

УДК 615.322:574.24

ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРАПИВЫ ДВУДОМНОЙ ЛИСТЬЕВ СИНАНТРОПНОЙ ФЛОРЫ СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ РОССИИ

© Н.А. Дьякова*, С.А. Епринцев, О.В. Клепиков, П.М. Виноградов

Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1,
Воронеж, 394006, Россия, ninoshka_V89@mail.ru

В статье представлены результаты эколого-гигиенического изучения накопления тяжелых металлов и мышьяка, а также биологически активных веществ в крапивы двудомной листьях, заготовленных в урбанизированных районах средней полосы России, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие. Было проанализировано свыше 50 образцов крапивы двудомной листьев, собранных на различных в плане антропогенного воздействия территориях Воронежской области как типичного региона средней полосы России на предмет содержания тяжелых металлов и мышьяка, а также суммы оксикоричных кислот в пересчете на кислоту хлорогеновую. Все исследуемые образцы оказались соответствующими требованиям нормативной документации. Крапивы двудомной листья ограничено накапливают такие токсичные элементы, как свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, кобальт, никель, хром. Крапивы двудомной листья способны избирательно концентрировать медь и цинк. Особенности накопления токсических элементов из почв крапивы двудомной листьями необходимо учитывать при планировании мест заготовки лекарственного растительного сырья и оценке его качества. Содержание суммы оксикоричных кислот в образцах листьев крапивы двудомной, собранных в некоторых урбоценозах Воронежской области, в среднем выше в 1.5–2 раза, чем в образцах естественных биоценозов заповедных зон. В результате комплексного токсического воздействия на растительный организм, к примеру, вблизи крупных дорог, промышленных предприятий, возможно снижение биосинтеза оксикоричных кислот в крапивы двудомной листьях. Рассчитанные значения коэффициентов корреляции показали, что умеренное отрицательное влияние на накопление оксикоричных кислот оказывают свинец, мышьяк, никель, кобальт.

Ключевые слова: *Urtica dioica* L., крапивы двудомной листья, тяжелые металлы, мышьяк, оксикоричные кислоты, средняя полоса России.

Для цитирования: Дьякова Н.А., Епринцев С.А., Клепиков О.В., Виноградов П.М. Эколого-гигиенические исследования крапивы двудомной листьев синантропной флоры средней полосы России // Химия растительного сырья. 2025. №1. С. 238–248. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250115036>.

Введение

В последние годы как в нашей стране, так и за рубежом наблюдается устойчивая тенденция роста использования лекарственных препаратов и биологически активных добавок природного происхождения, особенно растительного. Так, в настоящее время фармацевтический рынок России насчитывает более 2 тыс. лекарственных растительных препаратов и почти 8 тысяч биологически активных добавок на растительной основе. Такой высокий интерес к препаратам из лекарственного растительного сырья связан прежде всего с мягкостью и широтой терапевтического действия, возможностью минимизации побочных действий и аллергии, возможностью длительного приема фитопрепаратов, что особенно актуально при хронических заболеваниях, а также значительной эффективностью и относительной безвредностью [1, 2].

Однако вследствие роста городов, расширения производственных площадей, увеличения количества автотранспорта, освоения новых химических веществ в сельском хозяйстве, различных природных и техногенных катастроф, последнее преимущество фитотерапии оказывается под вопросом. Причина в том, что с началом рыночных реформ в РФ произошло резкое ухудшение товарной структуры в пользу дикорастущего лекарственного сырья, удельный вес которого увеличился с 51.8% в советское время до 83.2% в наши дни [2]. При этом большинство эксплуатируемых ресурсов дикорастущих лекарственных растений расположено в зоне активной хозяйственной деятельности человека, на доступных в транспортном отношении

* Автор, с которым следует вести переписку.

территориях. К ним относятся зоны, прилегающие к населенным пунктам, автомобильным и железным дорогам, сельскохозяйственным полям и фермам, промышленным предприятиям. Экосистемы этих территорий подвержены высокому уровню загрязняющих веществ. Произрастая в неблагоприятных экологических условиях, растения накапливают не свойственные для них химические вещества, либо вещества в не свойственных растениям концентрациях. Загрязненное лекарственное растительное сырье и фитопрепараты, полученные из такого сырья, являются одним из источников поступления экотоксикантов в организм человека, что является одним из оснований проведения региональных эколого-гигиенических исследований качества растительных ресурсов [2, 3].

Крапива двудомная (*Urtica dioica* L. (syn. *Urtica tibetica* W.T.Wang, *Urtica galeopsifolia* Wierzb. ex Oriz)) – многолетний травянистый синантропный рудеральный вид, сырье которого заготавливается от дикорастущих особей. Распространен повсеместно в умеренном климате. Преобладает в лесной и лесостепной зонах – на вырубках, по оврагам, по окраинам низинных болот, в кустарниковых зарослях, на пастбищах, полянах, около жилья, вдоль дорог, на пустырях и свалках. Часто формирует обширные заросли, с наибольшей плотностью – на богатых перегноем и азотистыми веществами, увлажненных почвах. Для медицинских целей в России в год заготавливается более 500 т крапивы двудомной листьев, преимущественно в средней полосе России, в том числе в Воронежской области [4, 5].

Крапивы двудомной листья оказывают гемостатическое, желчегонное, гиполипидемическое, вазоконстрикторное, гемопозитическое, С- и К-витаминизирующее, общетонизирующее, иммуностимулирующее, диуретическое, слабительное, противовоспалительное, антисептическое, антиаллергическое, противосудорожное, отхаркивающее, лактоцидное, холиномиметическое действие, стимулирует регенерацию и улучшает трофику тканей, стимулирует обмен веществ и образование инсулина. Применяются в гомеопатии [5, 6].

Крапивы двудомной листья содержат хлорофилл (2.0–3.9%), флавоноиды (1.3–2.8%, включают лютеолин, рутин, кемпферол, диосметин, 3-О-метилкверцетин, 5-О-метиллютеолин, гиперозид, цинарозид), дубильные вещества (2.5–7.4%), аминокислоты (более 5.5%, в т.ч. незаменимые – аспарагиновая и глутаминовая кислоты, аргинин, глицин, пролин, цистеин, аланин, серин, тирозин), гидроксикоричные кислоты (более 1% – яблочная, хлорогеновая, розмариновая, кафтаровая, кумаровая, кофейная, криптохорогеновая, неохлорогеновая, кофеилхинная, феруловая кислоты), органические кислоты (1.3–5% – аскорбиновая, муравьиная, пантотеновая, галловая, эллаговая, лимонная, масляная, молочная, щавелевая, янтарная), моносахариды (до 4–5%), жирное масло (до 2%), азотсодержащие соединения (0.01–0.03% – ацетилхолин, холин, бетаин, гистамин, 5-гидрокситриптамин), алкалоиды (никотин – до 0.3%), кумарины (до 0.1% – эскулетин, скополетин, умбеллиферон), гликозид уртицин (0.09%), камеди, фитонциды, фитостерины (ситостерин), эфирное масло, кремниевую кислоту, витамины К, Е, РР, В1, В3, В9, С (0.15–0.33%), каротин и каротиноиды (0.2–0.6% – β -каротин, гидрокси- α -каротин, виолоксантин, лютеоксантин, лютеин-эпоксид, ксантофилл, ксантофилл-эпоксид) [6–13]. Крапивы двудомной листья содержат до 15–19% минеральных веществ: макроэлементы – калий (до 2%), кальций (1–2%), магний (0.5–1.0%), микроэлементы – железо (0.04%), марганец (0.008%), медь (0.001%), бор (0.004%), титан (0.003%), а также накапливает из почвы никель, хром, кобальт, свинец, алюминий, селен, стронций [14, 15].

Повсеместное произрастание, богатый химический состав и высокая способность к накоплению различных элементов из почв делают крапиву двудомную перспективным растительным объектом для проведения эколого-гигиенических исследований, что неоднократно было использовано различными авторами.

Т.А. Кончиной и М.В. Гусевой показано достоверное уменьшение длины (на 16–32%) и ширины (на 24–48%) листьев крапивы двудомной, заготовленных в урбоценозах Нижегородской области по сравнению с контролем [16].

Н.И. Латышевской и А.С. Стрекаловой на примере флоры рекреационной зоны промышленного центра Волгограда показано селективное концентрирование крапивы двудомной листьями свинца, для которого не выявлено влияния на анатомо-морфологические особенности растения [17].

И.И. Подлипским на основе изучения листьев крапивы двудомной, заготовленной на полигоне твердых бытовых отходов г. Санкт-Петербурге, также показана высокая аккумулялирующая способность растения к накоплению свинца, железа и марганца [18].

Е.С. Сунцовой с соавторами на основе сравнительного анализа 12 видов растений, заготовленных на территории Кирово-Чепецкого промышленного комплекса, показана наибольшая аккумулялирующая способность к соединениям свинца, кадмия, железа, марганца, никеля и стронция [19].

С.Г. Скугоревой с соавторами, занимающимися эколого-гигиенической оценкой растений того же Кирово-Чепецкого промышленного комплекса, на примере 60 образцов растительного сырья показана наибольшая способность крапивы двудомной к аккумуляции марганца, ртути и никеля, а также стронция-90 (коэффициент накопления 1.72), цезия – 137 (коэффициент накопления 1.64), урана-238 (коэффициент накопления 0.78) [20].

Исследования Г.Г. Бускуновой и Г.А. Ягафаровой по биогеохимической активности лекарственных растений в условиях техногенного загрязнения республики Башкортостан также показали, что одним из антилидеров по данному показателю является крапива двудомная (суммарные величины, получающиеся при сложении коэффициентов биологического поглощения меди, цинка, марганца, железа, кадмия и свинца достигают варьируют в диапазоне от 1.24 до 1.95) [21].

Сравнительные химические исследования крапивы двудомной, произрастающей в урбоценозе г. Красноярск и в естественном фитоценозе Республики Хакасия, проведенные В.М. Ушановой с соавторами, не показали достоверных отличий по содержанию основных групп БАВ, отличия выявлены лишь в составе минерального комплекса сырья, характеризующемся увеличением в 1.2 раза концентраций свинца и железа в образце, заготовленном в загрязненном районе. Сравнительный анализ различных частей растения *Urtica dioica* L. выявил преимущественное накопление токсичных элементов в его корнях и стеблях [22].

М.С. Карпук с соавторами в 2011 году выявлено биоконцентрирование кадмия, свинца, меди, цинка, марганца и кобальта в крапивы двудомной листьях, заготовленной на шламовом поле криолитового завода г. Оренбурге [23]. А.А. Гладышев с соавторами, проводя исследования в 2012 году на той же территории, подтвердил относительно высокое накопление свинца, кадмия, меди, цинка, марганца, алюминия, показали увеличение дубильных веществ в крапивы двудомной листьях, заготовленных на шламовом поле, и достоверное снижение концентрации флавоноидов и алкалоидов по сравнению с контролем. Повышение уровня в сырье, заготовленном на шламовом поле, танинов согласуется с литературными данными по увеличению биосинтеза полифенолов в условиях действия стресс-факторов. При этом снижение содержания флавоноидов, являющихся антиоксидантами, представляет интерес с точки зрения особенностей адаптации вида [24].

Комплексные исследования эколого-гигиенического состояния растительного сырья антропогенно нарушенных фитоценозов Минской области Республики Беларусь, проводимые С.С. Позняк, показали, что крапивы двудомной листья способны в токсичных для растения концентрациях накапливать медь (до 14.9 мг/кг), цинк (до 54.1 мг/кг), олово (более 8.0 мг/кг), хром (более 10.0 мг/кг), марганец (более 130.0 мг/кг). Автором рекомендовано использовать надземную часть растения для фитомелиорации почв с наиболее сильным загрязнением токсичными элементами [25].

В.Б. Любимовым с рядом соавторов на основе анализа экологических показателей более 20 растительных биоиндикаторов для мониторинга Брянской области показано, что крапивы двудомной листья в относительно низких количествах аккумулировали свинец, а также накапливали 8 основных эссенциальных микроэлементов ниже средних величин, характерных для данного региона [26].

Исследования листьев крапивы двудомной естественных фитоценозов Алтайского края, проводимые И.В. Гравель, позволили построить ряд убывания содержания токсичных элементов: алюминий → стронций → свинец → кадмий → цезий → бериллий → ртуть [27].

Таким образом, обзор литературных источников по эколого-гигиенической оценке крапивы двудомной листьев, показал, что полученные результаты ранее проведенных разными авторами экспериментов разнятся, что указывает на необходимость проведения комплексных глубоких исследований по изучению особенностей накопления данным видом растительного сырья экотоксикантов и их влияния на биосинтез основных групп биологически активных веществ.

Цель исследования – эколого-гигиеническое изучение накопления тяжелых металлов и мышьяка, а также биологически активных веществ в крапивы двудомной листьев, заготовленных на различных в плане антропогенного воздействия территориях Воронежской области.

Экспериментальная часть

Исследования проводились на основе Воронежской области как типичного региона средней полосы России [2–4]. Для заготовки образцов сырья были выбраны следующие территории (табл. 1): заповедные (контрольные) зоны (1–3); территория разработки медно-никелевых месторождений (4); зоны загрязнения после аварии в Чернобыле (5–7); атомная электростанция (8); высоковольтные линии электропередачи

(ВЛЭ) (9); сельскохозяйственные поля (10–22); промышленные предприятия (23, 24, 28); города (25, 26, 31); теплоэлектростанция (ТЭЦ) (27); городское водохранилище (29); аэропорт (30); дороги разной степени загрязненности (32–51).

Крапивы двудомной листья заготавливали во время цветения производящих дикорастущих растений. Использовали теневую сушку тонким слоем в хорошо проветриваемом помещении.

Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в образцах проводили с помощью атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией МГА-915МД [28]. Содержание суммы оксикоричных кислот в пересчете на кислоту хлорогеновую, основной группы биологически активных веществ крапивы двудомной листьев, определяли по фармакопейной методике с использованием спектрофотометра «СФ-2000» [29]. Каждое определение проводили трижды, полученные результаты статистически обрабатывали при доверительной вероятности 0.95.

Изучение взаимосвязи между количественным содержанием токсичных элементов и биологически активных веществ в изучаемых образцах вели методом параметрической статистики по критерию корреляции Пирсона. При расшифровке рассчитанных коэффициентов использовали шкалу Чеддока [2, 30].

Результаты и их обсуждение

Содержание тяжелых металлов и мышьяка, а также биологически активных веществ, в крапивы двудомной листьях представлено в таблице 1.

Содержание нормируемых тяжелых металлов (свинца, ртути, кадмия) и мышьяка в крапивы двудомной листьях соответствует фармакопейным требованиям [28]. Однако определяемые концентрации элементов достаточно сильно варьируют в зависимости от места заготовки образцов сырья.

Так, содержание свинца в крапивы двудомной листьях варьировало от 0.29 до 2.76 мг/кг. При этом концентрация свинца в почвах районов, в которых производился сбор образцов, принимала значения от 1.71 до 34.57 мг/кг [31, 32]. Связать такое низкое накопление свинца в тканях листовой пластинки крапивы двудомной можно с тем, что соединения данного элемента малорастворимы, что может ограничивать его биодоступность для растения [33]. В высоких концентрациях свинец вызывает ингибирование процессов роста и развития растения [23, 24]. Известно, что клетки ризодермы и чехлика корней высших растений выделяют слизь, содержащую уроновые кислоты, защелачивающие окружающую корни среду, что уменьшает растворимость тяжелых металлов [34].

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов и мышьяка и биологически активных веществ в крапивы двудомной листьях

№ п/п	Район сбора	Содержание токсичных элементов, мг/ кг									Содержание суммы оксикоричных кислот в пересчете на хлорогеновую кислоту, %
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Территория Воронежского биосферного заповедника	0.4	0.007	0.01	0.09	1.58	1.74	0.19	5.13	17.83	3.25
2	Территория Хоперского заповедника	0.38	0.005	0	0.07	2.56	2.21	0.34	7.78	23.86	3.62
3	Территория Теллермановского леса	0.37	0.005	0	0.05	1.79	1.03	0.08	7.3	32.75	3.19
4	Село Елань-Колено	0.43	0.007	0	0.07	3.46	4.64	0.35	7.37	19.7	2.71
5	Село Нижнедевицк	0.52	0.007	0.02	0.05	1.27	3.86	0.26	6.29	27.09	4.66
6	Улица города Острогожск	0.5	0.007	0.01	0.08	2.54	5.12	0.1	6.7	23.06	2.52
7	Улица города Семилуки	0.48	0.007	0.01	0.1	3.73	4.17	0.91	7.36	39.06	4.66
8	Улица города Нововоронеж	0.36	0.006	0.02	0.06	1.9	2.73	0.67	8.31	26.35	4.39
9	Высоковольтные линии электропередачи	0.39	0.006	0.01	0.12	4.76	4.14	1.2	8.53	34.86	3.32
10	Агроценоз Лискинского р-на	0.47	0.008	0.02	0.06	1.12	3.85	1.05	6.26	19.08	3.5
11	Агроценоз Ольховатского р-на	0.36	0.007	0	0.11	3.86	5.16	0.11	7.31	34.72	2.86
12	Агроценоз Подгоренского р-на	0.40	0.006	0	0.1	4.65	0.85	0.32	9.15	29.83	2.64

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	Агроценоз Петропавловского р-на	0.44	0.007	0.01	0.07	1.03	1.86	0.06	10.75	36.6	3.05
14	Агроценоз Грибановского р-на	0.53	0.005	0.02	0.12	4.98	2.39	0.26	8.66	35.51	3.25
15	Агроценоз Хохольского р-на	0.46	0.006	0	0.09	5.23	4.3	0.43	11.52	32.01	2.87
16	Агроценоз Новохоперского р-на	0.54	0.007	0	0.11	3.1	0.96	0.09	9.31	25.17	2.51
17	Агроценоз Репьевского р-на	0.29	0.007	0	0.11	4.05	2.86	0.29	8.15	27.39	2.63
18	Агроценоз Воробьевского р-на	0.32	0.007	0.01	0.07	4.84	1.53	0.32	11.95	27.53	3.21
19	Агроценоз Панинского р-на	0.46	0.006	0.02	0.11	4.23	6.73	0.23	8.08	36.63	3.07
20	Агроценоз Верхнехавского р-на	0.43	0.007	0.01	0.12	3.95	4.16	0.37	11.57	38.2	3.04
21	Агроценоз Эртильского р-на	0.94	0.008	0.02	0.07	4.61	1.87	0.08	9.53	31.02	3.03
22	Агроценоз Россошанского р-на	0.53	0.008	0.01	0.11	4.84	3.9	0.16	7.59	36.8	3.51
23	Вблизи ОАО «Минудобрения»	0.45	0.008	0.01	0.25	6.35	13.8	2.87	12.08	57.98	2.41
24	Вблизи ООО «Бормаш»	2.76	0.009	0.03	0.1	8.89	8.42	0.98	13.64	48.71	2.23
25	Улица города Борисоглебск	1.57	0.008	0.01	0.14	3.51	6.28	1.37	9.02	52.89	2.13
26	Улица города Калач	1.55	0.006	0	0.36	5.86	7.25	0.96	10.26	42.28	2.05
27	Вблизи ТеплоЭлектроЦентральной-1 «ВОГРЭС» (город Воронеж)	0.68	0.009	0.01	0.12	2.45	5.93	1.52	8.74	41.03	2.64
28	Вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук» (город Воронеж)	1.86	0.009	0.01	0.16	2.3	7.47	0.62	9.53	52.05	1.67
29	На удалении 0–100 м от низовья Воронежского водохранилища	0.46	0.008	0.01	0.13	3.18	1.2	0.21	7.35	26.06	1.76
30	Вблизи международного аэропорта Воронеж	0.89	0.009	0.01	0.16	3.39	3.62	0.59	8.34	24.76	3.04
31	Улица города Воронеж	1.43	0.009	0.02	0.16	4.24	5.53	3.51	12.7	49.07	2.67
32	0 м от автомагистрали М4 «Дон» в Рамонском районе	1.45	0.009	0.03	0.17	5.56	4.75	2.74	14.17	47.94	2.22
33	100 м от автомагистрали М4 «Дон» в Рамонском районе	0.83	0.009	0.02	0.15	5.1	3.94	1.02	9.83	41.06	2.24
34	200 м от автомагистрали М4 «Дон» в Рамонском районе	0.78	0.009	0.01	0.1	3.16	2.97	0.72	6.38	32.97	2.62
35	300 м от автомагистрали М4 «Дон» в Рамонском районе	0.53	0.008	0.01	0.09	3.12	3.74	0.37	7.93	31.03	3.32
36	0 м от автомагистрали А144	1.83	0.009	0.02	0.13	4.7	7.35	2.53	10.86	52.05	2.83
37	100 м от автомагистрали А144	0.56	0.009	0.01	0.11	4.18	5.28	1.54	6.39	43.5	2.93
38	200 м от автомагистрали А144	0.36	0.008	0	0.07	4.34	4.85	0.86	7.92	39.59	4.79
39	300 м от автомагистрали А144	0.34	0.008	0	0.07	4.12	5.62	0.73	5.86	37.4	5.88
40	0 м от автомагистрали М4 «Дон» в Павловском районе	1.75	0.009	0.02	0.09	8.54	4.64	3.5	10.83	52.9	1.49
41	100 м от автомагистрали М4 «Дон» в Павловском районе	0.62	0.008	0.01	0.09	7.22	3.92	2.85	9.38	44	1.82
42	200 м от автомагистрали М4 «Дон» в Павловском районе	0.54	0.009	0.01	0.06	6.35	2.86	1.7	7.21	45.91	2.49
43	300 м от автомагистрали М4 «Дон» в Павловском районе	0.5	0.006	0	0.06	5.35	3.59	0.75	7.37	39.27	2.46
44	0 м от дороги обычного типа	0.67	0.008	0.01	0.1	4.67	2.72	0.43	7.48	28.84	2.22
45	100 м от дороги обычного типа	0.65	0.008	0.01	0.09	4.14	3.86	0.32	6.94	21.97	2.73
46	200 м от дороги обычного типа	0.56	0.006	0.01	0.09	3.57	2.27	0.16	6.01	29.64	3.05
47	300 м от дороги обычного типа	0.54	0.007	0	0.06	3.52	1.6	0.07	7.04	26.93	3.92
48	0 м от железнодорожных путей	1.89	0.009	0.03	0.18	5.12	4.84	0.26	14.2	47.05	2.13
49	100 м от железнодорожных путей	0.86	0.009	0.02	0.16	4.56	3.61	0.15	13.82	45.92	2.77
50	200 м от железнодорожных путей	0.78	0.008	0	0.12	3.67	2.25	0.07	12.79	41.07	4.42
51	300 м от железнодорожных путей	0.69	0.007	0	0.1	3.73	1.3	0.12	9.03	36.08	6.03
ПДК [8, 9]		6.0	0.1	1.0	0.5	—	—	—	—	—	Не менее 0.2

Концентрация ртути в образцах крапивы двудомной варьировала от 0.005 до 0.009 мг/кг, что в 11–20 раз меньше установленной нормативной документацией предельно допустимой концентрации. Содержание элемента в крапиве двудомной листьях также значительно меньше содержания его в почве исследуемых районов [30]. Это объясняется тем, что в почве ртуть образует малорастворимые соединения, которые прочно удерживаются почвенными коллоидами [24, 33].

Содержание кадмия в растительном сырье крапивы двудомной не превышало 0.03 мг/кг, что в 30 раз меньше предельно допустимой концентрации [28]. При этом содержание кадмия в верхних слоях почв рассматриваемых территорий в некоторых образцах превышала установленные нормативы и достигало значений 0.71 мг/кг [31]. Объяснить низкую степень накопления кадмия в крапивы двудомной листьях можно тем, что кадмий является основным фитотоксичным элементом, нарушающим работу большинства ферментных и антиоксидантных систем, в связи с чем, вероятно, у растений в процессе эволюции вырабатывается механизм физиологической блокировки всасывания и проведения его соединений по тканям и органам растения, что является основой их выживания в условиях техногенного загрязнения окружающей среды данным элементом [3, 20].

Содержание мышьяка в крапивы двудомной листьях также можно оценить как невысокое – от 0.05 до 0.36 мг/кг в зависимости от места сбора, что не превышало предельно допустимой концентрации, установленной нормативной документацией в 0.5 мг/кг [28]. При этом содержание мышьяка в верхних слоях почв гораздо значительнее – от 0.55 до 3.81 мг/кг в разных точках отбора образцов [31]. Объяснить низкое накопление мышьяка крапивы двудомной листьями можно малой растворимостью и подвижностью соединений мышьяка в почве, что связано с их сорбцией на поверхности органическими и минеральными коллоидами, поэтому мышьяк становится малодоступным для растений элементом [18, 19, 33].

Накопление никеля в изучаемых образцах крапивы двудомной листьев варьирует в диапазоне от 1.12 до 13.80 мг/кг, при этом концентрация металла в почве принимала значения от 2.23 до 98.25 мг/кг. При сопоставлении концентраций данного элемента в образцах растительного сырья и в верхних слоях почв [32] заметно, что при низком содержании никеля в почве он достаточно эффективно накапливается растением, что указывает на некоторую физиологическую потребность в ней для крапивы двудомной. Так, известно, никель необходим растительному организму для стабилизации работы трансляционного аппарата, активации некоторых ферментов, например, трансаминазы и аргиназы. Однако при повышенном содержании элемента в почве растение резко снижает эффективность его накопления, что, по-видимому, связано с токсическим действием избытка никеля, для которого описаны способности угнетения процессов фотосинтеза и транспирации [16].

Содержание хрома в крапивы двудомной листьях варьирует от 1.03 до 13.80 мг/кг, при концентрации его в верхних слоях почв от 2.53 до 45.16 мг/кг [32]. Хром является фитотоксичным элементом. Повышенные концентрации его задерживают рост и изменяют мезоструктуру листьев [3, 15].

Концентрация соединений кобальта в сырье составила от 0.07 до 3.51 мг/кг, при этом содержание элемента в почве характеризуется значениями от 1.84 до 21.78 мг/кг [31]. При этом наиболее значительны концентрации кобальта в крапивы двудомной листьях, заготовленных вдоль дорог и на улице г. Воронежа, что, вероятно, связано с аэрозольным загрязнением сырья экотоксикантом от выбросов автомобильного транспорта, а всасывание металла из почвы и накопление его в вегетативных органах, вероятно, блокируется биохимическим путем. Реакция растений на избыток кобальта характеризуется межжилковым хлорозом молодых листьев, что связано с подавлением митоза [3, 20, 25].

Содержание меди в крапивы двудомной листьях можно оценить как высокое, в отобранных образцах оно варьировало от 5.13 до 14.20 мг/кг. В почвах изучаемых территорий концентрация меди варьировала от 3.30 до 65.38 мг/кг [32]. Концентрация металла в некоторых образцах сырья (например, в Борисоглебском районе, на территории Воронежского биосферного заповедника) превышала концентрацию его в почвах данных территорий, что позволяет говорить о концентрирующей способности крапивы двудомной в отношении меди. Медь повышает интенсивность фотосинтеза и образования хлорофилла, активизирует углеводный и азотный обмены. Высокие концентрации меди приводят к замедлению развития растения, появлению бурых пятен на нижних листьях и их отмиранию. На территориях с повышенным содержанием элемента в почве (вблизи промышленных предприятий и автомобильных дорог) заготовленное сырье отличалось содержанием меди в 4–5 раз меньшим, чем в почвах [1, 3, 23].

Отмечена концентрирующая активность крапивы двудомной листьев в отношении цинка. Содержание элемента варьирует от 17.83 до 57.98 мг/кг, при его концентрации в почвах исследуемых территорий от 9.58 до 154.45 мг/кг [31]. Полученные результаты показывают, что при низких значениях содержания цинка в окружающей среде крапивы двудомной листья накапливают металл в превосходящих его содержание в почве концентрациях (например, отмечается для всех контрольных территорий). Цинк является кофактором более 300 ферментов. Однако при загрязнении окружающей среды цинком срабатывают защитные

механизмы, предотвращающие накопление избытка металла в растении, что можно связать с токсическим действием больших его концентраций. Данный факт отмечается для большого числа образцов листьев крапивы двудомной, отобранных на территории городов, вблизи промышленных предприятий, а также вдоль и на ближайшем удалении от крупных автомобильных дорог и железнодорожного полотна [3, 23].

Корреляционный анализ показал наличие тесной положительной взаимосвязи между концентрациями в почве и растительного сырья цинка, хрома, кобальта, свинца, никеля, меди, а также наличие заметной положительной взаимосвязи между данными показателями для ртути, кадмия, мышьяка, что указывает на преимущественное транспочвенное поступление элементов в крапивы двудомной листья и незначительный вклад аэрозольного загрязнения (табл. 2) [30].

Результаты анализа отобранных образцов крапивы двудомной листьев на содержание в них основной группы биологически активных веществ – суммы оксикоричных кислот в пересчете на кислоту хлорогеновую (табл. 1) показали соответствие всего заготовленного сырья фармакопейным требованиям [29].

Образцы, собранные на контрольных территориях, содержали данную группу биологически активных веществ в диапазоне от 3.19 до 3.62%, что в 10.5–12 раз больше нижнего допустимого числового значения [29]. В агроценозах области содержание суммы оксикоричных кислот в крапивы двудомной листьях варьировало от 2.51 до 3.51%, что в среднем примерно в 10 раз превышало установленный ГФ XIV числовой показатель и коррелировало с данными, полученными для образцов из контрольных зон [2].

В урбоценозах Воронежской области содержание суммы оксикоричных кислот в крапивы двудомной листьях варьировало в диапазоне от 1.49 до 6.03%. Для образцов, собранных на удалении 200–300 м от трассы А144, от железной дороги, а также на улицах г. Семилуки, Нововоронежа, отмечена значительная индукция синтеза оксикоричных кислот, содержание которых превышало в 1.5–2 раза концентрацию данных биологически активных веществ в образцах, собранных в заповедных зонах и агроценозах. Это объясняется тем, что фермент фенилаланинаммиаклиаза имеет ярко выраженную стресс-индуцибельность, что усиливает синтез оксикоричных кислот, играющих роль мембраностабилизаторов, препятствующих проникновению ксенобиотиков [35]. Однако в ряде образцов из урбоценозов было заметно снижение содержания суммы оксикоричных кислот в 1.2–2 раза по сравнению с образцами из контрольных заповедных зон и агроценозов (вблизи промышленных предприятий, водохранилища, крупных транспортных магистралей, на улице города). Очевидно, в данном случае избыточное влияние выбросов промышленных предприятий, транспорта подавляло антиоксидантную систему растения и тормозило выработку полифенолов. Также возможным объяснением снижения содержания суммы оксикоричных кислот в образцах, собранных в урбоценозах со значительным антропогенным воздействием, служит тот факт, что данная группа биологически активных веществ благодаря наличию большого количества ОН-заместителей в химической структуре, являлась хелаторами ионов металлов, и, вероятно, образующиеся комплексы мешали при спектрофотометрическом определении суммы оксикоричных кислот [2].

Для изучения влияния токсичных элементов на накопление биологически активных веществ анализировали коэффициенты корреляции (табл. 3). Выявлено, что умеренное отрицательное влияние на накопление оксикоричных кислот оказывают свинец, мышьяк, никель, кобальт [2, 30].

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между содержанием тяжелых металлов и мышьяка в почве и крапивы двудомной листьях

Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
0.74	0.38	0.44	0.41	0.74	0.78	0.78	0.68	0.89

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между содержанием тяжелых металлов и мышьяка и оксикоричных кислот в крапивы двудомной листьях

Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
-0.43	-0.28	-0.28	-0.38	-0.37	-0.24	-0.33	-0.30	-0.28

Выводы

На примере Воронежской области как типичного региона средней полосы России было проведено эколого-гигиеническое изучение накопления тяжелых металлов и мышьяка, а также биологически активных веществ в крапивы двудомной листьях, заготовленных на различных в плане антропогенного воздействия

территориях. Проанализировано свыше 50 образцов крапивы двудомной листьев. Все исследуемые образцы оказались соответствующими требованиям нормативной документации. Крапивы двудомной листья ограничено накапливают такие токсичные элементы, как свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, кобальт, никель, хром. Крапивы двудомной листья способны избирательно концентрировать медь и цинк. Особенности накопления токсических элементов из почв крапивы двудомной листьями необходимо учитывать при планировании мест заготовки лекарственного растительного сырья и оценке его качества. Содержание суммы оксикоричных кислот в образцах листьев крапивы двудомной, собранных в некоторых урбоценозах, в среднем выше в 1.5–2 раза, чем в образцах естественных биоценозов заповедных зон. Также было отмечено, что в результате комплексного токсического воздействия на растительный организм, к примеру, вблизи крупных дорог, промышленных предприятий, возможно снижение биосинтеза оксикоричных кислот в крапивы двудомной листьях. Рассчитанные значения коэффициентов корреляции показали, что умеренное отрицательное влияние на накопление оксикоричных кислот оказывают свинец, мышьяк, никель, кобальт.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00272, <https://rscf.ru/project/24-27-00272>.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Дьякова Н.А. Теоретическое и экспериментальное обоснование эколого-фармакогностической оценки качества лекарственного растительного сырья (на примере Воронежской области): автореф. дис. ... докт. фарм. наук. М., 2022. 48 с.
2. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гравель И.В. Эколого-фармакогностическая оценка качества лекарственного растительного сырья Центрального Черноземья: монография. М., 2023. 238 с.
3. Дьякова Н.А. Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области: монография. Воронеж, 2022. 264 с.
4. Лазарев А.В., Маркова Е.А. Виды рода *Urtica* в современных трансформированных экосистемах // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2008. №7 (47). С. 32–36.
5. Самылина И.А., Пятигорская Н.В. Крапива двудомная: возможности медицинского применения // Фарматека. 2010. №1 (195). С. 62–63.
6. Копытько Я.Ф., Лапинская Е.С., Сокольская Т.А. Применение, химический состав и стандартизация сырья и препаратов *Urtica* (обзор) // Химико-фармацевтический журнал. 2011. Т. 45, №10. С. 32–40.
7. Grevsen K., Fretté X.C., Christensen L.P. Concentration and composition of flavonol glycosides and phenolic acids in aerial parts of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) are affected by nitrogen fertilization and by harvest time // European Journal of Horticultural Science. 2008. Vol. 73, no. 1. Pp. 20–27.
8. Kavtaradze N.S. Anthocyan glucosides from *Urtica dioica* // Chemistry of Natural Compounds. 2003. Vol. 39(3). P. 314.
9. Pinelli P., Ieri F., Vignolini P., Bacci L., Baronti S., Romani A. Extraction and HPLC analysis of phenolic compounds in leaves, stalks, and textile fibers of *Urtica dioica* L. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008. Vol. 56, no. 19. Pp. 9127–9132.
10. Коломиец Н.Э., Калинкина Г.И., Сапронова Н.Н. Стандартизация листьев крапивы двудомной // Фармация. 2011. №6. С. 22–24.
11. Тринеева О.В., Сливкин А.И., Дмитриева А.В. Определение суммы свободных аминокислот в листьях крапивы двудомной // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2015. №5. С. 19–25.
12. Яцок В.Я., Чалый Г.А., Сошникова О.В. Биологически активные вещества травы крапивы двудомной // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2006. №1. С. 25–29.
13. Скалозубова Т.А., Марахова А.И., Сорокина А.А., Федоровский Н.Н. Полисахариды в листьях и настое крапивы двудомной // Фармация. 2012. №2. С. 5–7.
14. Дьякова Н.А. Особенности накопления макро- и микроэлементов листьями крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) // Ульяновский медико-биологический журнал. 2022. №2. С. 139–147.
15. Тринеева О.В., Сливкин А.И. Исследование микроэлементного состава листьев крапивы двудомной // Научные ведомости БелГУ. Серия: Медицина. Фармация. 2015. Т. 32, №22 (219). С. 169–174.

16. Кончина Т.А., Гусева М.В. Влияние техногенного загрязнения на некоторые биологические характеристики рудеральных растений // Молодой ученый. 2015. №23.2 (103.2). С. 118–122.
17. Латышевская Н.И., Стрекалова А.С. Экологические проблемы заготовки лекарственного растительного сырья в рекреационной зоне промышленного центра // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. №5. С. 192–194.
18. Подлипский И.И. Аккумулятивная биоиндикация в инженерно-экологических изысканиях // Инженерные изыскания. 2014. №1. С. 54–63.
19. Сунцова Е.С., Петухова Е.С., Ашихмина Т.Я., Кантор Г.Я. Анализ содержания радионуклидов и тяжёлых металлов в системе «почва – растения» на техногенной территории Кирово-Чепецкого промышленного комплекса // Теоретическая и прикладная экология. 2015. №2. С. 80–85.
20. Скугорева С.Г., Адамович Т.А., Олькова А.С., Домрачева Л.И., Домнина Е.А., Злобин С.С. Использование методов биоиндикации и биотестирования в оценке состояния природного комплекса в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2012. №3. С. 30–37.
21. Бускунова Г.Г., Ягафарова Г.А. Биогеохимическая активность лекарственных растений в условиях техногенного загрязнения // Научный альманах. 2019. №10-2. С. 194.
22. Ушанова В.М., Лебедева О.И., Репях С.М. Исследование влияния условий произрастания на химический состав крапивы двудомной // Химия растительного сырья. 2001. №3. С. 97–104.
23. Карпюк М.С., Гладышев А.А., Трубников В.В. Содержание эссенциальных и токсичных элементов в надземной части *Urtica dioica* L. на шламовом поле криолитового завода // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. №12 (131). С. 85–86.
24. Гладышев А.А., Гусев Н.Ф., Королев А.С., Немерешина О.Н. Продуцирование биологически активных веществ в тканях *Urtica dioica* L. на шламовом поле криолитового производства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. Т. 4, №36-1. С. 215–218.
25. Позняк С.С. Содержание некоторых тяжелых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. №1 (13). С. 123–137.
26. Любимов В.Б., Анищенко Л.Н., Борздыко Е.В., Маркелова Н.В., Поцепай Ю.Г., Сковородникова Н.А., Азарченкова Е.А., Мокрогузова В.Н. Итоги разработки системы биоанализа на региональной основе в мониторинге сред обитания // Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований. 2011. №1 (2). С. 49–60.
27. Гравель И.В. Региональные проблемы экологической оценки лекарственного растительного сырья и фитопрепаратов на примере Алтайского края: автореф. дис. ... д-ра. фарм. наук. М., 2005. 48 с.
28. Государственная фармакопея Российской Федерации. XV изд. М., 2023. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15>.
29. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. М., 2018. Т. 4. 1883 с.
30. Фёрстер Э., Рёнци Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов. М., 1983. 304 с.
31. 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.
32. Дьякова Н.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Вестник ИРГСХА. 2019. №95. С. 19–30.
33. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. М., 2009. 95 с.
34. Пищик В.Н., Воробьев Н.И., Проворов Н.А., Хомяков Ю.В. Механизмы адаптации растений к тяжелым металлам // Агрофизика. 2015. №2. С. 38–49.
35. Абдрахимова Й.Р., Валиева А.И. Вторичные метаболиты растений: физиологические и биохимические аспекты (Часть 3. Фенольные соединения). Казань: Казанский университет, 2012. 40 с.

Поступила в редакцию 9 апреля 2024 г.

После переработки 6 июня 2024 г.

Принята к публикации 24 сентября 2024 г.

Dyakova N.A. *, Eprintsev S.A., Klepikov O.V., Vinogradov P.M. ECOLOGICAL AND HYGIENIC STUDIES OF NETTLE OF DIOECIOUS LEAVES OF SYNANTHROPIC FLORA OF THE MIDDLE LANE OF RUSSIA

Voronezh State University, Universitetskaya pl., 1, Voronezh, 394006, Russia, ninochka_V89@mail.ru

The article presents the results of an ecological and hygienic study of the accumulation of heavy metals and arsenic, as well as biologically active substances in nettles of dioecious leaves harvested in urbanized areas of central Russia, experiencing various anthropogenic impacts. More than 50 samples of nettles of dioecious leaves collected in various territories of the Voronezh region, as a typical region of central Russia, were analyzed for the content of heavy metals and arsenic, as well as the sum of oxycinnamic acids in terms of chlorogenic acid. All test samples were found to meet the requirements of regulatory documentation. Nettles dioecious leaves limitedly accumulate toxic elements such as lead, cadmium, mercury, arsenic, cobalt, nickel, chromium. Nettles dioecious leaves are able to selectively concentrate copper and zinc. The peculiarities of accumulation of toxic elements from nettle soils by dioecious leaves should be taken into account when planning places for harvesting medicinal plant raw materials and assessing its quality. The content of the sum of oxycinnamic acids in samples of nettle leaves collected in some urbocenoses of the Voronezh region is on average 1.5–2 times higher than in samples of natural biocenoses of protected areas. It result of a complex toxic effect on the plant organism, for example, near large roads, industrial enterprises, it is possible to reduce the biosynthesis of hydroxy-cinnamic acids in nettles of dioecious leaves. The calculated values of the correlation coefficients showed that lead, arsenic, nickel, cobalt have a moderate negative effect on the accumulation of oxycinnamic acids.

Keywords: *Urtica dioica* L.; nettles dioecious leaves; heavy metals; arsenic; oxycinnamic acids; middle strip of Russia.

For citing: Dyakova N.A., Eprintsev S.A., Klepikov O.V., Vinogradov P.M. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 1, pp. 238–248. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprpm.20250115036>.

References

1. D'yakova N.A. *Teoreticheskoye i eksperimental'noye obosnovaniye ekologo-farmakognosticheskoy otsenki kachestva lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya (na primere Voronezhskoy oblasti): avtoref. dis. ... dokt. farm. nauk.* [Theoretical and experimental substantiation of ecological-pharmacognostic assessment of the quality of medicinal plant raw materials (on the example of the Voronezh region): author's abstract. diss. ... doctor of pharm. sciences]. Moscow, 2022, 48 p. (in Russ.).
2. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gravel' I.V. *Ekologo-farmakognosticheskaya otsenka kachestva lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya Tsentral'nogo Chernozem'ya: monografiya.* [Ecological and pharmacognostic assessment of the quality of medicinal plant materials of the Central Black Earth Region: monograph]. Moscow, 2023, 238 p. (in Russ.).
3. D'yakova N.A. *Ekologicheskaya otsenka syr'yevykh resursov lekarstvennykh rasteniy Voronezhskoy oblasti: monografiya.* [Ecological assessment of raw materials resources of medicinal plants of the Voronezh region: monograph]. Voronezh, 2022, 264 p. (in Russ.).
4. Lazarev A.V., Markova Ye.A. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki*, 2008, no. 7 (47), pp. 32–36. (in Russ.).
5. Samylina I.A., Pyatigorskaya N.V. *Farmateka*, 2010, no. 1 (195), pp. 62–63. (in Russ.).
6. Kopyt'ko Ya.F., Lapinskaya Ye.S., Sokol'skaya T.A. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2011, vol. 45, no. 10, pp. 32–40. (in Russ.).
7. Grevsen K., Fretté X.C., Christensen L.P. *European Journal of Horticultural Science*, 2008, vol. 73, no. 1, pp. 20–27.
8. Kavtaradze N.S. *Chemistry of Natural Compounds*, 2003, vol. 39(3), p. 314.
9. Pinelli P., Ieri F., Vignolini P., Bacci L., Baronti S., Romani A. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, vol. 56, no. 19, pp. 9127–9132.
10. Kolomiyets N.E., Kalinkina G.I., Sapronova N.N. *Farmatsiya*, 2011, no. 6, pp. 22–24. (in Russ.).
11. Trineyeva O.V., Slivkin A.I., Dmitriyeva A.V. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2015, no. 5, pp. 19–25. (in Russ.).
12. Yatsyuk V.Ya., Chalyy G.A., Soshnikova O.V. *Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika I.P. Pavlova*, 2006, no. 1, pp. 25–29. (in Russ.).
13. Skalozubova T.A., Marakhova A.I., Sorokina A.A., Fedorovskiy N.N. *Farmatsiya*, 2012, no. 2, pp. 5–7. (in Russ.).
14. D'yakova N.A. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*, 2022, no. 2, pp. 139–147. (in Russ.).
15. Trineyeva O.V., Slivkin A.I. *Nauchnyye vedomosti BelGU. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*, 2015, vol. 32, no. 22 (219), pp. 169–174. (in Russ.).
16. Konchina T.A., Guseva M.V. *Molodoy uchenyy*, 2015, no. 23.2 (103.2), pp. 118–122. (in Russ.).
17. Latyshevskaya N.I., Strekalova A.S. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2006, no. 5, pp. 192–194. (in Russ.).
18. Podlipskiy I.I. *Inzhenernyye izyskaniya*, 2014, no. 1, pp. 54–63. (in Russ.).
19. Suntsova Ye.S., Petukhova Ye.S., Ashikhmina T.Ya., Kantor G.Ya. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2015, no. 2, pp. 80–85. (in Russ.).
20. Skugoreva S.G., Adamovich T.A., Ol'kova A.S., Domracheva L.I., Domnina Ye.A., Zlobin S.S. *Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya RAN*, 2012, no. 3, pp. 30–37. (in Russ.).
21. Buskunova G.G., Yagafarova G.A. *Nauchnyy al'manakh*, 2019, no. 10-2, p. 194. (in Russ.).
22. Ushanova V.M., Lebedeva O.I., Repyakh S.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2001, no. 3, pp. 97–104. (in Russ.).

* Corresponding author.

23. Karpyuk M.S., Gladyshev A.A., Trubnikov V.V. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 12 (131), pp. 85–86. (in Russ.).
24. Gladyshev A.A., Gusev N.F., Korolev A.S., Nemereshina O.N. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, vol. 4, no. 36-1, pp. 215–218. (in Russ.).
25. Poznyak S.S. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2011, no. 1 (13), pp. 123–137. (in Russ.).
26. Lyubimov V.B., Anishchenko L.N., Borzdyko Ye.V., Markelova N.V., Potsepay Yu.G., Skovorodnikova N.A., Azarchenkova Ye.A., Mokroguzova V.N. *Yezhegodnik NII fundamental'nykh i prikladnykh issledovaniy*, 2011, no. 1 (2), pp. 49–60. (in Russ.).
27. Gravel' I.V. *Regional'nyye problemy ekologicheskoy otsenki lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya i fitopreparatov na primere Altayskogo kraya: avtoref. dis. ... d-ra. farm. nauk.* [Gravel' I.V. Regional problems of environmental assessment of medicinal plant materials and phytopreparations on the example of Altai Krai: author's abstract. diss. ... doctor of pharmaceutical sciences]. Moscow, 2005, 48 p. (in Russ.).
28. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XV ed.]. Moscow, 2023. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15>. (in Russ.).
29. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV ed.]. Moscow, 2018, vol. 4, 1883 p. (in Russ.).
30. Forster E., Ronts E. *Metody korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza. Rukovodstvo dlya ekonomistov.* [Methods of Correlation and Regression Analysis. Handbook for Economists]. Moscow, 1983, 304 p. (in Russ.).
31. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, no. 59, pp. 61–72. (in Russ.).
32. D'yakova N.A. *Vestnik IrGSKhA*, 2019, no. 95, pp. 19–30. (in Russ.).
33. Vodyanitskiy Yu.N. *Tyazhelyye i sverkhlyazhelyye metally i metalloidy v zagryaznennykh pochvakh.* [Heavy and superheavy metals and metalloids in contaminated soils]. Moscow, 2009, 95 p. (in Russ.).
34. Pishchik V.N., Vorob'yev N.I., Provorov N.A., Khomyakov Yu.V. *Agrofizika*, 2015, no. 2, pp. 38–49. (in Russ.).
35. Abdrakhimova Y.R., Valiyeva A.I. *Vtorichnyye metabolity rasteniy: fiziologicheskiye i biokhimicheskiye aspekty (Chast' 3. Fenol'nyye soyedineniya).* [Secondary metabolites of plants: physiological and biochemical aspects (Part 3. Phenolic compounds)]. Kazan', 2012, 40 p. (in Russ.).

Received April 9, 2024

Revised June 6, 2024

Accepted September 24, 2024

Сведения об авторах

Дьякова Нина Алексеевна – доктор фармацевтических наук, доцент кафедры фармацевтической технологии, Ninochka_V89@mail.ru

Епринцев Сергей Александрович – кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, esa81@mail.ru

Клепиков Олег Владимирович – доктор биологических наук, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, klepa1967@rambler.ru

Виноградов Павел Михайлович – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, vinpaul89@gmail.com

Information about authors

Dyakova Nina Alekseevna – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, Department of Pharmaceutical Technology, Ninochka_V89@mail.ru

Eprintsev Sergey Aleksandrovich – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, esa81@mail.ru

Klepikov Oleg Vladimirovich – Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, klepa1967@rambler.ru

Vinogradov Pavel Mikhailovich – Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, vinpaul89@gmail.com