

УДК 615.322 : 574.24

## ИЗУЧЕНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОИЗОТОПОВ ЛЕКАРСТВЕННЫМ РАСТИТЕЛЬНЫМ СЫРЬЕМ НА ПРИМЕРЕ ЛИСТЬЕВ ПОДОРОЖНИКА БОЛЬШОГО ФЛОРЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ\*

© *Н.А. Дьякова*

*Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1,  
Воронеж, 394006, Россия, Ninochka\_V89@mail.ru*

Целью настоящего исследования являлось изучение особенностей аккумуляции радиоизотопов природного и техногенного происхождения в лекарственном растительном сырье на примере листьев подорожника большого (*Plantago major* L.), заготовленных на различных с точки зрения антропогенного воздействия территориях Воронежской области. В условиях эксперимента в образцах верхних слоев почв и листьях подорожника большого определяли удельную активность основных долгоживущих искусственных радиоизотопов (цезий-137, стронций-90,) и часто встречаемых в природе естественных радионуклидов (торий-232, калий-40, радий-226) на спектрометре - радиометре МКГБ-01 «РА-ДЭК». Все изученные образцы листьев подорожника большого, заготовленные в естественных и искусственных фитоценозах Воронежской области, соответствует существующим требованиям радиационной безопасности (первая группа). Корреляционный анализ удельной активности искусственных и естественных радионуклидов в почве и листьях подорожника большого показал наличие тесной взаимосвязи между данными числовыми показателями, что подтвердило преимущественное транспочвенное их загрязнение. При увеличении удельной активности стронция-90, цезия-137, тория-232, калия-40, радия-226 в почве возрастала их удельная активность в листьях подорожника большого. Для листьев подорожника большого, произрастающего в Воронежской области, отмечено интенсивное аккумуляирование из верхних слоев почв цезия-137, коэффициенты накопления которого варьировали в изученных образцах от 1.81 до 3.29 и в среднем составляли 2.55. Детальный анализ зависимости рассчитанных коэффициентов накопления природных и техногенных радиоизотопов в листьях подорожника большого позволил отметить тенденции к снижению их при увеличении удельной активности радионуклида в почве, что говорит о наличии физиологических механизмов регуляции поступления их в растение.

*Ключевые слова:* Воронежская область, подорожник большой, стронций-90, цезий-137, торий-232, калий-40, радий-226.

---

**Для цитирования:** Дьякова Н.А. Изучение накопления естественных и искусственных радиоизотопов лекарственным растительным сырьем на примере листьев подорожника большого флоры урбанизированных территорий Центрального Черноземья // Химия растительного сырья. 2024. №2. С. 148–158. DOI: 10.14258/jcpr.20240212644.

---

### **Введение**

Урбанизация – одна из основных социально-экологических проблем нашего времени. В процессе роста и становления городов природные экосистемы постепенно изменяются, и формируется новая антропогенная среда со специфическими чертами техногенного влияния, что обуславливает необходимость оценки экологического состояния как природных экосистем, так и агро- и урбоценозов, выявления основных тенденций и приспособительных способностей растительных организмов в отношении сложного комплекса одновременно действующих антропогенных факторов [1, 2].

Вследствие высокого терапевтического эффекта и относительной безопасности лекарственные растительные препараты на отечественном фармацевтическом рынке всегда пользовались значительным спросом. Так, согласно данным Регистра лекарственных средств РФ, на 2022 год насчитывалось более 2.1 тыс.

---

\*Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcpr.20240212644s

лекарственных препаратов растительного происхождения, а число БАД на основе лекарственного растительного сырья (ЛРС) превышало 7.9 тыс. [3, 4]. Большая доля заготовок ЛРС приходится на европейскую часть РФ, характеризующуюся значительной плотностью населения, высокой активностью хозяйственной деятельности, динамичным развитием транспортных магистралей и промышленности. Некачественное ЛРС и получаемые из него препараты являются важными источниками поступления экотоксикантов в организм человека, в частности, токсичных элементов и радионуклидов [5, 6].

Элементный профиль ЛРС отражает экологическое состояние региона и минеральный состав почв. Анализ опубликованных данных показал, что полный элементный состав лекарственных растений Воронежской области практически не изучен. При этом Воронежская область является одним из крупнейших субъектов Центрального федерального округа и Центрально-Черноземного экономического района, характеризуется высокой численностью (более 2.3 млн человек) и долей городского населения (более 68% на 2021 г.), а также ежегодно возрастающими индексом промышленного производства (порядка 130%). Вследствие роста урбанизированных территорий, увеличения количества автотранспорта, расширения производственных площадей и сельскохозяйственных угодий вероятность культивирования и заготовки ЛРС вблизи источников выброса экотоксикантов существенно возрастает. В связи с этим значимой является оценка эколого-фармакогностического состояния сырьевой базы лекарственных растений Воронежской области как в традиционных местах заготовки, так и в районах промышленно-хозяйственного значения с целью уточнения допустимых зон сбора ЛРС, а также для изучения особенностей накопления экотоксикантов в ЛРС [1, 2, 7].

Радионуклиды активно переходят из почвы в растения и далее по трофическим цепям. Загрязненное растительное сырье, а также продукты, производимые на его основе, являются значимыми источниками поступления различных ксенобиотиков в организм человека, в частности, и радионуклидов [5, 6]. Почвы Воронежской области преимущественно представлены черноземами, которые отличаются высоким содержанием гумуса, глины, ила и других органических веществ, что обуславливает большую емкость поглощения радионуклидов и их прочную сорбцию [8–10].

Одним из оптимальных объектов исследования эколого-фармакогностических исследований является подорожник большой (*Plantago major* L.), который представляет собой синантропный евроазиатский вид, повсеместно распространенный на территории России, сырье которого заготавливается от дикорастущих особей. В экологическом отношении подорожник большой – стойкий эвритоп, микосимбиотроф, рудеральный сорняк, чаще всего произрастает на пустырях и сорных местах, вблизи дорог и на выпасах. Встречается на самых разнообразных почвах, однако, лучше развивается на глинистых, слабокислых почвах, проявляет требовательность к богатству почв азотом. По отношению к увлажнению почвы – тяготеет к влажно-луговым биотопам. Растет при разной степени пастбищной дигрессии, переносит вытаптывание [7, 11, 12].

Листья подорожника большого имеют хорошо исследованный богатый химический состав, основными биологически активными веществами которого являются полисахариды, иридоиды и флавоноиды. Содержание полисахаридов в листьях подорожника большого варьирует от 10 до 35%, состоят преимущественно из галактозы, арабинозы, галактуроновой кислоты и рамнозы в соотношении 3 : 2 : 16 : 1. Иридоиды представлены аукубозидом и гликозидами аукубина, гидролизующимся до глюкозы и аукубигенина. Флавоноиды подорожника большого – преимущественно производные флавона – плантагинин, гомоплантагинин, производные скутелляреина и байкалеина. Также листья подорожника большого содержат дубильные вещества (до 5–6%), кумарины (скополетин, эскулетин), алкалоиды (плантагонин, индикаин), сапонины, горькие вещества, органические кислоты (до 11–13%, включая доминирующие винную, лимонную, а также сиреневую, кофейную, бензойную, фумаровую, салициловую, коричную, *n*-гидроксibenзойную, феруловую, *n*-кумаровую, гентизиновую, ванилиновую, хлорогеновую, неохлорогеновую), холин, аденин, витамины А, В<sub>2</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>9</sub>, К, С, ферменты (эмульсин, инвертин), незаменимые аминокислоты (аргинин, валин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин), ненасыщенные жирные кислоты (пальмитолеиновая, олеиновая, линолевая, линоленовая), макро- и микроэлементы, в частности, богаты калием, кальцием, магнием, марганцем, медью, железом [11, 13–17].

Богатый химический состав обуславливает широкое применение листьев подорожника большого, обладающих обволакивающим, отхаркивающим, муколитическим, противокашлевым, противовоспалительным, репаративным, антисептическим, противомикробным, противовирусным, гемостатическим, противоаллергическим, анальгезирующим, седативным, гипотензивным, слабительным, антиоксидантным, антисклеротическим действием. Листья подорожника большого отпускаются в пачках и брикетах, входят в состав фиточаев и сборов («Грудной №1», «Грудной №2», «Отхаркивающий»), на их основе отечественной

промышленностью выпускаются настойка, экстракт, сиропы («КМ-Гуссофит», «Стоптуссин Фито», «Сиропыч», «Артрофит»), гранулы «Плантоглоцид», таблетки «Гастрокалм», капсулы «Бетулаир» и др. [3, 11, 13, 14, 16, 18, 19].

Широкое распространение подорожника большого на антропогенно освоенных и нарушенных территориях делает его удобным объектом исследования эколого-гигиенического состояния растений и качества получаемого лекарственного сырья, что было использовано рядом авторов.

К настоящему времени подробно изучены особенности накопления тяжелых металлов и мышьяка в листьях подорожника большого [20–29]. На примере ЛРС, заготовленного на территории Воронежской области, показано, что листья подорожника большого способны избирательно концентрировать некоторые тяжелые металлы, входящие в активные центры ферментных систем (например, такие как медь и цинк), в том случае, если их содержание в окружающей среде ниже некоторого жизненно важного уровня; при значительном же содержании данных элементов в почвах растение также физиологически блокировало их поступление в листья. Данный факт свидетельствует, что для подорожника большого в условиях антропогенной нагрузки в результате действия отбора в условиях техногенного загрязнения внешней среды и проявления адаптации к этим условиям происходит формирование эдафотипа [7].

Особенности накопления радионуклидов для данного вида изучены гораздо меньше. Так, эколого-гигиенические исследования И.Н. Егоровой по оценке качества ЛРС Кемеровской области показали, что главный вклад в удельную радиоактивность листьев подорожника большого вносит калий-40 (более 90% от общей радиоактивности). При этом удельные активности цезия-137 и стронция-90 соответствуют требованиям ГФ, а их вклад в общую радиоактивность составляет менее 8%, что свидетельствует о незначительном загрязнении искусственными радионуклидами ЛРС Кузбасса [20]. Работы Р.А. Колчанова с соавторами по сравнительному анализу накопления радионуклидов в ЛРС Белгородской области, проводимые на примере 31 вида сырья, показали наивысшую аккумуляционную способность подорожника большого в отношении цезия-137 (от 28 до 470 Бк/кг) [30]. Таким образом, данные по особенностям накопления наиболее значимых природных и искусственных радионуклидов в листьях подорожника большого весьма немногочисленны, что делает это исследование актуальным.

Цель исследования – изучение особенностей аккумуляции радионуклидов природного и техногенного происхождения в листьях подорожника большого, заготовленных на различных с точки зрения антропогенного воздействия территориях Воронежской области.

### *Экспериментальная часть*

Выбор территорий для сбора образцов листьев подорожника большого на территории Воронежской области обусловлен особенностями воздействия человека (рис. 1): химические промышленные предприятия (рис. 1: 23, 24, 28); теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) (рис. 1: 27); атомная электростанция (АЭС) в г. Нововоронеж (рис. 1: 8); международный аэропорт им. Петра I (рис. 1: 30); улица г. Воронежа (ул. Димитрова) (рис. 1: 31); высоковольтные линии электропередачи (ВЛЭ) (рис. 1: 9); Воронежское водохранилище (рис. 1: 29); малые города (г. Борисоглебск (рис. 1: 25), г. Калач (рис. 1: 26)); зона значительного месторождения никелевых руд (рис. 1: 4); районы, находящиеся в зоне радиоактивного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС (рис. 1: 5-7); районы активного ведения сельского хозяйства (рис. 1: 10-22); фон (для сравнения) – заповедные территории (рис. 1: 1,2,3)). Также проводили отбор проб вдоль дорог разной степени загруженности: лесная зона (рис. 1: 32) – трасса М4 «Дон», лесостепная зона (рис. 1: 33) – трасса А144 «Курск-Саратов», степная зона (рис. 1: 34) – трасса М4 «Дон», проселочная автомобильная дорога малой загруженности (рис. 1: 35) и железная дорога (рис. 1: 36).

В условиях эксперимента в образцах верхних слоев почв и листьев подорожника большого определяли удельную активность основных долгоживущих искусственных радионуклидов (цезий-137, стронций-90,) и часто встречаемых в природе естественных радионуклидов (торий-232, калий-40, радий-226). Пробы почвы на исследуемой пробной площадке отбирали в соответствии с ГОСТ Р 58595-2019 «Почвы. Отбор проб», методом конверта или по диагонали так, чтобы проба представляла собой часть почвы, типичной для ее изучаемых слоев, в данном случае – верхних слоев (0–10 см от поверхности), с помощью лопат.

Листья подорожника большого заготавливали в соответствии с требованиями ФС. 2.5.0032.15 «Подорожника большого листья» в период цветения растения, аккуратно срезали, сушили теневым способом при хорошей вентиляции тонким слоем, периодически переворачивая [31].



Рис. 1. Карта отбора образцов (цифры расшифрованы выше)

Анализ образцов почв и ЛРС проводили на спектрометре – радиометре МКГБ-01 «РАДЭК» с программным обеспечением «ASW». Определение удельной активности радионуклидов проводили в соответствии с первым вариантом измерений ОФС.1.5.3.0001.15 «Определение содержания радионуклидов в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах» [32]. Каждое определение проводили троекратно. Данные, полученные в ходе исследований верхних слоев почв и лекарственного растительного сырья на содержание радионуклидов, статистически обрабатывали с помощью программ «Microsoft Excel» и «STATISTICA» [33, 34]. Изучение взаимосвязи между определяемыми числовыми показателями вели методом параметрической статистики по критерию корреляции Пирсона. При расшифровке полученных значений пользовались шкалой Чеддока [35].

Чтобы оценить возможность накопления из почвы различных радионуклидов листьями подорожника большого, использовали коэффициент накопления (КН), рассчитанный по формуле:

$$КН = \frac{C_{ЛРС} > 100}{C_{всп}}$$

где  $C_{ЛРС}$  – удельная активность радионуклида в листьях растения, Бк/кг;  $C_{всп}$  – удельная активность радионуклида в верхних слоях почв, Бк/кг [4, 7].

### Результаты и их обсуждение

Все отобранные образцы листьев подорожника большого соответствуют требованиям государственной фармакопеи по содержанию искусственных радионуклидов в лекарственном растительном сырье (табл. 1). Удельная активность в анализируемом сырье стронция-90 в среднем составила 7.1 Бк/кг, варьировала от 5.3 Бк/кг до 10.4 Бк/кг, что в десятки раз меньше предельно допустимых норм. Аккумуляция цезия-137 отмечена на более высоком уровне и составила от 54.1 Бк/кг до 167.3 Бк/кг (среднее значение для листьев подорожника большого Воронежского региона 106.6 Бк/кг), что также не превышает установленного фармакопейей максимального содержания 400 Бк/кг.

Рассчитанные на основе результатов определения удельных активностей искусственных радионуклидов значения суммы показателя соответствия требованиям радиационной безопасности и погрешности его определения для всех изученных листьев подорожника большого позволили признать все образцы данного лекарственного растительного сырья, заготовленного на территории Воронежской области, соответствующими критерию радиационной безопасности (первая группа): их числовые значения составили от 0.17 до 0.45, что не превышает установленной фармакопейной статьей нормы 1.0.

Таблица 1. Результаты определений удельной активности радионуклидов в образцах листьев подорожника большого

№ п/п	Территория заготовки образцов	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг (среднее и ошибка среднего)					Сумма показателя соответствия требованиям радиационной безопасности и погрешности его определения
		Sr-90	Cs-137	Th-232	K-40	Ra-226	
1	Территория Воронежского заповедника	6.4±1.8	115.9±15.9	12.4±3.7	416±57	4.8±2.1	0.32
2	Территория Хоперского заповедника	6.0±2.4	77.3±23.8	11.7±4.2	539±89	4.2±1.7	0.22
3	Территория Теллермановского леса	6.1±1.5	63.9±9.7	14.3±5.7	606±64	3.9±0.6	0.19
4	Село Елань-Колено	5.8±0.8	69.9±12.9	10.8±4.8	682±82	7.3±1.9	0.20
5	Село Нижнедевицк	10.4±1.6	123.3±17.9	9.8±3.9	689±85	8.6±2.1	0.36
6	Улица города Острогожск	7.8±2.8	128.1±13.0	11.7±2.0	853±90	8.9±1.3	0.36
7	Улица города Семилуки	8.9±1.4	163.1±21.9	9.3±4.1	716±102	10.1±0.9	0.45
8	Улица города Нововоронеж	5.4±1.3	136.8±14.8	14.7±5.5	635±54	9.2±1.8	0.37
9	ВЛЭ	7.6±0.8	153.7±15.0	15.4±6.0	614±72	9.6±0.7	0.42
10	Агроценоз Лискинского р-на	4.8±1.6	129.6±8.9	12.3±4.7	556±80	8.3±1.6	0.35
11	Агроценоз Ольховатского р-на	5.9±1.7	136.1±11.0	13.0±3.9	718±54	8.4±1.6	0.37
12	Агроценоз Подгоренского р-на	7.2±2.3	118.9±9.2	14.2±2.9	831±51	8.3±0.5	0.33
13	Агроценоз Петропавловского р-на	6.3±1.3	79.5±8.0	14.5±4.8	854±78	8.7±2.6	0.23
14	Агроценоз Грибановского р-на	6.4±2.7	61.3±8.4	17.4±5.9	704±60	10.2±1.7	0.19
15	Агроценоз Хохольского р-на	7.8±1.9	142.9±22.1	16.5±5.0	918±54	10.1±1.8	0.40
16	Агроценоз Новохоперского р-на	6.8±3.7	63.1±7.4	17.1±3.0	679±75	10.6±1.2	0.19
17	Агроценоз Репьевского р-на	8.2±0.8	138.6±22.5	18.4±4.3	751±62	8.7±2.2	0.39
18	Агроценоз Воробьевского р-на	5.3±1.5	64.3±16.0	19.5±6.1	653±97	8.2±0.9	0.19
19	Агроценоз Панинского р-на	8.4±1.8	89.5±13.7	12.6±3.4	689±65	8.7±2.1	0.27
20	Агроценоз Верхнехавского р-на	8.7±1.9	115.4±16.3	18.4±2.5	911±100	8.2±0.8	0.33
21	Агроценоз Эртильского р-на	8.9±0.6	81.2±11.8	13.3±4.9	937±85	9.3±1.7	0.25
22	Агроценоз Россошанского р-на	7.2±1.1	105.7±21.8	16.5±3.7	983±94	8.0±2.6	0.30
23	Вблизи ОАО «Минудобрения»	7.1±1.9	117.4±14.6	13.9±4.2	861±59	8.1±1.4	0.33
24	Вблизи ООО «Бормаш»	6.5±1.5	65.3±7.5	14.2±3.6	499±67	9.0±2.9	0.20
25	Улица города Борисоглебск	6.7±1.1	54.1±10.5	12.1±3.0	673±73	7.6±1.1	0.17
26	Улица города Калач	7.5±0.9	59.8±16.9	11.7±2.9	835±97	7.3±2.6	0.19
27	Вблизи ТЭЦ-1 «ВОГРЭС»	7.2±2.0	167.3±13.6	20.6±4.7	1072±108	10.2±0.8	0.45
28	Вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук»	7.4±1.5	157.6±11.4	18.5±2.9	1157±110	10.1±2.1	0.43
29	Вблизи Воронежского водохранилища	8.3±1.7	140.6±20.8	17.3±2.8	1116±98	9.8±1.7	0.39
30	Вблизи международного аэропорта Воронеж	6.2±1.0	89.1±9.1	16.4±4.9	531±52	7.4±2.5	0.25
31	Улица города Воронеж	9.3±2.3	146.3±24.7	11.5±4.0	1197±99	9.3±1.3	0.41
32	Автоматгистраль М4 «Дон» в Рамонском р-не	7.2±1.7	97.6±11.5	10.6±5.2	534±68	7.0±0.9	0.28
33	Автоматгистраль А144	5.4±2.5	116.8±20.7	13.7±3.8	678±72	4.5±1.7	0.32
34	Автоматгистраль М4 «Дон» в Павловском р-не	6.7±1.8	103.4±21.9	9.7±4.9	511±81	6.5±1.6	0.29
35	Дорога обычного типа	5.9±1.0	57.1±15.7	9.6±2.8	609±73	8.4±2.6	0.17
36	Железнодорожные пути	7.7±2.0	98.4±9.5	11.1±3.0	497±56	7.2±2.1	0.28
<b>Среднее для Воронежской области</b>		7.1	106.6	14.0	742	8.2	0.30
<b>Допустимая удельная активность</b>		200	400	–	–	–	<1

Удельную активность природных радионуклидов в листьях подорожника большого сложно оценить в связи с отсутствием в нормативной документации предельно допустимых норм данных показателей для лекарственного растительного сырья и другой растительной продукции. При этом полученные результаты нельзя назвать высокими относительно ранее проведенных исследований и результатов определения природных радионуклидов в других видах изучаемого сырья. Так, удельная активность тория-232 варьировала от 9.3 Бк/кг до 20.6 Бк/кг. Содержание калия-40 лежало в диапазоне от 416 Бк/кг до 1197 Бк/кг. Удельная активность радия-226 характеризовалось числовыми значениями от 3.9 Бк/кг до 10.6 Бк/кг.

Таким образом, все проанализированные листья подорожника большого соответствуют существующим требованиям радиационной безопасности. Относительно более высокими значениями удельных активностей удельных активностей природных радионуклидов, а также суммы показателя соответствия и погрешности его определения, отмечены в образцах, заготовленных вблизи теплоэлектроцентрали «ВОГРЭС» и на

улице Левобережного района города Воронежа, вдоль Воронежского водохранилища, вблизи химического предприятия ОАО «Воронежсинтезкаучук», которые расположены в ближайшей окружности от теплоэлектростанции. Причиной более высоких значений эффективной удельной активности природных радионуклидов, удельной активности калия-40, радия-226, тория-232, а также цезия-137 и показателя соответствия требованиям радиационной безопасности следует считать тот факт, что в качестве топлива на ТЭЦ «ВОГРЭС» более 70 лет использовали каменный уголь, который содержит в качестве естественной примеси различные радиоактивные изотопы, попадающие в окружающую среду вместе с выбросами в атмосферу.

Корреляционный анализ [33, 34] удельной активности искусственных и естественных радионуклидов в почве и листьях подорожника большого (табл. 2) показал наличие весьма высокой [35] взаимосвязи для стронция-90, цезия-137, калия-40, радия-226, и высокой – для тория-232, что подтверждает преимущественное загрязнение лекарственного растительного сырья радионуклидами через почву.

Изучение удельной активности искусственных и природных радионуклидов в верхних слоях почв и листьях подорожника большого (рис. 2–6) показало наличие прямой зависимости между этими показателями. Закономерности перехода радионуклидов из верхних слоев почв в листья подорожника большого описаны математическими зависимостями.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между удельными активностями радионуклидов в почве и листьях подорожника большого

Радиоизотоп	Sr-90	Cs-137	Th-232	K-40	Ra-226
Коэффициент корреляции	0.93	0.99	0.90	0.97	0.87

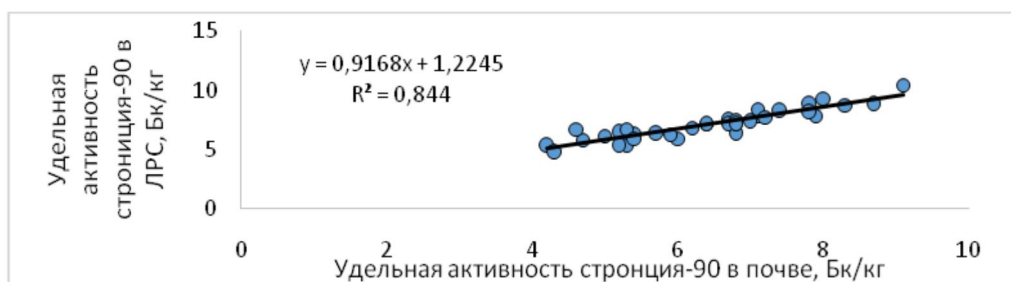


Рис. 2. Зависимость удельной активности стронция-90 в листьях подорожника большого от его удельной активности в почве

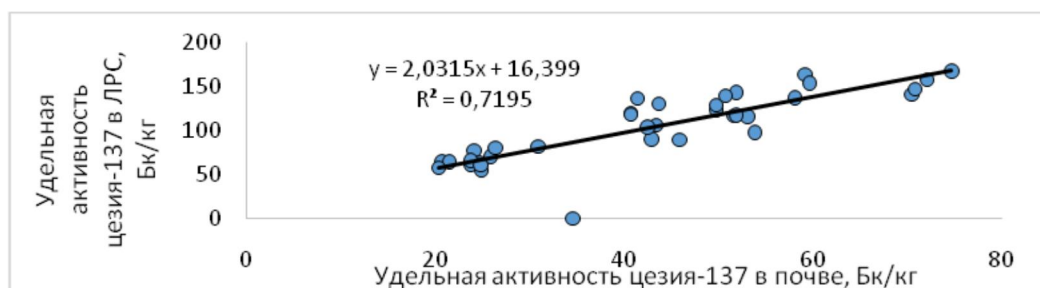


Рис. 3. Зависимость удельной активности цезия-137 в листьях подорожника большого от его удельной активности в почве

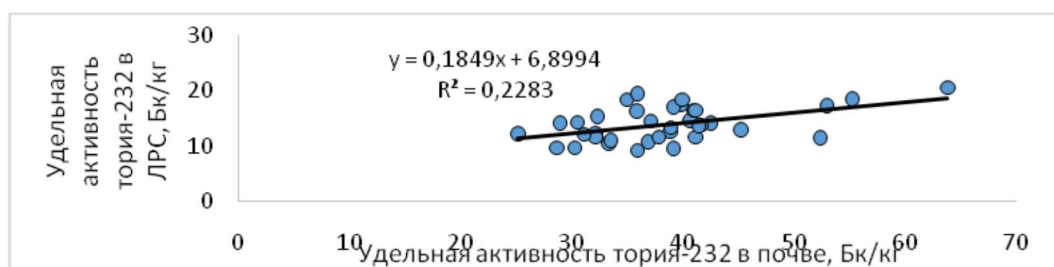


Рис. 4. Зависимость удельной активности тория-232 в листьях подорожника большого от его удельной активности в почве

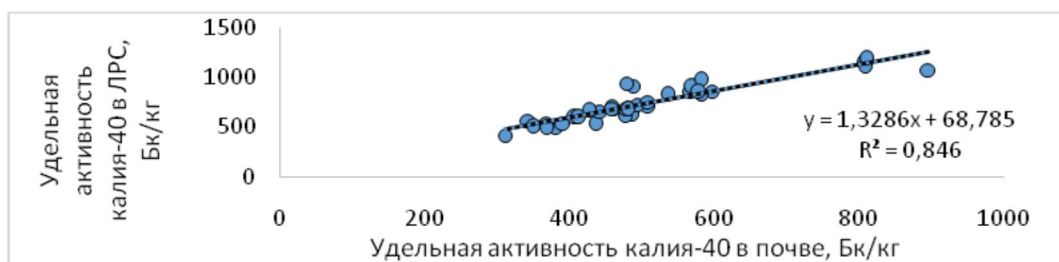


Рис. 5. Зависимость удельной активности калия-40 в листьях подорожника большого от его удельной активности в почве

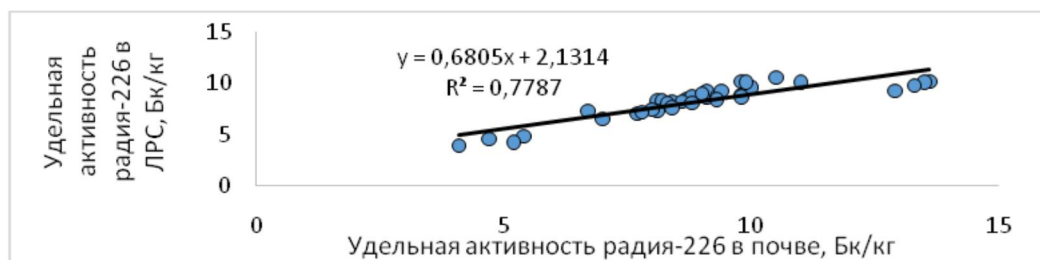


Рис. 6. Зависимость удельной активности радия-226 в листьях подорожника большого от его удельной активности в почве

Для листьев подорожника большого, произрастающего в Воронежской области, отмечено интенсивное аккумулярование из верхних слоев почв цезия-137, коэффициенты накопления которого варьировали в изученных образцах от 1.81 до 3.29 и в среднем составляли 2.55 (табл. 3). Относительно высокий уровень концентрирования в листьях подорожника большого также отмечен для близкого по строению изотопа – калия-40, средний коэффициент накопления которого составил 1.47 при диапазоне его численных колебаний от 1.23 до 1.96. Активно накапливаются в листьях подорожника большого двухвалентные радиоизотопы: для стронция-90 средний коэффициент накопления составил 1,12 (показатель в изученных образцах варьирует от 0.94 до 1.29), для радия-226 – 0.93 (расчетный показатель колебался в данном виде лекарственного растительного сырья от 0.72 до 1.02). Невысокие коэффициенты накопления в листьях подорожника большого отмечены для тория-232: в среднем они составили 0.37, варьируя от 0.24 до 0.49.

Таблица 3. Коэффициенты накопления радионуклидов в образцах листьев подорожника большого (*Plantago major* L.)

№ п/п	Территория заготовки образцов	Радиоизотоп				
		Sr-90	Cs-137	Th-232	K-40	Ra-226
1	2	3	4	5	6	7
1	Территория Воронежского заповедника	0.94	2.24	0.39	1.33	0.89
2	Территория Хоперского заповедника	1.13	3.21	0.36	1.23	0.81
3	Территория Теллермановского леса	1.22	3.09	0.47	1.49	0.95
4	Село Елань-Колено	1.23	2.70	0.29	1.48	1.09
5	Село Нижнедевицк	1.14	2.48	0.32	1.43	0.95
6	Улица города Острогожск	1.10	2.57	0.28	1.43	0.91
7	Улица города Семилуки	1.14	2.76	0.26	1.41	0.92
8	Улица города Нововоронеж	1.29	2.35	0.36	1.30	1.01
9	ВЛЭ	1.13	2.57	0.48	1.28	0.96
10	Агроценоз Лискинского р-на	1.12	2.97	0.49	1.63	1.02
11	Агроценоз Ольховатского р-на	0.98	3.29	0.29	1.45	0.97
12	Агроценоз Подгоренского р-на	1.06	2.92	0.33	1.43	1.01
13	Агроценоз Петропавловского р-на	1.17	3.01	0.39	1.51	0.94
14	Агроценоз Грибановского р-на	1.12	2.58	0.44	1.53	1.04
15	Агроценоз Хохольского р-на	0.99	2.75	0.40	1.61	1.02
16	Агроценоз Новохоперского р-на	1.10	2.55	0.41	1.42	1.01
17	Агроценоз Репьевского р-на	1.05	2.73	0.53	1.48	0.99

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
18	Агроценоз Воробьевского р-на	1.00	2.99	0.54	1.48	0.98
19	Агроценоз Панинского р-на	1.18	2.09	0.26	1.43	0.89
20	Агроценоз Верхнехавского р-на	1.05	2.17	0.37	1.86	0.95
21	Агроценоз Эртильского р-на	1.02	2.63	0.34	1.96	0.99
22	Агроценоз Россошанского р-на	1.07	2.44	0.38	1.69	0.96
23	Вблизи ОАО «Минудобрения»	1.11	2.88	0.33	1.49	0.92
24	Вблизи ООО «Бормаш»	1.25	2.74	0.49	1.31	1.00
25	Улица города Борисоглебск	1.26	2.17	0.39	1.57	0.90
26	Улица города Калач	1.10	2.41	0.31	1.55	0.90
27	Вблизи ТЭЦ-1 «ВОГРЭС»	1.13	2.24	0.38	1.20	0.75
28	Вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук»	1.06	2.19	0.37	1.43	0.75
29	Вблизи Воронежского водохранилища	1.12	1.99	0.36	1.38	0.74
30	Вблизи международного аэропорта Воронеж	1.05	1.94	0.46	1.36	0.93
31	Улица города Воронеж	1.16	2.07	0.24	1.48	0.72
32	Автомостраль М4 «Дон» в Рамонском р-не	1.06	1.81	0.32	1.45	0.91
33	Автомостраль А144	1.04	2.25	0.33	1.48	0.96
34	Автомостраль М4 «Дон» в Павловском р-не	1.46	2.43	0.34	1.46	0.93
35	Дорога обычного типа	1.09	2.80	0.25	1.48	0.90
36	Железнодорожные пути	1.07	2.84	0.33	1.47	0.92
<b>Среднее для Воронежской области</b>		1.12	2.55	0.37	1.47	0.93

Для коэффициентов накопления определяемых радионуклидов в листьях подорожника большого отмечены тенденции к снижению при увеличении их удельной активности в почве, что говорит о наличии физиологических механизмов регуляции их поступления в растение. Закономерности перехода описаны на рисунках электронного приложения.

### Выводы

Изучено накопление естественных и искусственных радионуклидов листьями подорожника большого, заготовленных в естественных и искусственных фитоценозах Воронежской области. Все исследуемое лекарственное растительное сырье соответствует существующим требованиям радиационной безопасности (первая группа). Корреляционный анализ удельной активности искусственных и естественных радионуклидов в почве и листьях подорожника большого показал наличие тесной взаимосвязи между данными числовыми показателями, что подтвердило преимущественное транспочвенное их загрязнение. При увеличении удельной активности стронция-90, цезия-137, тория-232, калия-40, радия-226 в почве возрастала их удельная активность в листьях подорожника большого. Для листьев подорожника большого, произрастающего в Воронежской области, отмечено интенсивное аккумуляирование из верхних слоев почв цезия-137, коэффициенты накопления которого варьировали в изученных образцах от 1.81 до 3.29 и в среднем составляли 2.55. Детальный анализ зависимости рассчитанных коэффициентов накопления природных и техногенных радионуклидов в листьях подорожника большого позволил отметить тенденции к снижению их при увеличении удельной активности радионуклида в почве, что говорит о наличии физиологических механизмов регуляции поступления их в растение.

### Дополнительная информация

В электронном приложении к статье (DOI: <http://www.doi.org/10.14258/jcprtm.20240212644s>) приведен дополнительный экспериментальный материал, раскрывающий основные положения, изложенные в статье.

### Финансирование

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-27-00272).

### Конфликт интересов

Автор данной работы заявляет, что у нее 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. Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области. Воронеж, 2022. 264 с.
3. Регистр лекарственных средств России. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rlsnet.ru/>.
4. Дьякова Н.А. Изучение накопления радионуклидов лекарственным растительным сырьем Центрального Черноземья // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2022. Т. 21, №3. С. 170–175. DOI: 10.37903/vsgma.2022.3.22.
5. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П. Оценка содержания радионуклидов в лекарственном растительном сырье Центрального Черноземья и их влияния на накопление биологически активных веществ // Химико-фармацевтический журнал. 2020. Т. 54, №6. С. 68–72. DOI: 10.30906/0023-1134-2020-54-6-49-53.
6. Терешкина О.И., Рудакова И.П., Самылина И.А. Оценка риска радионуклидного загрязнения лекарственного растительного сырья // Фармация. 2011. №7. С. 3–6.
7. Дьякова Н.А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка листьями подорожника большого // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, №2. С. 232–239. DOI: 10.18500/1816-9775-2020-20-2-232-239.
8. Jablonskikh L.A. Content and vertical distribution of heavy metals and radionuclides in hydromorphic Soils of the Forest Steppe // Eurasian Soil science. 1999. Vol. 32, no. 4. Pp. 394–403.
9. Neverova O.A., Egorova I.N. Assessment of radionuclide pollution of rosa majalis herrm fruits in the circumstances of the anthropologically disordered Kuznetsk basin areas // Advances in Environmental Biology. 2014. Vol. 8, no. 13. Pp. 414–418.
10. Dyakova N., Gaponov S., Slivkin A., Chupandina E. Accumulation of artificial and natural radionuclides in medicinal plant material in the Central Black Soil Region of Russia // Advances in Biological Sciences Research. 2019. Vol. 7. Pp. 94–96. DOI: 10.2991/isils-19.2019.22.
11. Куркин В.А. Фармакогнозия. Самара, 2004. 1179 с.
12. Цвелев Н.Н. Арктическая флора СССР. Сем. Plantaginaceae Juss. Л., 1983. Т. 8-2. С. 16–25.
13. Олейников Д.Н., Samuelsen A.B., Танахаева Л.М. Подорожник большой (*Plantago major* L.) химический состав и применение // Химия растительного сырья. 2007. №2. С. 37–50.
14. Самылина И.А., Сорокина А.А., Пятигорская Н.В. Подорожник большой // Фарматека. 2010. №2. С. 100–101.
15. Егорова И.Н. Содержание тяжелых металлов и радионуклидов в сырьевых лекарственных растениях Кемеровской области: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Томск, 2010. 21 с.
16. Попов А.И. Фронтальный элементный анализ листьев подорожника большого // Химико-фармацевтический журнал. 1993. №11. С. 50–51.
17. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф., Малкова Т.Л. Биологически активные вещества подорожника большого (*Plantago major* L.) степной зоны // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. №3 (71). С. 113–117.
18. Хортецкая Т.В., Смойловская Г.П., Мазулин А.В., Мазулин Г.В. Определение содержания гидроксикоричных кислот в листьях подорожников большого и среднего // Химия растительного сырья. 2014. №2. С. 177–180.
19. Данилов М.С. Некоторые биологические свойства подорожника большого // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. №8 (94). С. 71–73.
20. Фролова А.В. Лекарственные растения для лечения хирургической инфекции: подорожник большой // Вестник фармации. 2006. №2(32). С. 1–11.
21. Godzik B. Heavy metals content in plants from zinc dumps and reference area // Polish Botanical Studies. 1993. Vol. 5. Pp. 113–132.
22. Воскресенская О.Л. Динамика ростовых процессов и накопление тяжелых металлов в онтогенезе подорожника большого в условиях антропогенного загрязнения // Вестник МарГТУ. 2009. №1. С. 71–80.
23. Ефремов А.А., Шаталина Н.В., Стрижева Е.Н., Первышина Г.Г. Влияние экологических факторов на химический состав некоторых дикорастущих растений Красноярского края // Химия растительного сырья. 2002. №3. С. 53–56.
24. Зубарева К.Э., Качкин К.В., Сиромля Т.И. Влияние выбросов автомобильного транспорта на элементный состав листьев подорожника большого // Химия растительного сырья. 2011. №2. С. 159–164.
25. Сиромля Т.И. Влияние автотранспортного загрязнения на экологическое состояние подорожника большого // Сибирский экологический журнал. 2011. №5. С. 677–688.
26. Бабкина Л.А., Лукьянчиков Д.С., Лукьянчикова О.В. Особенности аккумуляции тяжелых металлов листьями подорожника большого (*Plantago major* L.) в условиях урбанизированных // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7. №1(22). С. 19–24.
27. Кириенко Н.Н., Терлеева П.С., Первышина Г.Г. Влияние автотранспортного загрязнения биотопа на биохимическую активность *Arctium lappa* и *Plantago major* // Вестник КрасГАУ. 2009. №7(34). С. 70–72.

28. Мяделец М.А., Сиромля Т.И., Охлопкова О.В., Качкин К.В. Содержание химических элементов и биологически активных веществ в листьях подорожника большого (*Plantago major* L.) в условиях антропогенно нарушенных // Сибирский медицинский журнал. 2015. Т. 132. №1. С. 94–97.
29. 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.
30. Колчанов Р.А., Колчанов А.Ф. Содержание цезия-137 в лекарственных растениях на территории Белгородской области // Научные ведомости БелГУ. 2009. №11(66). С. 14–17.
31. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. М., 2018. Т. 4. 1883 с.
32. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. М., 2018. Т. 2. 1449 с.
33. Бондарчук С.С., Бондарчук И.С. Статобработка экспериментальных данных в MS Excel. Томск, 2018. 433 с.
34. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М., 2000. 312 с.
35. Фёрстер Э., Рёнц Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов. М., 1983. 304 с.

Поступила в редакцию 8 января 2024 г.

После переработки 21 апреля 2024 г.

Принята к публикации 23 апреля 2024 г.

*Dyakova N.A. STUDY OF ACCUMULATION OF NATURAL AND ARTIFICIAL RADIOISOTOPES BY MEDICINAL PLANT RAW MATERIALS ON THE EXAMPLE OF PLANTAIN LEAVES OF LARGE FLORA OF URBANIZED TERRITORIES OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION*

*Voronezh State University, Universitetskaya pl., 1, Voronezh, 394006, Russia, Ninochka\_V89@mail.ru*

The purpose of this study was to study the peculiarities of accumulation of radioisotopes of natural and man-made origin in medicinal plants using the example of *Plantago major* L. leaves harvested in different territories of the Voronezh region from the point of view of anthropogenic impact. Under experimental conditions, the specific activity of the main long-lived artificial radioisotopes (cesium-137, strontium-90,) and naturally occurring radionuclides (thorium-232, potassium-40, radium-226) on a spectrometer – RADEK MKGB-01 radiometer was determined in samples of the upper layers of soils and leaves of the large plantain. All studied samples of large plantain leaves, prepared in natural and artificial phytocenoses of the Voronezh region, meet the existing radiation safety requirements (first group). Correlation analysis of the specific activity of artificial and natural radionuclides in the soil and leaves of the large plantain showed the presence of a close relationship between these numerical indicators, which confirmed their predominant transposed pollution. With an increase in the specific activity of strontium-90, cesium-137, thorium-232, potassium-40, radium-226 in the soil, their specific activity in the leaves of the large plantain increased. For large plantain leaves growing in the Voronezh region, intensive accumulation from the upper layers of cesium-137 soils was noted, the accumulation coefficients of which varied in the studied samples from 1.81 to 3.29 and averaged 2.55. A detailed analysis of the dependence of the calculated accumulation coefficients of natural and man-made radioisotopes in large plantain leaves made it possible to note trends towards their decrease with an increase in the specific activity of radionuclide in the soil, which indicates the presence of physiological mechanisms for regulating their entry into the plant.

*Keywords:* Voronezh region, *Plantago major* L., strontium-90, cesium-137, thorium-232, potassium-40, radium-226.

---

**For citing:** Dyakova N.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 2, pp. 148–158. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240212644.

---

### References

1. D'yakova N.A. *Teoreticheskoye i eksperimental'noye obosnovaniye ekologo-farmakognosticheskoy otsenki kache-stva 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 (using the example of the Voronezh region): abstract of thesis. dis. ... doc. pharm. Sci.]. Moscow, 2022, 48 p. (in Russ.).
2. D'yakova N.A. *Ekologicheskaya otsenka syr'yevykh resursov lekarstvennykh rasteniy Voronezhskoy oblasti.* [Ecological assessment of raw materials of medicinal plants in the Voronezh region]. Voronezh, 2022, 264 p. (in Russ.).
3. *Registr lekarstvennykh sredstv Rossii.* [Register of Medicines of Russia]. URL: <https://www.rlsnet.ru/>. (in Russ.).
4. D'yakova N.A. *Vestnik Smolenskoys gosudarstvennoy meditsinskoy akademii.* 2022, vol. 21, no. 3, pp. 170–175. DOI: 10.37903/vsgma.2022.3.22. (in Russ.).
5. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2020, vol. 54, no. 6, pp. 68–72. DOI: 10.30906/0023-1134-2020-54-6-49-53. (in Russ.).

6. Tereshkina O.I., Rudakova I.P., Samylina I.A. *Farmatsiya*, 2011, no. 7, pp. 3–6. (in Russ.).
7. D'yakova N.A. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Khimiya. Biologiya. Ekologiya*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 232–239. DOI: 10.18500/1816-9775-2020-20-2-232-239. (in Russ.).
8. Jablonskikh L.A. *Eurasian Soil science*, 1999, vol. 32, no. 4, pp. 394–403.
9. Neverova O.A., Egorova I.N. *Advances in Environmental Biology*, 2014, vol. 8, no. 13, pp. 414–418.
10. Dyakova N., Gaponov S., Slivkin A., Chupandina E. *Advances in Biological Sciences Research*, 2019, vol. 7, pp. 94–96. DOI: 10.2991/isils-19.2019.22.
11. Kurkin V.A. *Farmakognoziya*. [Pharmacognosy]. Samara, 2004, 1179 p. (in Russ.).
12. Tsvelev N.N. *Arkticheskaya flora SSSR. Sem. Plantaginaceae Juss.* [Arctic flora of the USSR. Family Plantaginaceae Juss.]. Leningrad, 1983, vol. 8-2, pp. 16–25. (in Russ.).
13. Oleynikov D.N., Samuelsen A.B., Tanakhayeva L.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2007, no. 2, pp. 37–50. (in Russ.).
14. Samylina I.A., Sorokina A.A., Pyatigorskaya N.V. *Farmateka*, 2010, no. 2, pp. 100–101. (in Russ.).
15. Yegorova I.N. *Soderzhanie tyazhelykh metallov i radionuklidov v syr'yevykh lekarstvennykh rasteniyakh Kemerovskoy oblasti: avtoref. diss. ... kand. biol. nauk.* [Content of heavy metals and radionuclides in raw medicinal plants of the Kemerovo region: abstract of thesis. diss. ...cand. biol. Sci.]. Tomsk, 2010, 21 p. (in Russ.).
16. Popov A.I. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 1993, no. 11, pp. 50–51. (in Russ.).
17. Nemereshina O.N., Gusev N.F., Malkova T.L. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, no. 3 (71), pp. 113–117. (in Russ.).
18. Khortetskaya T.V., Smoylovskaya G.P., Mazulin A.V., Mazulin G.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 2, pp. 177–180. (in Russ.).
19. Danilov M.S. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, no. 8 (94), pp. 71–73. (in Russ.).
20. Frolova A.V. *Vestnik farmatsii*, 2006, no. 2(32), pp. 1–11. (in Russ.).
21. Godzik B. *Polish Botanical Studies*, 1993, vol. 5, pp. 113–132.
22. Voskresenskaya O.L. *Vestnik MarGTU*, 2009, no. 1, pp. 71–80. (in Russ.).
23. Yefremov A.A., Shatalina N.V., Strizheva Ye.N., Pervyshina G.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2002, no. 3, pp. 53–56. (in Russ.).
24. Zubareva K.E., Kachkin K.V., Siromlya T.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2011, no. 2, pp. 159–164. (in Russ.).
25. Siromlya T.I. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2011, no. 5, pp. 677–688. (in Russ.).
26. Babkina L.A., Luk'yanchikov D.S., Luk'yanchikova O.V. *Samarskiy nauchnyy vestnik*, 2018, vol. 7, no. 1(22), pp. 19–24. (in Russ.).
27. Kiriyyenko N.N., Terleyeva P.S., Pervyshina G.G. *Vestnik KrasGAU*, 2009, no. 7(34), pp. 70–72. (in Russ.).
28. Myadelets M.A., Siromlya T.I., Okhlopkova O.V., Kachkin K.V. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*, 2015, vol. 132, no. 1, pp. 94–97. (in Russ.).
29. 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.* [Regional problems of environmental assessment of medicinal plant raw materials and herbal preparations using the example of the Altai Territory: abstract of thesis. dis. ... dr. pharm. Sci.]. Moscow, 2005, 48 p. (in Russ.).
30. Kolchanov R.A., Kolchanov A.F. *Nauchnyye vedomosti BelGU*, 2009, no. 11(66), pp. 14–17. (in Russ.).
31. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. Izdaniye XIV.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. Edition XIV]. Moscow, 2018. vol. 4, 1883 p. (in Russ.).
32. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. Izdaniye XIV.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. Edition XIV]. Moscow, 2018. vol. 2, 1449 p. (in Russ.).
33. Bondarchuk S.S., Bondarchuk I.S. *Statobrabotka eksperimental'nykh dannykh v MS Excel.* [Statistical processing of experimental data in MS Excel]. Tomsk, 2018, 433 p. (in Russ.).
34. Rebrova O.Yu. *Statisticheskiy analiz meditsinskikh dannykh. Primeneniye paketa prikladnykh programm STATISTICA.* [Statistical analysis of medical data. Using the STATISTICA application package]. Moscow, 2000, 312 p. (in Russ.).
35. Forster E., Ronts E. *Metody korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza. Rukovodstvo dlya ekonomistov.* [Methods of correlation and regression analysis. A Guide for Economists]. Moscow, 1983, 304 p. (in Russ.).

Received January 8, 2024

Revised April 21, 2024

Accepted April 23, 2024

#### Сведения об авторе

Дьякова Нина Алексеевна – доктор фармацевтических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, Ninochka\_V89@mail.ru

#### Information about author

Dyakova Nina Alekseevna – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology, Ninochka\_V89@mail.ru