескольких элементов, что не позволяет определить полный химический состав растений и описать специфику накопления в них всего комплекса минеральных веществ.

Цель исследования – изучение особенностей накопления макро- и микроэлементов в листьях крапивы двудомной естественного фитоценоза Воронежской области.

Материалы и методы. Заготовку сырья осуществляли в Воронежском биосферном заповеднике в период цветения растения. Микроэлементный состав образцов изучали масс-спектрометрически на приборе ELAN-DRC.

Результаты. В листьях крапивы двудомной микроэлементный комплекс составляет 7,68 % в пересчете на абсолютно сухое сырье. В листьях крапивы двудомной выявлено 59 элементов. Из них 86,87 % составляют макроэлементы, основными из которых являются калий (более 26,5 мг/г) и кальций (более 26 мг/г). Эссенциальные микроэлементы составляют 12,68 % общего минерального комплекса растения. Среди них преобладают кремний (более 9,2 мг/г) и железо (более 0,3 мг/г). Содержание нормируемых тяжелых металлов и мышьяка соответствует требованиям нормативной документации. Доля токсичных и малоизученных элементов составляет 0,45 %. Наибольшее содержание отмечено для стронция (156,78 мкг/г), алюминия (128,4 мкг/г), бария (31,16 мкг/г), рубидия (21,5 мкг/г), титана (3,26 мкг/г), олова (1,35 мкг/г). Показана высокая способность листьев крапивы двудомной к накоплению из почвы фосфора, калия, магния, кальция, молибдена, меди, цинка, ртути, стронция и олова, а также значительная возможность аккумуляции никеля, хрома, марганца, кадмия, рубидия.

Ключевые слова: крапива двудомная, микроэлементы, макроэлементы, лекарственное растительное сырье, коэффициенты накопления, Воронежская область.

Введение. В настоящее время все большее внимание уделяется изучению содержания в лекарственном растительном сырье не только биологически активных веществ органической природы, но и веществ минерального происхождения, принимающих участие в различных биохимических реакциях и оказывающих влияние на ход жизненно важных процессов в организме. Описано участие макро- и микроэлементов в потенцировании фармакологического действия лекарственных

растительных препаратов и стимуляции биосинтеза вторичных метаболитов в растительном организме [1–3]. Микроэлементы, содержащиеся в растениях, образуют с биологически активными веществами комплексы органической природы, которые эффективнее усваиваются в организме человека, чем препараты на основе неорганических соединений. При изучении элементного состава лекарственного растительного сырья (ЛРС) особый интерес представляют те элементы, которые

используются в составе комплексных фитопрепаратов и усиливают их фармакологический эффект [4–6].

Известно, что лекарственные растения содержат не только эссенциальные элементы, но и различные соединения антропогенного происхождения, среди которых наиболее распространенными являются тяжелые металлы [7–9].

Анализ литературных данных показал, что элементный комплекс лекарственных растений Центрального Черноземья изучен мало [10, 11]. Сведения о содержании элементов в ЛРС региона касаются лишь нескольких элементов, что не позволяет определить полный химический состав растений и описать специфику накопления в них, как отдельно существующей геосфере, различных элементов [12–15].

Крапива двудомная (*Urtica dioica* L.) – многолетнее, повсеместно встречающееся травянистое растение, обладающее выраженным кровоостанавливающим и поливитаминным действием и широко используемое в медицине и фармации. Его применение обусловлено богатым химическим составом листьев, в который входят каротиноиды, витамины групп В, К, С, хлорофилл, дубильные вещества, флавоноиды, большое количество органических и фенолкарбоновых кислот, а также макро- и микроэлементы [14, 16–18].

Цель исследования. Изучение особенностей накопления макро- и микроэлементов в листьях крапивы двудомной естественного фитоценоза Воронежской области.

Материалы и методы. Заготовку ЛРС осуществляли по фармакопейным правилам

[19] в Воронежском государственном заповеднике им. В.М. Пескова (Рамонский район Воронежской области) – экологически чистом месте, в естественной заросли в период цветения растения (июль 2020 г.). Листья крапивы двудомной срезали ножницами, сушили теневым способом. Также отбирали пробы почв с места произрастания объекта исследования. Образцы для анализа подвергали разложению смесью азотной и плавиковой кислот с использованием систем микроволновой пробоподготовки. Растворенную пробу количественно переносили в пробирку объемом 15 мл, троекратно встряхивая вкладыш с крышкой с 1 мл деионизированной воды и помещая 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 % азотной кислотой, закрывали защитной лабораторной пленкой. Элементный состав ЛРС определяли методом масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой на приборе ELAN-DRC (PerkinElmer Life And Analytical Sciences, США) 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». Для оценки особенностей накопления элементов из почв рассчитывали коэффициенты накопления [11, 12].

Результаты. Результаты, полученные при изучении элементного состава исследуемых образцов, приведены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Результаты исследования образцов лекарственного растительного сырья и почв

Results of sample examination of herbal substances and soils

Элемент Element	Содержание в ЛРС, мкг/г Element content in herbal substances, µg/g	Доля элемента в общей массе минерального комплекса, % Element proportion in total mass of mineral complex, %	Содержание в почве, мкг/г Element content in soil, µg/g	Коэффициент накопления элемента в ЛРС Element accumulation factor in herbal substances, %
Макроэлементы Macroelement				
Калий Potassium	26 565	34,61	10 500	2,53

Элемент Element	Содержание в ЛРС, мкг/г Element content in herbal substances, µg/g	Доля элемента в общей массе минеральног о комплекса, % Element proportion in total mass of mineral complex, %	Содержание в почве, мкг/г Element content in soil, µg/g	Коэффициент накопления элемента в ЛРС Element accumulation factor in herbal substances, %
Кальций Calcium	26 089,5	33,99	19 660	1,33
Натрий Sodium	105,9	0,14	3300	0,03
Магний Magnesium	9227,3	12,02	4400	2,10
Фосфор Phosphorus	4690,6	6,11	730	6,43
Всего Total	66 678,3	86,87	38 590	-
Эссенциальные микроэлементы Essential trace elements				
Ванадий Vanadium	0,54	0,00070	78	0,01
Железо Iron	329,6	0,42941	19 100	0,02
Кобальт Cobalt	0,22	0,00029	3,3	0,07
Кремний Silicon	9278,7	12,08838	347 000	0,03
Литий Lithium	0,071	0,00009	8,5	0,01
Никель Nickel	1,68	0,00219	2,3	0,73
Марганец Manganese	90,76	0,11824	370	0,25
Медь Copper	5,83	0,00760	3,1	1,88
Молибден Molybdenum	7,69	0,01003	0,87	8,85
Селен Selenium	0,35	0,00046	8,5	0,04
Хром Chrome	1,49	0,00194	4,2	0,35
Цинк Zinc	17,52	0,02283	12	1,46
Всего Total	9734,46	12,68	366 590,77	-
Нормируемые токсичные микроэлементы Specified toxic trace elements				
Кадмий Cadmium	0,012	0,00002	0,023	0,52
Мышьяк Arsenic	0,098	0,00013	0,9	0,11
Ртуть Mercury	0,0626	0,000081	0,05	1,25
Свинец Lead	0,44	0,000573	4,0	0,11
Всего Total	0,61	0,00080	4,97	

Элемент Element	Содержание в ЛРС, мкг/г Element content in herbal substances, µg/g	Доля элемента в общей массе минерального комплекса, % Element proportion in total mass of mineral complex, %	Содержание в почве, мкг/г Element content in soil, µg/g	Коэффициент накопления элемента в ЛРС Element accumulation factor in herbal substances, %
Другие малоизученные и токсичные элементы Other under-investigated and toxic elements				
Алюминий Aluminium	128,4	0,167281	31100	<0,01
Барий Barium	31,16	0,040596	290	0,11
Бериллий Beryllium	0,006	0,000008	2,0	<0,01
Вольфрам Wolframium	0,04	0,000052	0,78	0,05
Висмут Bismuth	0,008	0,000010	0,11	0,07
Гадолиний Gadolinium	0,008	0,000010	3,0	<0,01
Галлий Gallium	0,078	0,000102	8,8	0,01
Гафний Hafnium	0,003	0,000004	1,6	<0,01
Германий Germanium	0,016	0,000021	1,1	0,01
Гольмий Holmium	0,001	0,000001	0,36	<0,01
Диспрозий Dysprosium	0,006	0,000008	2,0	<0,01
Европий Europium	0,004	0,000005	0,65	0,01
Золото Gold	0,0014	0,000002	0,06	0,02
Иттербий Ytterbium	0,002	0,000003	1,1	<0,01
Иттрий Yttrium	0,045	0,000059	9,9	<0,01
Лантан Lanthanum	0,06	0,000078	18	<0,01
Лютеций Lutetium	0,001	0,000001	0,16	0,01
Неодим Neodymium	0,046	0,000060	15,0	<0,01
Ниобий Niobium	0,017	0,000022	6,7	<0,01
Олово Tin	1,354	0,001764	1,2	1,13
Празеодим Praseodymium	0,013	0,000017	4,1	<0,01
Рубидий Rubidium	21,5	0,028010	63	0,34
Самарий Samarium	0,01	0,000013	3,2	<0,01
Серебро Silver	0,015	0,000020	0,19	0,08
Скандий Scandium	0,65	0,000847	50,0	0,01

Элемент Element	Содержание в ЛРС, мкг/г Element content in herbal substances, µg/g	Доля элемента в общей массе минерального комплекса, % Element proportion in total mass of mineral complex, %	Содержание в почве, мкг/г Element content in soil, µg/g	Коэффициент накопления элемента в ЛРС Element accumulation factor in herbal substances, %
Стронций Strontium	156,78	0,204254	73,0	2,15
Сурьма Stibium	0,032	0,000042	0,41	0,08
Таллий Thallium	0,0074	0,000010	0,23	0,03
Тантал Tantalum	0,008	0,000010	0,5	0,02
Теллур Tellurium	0,001	0,000001	0,1	0,01
Тербий Terbium	0,001	0,000001	0,44	<0,01
Титан Titanium	3,26	0,004247	2400,0	<0,01
Торий Thorium	0,011	0,000014	5,4	<0,01
Тулий Thulium	0,001	0,000001	0,16	0,01
Уран Uranium	0,003	0,000004	1,2	<0,01
Цезий Cesium	0,01	0,000013	2,3	<0,01
Церий Cerium	0,12	0,000156	38	<0,01
Цирконий Zirconium	0,134	0,000175	78	<0,01
Эрбий Erbium	0,003	0,000004	1,2	<0,01
Всего Total	343,82	0,45	34 183,95	-

Обсуждение. В листьях крапивы двудомной микроэлементный комплекс составляет 7,68 % в пересчете на абсолютно сухое сырье. Масс-спектроскопически определено 59 элементов, условно разделенных на макроэлементы, содержащиеся в значительных количествах (более 0,1 % массы тела), и микроэлементы, содержание которых варьирует в пределах от 0,001 до 0,00001 %. Среди микроэлементов особую группу составляют эссенциальные микроэлементы, выполняющие функцию обеспечения жизнедеятельности [16, 17, 20].

Макроэлементы составляют 86,87 % всего элементного состава листьев крапивы двудомной. Основными элементами данной группы являются калий (более 26,5 мг/г) и кальций (более 26 мг/г) (рис. 1). В целом по содержанию макроэлементов можно выстроить следующий ряд убывания: калий > кальций > маг-

ний > фосфор > натрий. Рассчитанные коэффициенты накопления элементов из почв показали высокую способность листьев крапивы двудомной к аккумуляции фосфора, калия, магния и кальция, содержание которых в ЛРС значительно превышает их концентрацию в почвах. При этом натрий практически не накапливается в данном виде ЛРС (около 3 % от содержания в почве переходит в листья крапивы двудомной).

Эссенциальные микроэлементы составляют 12,68 % общего минерального состава листьев крапивы двудомной. Среди них наибольшее содержание отмечено для кремния (более 9,2 мг/г) и железа (более 0,3 мг/г). Ряд убывания содержания эссенциальных микроэлементов в сырье выглядит следующим образом: кремний > железо > марганец > цинк > молибден > медь > никель > хром > ванадий >

кобальт > селен > литий. Выявлена высокая способность листьев крапивы двудомной к аккумуляции из почв молибдена, меди и цинка (коэффициенты накопления составили соответственно 8,85, 1,88 и 1,07). Эффективно переходит в состав ЛРС также никель, хром и марганец. Кремний, отличающийся высокой концентрацией в ЛРС, накапливается в количестве, не превышающем 3 % от его содержания в почве произрастания вида. Остальные эссенциальные элементы имеют также низкие коэффициенты накопления (не более 0,07).

Содержание нормируемых тяжелых металлов и мышьяка в листьях крапивы двудомной соответствует требованиям Государственной фармакопеи [19], а также требованиям СанПиН 2.3.2.1078–01 для травяных чаев. На долю свинца, ртути, кадмия и мышьяка приходится 0,0008 % общего минерального состава сырья. Из данной группы элементов в листьях крапивы двудомной в наибольшей степени аккумулируется ртуть и кадмий (коэффициенты накопления 1,25 и 0,52 соответственно), мышьяк и свинец накапливаются из почв неактивно (0,11).

Доля токсичных и малоизученных элементов в общем минеральном комплексе листьев крапивы двудомной составляет 0,45 %. Наибольшее содержание отмечено для стронция (156,78 мкг/г), алюминия (128,4 мкг/г), бария (31,16 мкг/г), рубидия (21,5 мкг/г), титана (3,26 мкг/г), олова (1,35 мкг/г). Выявлена спо-

собность к аккумуляции из почв в листьях крапивы двудомной стронция и олова (коэффициенты накопления 2,15 и 1,13 соответственно). К элементам среднего захвата отнесены рубидий и барий. Остальные элементы аккумулируются в изучаемом ЛРС неактивно (коэффициенты накопления не более 0,1).

Заключение. Результаты исследования продемонстрировали богатый макро- и микроэлементный состав листьев крапивы двудомной, заготовленных в Воронежской области. Выявлено, что содержание нормируемых токсичных тяжелых металлов и мышьяка не превышает предельно допустимых концентраций, установленных для оценки качества ЛРС. Отмечено относительно высокое содержание, наряду с макроэлементами, таких микроэлементов, как кремний, железо, алюминий, стронций. Показана высокая способность листьев крапивы двудомной к накоплению из почвы фосфора, калия, магния, кальция, молибдена, меди, цинка, ртути, стронция и олова, а также значительная способность к аккумуляции никеля, хрома, марганца, кадмия, рубидия. Полученные данные могут служить основой для проведения дальнейших исследований с целью использования их результатов в медицинской и фармацевтической практике при создании лекарственных препаратов и биологически активных добавок для коррекции физиологических норм содержания элементов в организме человека.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. *Austenfeld F.A.* Zur Phytotoxizität von Nickel und Kobaltsalzen in Hydrokultur bei Phaseolus vulgaris L. Z. Pflanzenernähr. und Bodenkunde. Bd. 142. 1979; 6: 769–777.
2. *Sharma D.S., Chatterjee C., Sharma C.P.* Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) metabolism. Plant. Sci. 1995; 2: 145–151.
3. *Buszewski B., Jastrzebska A., Kowalkowski T.* Monitoring of Selected Heavy Metals Uptake by Plants and Soils in the Area of Torun, Poland. Polish Journal of Environmental Studies. 2000; 6: 511–515.
4. *Cataldo D.A., Wildung R.E.* Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants. Environ. Health Perspect. 1978; 27: 149–159.
5. *Castanheiro A., DeWael K., Samson R.* Urban green as indicator of metal pollution. 15th Castle Meeting New trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism. Dinant; 2016: 15–17.
6. *Castanheiro A., Samson R., DeWael K.* Magnetic- and particle-based techniques to investigate metal deposition on urban green. Science of the Total Environment. 2016; 571: 594–602.

7. Семенова И.Н., Сингизова Г.Ш., Зулкарнаев А.Б., Ильбулова Г.Ш. Влияние меди и свинца на рост и развитие растений на примере *Anethum graveolens* L. Современные проблемы науки и образования. 2015; 3: URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19568> (дата обращения: 10.11.2019).
8. Немеишина О.Н., Гусев Н.Ф., Петрова Г.В., Шайхутдинова А.А. Некоторые аспекты адаптации *Polygonum aviculare* L. к загрязнению почвы тяжелыми металлами. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012; 1 (33): 230–234.
9. Зайцева М.В., Кравченко А.Л., Стекольников Ю.А., Сотников В.А. Тяжелые металлы в системе почва-растение в условиях загрязнения. Ученые записки Орловского государственного университета. Сер. Естественные, технические и медицинские науки. 2013; 3: 190–192.
10. Дьякова Н.А. Эффективность и радиационная безопасность лекарственного растительного сырья подорожника большого, собранного в Центральном Черноземье. Разработка и регистрация лекарственных средств. 2018; 3 (24): 140–143.
11. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П. Оценка эффективности и безопасности лекарственного растительного сырья подорожника большого, собранного в Центральном Черноземье. Вестник ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2018; 1: 124–131.
12. Дьякова Н.А., Самылина И.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П., Кукуева Л.Л., Мындра А.А., Шушунова Т.Г. Оценка экологического состояния образцов верхних слоев почв и корней одуванчика лекарственного, отобранных на территории Воронежской области. Вестник ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2016; 2: 119–126.
13. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П. Сравнение особенностей накопления основных токсических элементов цветками липы сердцевидной и пижмы обыкновенной Вестник ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2017; 1: 148–154.
14. Дьякова Н.А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка листьями крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.). Ульяновский медико-биологический журнал. 2020; 2: 145–156.
15. Dyakova N., Gaponov S., Slivkin Al., Chupandina El. Accumulation of artificial and natural radionuclides in medicinal plant material in the Central Black Soil Region of Russia. *Advances in Biological Sciences Research*. 2019; 7: 94–96.
16. Тринева О.В., Сливкин А.И. Исследование микроэлементного состава листьев крапивы двудомной. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Медицина. Фармация. 2015; 22 (219): 169–174.
17. Сливкин А.И., Тринева О.В. Исследования элементного состава лекарственного растительного сырья методом масс-спектрометрии (на примере листьев крапивы двудомной и плодов облепихи крушиновидной). Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2016; 1: 152–156.
18. Куркин В.А. Фармакогнозия. Самара: Офорт; 2004. 1180.
19. Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Т. 2. Москва: ФЭМБ; 2018. 1423.
20. Великанова Н.А., Гапонов С.П., Сливкин А.И. Экооценка лекарственного растительного сырья в урбоусловиях г. Воронежа. LAMBERT Academic Publishing; 2013. 220.

Поступила в редакцию 12.03.2022; принята 05.04.2022.

Автор

Дьякова Нина Алексеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». 394007, Россия, г. Воронеж, Университетская пл., 1; e-mail: Ninochka_V89@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0766-388>.

Образец цитирования

Дьякова Н.А. Особенности накопления макро- и микроэлементов листьями крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.). Ульяновский медико-биологический журнал. 2022; 2: 139–147. DOI: 10.34014/2227-1848-2022-2-139-147.

ACCUMULATION OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN LEAVES OF STINGING NETTLE (*URTICA DIOICA* L.)

N.A. D'yakova

Voronezh State University, Voronezh, Russia

Studies of the ultimate composition of wild-growing raw materials are relevant and significant due to the high efficiency and bioavailability of organometallic forms contained in plants. However, the available information on the content of elements in the medicinal plant raw materials in the Voronezh region concerns only a few elements. The lack of information does not allow us to determine the complete chemical composition of plants and to describe how the entire complex of mineral substances is accumulated in them.

The aim of the study is to examine how macro- and trace elements are accumulated in the leaves of the stinging nettle in natural plant community of the Voronezh region.

Materials and Methods. The harvesting of medicinal plant raw materials was carried out in the Voronezh State Nature Biosphere Reserve during the flowering period. The trace element sample composition was studied mass-spectroscopically (ELAN-DRC).

Results. The proportion of trace elements in the leaves of stinging nettle was 7.68 %, in absolutely dry raw material equivalent. Only 59 elements were found in its leaves. Of these, 86.87 % were macroelements, the main ones being potassium (>26.5 mg/g) and calcium (>26 mg/g). Essential trace elements made up 12.68 % of the total plant mineral complex. Silicon (>9.2 mg/g) and iron (>0.3 mg/g) dominated among trace elements. The content of standardized heavy metals and arsenic corresponded to regulatory documentation. The proportion of toxic and under-investigated elements was 0.45 %. The highest content was observed for strontium (156.78 µg/g), aluminum (128.4 µg/g), barium (31.16 µg/g), rubidium (21.5 µg/g), titanium (3.26 µg/g), and tin (1.35 µg/g). Thus, the leaves of stinging nettle easily accumulated phosphorus, potassium, magnesium, calcium, molybdenum, copper, zinc, mercury, strontium, tin, nickel, chromium, manganese, cadmium, and rubidium from the soil.

Key words: stinging nettle, trace elements, macroelements, medicinal plant raw material, accumulation coefficients, Voronezh region.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

References

1. Austenfeld F.A. Zur Phytotoxizität von Nickel und Kobaltsalzen in Hydrokultur bei *Phaseolus vulgaris* L. *Z. Pflanzenernähr. und Bodenkunde*. Bd. 142. 1979; 6: 769–777.
2. Sharma D.S., Chatterjee C., Sharma C.P. Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) metabolism. *Plant. Sci.* 1995; 2: 145–151.
3. Buszewski B., Jastrzebska A., Kowalkowski T. Monitoring of Selected Heavy Metals Uptake by Plants and Soils in the Area of Torun, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2000; 6: 511–515.
4. Cataldo D.A., Wildung R.E. Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants. *Environ. Health Perspect.* 1978; 27: 149–159.
5. Castanheiro A., DeWael K., Samson R. Urban green as indicator of metal pollution. *15th Castle Meeting. New trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism*. Dinant; 2016: 15–17.
6. Castanheiro A., Samson R., DeWael K. Magnetic- and particle-based techniques to investigate metal deposition on urban green. *Science of the Total Environment*. 2016; 571: 594–602.
7. Semenova I.N., Singizova G.Sh., Zulkaranaev A.B., Il'bulova G.Sh. Vliyanie medi i svintsa na rost i razvitie rasteniy na primere *Anethum graveolens* L. [Impact of copper and lead on the growth and development of plants: *Anethum graveolens* L. case study]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015; 3: Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19568> (accessed: November 10, 2019) (in Russian).
8. Nemereshina O.N., Gusev N.F., Petrova G.V., Shaykhutdinova A.A. Nekotorye aspekty adaptatsii *Polygonum aviculare* L. k zagryazneniyu pochvy tyazhelymi metallami [Adaptation of *Polygonum aviculare* L. to soil pollution with heavy metals]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012; 1 (33): 230–234 (in Russian).

9. Zaytseva M.V., Kravchenko A.L., Stekol'nikov Yu.A., Sotnikov V.A. Tyazhelye metally v sisteme pochva-rastenie v usloviyakh zagryazneniya [Heavy metals in the soil-plant system under polluted conditions]. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye, tekhnicheskie i meditsinskie nauki*. 2013; 3: 190–192 (in Russian).
10. D'yakova N.A. Effektivnost' i radiatsionnaya bezopasnost' lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya podorozhnika bol'shogo, sobrannogo v Tsentral'nom Chernozem'e [Efficiency and radiative safety of medicinal plant raw materials of the common plantain collected in the Central Black Earth Region]. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*. 2018; 3 (24): 140–143 (in Russian).
11. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. Otsenka effektivnosti i bezopasnosti lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya podorozhnika bol'shogo, sobrannogo v Tsentral'nom Chernozem'e [Assessment of efficiency and safety of medicinal plant raw materials of the common plantain, collected in the Central Black Earth Region]. *Vestnik VGU. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. 2018; 1: 124–131 (in Russian).
12. D'yakova N.A., Samylina I.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P., Kukueva L.L., Myndra A.A., Shushunova T.G. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya obraztsov verkhnikh sloev pochv i korney oduvanchika lekarstvennogo, otobrannykh na territorii Voronezhskoy oblasti [Assessment of the ecological condition of samples of the top layers of soils and roots of dandelion medicinal, selected in the territory of the Voronezh region]. *Vestnik VGU. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. 2016; 2: 119–126 (in Russian).
13. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. Sravnenie osobennostey nakopleniya osnovnykh toksicheskikh elementov tsvetkami lipy serdtsevidnoy i pizhmy obyknovnoy [Comparison of features of accumulation of the basic toxic elements in the flowers of *Tilia Cordata* and *Tanacetum Vulgare*]. *Vestnik VGU. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. 2017; 1: 148–154 (in Russian).
14. D'yakova N.A. Nakoplenie tyazhelykh metallov i mysh'yaka list'yami krapivy dvudomnoy (*Urtica dioica* L.) [Accumulation of heavy metals and arsenic in great nettle (*Urtica dioica* L.) leaf tissues]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal*. 2020; 2: 145–156 (in Russian).
15. Dyakova N., Gaponov S., Slivkin A.I., Chupandina E.I. Accumulation of artificial and natural radionuclides in medicinal plant material in the Central Black Soil Region of Russia. *Advances in Biological Sciences Research*. 2019; 7: 94–96.
16. Trineeva O.V., Slivkin A.I. Issledovanie mikroelementnogo sostava list'ev krapivy dvudomnoy [Examination of the microelement composition of stinging nettle leaves]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*. 2015; 22 (219): 169–174 (in Russian).
17. Slivkin A.I., Trineeva O.V. Issledovaniya elementnogo sostava lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya metodom mass-spektrometrii (na primere list'ev krapivy dvudomnoy i plodov oblepikhi krushinovidnoy) [Examination of the elemental composition of medicinal plant raw materials by mass spectrometry (stinging nettle leaves and sea buckthorn fruits case study)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. 2016; 1: 152–156 (in Russian).
18. Kurkin V.A. *Farmakognosiya* [Pharmacognosy]. Samara: Ofort; 2004. 1180 (in Russian).
19. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. Izdanie XIV. Tom 2. Moskva: FEMB; 2018. 1423 (in Russian).
20. Velikanova N.A., Gaponov S.P., Slivkin A.I. *Ekootsenka lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya v urbousloviyakh g. Voronezha* [Eco-assessment of medicinal plant raw materials in the urban conditions of Voronezh]. LAMBERT Academic Publishing; 2013. 220 (in Russian).

Received 12 March 2022; accepted 05 April 2022.

Information about the author

D'yakova Nina Alekseevna, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Chair of Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology, Voronezh State University. 394007, Russia, Voronezh, Universitetskaya Sq., 1; e-mail: Ninochka_V89@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0766-388>.

For citation

D'yakova N.A. Osobennosti nakopleniya makro- i mikroelementov list'yami krapivy dvudomnoy (*Urtica dioica* L.) [Accumulation of macro- and microelements in leaves of stinging nettle (*Urtica dioica* L.)]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal*. 2022; 2: 139–147. DOI: 10.34014/2227-1848-2022-2-139-147 (in Russian).