

УДК 574.24:615.322

DOI 10.34014/2227-1848-2024-4-179-195

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ УРБАНОФЛОРЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ НА ПРИМЕРЕ КОРНЕЙ ОДУВАНЧИКА ЛЕКАРСТВЕННОГО

Н.А. Дьякова

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

Цель. Изучение закономерностей аккумуляции радиоизотопов природного и техногенного происхождения в подземных органах растений на примере корней одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg.), заготовленных на различных с точки зрения антропогенного воздействия территориях Воронежской области.

Материалы и методы. В условиях эксперимента в образцах верхних слоев почв и корнях одуванчика лекарственного 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-радиомере МКГБ-01 «РАДЭК».

Результаты. Все изученные образцы корней одуванчика лекарственного соответствуют существующим требованиям радиационной безопасности (первая группа). При увеличении удельной активности стронция-90, цезия-137, тория-232, калия-40, радия-226 в почве возрастала их удельная активность в корнях растений. Корреляционный анализ удельной активности искусственных и естественных радионуклидов в почве и корнях показал наличие весьма заметной взаимосвязи, что подтвердило преимущественное транспочвенное загрязнение последних. Рассчитанные коэффициенты накопления радионуклидов в корнях одуванчика лекарственного показали активную аккумуляцию из почв стронция-90 и радия-226. Удельная активность данных радиоизотопов в лекарственном растительном сырье была значительно выше их активности в почве. Детальный анализ зависимости рассчитанных коэффициентов накопления природных и техногенных радиоизотопов в корнях одуванчика лекарственного позволил отметить тенденции к их снижению при увеличении удельной активности радионуклида в почве, что говорит о наличии физиологических механизмов регуляции поступления их в корни растения. Закономерности перехода определяемых природных и техногенных радионуклидов описаны математическими зависимостями с максимальным коэффициентом достоверности аппроксимации.

Ключевые слова: Воронежская область, одуванчик лекарственный, стронций-90, цезий-137, торий-232, калий-40, радий-226.

Введение. Освоение минеральных ресурсов, использование в сельском хозяйстве технологий, связанных с применением пестицидов, последствия Чернобыльской трагедии – все эти факторы резко обострили проблему обеспечения медицинской и фармацевтической промышленности растительным сырьем в полном объеме и ассортименте [1, 2]. Известно, что источником поступления в окружающую среду искусственных радионуклидов являются, как правило, атомные электростанции, хранилища радиоактивных отходов, а также предприятия по их переработке, так

как все они преимущественно являются продуктом распада урановых ядер. Естественные радионуклиды присутствуют в том или ином количестве во всех объектах природы, не связаны с деятельностью человека и техногенными катастрофами и распределены на планете относительно равномерно [3, 4].

Одним из районов радиоактивного загрязнения более чем 30-летней давности является Воронежская область – традиционный район земледелия и растениеводства. Радионуклиды активно переходят из почвы в растения и далее по трофическим цепям. Загрязненное рас-

тительное сырье, а также продукты, производимые на его основе, являются значимыми источниками поступления различных ксенобиотиков в организм человека, в т.ч. и радионуклидов [5, 6]. В Центральном Черноземье сосредоточена большая часть заготовок лекарственного растительного сырья России. Почвы данного региона представлены в основном черноземами, которые отличаются высоким содержанием гумуса, глины, ила и других органических веществ, что обуславливает большую емкость поглощения радионуклидов и их прочную сорбцию [7, 8].

Одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* F.H.Wigg. (syn. *Taraxacum vulgare* Schrank, *Taraxacum dens-leonis* Desf., *Leontodon taraxacum* L.)) – многолетнее травянистое растение высотой от 5 до 35–50 см с толстым маловетвистым стержневым корнем (до 2,5 см в диаметре, длиной до 60 см), который сверху переходит в многоглавое короткое корневище. Этот рудеральный синантропный полиморфный вид с многочисленными апомиктическими формами распространен по всей территории России. Одуванчик лекарственный легко приспосабливается к самым разнообразным условиям, хорошо заселяет нарушенные фитоценозы, слабодренированные почвы, благоприятно реагирует на растительную дигрессию [9–11].

Одуванчик лекарственный обладает высокой чувствительностью к экотоксикантам, в силу чего неоднократно использовался в качестве биоиндикатора для определения степени антропогенной загрязненности среды обитания [12–17]. Так, Т.Н. Васильевой и Ю.А. Брудастовым на основе сравнительного анализа 8 растений Оренбуржья показаны высокие ремедиаторные свойства одуванчика лекарственного в отношении свинца и кадмия [13]. Комплексные исследования эколого-гигиенического состояния растений агрофитоценозов Минской области Республики Беларусь, проводимые С.С. Поздняк, показали, что корни одуванчика лекарственного способны в токсичных для растения концентрациях накапливать олово (до 2,72 мг/кг), хром (более 5 мг/кг), кобальт (до 4,24 мг/кг) и цирконий [14].

Эколого-гигиенические исследования А.И. Попова и И.Н. Егоровой, посвященные оценке качества растительных ресурсов Кемеровской области на примере одуванчика лекарственного, показали, что главный вклад в удельную радиоактивность корней данного растения вносит калий-40 (более 90 % от общей радиоактивности). Удельные активности цезия-137 и стронция-90 соответствуют фармакопейным требованиям, и их вклад в общую радиоактивность сырья составляет менее 8 %, что свидетельствует о незначительном загрязнении искусственными радионуклидами растительных ресурсов Кузбасса [15]. Б.К. Калдыбаев, изучая накопление цезия-137 и стронция-90 в естественных фитоценозах Прииссыкулья, показал низкий уровень аккумуляции стронция-90 травой одуванчика лекарственного относительно других растений (коэффициенты накопления составили 0,48–0,62) и еще более низкий уровень аккумуляции цезия-137 (коэффициенты накопления варьировали в пределах 0,20–0,27) [16].

Цель исследования. Изучение закономерностей аккумуляции радиоизотопов природного и техногенного происхождения в подземных органах растений на примере корней одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg.), заготовленных на различных с точки зрения антропогенного воздействия территориях Воронежской области.

Материалы и методы. Выбор территорий для сбора образцов обусловлен особенностями воздействия человека (рис. 1): химические промышленные предприятия (рис. 1: 23, 24, 28); теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) (рис. 1: 27); атомная электростанция (АЭС) в г. Нововоронеже (рис. 1: 8); международный аэропорт им. Петра I (рис. 1: 30); улица г. Воронежа (ул. Димитрова) (рис. 1: 31); высоковольтные линии электропередач (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 сель-

ского хозяйства (рис. 1: 10–22); фон (для сравнения) – заповедные территории (рис. 1: 1–3)). Также проводили отбор проб вдоль дорог разной степени загруженности: лесная зона – трасса М4 «Дон» (рис. 1: 32), лесостепная зона – трасса А144 «Курск – Саратов» (рис. 1: 33), степная зона – трасса М4 «Дон» (рис. 1: 34), проселочная автомобильная дорога малой загруженности (рис. 1: 35) и железная дорога (рис. 1: 36). Известно, что при сгорании топлива происходит концентрирование и выброс содержащихся в нем минеральных компонентов, в т.ч. естественных радионуклидов.

В условиях эксперимента в образцах верхних слоев почв и лекарственного растительного сырья 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)).



Рис. 1. Карта отбора образцов: 1–3 – заповедные территории; 4 – зона значительного месторождения никелевых руд; 5–7 – районы, находящиеся в зоне радиоактивного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС; 8 – АЭС в г. Нововоронеже; 9 – ВЛЭ; 10–22 – районы активного ведения сельского хозяйства; 23, 24, 28 – химические промышленные предприятия; 25 – г. Борисоглебск; 26 – г. Калач; 27 – ТЭЦ; 29 – Воронежское водохранилище; 30 – международный аэропорт им. Петра I; 31 – ул. Димитрова г. Воронежа; 32 – лесная зона – трасса М4 «Дон»; 33 – лесостепная зона – трасса А144 «Курск – Саратов»; 34 – степная зона – трасса М4 «Дон»; 35 – проселочная автомобильная дорога малой загруженности; 36 – железная дорога

Fig. 1. Sample map: 1–3 – conservation areas; 4 – large nickel ore deposits; 5–7 – areas contaminated by the Chernobyl accident; 8 – Novovoronezh nuclear power plant; 9 – overhead power line; 10–22 – productive agricultural regions; 23, 24, 28 – chemical industrial companies; 25 – Borisoglebsk (town); 26 – Kalach (town); 27 – thermal power plant; 29 – Voronezh Reservoir; 30 – Voronezh Peter the Great Airport; 31 – Dimitrov Street, Voronezh; 32 – forest zone – M4 highway; 33 – forest-steppe zone – A144 Kursk-Saratov highway; 34 – steppe zone – M4 highway; 35 – low traffic country road; 36 – railway

Корни одуванчика лекарственного выкапывали, очищали от корневой шейки, отмывали от земли и заготавливали в соответствии с требованиями ФС.2.5.0086.18 «Одуванчика лекарственного корни» в начале сентября 2015 г. [18]. Сушили растительное сырье естественным теневым способом тонким слоем, периодически переворачивая, при хорошей вентиляции.

Анализ образцов почв и растительного сырья 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» [18]. Каждое определение проводили троекратно. Данные, полученные в ходе исследований, статистически обрабатывали с помощью программы Microsoft Excel при доверительной вероятности 95 %.

Чтобы оценить возможность накопления из почвы различных радионуклидов корнями одуванчика лекарственного, использовали ко-

эффициент накопления (КН), рассчитанный по формуле

$$КН = \frac{С_{ЛРС} * 100}{С_{ВСП}},$$

где $C_{ЛРС}$ – удельная активность радионуклида в корнях растения; Бк/кг; $C_{ВСП}$ – удельная активность радионуклида в верхних слоях почв; Бк/кг [19–21].

Результаты и обсуждение. Удельная активность стронция-90 в отобранных образцах корней одуванчика лекарственного (табл. 1) варьировала от 8,0 до 16,8 Бк/кг. Среднее значение удельной активности данного радионуклида для всех анализируемых образцов составило 12,0 Бк/кг, что в 16 раз меньше его предельно допустимой удельной активности (200 Бк/кг). Удельная активность цезия-137 в образцах изучаемого лекарственного растительного сырья колебалась от 20,1 до 78,1 Бк/кг при среднем значении 43,6 Бк/кг, что почти в 10 раз меньше предельно допустимых значений (400 Бк/кг). Полученные результаты позволяют признать все изученные образцы данного растительного сырья соответствующими критерию радиационной безопасности (первая группа).

Таблица 1
Table 1

Результаты определений удельной активности радионуклидов в образцах корней одуванчика лекарственного, Бк/кг

Results of determination of specific activity of radioisotopes in dandelion root samples, Bq/kg

№ п/п	Район заготовки Herbal harvesting area	Sr-90	Cs-137	Th-232	K-40	Ra-226
<i>Контрольные территории Control areas</i>						
1	Воронежский биосферный заповедник Voronezh State Nature Biosphere Reserve	10,6±2,1	50,4±6,9	10,2±1,9	329±36	5,9±1,3
2	Хоперский заповедник Khopyor Nature Reserve	9,8±1,9	20,1±2,9	10,4±2,8	460±51	6,7±1,9
3	Борисоглебский район Borisoglebsky District	9,3±1,6	20,2±7,1	10,7±3,1	412±48	5,3±0,8
<i>Зона разработки медно-никелевых месторождений Copper-nickel deposit development area</i>						
4	С. Елань-Колено Elan-Koleno settlement	8,2±1,8	26,1±5,5	11,2±2,6	472±31	7,8±2,1
<i>Зона фоновых выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС Background fallout zone after the Chernobyl accident</i>						
5	С. Нижнедевицк Nizhnedevitsk rural locality	16,4±2,3	46,5±7,9	9,9±3,8	476±58	10,4±2,0

6	Г. Острогожск Ostrogozhsk (town)	14,0±1,9	49,9±2,5	12,8±4,0	611±44	11,2±0,9
7	Г. Семилуки Semiluki (town)	14,7±2,5	57,6±8,0	11,3±1,9	493±24	13,6±1,5
<i>Зоны влияния Нововоронежской АЭС Zones influenced by Novovoronezh NPP</i>						
8	Г. Нововоронеж Novovoronezh (town)	8,0±1,5	58,4±6,5	12,4±4,5	489±41	12,3±2,4
9	ВЛЭ (Нововоронежский городской округ) Overhead power line (Novovoronezhsky urban district)	11,6±2,3	57,4±5,1	10,6±2,6	493±38	12,7±3,2
<i>Агроценозы Воронежской области Agrocenoses of the Voronezh region</i>						
10	Лискинский р-н Liskinskiy district	8,2±2,0	44,6±4,8	9,8±3,1	361±51	9,3±3,7
11	Ольховатский р-н Ol'khovatskiy district	11,0±2,3	40,2±3,6	13,3±2,2	513±19	9,6±2,5
12	Подгоренский р-н Podgorenskiy district	11,4±1,9	43,1±6,1	13,2±4,2	611±59	9,9±1,8
13	Петропавловский р-н Petrovavlovskiy district	11,0±2,6	29,3±3,8	12,4±3,7	527±61	10,7±2,6
14	Грибановский р-н Gribanovskiy district	11,4±3,1	22,1±5,3	14,7±2,9	503±47	10,9±2,1
15	Хохольский р-н Khokhol'skiy district	13,7±2,9	54,3±2,9	15,2±4,1	684±31	10,7±3,4
16	Новохоперский р-н Novokhoperskiy district	11,7±1,6	22,7±3,8	14,1±3,0	522±39	12,4±3,0
17	Репьевский р-н Rep'evskiy district	14,6±3,0	57,4±6,8	12,4±2,8	516±45	10,8±1,8
18	Воробьевский р-н Vorob'evskiy district	10,1±2,1	23,1±4,0	13,3±4,4	491±31	12,9±3,2
19	Панинский р-н Paninskiy district	13,9±1,9	40,2±4,3	13,4±4,2	462±39	13,1±3,7
20	Верхнехавский р-н Verkhnekhavskiy district	15,8±1,5	55,7±5,8	14,7±3,7	439±52	11,3±1,9
21	Эртильский р-н Ertil'skiy district	16,8±3,3	30,4±6,1	15,6±2,5	497±40	12,4±2,5
22	Россошанский район Rossoshanskiy district	11,9±2,0	48,8±2,7	16,1±3,1	563±25	12,6±2,9
<i>Урбоценозы Воронежской области Urbocenoses of the Voronezh Region</i>						
23	Вблизи ОАО «Минудобрения» (г. Россошь) Near Minudobriya JSC (Rossoch)	12,4±2,8	41,3±6,6	17,6±4,0	590±39	12,1±1,8
24	Вблизи ООО «Бормаш» (г. Поворино) Near Bormash LLC (Povorino)	10,0±2,4	24,3±3,0	11,1±2,9	427±43	9,9±0,9
25	Г. Борисоглебск Borisoglebsk (town)	10,2±1,9	25,1±5,1	12,8±4,6	435±50	10,6±1,5
26	Г. Калач Kalach (town)	12,3±3,2	23,8±5,8	12,6±3,1	528±37	11,2±2,8

27	Вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС» (г. Воронеж) Near Vogres Thermal Power Plant (city of Voronezh)	11,9±1,6	76,3±4,4	26,4±1,7	876±67	14,9±2,0
28	Вблизи ООО «Сибур» (г. Воронеж) Near Sibur LLC (city of Voronezh)	13,4±2,5	78,1±5,5	25,7±3,3	853±51	14,2±2,9
29	Вдоль водохранилища (г. Воронеж) Along the reservoir (city of Voronezh)	13,6±2,2	75,1±7,2	22,1±4,9	866±36	13,6±3,9
30	Вблизи аэропорта Near the airport	10,2±3,0	49,9±3,6	16,4±3,5	457±41	9,1±2,1
31	Улица г. Воронежа (ул. Ленинградская) Leningradskaya St. (city of Voronezh)	15,4±1,8	69,8±4,5	21,1±5,0	767±59	13,8±1,9
32	Вдоль трассы М4 (Рамонский р-н) Along M4 highway (Ramonskiy district)	12,1±2,6	54,3±6,2	12,3±3,8	497±44	10,1±3,3
33	Вдоль трассы А144 (Аннинский р-н) Along A144 highway (Anninskiy district)	9,4±1,0	52,7±5,8	13,7±1,9	506±33	6,9±1,6
34	Вдоль трассы М4 (Павловский р-н) Along M4 highway (Pavlovskiy district)	9,8±1,7	44,3±6,1	10,8±3,9	418±37	10,2±2,2
35	Вдоль нескоростной дороги (Богучарский р-н) Along a low traffic country road (Bogucharskiy district)	9,9±2,1	18,8±3,5	14,1±2,6	452±48	12,6±2,4
36	Вдоль железной дороги Along the railroad	13,8±2,7	37,1±5,0	14,7±3,9	397±38	10,6±2,5
Допустимая удельная активность радионуклидов Permissible specific activity of radionuclides		200	400	-	-	-

Содержание тория-232 в заготовленных корнях одуванчика лекарственного характеризуется значениями удельной активности от 9,8 до 26,4 Бк/кг. Среднее значение удельной активности данного радионуклида для всех анализируемых образцов составило 14,1 Бк/кг. Удельная активность калия-40 варьировала от 329 до 876 Бк/кг при среднем значении 528 Бк/кг. Среднее значение удельной активности радия-226 составило 10,9 Бк/кг, варьируя от 5,3 до 14,9 Бк/кг. При этом значения предельно допустимой удельной активности естественных радиоизотопов (тория-232, калия-40 и радия-226) для растительного сырья в настоящее время не нормируются.

Полученные результаты определения удельной активности природных и естественных радионуклидов в данном растительном сырье отвечают закону непрерывного равномерного распределения. Несколько более высокими значениями удельной активности цезия-137, тория-232, калия-40, радия-226, а также сумм показателей соответствия и по-

грешностей их определения, эффективной удельной активности природных радиоизотопов выделяются образцы, заготовленные вблизи ТЭЦ-1 «ВОГРЭС», химического предприятия ОАО «Воронежсинтезкаучук», вдоль низовья Воронежского водохранилища, а также на улице Воронежа, относящейся к Левобережному району города. Это можно объяснить тем, что данные территории сбора сырья располагаются в зоне выпадения осадка от выбросов ТЭЦ-1 «ВОГРЭС», более семи десятилетий функционировавшей на каменном угле, при сжигании которого в окружающую среду поступает ряд природных радионуклидов. На примере корней одуванчика лекарственного, заготовленных на указанных территориях, заметно увеличение удельных активностей тория-232, калия-40, цезия-137, радия-226 относительно среднерегиональных значений в 1,5–2 раза [22, 23].

Корреляционный анализ удельной активности искусственных и естественных радионуклидов в почве и корнях одуванчика

лекарственного (табл. 2) показал наличие весьма заметной взаимосвязи, что подтвер-

дило преимущественное транспочвенное их загрязнение.

Таблица 2

Table 2

Коэффициенты корреляции между удельными активностями радионуклидов в почве и корнях одуванчика лекарственного

Correlation coefficients between specific activities of radionuclides in soil and dandelion roots

Радиоизотоп Radioisotope	Sr-90	Cs-137	Th-232	K-40	Ra-226
Коэффициент корреляции Correlation coefficient	0,96	0,99	0,90	0,96	0,88

Показано (рис. 2–6), что при увеличении удельной активности стронция-90, цезия-137, тория-232, калия-40, радия-226 в почве возрас-

тала их удельная активность в корнях одуванчика лекарственного. Закономерности перехода описаны математическими зависимостями.

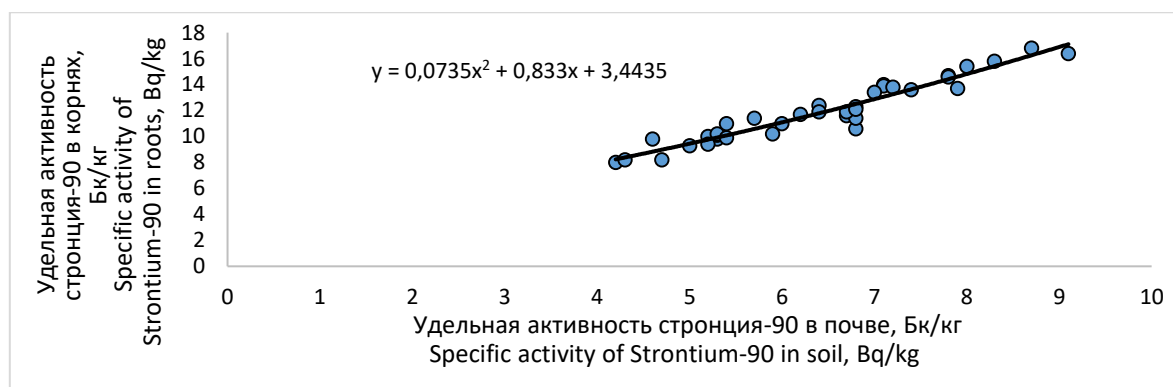


Рис. 2. Зависимость удельной активности стронция-90 в корнях одуванчика лекарственного от его удельной активности в почве

Fig. 2. Dependence of specific activity of Strontium-90 in dandelion roots on its specific activity in soil

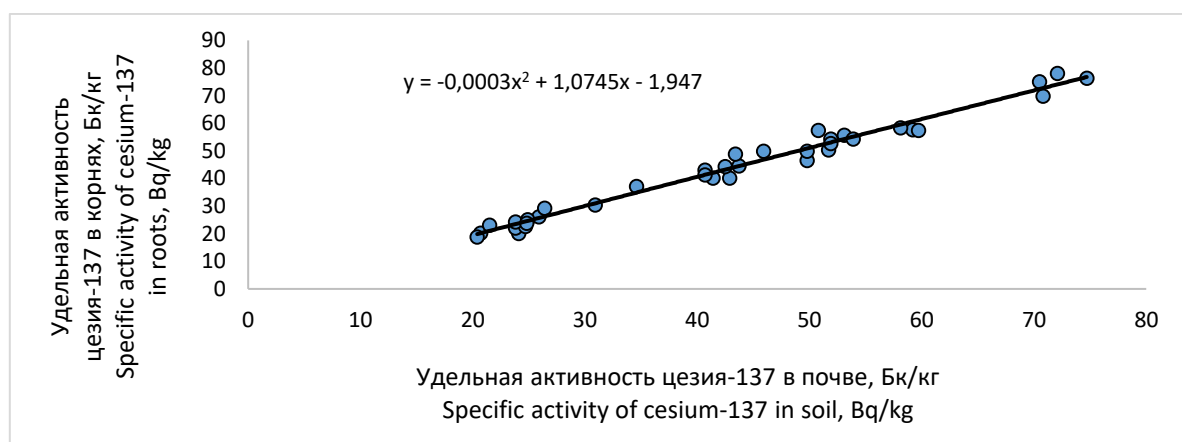


Рис. 3. Зависимость удельной активности цезия-137 в корнях одуванчика лекарственного от его удельной активности в почве

Fig. 3. Dependence of specific activity of Cesium-137 in dandelion roots on its specific activity in soil

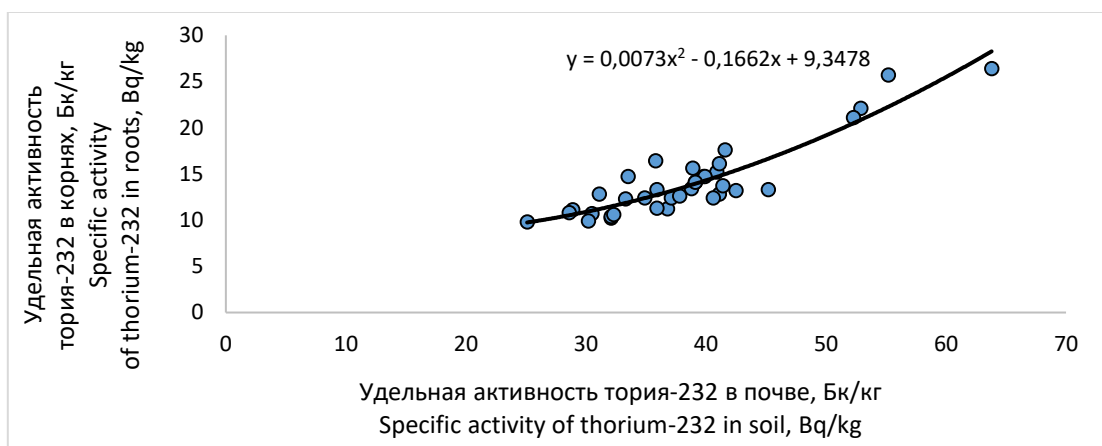


Рис. 4. Зависимость удельной активности тория-232 в корнях одуванчика лекарственного от его удельной активности в почве

Fig. 4. Dependence of specific activity of Thorium-232 in dandelion roots on its specific activity in soil

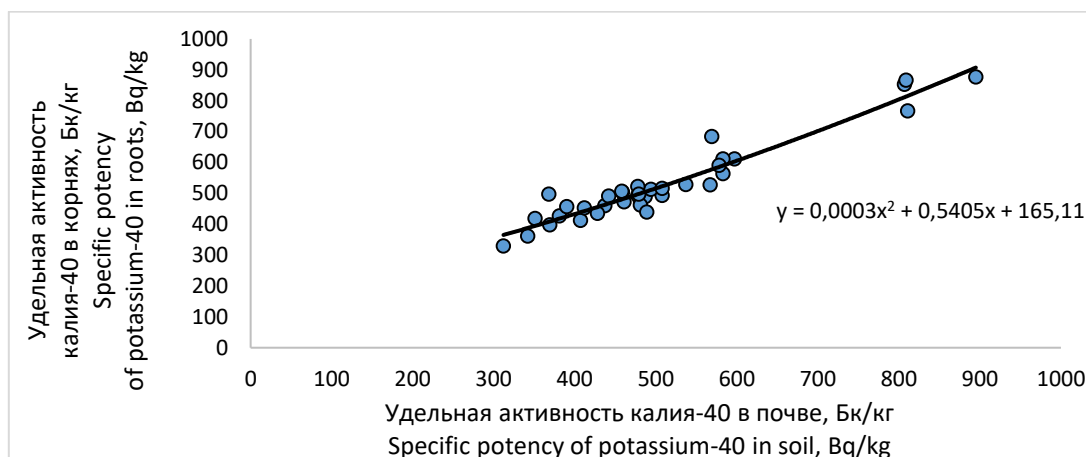


Рис. 5. Зависимость удельной активности калия-40 в корнях одуванчика лекарственного от его удельной активности в почве

Fig. 5. Dependence of specific activity of Potassium-40 in dandelion roots on its specific activity in soil



Рис. 6. Зависимость удельной активности радия-226 в корнях одуванчика лекарственного от его удельной активности в почве

Fig. 6. Dependence of specific activity of Radium-226 in dandelion roots on its specific activity in soil

Корни одуванчика лекарственного более склонны к аккумуляции из верхних слоев почв стронция-90 и радия-226: удельная активность данных радиоизотопов в растительном сырье значительно выше их активности в почве. Так, коэффициенты накопления стронция-90 варьируют от 1,56 до 2,13, а радия-226 – от 1,02 до 1,47 (табл. 3). На близком к 1,0 уровне в кор-

нях одуванчика лекарственного аккумулируются радиоизотопы калия и цезия. Коэффициенты накопления цезия-137 варьировали от 0,83 до 1,12, а калия-40 – от 0,90 до 1,35. Коэффициенты накопления тория-232 в корнях одуванчика лекарственного колебались на относительно невысоком уровне – от 0,29 до 0,51.

Таблица 3
Table 3

Коэффициенты накопления радионуклидов в образцах корней одуванчика
Accumulation coefficients of radionuclides in dandelion root samples

№ п/п	Район заготовки Herbal harvesting area	Sr-90	Cs-137	Th-232	K-40	Ra-226
<i>Контрольные территории Control areas</i>						
1	Воронежский биосферный заповедник Voronezh State Nature Biosphere Reserve	1,56	0,97	0,32	1,05	1,09
2	Хоперский заповедник Khopyor Nature Reserve	1,85	0,83	0,32	1,05	1,29
3	Борисоглебский район Borisoglebsky District	1,86	0,98	0,35	1,01	1,29
<i>Зона разработки медно-никелевых месторождений Copper-nickel deposit development area</i>						
4	С. Елань-Колено Elan-Koleno settlement	1,74	1,01	0,30	1,02	1,16
<i>Зона фоновых выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС Background fallout zone after the Chernobyl accident</i>						
5	С. Нижнедевицк Nizhnedevitsk rural locality	1,80	0,93	0,33	0,99	1,14
6	Г. Острогжск Ostrogzhsk (town)	1,97	1,00	0,31	1,02	1,14
7	Г. Семилуки Semiluki (town)	1,88	0,97	0,31	0,97	1,24
<i>Зоны влияния Нововоронежской АЭС Zones influenced by Novovoronezh NPP</i>						
8	Г. Нововоронеж Novovoronezh (town)	1,90	1,01	0,31	1,00	1,35
9	ВЛЭ (Нововоронежский городской округ) Overhead power line (Novovoronezhsky urban district)	1,73	0,96	0,33	1,03	1,27
<i>Агроценозы Воронежской области Agrocenoses of the Voronezh region</i>						
10	Лискинский р-н Liskinskiy district	1,91	1,02	0,39	1,06	1,15
11	Ольховатский р-н Ol'khovatskiy district	1,83	0,97	0,29	1,04	1,10

12	Подгоренский р-н Podgorenskiy district	1,68	1,06	0,31	1,05	1,21
13	Петропавловский р-н Petrovavlovskiy district	2,04	1,11	0,33	0,93	1,15
14	Грибановский р-н Gribanovskiy district	2,00	0,93	0,37	1,10	1,11
15	Хохольский р-н Khokhol'skiy district	1,73	1,05	0,37	1,20	1,08
16	Новохоперский р-н Novokhoperskiy district	1,89	0,92	0,33	1,09	1,18
17	Репьевский р-н Rep'evskiy district	1,87	1,13	0,36	1,02	1,23
18	Воробьевский р-н Vorob'evskiy district	1,91	1,07	0,37	1,11	1,54
19	Панинский р-н Paninskiy district	1,96	0,94	0,27	0,96	1,34
20	Верхнехавский р-н Verkhnekhavskiy district	1,90	1,05	0,29	0,90	1,31
21	Эртильский р-н Ertil'skiy district	1,93	0,98	0,40	1,04	1,32
22	Россошанский район Rossoshanskiy district	1,78	1,12	0,37	0,97	1,52
<i>Урбоценозы Воронежской области Urbocenososes of the Voronezh Region</i>						
23	Вблизи ОАО «Минудобрения» (г. Россошь) Near Minudobriya JSC (Rossoch)	1,94	1,01	0,42	1,02	1,38
24	Вблизи ООО «Бормаш» (г. Поворино) Near Bormash LLC (Povorino)	1,92	1,02	0,38	1,12	1,10
25	Г. Борисоглебск Borisoglebsk (town)	1,92	1,01	0,41	1,02	1,26
26	Г. Калач Kalach (town)	1,81	0,96	0,33	0,98	1,38
27	Вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС» (г. Воронеж) Near Vogres Thermal Power Plant (city of Voronezh)	1,86	1,02	0,49	0,98	1,10
28	Вблизи ООО «Сибур» (г. Воронеж) Near Sibur LLC (city of Voronezh)	1,91	1,08	0,51	1,06	1,05
29	Вдоль водохранилища (г. Воронеж) Along the reservoir (city of Voronezh)	1,84	1,07	0,46	1,07	1,02
30	Вблизи аэропорта Near the airport	1,73	1,09	0,46	1,17	1,14
31	Улица г. Воронежа (ул. Ленинградская) Leningradskaya St. (city of Voronezh)	1,93	0,99	0,45	0,95	1,07
32	Вдоль трассы М4 (Рамонский р-н) Along M4 highway (Ramonskiy district)	1,78	1,01	0,37	1,35	1,31
33	Вдоль трассы А144 (Аннинский р-н) Along A144 highway (Anninskiy district)	1,81	1,02	0,33	1,10	1,47
34	Вдоль трассы М4 (Павловский р-н) Along M4 highway (Pavlovskiy district)	2,13	1,04	0,38	1,19	1,46

35	Вдоль нескоростной дороги (Богучарский р-н) Along a low traffic country road (Bogucharskiy district)	1,83	0,92	0,36	1,10	1,35
36	Вдоль железной дороги Along the railroad	1,92	1,07	0,44	1,17	1,36
Среднее для Воронежской области Average for Voronezh region		1,86	1,01	0,37	1,05	1,24

Отмечена тенденция к снижению коэффициентов накопления цезия-137, стронция-90, калия-40, радия-226 в корнях одуванчика лекарственного при увеличении их удельной активности в почве, что позволило сделать вывод о наличии физиологических механизмов регуляции их поступления в растение.

При этом коэффициенты накопления тория-232, наоборот, возрастали, что свидетельствовало о возможности их высокого накопления в лекарственном растительном сырье (рис. 7–11).

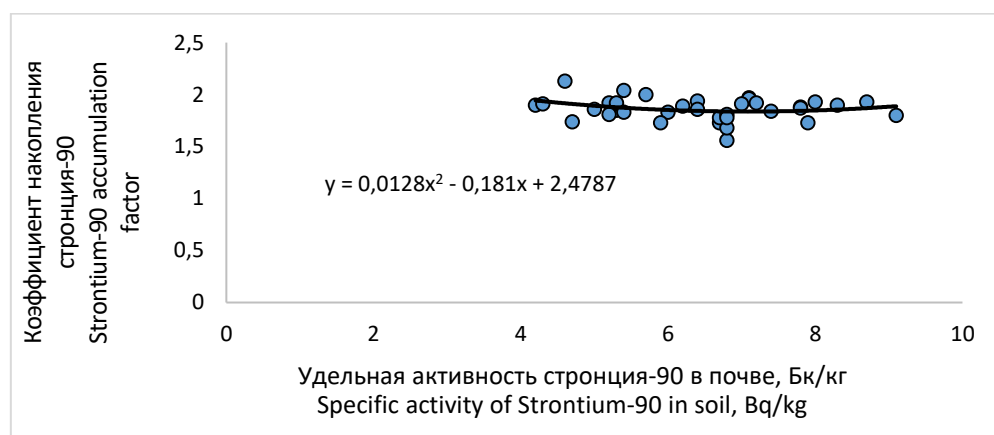


Рис. 7. Зависимость коэффициентов накопления стронция-90 в корнях одуванчика лекарственного от его удельной активности в почве

Fig. 7. Dependence of Strontium-90 accumulation factor in dandelion roots on its specific activity in soil

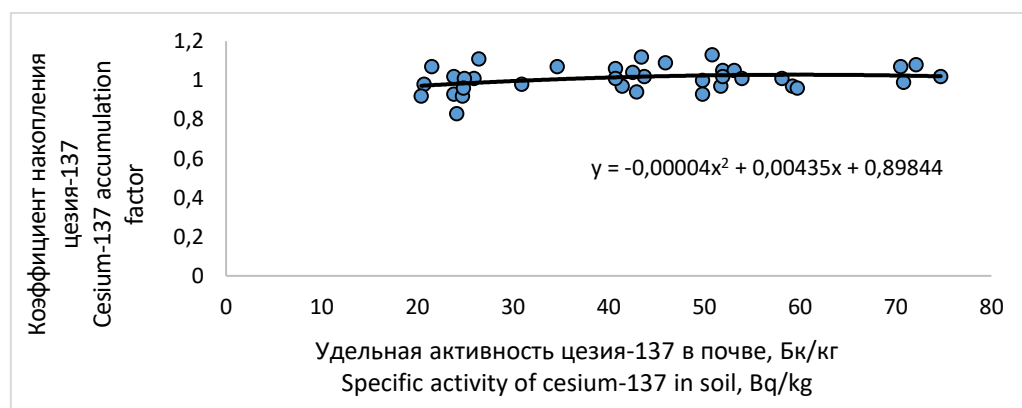


Рис. 8. Зависимость коэффициентов накопления цезия-137 в корнях одуванчика лекарственного от его удельной активности в почве

Fig. 8. Dependence of the Cesium-137 accumulation factor in dandelion roots on its specific activity in soil

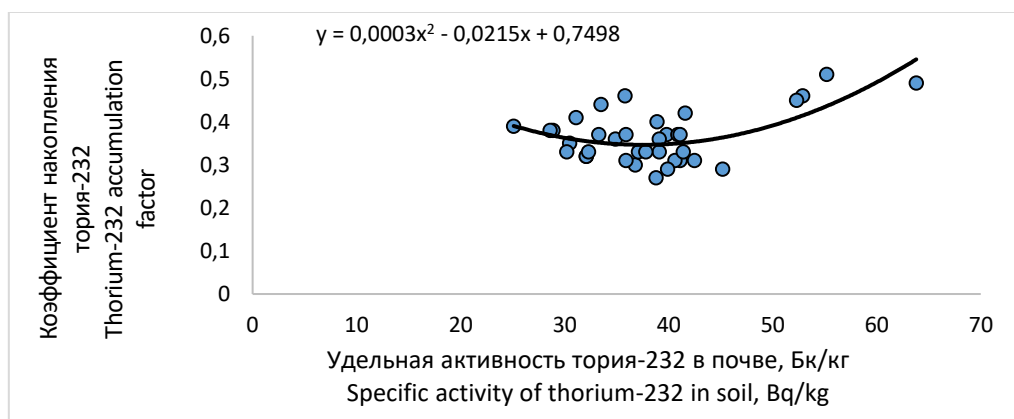


Рис. 9. Зависимость коэффициентов накопления тория-232 в корнях одуванчика лекарственного от его удельной активности в почве

Fig. 9. Dependence of Thorium-232 accumulation factor in dandelion roots on its specific activity in the soil

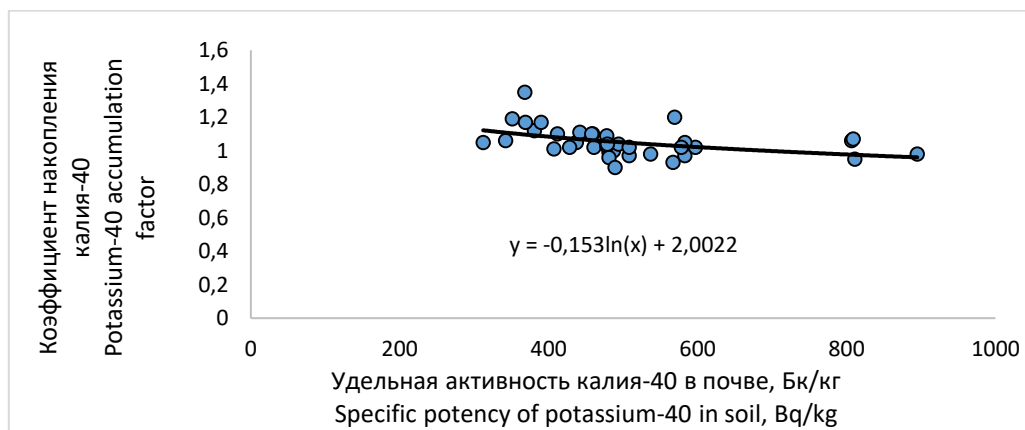


Рис. 10. Зависимость коэффициентов накопления калия-40 в корнях одуванчика лекарственного от его удельной активности в почве

Fig. 10. Dependence of Potassium-40 accumulation factor in dandelion roots on its specific activity in soil

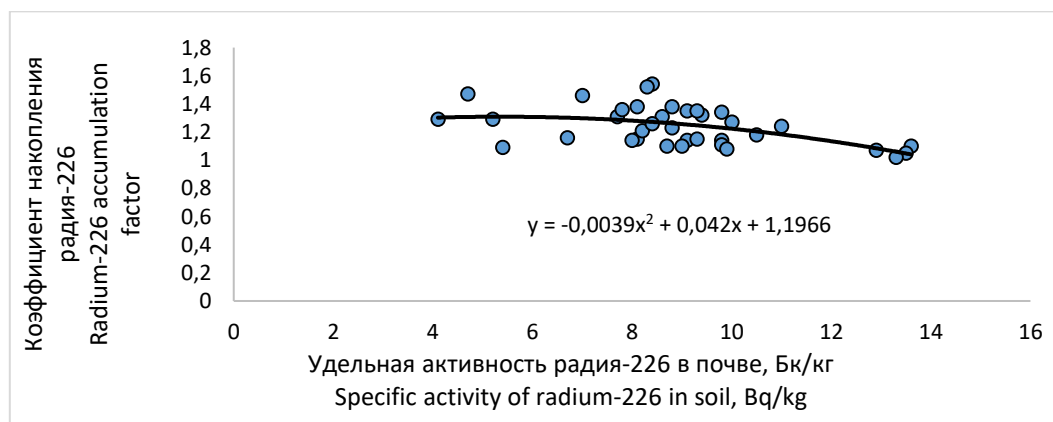


Рис. 11. Зависимость коэффициентов накопления радия-226 в корнях одуванчика лекарственного от его удельной активности в почве

Fig. 11. Dependence of Radium-226 accumulation factor in dandelion roots on its specific activity in soil

Заключение. Все изученные образцы корней одуванчика лекарственного, заготовленные в естественных и искусственных фитоценозах Воронежской области, соответствуют существующим требованиям радиационной безопасности. Полученные результаты определения удельной активности природных и естественных радионуклидов в растительном сырье отвечают закону непрерывного равномерного распределения. Детальный анализ корреляционной зависимости удельной активности искусственных и естественных радионуклидов в почве и корнях показал наличие тесной взаимосвязи, что подтверждает преимущественное транспоч-

венное радионуклидное загрязнение изучаемого лекарственного растительного сырья. При увеличении удельной активности стронция-90, цезия-137, тория-232, калия-40, радия-226 в почве возрастала их удельная активность в корнях, однако интенсивность их накопления в растительном сырье преимущественно снижалась. Закономерности перехода описаны математическими зависимостями с максимальным коэффициентом достоверности аппроксимации. Проводимые исследования вносят вклад в природоохранное направление фармации и экологии, связанное с ценными растительными ресурсами.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. *Нечаева Е.Г., Белозерцева И.А., Напрасникова Е.В.* Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем сибирских регионов. Новосибирск: Наука; 2010. 315.
2. *Дьякова Н.А.* Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области. Воронеж: Цифровая полиграфия; 2022. 264.
3. *Арзамасцев А.П., Коваленко Л.И., Родионова Г.М., Чумакова З.В., Зрелова Л.В.* Основы экологии и охраны природы. Москва: Медицина; 2008. 416.
4. *Дьякова Н.А.* Изучение накопления радионуклидов лекарственным растительным сырьем Центрального Черноземья. Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2022; 21 (3): 170–175.
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; 54 (6): 68–72.
6. *Терешкина О.И., Рудакова И.П., Самылина И.А.* Оценка риска радионуклидного загрязнения лекарственного растительного сырья. Фармация. 2011; 7: 3–6.
7. *Jablonskikh L.A.* Content and vertical distribution of heavy metals and radionuclides in hydromorphic Soils of the Forest Steppe. Eurasian Soil science. 1999; 32 (4): 394–403.
8. *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; 8 (13): 414–418.
9. *Куркин В.А.* Фармакогнозия. Самара: Офорт; 2004. 1180.
10. *Путырский И.Н., Прохоров В.Н.* Универсальная энциклопедия лекарственных растений. Москва: Махаон; 2000. 656.
11. *Клинская Е.О.* Оценка загрязнения окружающей среды Биробиджана по содержанию свинца в одуванчике лекарственном (*Taraxacum officinale*). Региональные проблемы. 2005; 6-7: 73–76.
12. *Krolak E., Marciniuk J., Popijantus K., Wasilczuk P., Kasprzykowski Z.* Environmental Factors Determining the Accumulation of Metals: Cu, Zn, Mn and Fe in Tissues of *Taraxacum* sp. sect. *Taraxacum*. Bull Environ Contam Toxicol. 2018; 101 (1): 68–74.
13. *Васильева Т.Н., Брудастов Ю.А.* Потенциальные фитоаккумуляторы металлов-полютантов урбанизированных почв города Оренбурга. Вестник ОГУ. 2011; 6 (125): 142–146.
14. *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): 123–137.

15. Попов А.И., Егорова И.Н. Состояние ресурсной базы дикорастущих лекарственных растений Мариинского, Тяжинского и Чебулинского районов Кемеровской области. Химико-фармацевтический журнал. 1992; 26 (3): 71–73.
16. Калдыбаев Б.К. Содержание стронция-90 и цезия-137 в отдельных видах дикорастущих растений Прииссыккуля. Наука и новые технологии. 2010; 1: 59–61.
17. Воробьев Г.В., Алябьев А.Ю., Якушенкова Т.П., Ибрагимова К.К. Особенности метаболизма одуванчика лекарственного в условиях загрязнения атмосферы автомобильным транспортом. Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2013; 2 (78): 39–44.
18. Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Т. 2. Москва: ФЭМБ; 2018. 1423.
19. Сливкин А.И., Великанова Н.А., Гапонов С.П. Изучение особенностей накопления радионуклидов из почв лекарственными растениями *Polygonum aviculare* и *Plantago major*, произрастающими в городе Воронеже и его окрестностях. Пути и формы совершенствования фармацевтического образования. Создание новых физиологически активных веществ: материалы международной научно-практической конференции. Воронеж; 2013: 510–513.
20. Сливкин А.И., Великанова Н.А., Гапонов С.П. Изучение радиационной безопасности лекарственного растительного сырья в городе Воронеже и его окрестностях на примере травы горца птичьего и листьев подорожника большого. Пути и формы совершенствования фармацевтического образования. Создание новых физиологически активных веществ: материалы международной научно-практической конференции. Воронеж; 2013: 513–515.
21. 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.
22. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П., Самылина И.А. Оценка радионуклидного загрязнения лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере корней лопуха обыкновенного. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2016; 3: 110–115.
23. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П. Изучение радионуклидного загрязнения лекарственного сырья Воронежской области на примере листьев подорожника большого и листьев крапивы двудомной. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2017; 2: 118–123.

Поступила в редакцию 27.02.2023; принята 15.10.2024.

Автор

Дьякова Нина Алексеевна – доктор фармацевтических наук, доцент, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии фармацевтического факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». 394007, Россия, г. Воронеж, Университетская пл., 1; e-mail: Ninochka_V89@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0766-3881>.

Образец цитирования

Дьякова Н.А. Особенности накопления радионуклидов в подземных органах растений урбанофлоры Центрального Черноземья на примере корней одуванчика лекарственного. Ульяновский медико-биологический журнал. 2024; 4: 179–195. DOI: 10.34014/2227-1848-2024-4-179-195.

CHARACTERISTICS OF RADIONUCLIDE ACCUMULATION IN DANDELION ROOTS IN THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

N.A. D'yakova

Voronezh State University, Voronezh, Russia

*The aim of the study is to examine accumulation patterns of natural and man-made radioactive isotopes in dandelion roots (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg.), harvested in different areas of the Voronezh region.*

Materials and Methods. Under experiment, the specific activity of the main long-lived artificial radioisotopes (cesium-137, strontium-90) and naturally occurring radionuclides (thorium-232, potassium-40, radium-226) was determined in the samples of top soil and dandelion roots using a MKGB-01 RADEK spectrometer-radiometer.

Results. All the studied samples of dandelion roots conform to the existing radiation safety requirements (first group). With the increase in the specific activity of strontium-90, cesium-137, thorium-232, potassium-40, and radium-226 in the soil, their specific activity in plant roots also increased. Correlation analysis of the specific activity of man-made and natural radionuclides in the soil and roots demonstrated a very noticeable correlation, which confirmed the predominant trans-soil root contamination. The calculated accumulation factors of radionuclides in dandelion roots showed fast accumulation of strontium-90 and radium-226 from soils. The specific activity of these radioisotopes in medicinal plant raw materials was significantly higher than that in soil. A detailed analysis of the dependence of the calculated accumulation coefficients of natural and man-made radioisotopes in dandelion roots allowed us to note the tendencies towards their decrease with an increase in the specific activity of the radionuclide in soil. This fact indicates the existence of physiological mechanisms regulating their accumulation in plant roots. The transition patterns of the studied natural and man-made radionuclides are described by mathematical dependencies with the maximum coefficient of approximation reliability.

Key words: Voronezh region, dandelion, strontium-90, cesium-137, thorium-232, potassium-40, radium-226.

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

References

1. Nechaeva E.G., Belozertseva I.A., Naprasnikova E.V. *Monitoring i prognozirovaniye veshchestvenno-dinamicheskogo sostoyaniya geosistem sibirskikh regionov* [Monitoring and forecasting of the substance-dynamic state of geosystems in the Siberian regions]. Novosibirsk: Nauka; 2010. 315 (in Russian).
2. D'yakova N.A. *Ekologicheskaya otsenka syr'evykh resursov lekarstvennykh rasteniy Voronezhskoy oblasti* [Ecological assessment of raw material resources of medicinal plants in the Voronezh region]. Voronezh: Tsifrovaya poligrafiya; 2022. 264 (in Russian).
3. Arzamastsev A.P., Kovalenko L.I., Rodionova G.M., Chumakova Z.V., Zrelava L.V. *Osnovy ekologii i okhrany prirody* [Fundamentals of Ecology and Nature Conservation]. Moscow: Meditsina; 2008. 416 (in Russian).
4. D'yakova N.A. *Izuchenie nakopleniya radionuklidov lekarstvennym rastitel'nym syr'em Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Study of accumulation of radionuclides by medicinal plant materials in the Central Black Earth Region]. *Vestnik Smolenskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii*. 2022; 21 (3): 170–175 (in Russian).
5. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. *Otsenka sodержaniya radionuklidov v lekarstvennom rastitel'nom syr'e Tsentral'nogo Chernozem'ya i ikh vliyaniya na nakoplenie biologicheskii aktivnykh veshchestv* [Assessment of radionuclide contents in medicinal plant raw materials of the Central Black Earth Region and their impact on accumulation of biologically active compounds]. *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal*. 2020; 54 (6): 68–72 (in Russian).
6. Tereshkina O.I., Rudakova I.P., Samylina I.A. *Otsenka riska radionuklidnogo zagryazneniya lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya* [Risk assessment of radionuclide contamination of medicinal plant raw materials]. *Farmatsiya*. 2011; 7: 3–6 (in Russian).
7. Jablonskikh L.A. *Content and vertical distribution of heavy metals and radionuclides in hydromorphic Soils of the Forest Steppe*. *Eurasian Soil science*. 1999; 32 (4): 394–403.

8. 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; 8 (13): 414–418.
9. Kurkin V.A. *Farmakognoziya* [Pharmacognosy]. Samara: Ofort; 2004. 1180 (in Russian).
10. Putyrskiy I.N., Prokhorov V.N. *Universal'naya entsiklopediya lekarstvennykh rasteniy* [Universal encyclopedia of medicinal plants]. Moscow: Makhaon; 2000. 656 (in Russian).
11. Klinskaya E.O. Otsenka zagryazneniya okruzhayushchey sredy Birobidzhana po sodержaniyu svintsya v oduvanchike lekarstvennom (*Taraxacum officinale*) [Evaluation of Birobidzhan environmental pollution by the lead content in dandelion (*Taraxacum officinale*)]. *Regional'nye problemy*. 2005; 6-7: 73–76 (in Russian).
12. Krolak E., Marciniuk J., Popijantus K., Wasileczuk P., Kasprzykowski Z. Environmental Factors Determining the Accumulation of Metals: Cu, Zn, Mn and Fe in Tissues of *Taraxacum* sp. sect. *Taraxacum*. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2018; 101 (1): 68–74.
13. Vasil'eva T.N., Brudastov Yu.A. Potentsial'nye fitoakkumulyatory metallov-polyutantov urbanizirovannykh pochv goroda Orenburga [Potential phytoaccumulators of pollutant metals in urbanized soils of Orenburg]. *Vestnik OGU*. 2011; 6 (125): 142–146 (in Russian).
14. Poznyak S.S. Soderzhanie nekotorykh tyazhelykh metallov v rastitel'nosti polevykh i lugovykh agrofittotsenozov v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya pochvennogo pokrova [Heavy metal concentration in plants of field and meadow agrophytocenoses under technogenic contamination of soil cover]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2011; 1 (13): 123–137 (in Russian).
15. Popov A.I., Egorova I.N. Sostoyanie resursnoy bazy dikorastushchikh lekarstvennykh rasteniy Mariinskogo, Tyazhinskogo i Chebulinskogo rayonov Kemerovskoy oblasti [Resource base of wild medicinal plants of the Mariinsky, Tyazhinsky and Chebulinsky districts, Kemerovo region]. *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal*. 1992; 26 (3): 71–73 (in Russian).
16. Kaldybaev B.K. Soderzhanie strontsiya-90 i tseziya-137 v odel'nykh vidakh dikorastushchikh rasteniy Priissykkul'ya [Concentration of strontium-90 and cesium-137 in some wild plants of the Issyk-Kul region]. *Nauka i novye tekhnologii*. 2010; 1: 59–61 (in Russian).
17. Vorob'ev G.V., Alyab'ev A.Yu., Yakushenkova T.P., Ibragimova K.K. Osobennosti metabolizma oduvanchika lekarstvennogo v usloviyakh zagryazneniya atmosfery avtomobil'nyim transportom [Characteristics of metabolism of *Taraxacum officinale* metabolism under air pollution caused by motor transport]. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. I.Ya. Yakovleva*. 2013; 2 (78): 39–44 (in Russian).
18. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. Izdanie XIV. T. 2. Moscow: FEMB; 2018. 1423 (in Russian).
19. Slivkin A.I., Velikanova N.A., Gaponov S.P. Izuchenie osobennostey nakopleniya radionuklidov iz pochv lekarstvennyimi rasteniyami *Polygonum aviculare* i *Plantago major*, proizrastayushchimi v gorode Voronezhe i ego okrestnostyakh [Characteristics of radionuclide accumulation from soils by medicinal plants *Polygonum aviculare* and *Plantago major* growing in Voronezh and the Voronezh region]. *Puti i formy sovershenstvovaniya farmatsevticheskogo obrazovaniya Sozdanie novykh fiziologicheskii aktivnykh veshchestv: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ways and forms of improving pharmaceutical education. Creation of new physiologically active substances: Proceedings of the international science-to-practice conference]. Voronezh; 2013: 510–513 (in Russian).
20. Slivkin A.I., Velikanova N.A., Gaponov S.P. Izuchenie radiatsionnoy bezopasnosti lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya v gorode Voronezhe i ego okrestnostyakh na primere travy gortsa ptich'ego i list'ev podorozhnika bol'shogo [Study of radiation safety of medicinal plant raw materials in Voronezh and the Voronezh region (knotgrass herb and plantain leaves)]. *Puti i formy sovershenstvovaniya farmatsevticheskogo obrazovaniya. Sozdanie novykh fiziologicheskii aktivnykh veshchestv: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ways and forms of improving pharmaceutical education. Creation of new physiologically active substances: Proceedings of the international science-to-practice conference]. Voronezh; 2013: 513–515 (in Russian).
21. 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.

22. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P., Samylina I.A. Otsenka radionuklidnogo zagryazneniya lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya Voronezhskoy oblasti na primere korney lopukha obyknovennogo [Assessment of radionuclide contamination of medicinal plant raw materials in the Voronezh region (roots of common burdock)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. 2016; 3: 110–115 (in Russian).
23. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. Izuchenie radionuklidnogo zagryazneniya lekarstvennogo syr'ya Voronezhskoy oblasti na primere list'ev podorozhnika bol'shogo i list'ev krapivy dvudomnoy [Study of radionuclide contamination of medicinal raw materials of the Voronezh region (plantain and stinging nettle leaves)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. 2017; 2: 118–123 (in Russian).

Received February 27, 2023; accepted October 15, 2024.

Information about the author

D'yakova Nina Alekseevna, Doctor of Sciences (Pharmaceutics), Associate Professor, Chair of Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology, Department of Pharmaceutics, Voronezh State University. 394007, Russia, Voronezh, Universitetskaya sq., 1; e-mail: Ninochka_V89@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0766-3881>.

For citation

D'yakova N.A. Osobennosti nakopleniya radionuklidov v podzemnykh organakh rasteniy urbanoflory Tsentral'nogo Chernozem'ya na primere korney oduvanchika lekarstvennogo [Characteristics of radionuclide accumulation in dandelion roots in the Central Black Earth Region]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2024; 4: 179–195. DOI: 10.34014/2227-1848-2024-4-179-195 (in Russian).