

## НАКОПЛЕНИЕ КАЛИЯ-40 В ЛЕКАРСТВЕННОМ РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ ФЛОРЫ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

© Дьякова Н.А.

Воронежский государственный университет (ВГУ)

Россия, 394018, Воронежская область, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1

Проблема накопления радионуклидов в лекарственном растительном сырье является многогранной и требует глубокого понимания физико-химических и биологических механизмов, лежащих в основе их миграции в системе «почва – растение – лекарственный препарат». Поэтому необходим региональный мониторинг по изучению радиоэкологической обстановки, включая анализ не только техногенных, но и природных радионуклидов.

**Цель** – провести изучение особенностей накопления в лекарственном растительном сырье флоры Воронежской области калия-40.

**Материалы и методы.** Для проведения исследования был отобран ряд широко распространенных видов, включающих траву горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.), полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.), тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.), листья подорожника большого (*Plantago major* L.) и крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.), цветки липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.) и пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.), корни одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg) и лопуха большого (*Arctium lappa* L.). Параллельно проводился забор образцов почвы с глубины 0-20 см для оценки фонового содержания радионуклидов. Измерения удельной активности калия-40 в почвенных и растительных образцах выполнялись с использованием спектрометра МКГБ-01 «РАДЭК».

**Результаты.** Статистический анализ выявил наличие сильной положительной корреляции между удельной активностью радионуклида в почве и в растительном сырье. Это позволяет утверждать, что основным путем попадания в сырье калия-40 является его поглощение из почвы. При увеличении удельной активности калия-40 в почве возрастала его удельная активность в растительном сырье. Установлена неравномерность распределения радиоизотопа в различных органах растений. Калий-40 в наибольшей концентрации аккумулируется в листьях и травах анализируемых видов.

**Заключение.** Результаты исследования демонстрируют необходимость учета региональных особенностей и промышленной истории местности при оценке качества лекарственного растительного сырья, в частности, в отношении природных радионуклидов, а также могут быть использованы при разработке региональных норм его качества.

**Ключевые слова:** калий-40; Воронежская область; коэффициенты накопления; лекарственное растительное сырье; коэффициенты корреляции.

Дьякова Нина Алексеевна – д-р фарм. наук, доцент, доцент кафедры фармацевтической технологии, ВГУ, г. Воронеж. ORCID iD: 0000-0002-0766-3881. E-mail: Ninochka\_V89@mail.ru

Лекарственное растительное сырье (ЛРС) является одним из путей поступления радиоизотопов в организм человека. Многие фитопрепараты принимаются длительными курсами, что приводит к хроническому, кумулятивному воздействию малых доз [1, 2]. При этом ЛРС часто используется в виде концентрированных форм – настоев, отваров, экстрактов, что может усиливать поступление как токсичных элементов, так и радионуклидов [3, 4].

Действующие фармакопейные статьи (как РФ, так и Европейская фармакопея) устанавливают предельно допустимые уровни удельной активности (УА) только для техногенных радионуклидов – цезия-137 и стронция-90 [5, 6]. Для природных радионуклидов такие нормативы, как правило, отсутствуют [7, 8]. Это обусловлено их повсеместным распространением, что обуславливает отсутствие «чистого» фона. Кроме того, введение жестких норм для природных радионуклидов сделало бы невозможной заготовку

ЛРС во многих регионах с естественно повышенным фоном (например, в гранитных массивах) [9, 10]. Такой правовой вакуум создает потенциальный риск. В регионах с особой геохимией (урановые провинции, месторождения фосфоритов) ЛРС может накапливать природные радионуклиды в количествах, представляющих гигиенический интерес [11, 12].

Аккумуляция как техногенных, так и природных радионуклидов оказывается зависима от ряда факторов [13]. Важное значение имеет гранулометрический состав почв. Легкие песчаные и супесчаные почвы обладают низкой сорбционной емкостью. Ионы радионуклидов слабо удерживаются в почвенном комплексе и легко вымываются в почвенный раствор, становясь доступными для корней. Напротив, тяжелые глинистые почвы, черноземы, богатые гуминовыми и фульвокислотами, обладающими большим количеством активных карбоксильных и фенольных групп, прочно сорбируют радионуклиды,

снижая их биодоступность для корневых систем растений [14, 15]. При увеличении доли гумуса с 1% до 3% коэффициент перехода радионуклидов в растение может снижаться в 2-3 раза [10, 16]. Черноземные почвы с высоким содержанием гумуса (6-15%) создают естественный геохимический барьер для миграции радиоизотопов [13].

Повышение кислотности почвы (т.е. снижение ее pH) приводит к замещению ионов радионуклидов в почвенном поглощающем комплексе на ионы водорода (H<sup>+</sup>). Высвобожденные радионуклиды переходят в почвенный раствор. Щелочная среда (pH >7), напротив, способствует их осаждению в труднорастворимые формы (гидроксиды, карбонаты) [17].

Известно, что высокая влажность увеличивает подвижность ионов и способствует их транспорту к корневой системе вместе с почвенным раствором. В гумидных зонах процессы выщелачивания и миграции элементов усилены, что увеличивает их доступность для растений [18].

Крайне важным является также содержание элементов-носителей (аналогов) в почве. Растение не отличает стабильные элементы от их радиоактивных изотопов. Цезий-137 и калий-40 – аналоги стабильного калия. Поэтому при высоком содержании доступного калия-39 в почве, его ионы будут конкурировать с данными радиоизотопами за места поглощения корневой системой, снижая накопление радионуклидов [19, 20].

При этом разные виды растений имеют разную способность к поглощению элементов. Известно, что растения с поверхностной мочковатой корневой системой будут активнее поглощать радионуклиды, локализованные в верхних, наиболее загрязненных слоях почвы, чем растения со стержневым корнем, уходящим вглубь [21, 22]. Наибольшая интенсивность поглощения элементов обычно наблюдается в фазу активного роста и цветения [13, 23].

Калий-40 – один из наиболее распространенных долгоживущих радионуклидов (период полураспада -  $1,3 \times 10^9$  лет), является природным источником  $\beta$ -излучения. Его доля в общей массе со стабильным калием около 0,012%. Калий – эссенциальный макроэлемент, играет фундаментальную роль в жизнедеятельности растений и животных [10, 13]. Поведение калия-40 в системе «почва–растение» не отличается от стабильного калия-39. Легкодоступные формы калия (активный и обменный) преобладают в легких минеральных почвах (песчаных, супесчаных). Несмотря на невысокое общее содержание, элемент здесь хорошо доступен для корневого питания растений. Труднодоступные формы характерны для тяжелых органических почв (черноземы, глиноземы). Хотя общие запасы калия здесь велики, его усвояемость корневыми системами

крайне низка (до 1%). Таким образом, ряд возрастания накопительной способности почв по калию не коррелирует с его биодоступностью. Наибольшая доступность наблюдается как раз в почвах с низкой общей емкостью (супеси) [11, 13, 19].

Аккумуляция калия-40 практически целиком определяется физиологией растения, а не уровнем загрязнения среды. Калий – основной катион клеточного сока, он целенаправленно транспортируется и концентрируется в зонах активного метаболизма (молодые листья, точки роста). УА калия-40 в растениях во многом определяется его видом и колеблется в диапазоне 30-900 Бк/кг. Наибольшая УА радиоизотопа отмечена в клюкве и грибах [10, 13].

Таким образом, калий-40 представляет собой уникальный пример радионуклида, присутствие которого в окружающей среде и живых организмах является естественным и физиологически обусловленным. Поэтому его содержание в ЛРС является не индикатором загрязнения, а отражением нормальных биохимических процессов. В отличие от техногенных радиоизотопов, содержание калия-40 в растении регулируется внутренними потребностями организма. Его вклад в общую радиационную нагрузку является во многом предопределенным региональными особенностями почв и видом растения. Поэтому необходим региональный мониторинг по изучению радиоэкологической обстановки, включая анализ не только техногенных, но и природных радионуклидов.

Цель исследования – изучение особенностей накопления в ЛРС флоры Воронежской области калия-40.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу настоящего исследования положен принцип использования в качестве модельных объектов широко распространенных видов российской флоры, представляющих как естественные ценозы, так и синантропные группировки. Критерием отбора послужила их значимость в качестве источника лекарственного сырья, заготавливаемого из природных популяций. Включены виды, различающиеся по спектру используемых органов (надземная часть, листья, репродуктивные структуры, подземные части) и по жизненной форме продуцентов [5]. В перечень объектов вошли:

- травы: *Polygonum aviculare* L., *Artemisia absinthium* L., *Achillea millefolium* L., *Leonurus quinquelobatus* Gilib.
- листья: *Plantago major* L., *Urtica dioica* L.

- цветки: *Tilia cordata* Mill., *Tanacetum vulgare* L.
- корни: *Taraxacum officinale* F.H.Wigg, *Arctium lappa* L.

Для оценки процессов почвенно-растительной миграции радионуклида параллельно с образцами фитомассы отбирались пробы из верхнего горизонта почвы (0-20 см). Отбор проб производился на учетных площадках контрастных по характеру и интенсивности антропогенной нагрузки (рис. 1).

УА радионуклидов в образцах почвы и растительного сырья определяли с помощью спектрометра МКГБ-01 «РАДЭК» (НТЦ «РАДЭК», Россия). Все измерения выполняли в трехкратной аналитической повторности [24].

Для оценки способности растений аккумулировать радиоизотоп из почвы был применен коэффициент накопления (КН), рассчитанный по формуле:

$$КН = A_{ЛРС} / A_{П}, \text{ где}$$

$A_{ЛРС}$  – УА радиоизотопа в растении; Бк/кг  
 $A_{П}$  – УА радиоизотопа в почве; Бк/кг [7, 8].

Статистическую обработку данных проводили с доверительной вероятностью 0,95. Анализ взаимосвязи между содержанием радиоизотопа в почве и ЛРС выполняли методом параметрической статистики с вычислением коэффициента корреляции (КК) Пирсона. Интерпретацию силы корреляционной связи проводили с использованием шкалы Чеддока [25].

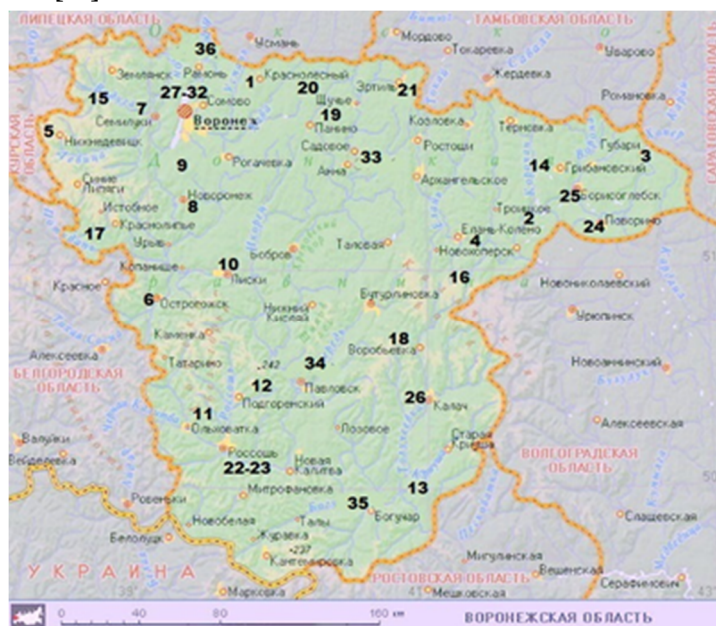


Рис. 1. Карта-схема учетных площадок отбора проб почвы и ЛРС (расшифровка обозначений в таблице 1).

Fig. 1. Map of accounting sites for soil and medicinal plant raw material sampling (interpretation of designations in Table 1).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ существующей нормативной базы подтверждает отсутствие регламентации предельно допустимой УА природных радионуклидов в почвах. Проведенные исследования выявили особенности радиационного фона Воронежской области: УА калия-40 в верхних слоях почв варьировала от 312 до 895 Бк/кг при среднем значении 509 Бк/кг, что превышает среднероссийские показатели (460 Бк/кг [13]) (табл. 1). Полученные результаты объясняются преобладанием черноземных почв, характеризующихся повышенным содержанием гумуса, способного прочно фиксировать в верхних слоях почв природные радиоизотопы. Наиболее значимые показатели УА калия-40 (до 895 Бк/кг) отмечены в почвах территорий, прилегающих к ТЭЦ-1 «ВОГРЭС»,

что объясняется многолетним использованием каменного угля, для которого характерно высокое содержание естественных радиоизотопов [16, 17]. Даже при высокой степени очистки выбросов ТЭЦ, работающих на твердом топливе, являются значимыми источниками поступления радионуклидов в окружающую среду [18].

Исследования ЛРС выявили видовую специфику аккумуляции калия-40. Наибольшие значения УА зарегистрированы для пустырника пятилопастного травы (среднее значение 919 Бк/кг, диапазон 614-1341 Бк/кг). Высокая средняя УА отмечена у крапивы двудомной листьев (791 Бк/кг) и подорожника большого листьев (742 Бк/кг). Наиболее низкая УА калия-40 отмечена для изучаемых цветков растений – для пижмы обыкновенной (447 Бк/кг) и липы сердцевидной (478 Бк/кг).

Таблица 1

Table 1

Результаты определений УА калия-40 в объектах исследования (Бк/кг)

Results of determination of potassium-40 specific activity in the study objects (Bq/kg)

№	Район заготовки Area of collecting	Polygoni avicularis herba	Artemisiae absinthii herba	Achilleae millefolii herba	Leonuri herba	Plantaginis majoris folia	Urticae dioicae folia	Tiliae flores	Tanaceti vulgaris flores	Taraxaci officinalis radices	Arctii radices	Почва Soil
1	Воронежский государственный заповедник Voronezh State Reserve	423 ±59	518 ±64	316 ±42	615 ±57	416 ±57	514 ±54	325 ±54	284 ±45	329 ±36	308 ±67	312 ±42
2	Хоперский государственный заповедник Hoper State Reserve	526 ±78	637 ±69	408 ±53	813 ±89	539 ±89	617 ±76	416 ±32	315 ±32	460 ±51	461 ±53	437 ±26
3	Теллермановский лес Tellerman Forest	603 ±93	510 ±48	390 ±37	814 ±68	606 ±64	634 ±80	419 ±67	376 ±63	412 ±48	418 ±70	407 ±30
4	с. Елань-Колено Elan-Koleno village	550 ±64	640 ±52	483 ±56	893 ±85	682 ±82	732 ±48	451 ±41	384 ±28	472 ±31	451 ±46	461 ±41
5	с. Нижнедевицк Nizhnedevitsk village	617 ±83	711 ±58	415 ±54	898 ±90	689 ±85	767 ±86	493 ±38	415 ±72	476 ±58	428 ±75	481 ±63
6	г. Острогожск Ostrogozhsk city	702 ±98	835 ±63	518 ±74	893 ±97	853 ±90	869 ±76	610 ±50	511 ±73	611 ±44	590 ±89	597 ±26
7	г. Семилуки Semiluki city	706 ±79	896 ±74	607 ±69	936 ±103	716 ±102	877 ±77	445 ±67	486 ±80	493 ±24	510 ±94	508 ±50
8	г. Нововоронеж Novovoronezh city	627 ±70	787 ±60	491 ±55	908 ±105	635 ±54	793 ±90	459 ±52	415 ±53	489 ±41	483 ±56	487 ±19
9	Высоковольтные ЛЭП (Каширский р-н) High-voltage power transmis- sion lines (Kashira district)	631 ±95	936 ±73	534 ±64	838 ±76	614 ±72	787 ±86	442 ±42	408 ±43	493 ±38	498 ±64	478 ±37
10	Лискинский р-н Liskinsky region	495 ±68	676 ±58	408 ±59	715 ±58	556 ±80	591 ±64	369 ±59	297 ±62	361 ±51	356 ±49	342 ±41
11	Ольховатский р-н Olkhovatsky region	660 ±34	835 ±75	513 ±52	918 ±92	718 ±54	786 ±87	483 ±67	473 ±52	513 ±19	474 ±67	494 ±30
12	Подгоренский р-н Podgorensky region	742 ±50	968 ±69	597 ±68	983 ±76	831 ±51	853 ±64	493 ±66	549 ±48	611 ±59	614 ±73	583 ±26
13	Петропавловский р-н Peter and Paul region	798 ±45	918 ±78	590 ±68	1015 ±98	854 ±78	876 ±95	515 ±84	532 ±63	527 ±61	553 ±81	567 ±33
14	Грибановский р-н Gribanovsky region	601 ±39	857 ±73	511 ±63	898 ±78	704 ±60	839 ±92	483 ±54	422 ±61	503 ±47	493 ±62	459± 40
15	Хохольский р-н Hokholsky region	720 ±47	936 ±77	621 ±67	1112 ±94	918 ±54	891 ±74	517 ±76	521 ±72	684 ±31	550 ±70	569 ±37
16	Новохоперский р-н New Khopyor region	611 ±40	888 ±64	512 ±59	814 ±79	679 ±75	832 ±90	497 ±48	434 ±70	522 ±39	510 ±23	478 ±51
17	Репьевский район Repyevsky region	718 ±35	914 ±61	529 ±58	961 ±89	751 ±62	905 ±102	462 ±60	502 ±61	516 ±45	497 ±70	508 ±39
18	Воробьевский р-н Vorobyevsky region	635 ±48	835 ±66	438 ±65	905 ±92	653 ±97	814 ±97	485 ±44	427 ±34	491 ±31	450 ±93	442 ±44
19	Панинский р-н Paninsky region	680 ±67	876 ±59	497 ±72	941 ±87	689 ±65	839 ±93	499 ±77	444 ±65	462 ±39	518 ±29	481 ±35
20	Верхнехавский р-н Verkhnekhavsky region	637±5 4	814±76	524±6 4	950±8 6	911±10 0	876±1 00	523± 48	423±7 3	439±5 2	511± 93	489±2 6

Таблица 1. Окончание

Table 1. End

21	Эртильский р-н Ertilsky region	686 ±51	912 ±79	505 ±57	883 ±90	937 ±85	816 ±54	505 ±63	425 ±70	497 ±40	484 ±64	479 ±34
22	Россошанский р-н Rossosh region	730 ±48	883 ±80	567 ±64	1180 ±87	983 ±94	903 ±69	529 ±68	487 ±64	563 ±25	563 ±80	583 ±29
23	Около ОАО «Минудобрения» (г. Россошь) Close OJSC "Minudobriya" (Rossoch city)	790 ±83	876 ±90	583 ±75	1115 ±98	861 ±59	917 ±74	461± 98	509 ±65	590 ±39	541 ±36	578 ±46
24	Около ООО «Бормаш» (г. Поворино) Close LLC "Bormash" (Povorino city)	517 ±49	514 ±59	415 ±57	715 ±85	499 ±67	679 ±85	409 ±76	367 ±48	427 ±43	434 ±45	381 ±55
25	г. Борисоглебск Borisoglebsk city	611 ±47	698 ±67	455 ±68	821 ±89	673 ±73	705 ±93	483 ±72	395 ±83	435 ±50	453 ±62	428 ±32
26	г. Калач Kalach city	781 ±53	885 ±60	555 ±73	979 ±99	835 ±97	891 ±91	501 ±59	518 ±45	528 ±37	571 ±48	537 ±24
27	Около теплоэлектростанции «ВОГРЭС» (г. Воронеж) Close "VOGRES" Thermal Power Plant (Voronezh city)	1143 ±62	1488 ±90	941 ±87	1341 ±96	1072 ±108	1211 ±63	596 ±65	627 ±90	876 ±67	918 ±90	895 ±38
28	Около ООО «ВОРОНЕЖСИНТЕЗ- КАУЧУК» (г. Воронеж) Close LLC "Sibur" (Voronezh city)	1197 ±60	1315 ±85	948 ±78	1258 ±86	1157 ±110	1176 ±52	573 ±84	601 ±83	853 ±51	943 ±53	807 ±56
29	Около водохранилища (г. Воронеж) Close the reservoir (Voronezh city)	1117 ±72	1276 ±99	882 ±80	1197 ±98	1116 ±98	939 ±68	511 ±37	594 ±67	866 ±36	913 ±41	809 ±61
30	Около аэропорта Close the airport	502 ±46	720 ±87	418 ±56	706 ±87	531 ±52	618 ±79	432 ±92	387 ±75	457 ±41	411 ±50	390 ±23
31	Улица Димитрова (г. Воронеж) Dimitrova Street (Voronezh city)	1142 ±63	1256 ±98	715 ±79	1214 ±97	1197 ±99	1014 ±95	578 ±85	611 ±49	767 ±59	891 ±24	811 ±48
32	Вдоль трассы М4 (Рамонский р-н) Along the M4 route (Ramon region)	488 ±63	715 ±68	406 ±45	696 ±78	534 ±68	539 ±48	476 ±71	374 ±60	497 ±44	421 ±31	367 ±42
33	Вдоль трассы А144 (Аннинский р-н) Along the A144 route (Anna region)	635 ±53	818 ±93	442 ±64	893 ±95	678 ±72	714 ±90	489 ±63	418 ±73	506 ±33	461 ±47	456 ±23
34	Вдоль трассы М4 (Павловский р-н) Along the M4 route (Pavlovsk region)	508 ±46	686 ±81	376 ±50	718 ±89	511 ±81	553 ±52	413 ±59	333 ±58	418 ±37	411 ±58	352 ±32
35	Вдоль нескоростной дороги (Богучарский р-н) Along the non-high-speed road (Boguchar region)	603 ±40	697 ±73	407 ±59	810 ±84	609 ±73	609 ±47	429 ±86	472 ±45	452 ±48	472 ±63	411 ±25
36	Вдоль железной дороги Along the railroad	501 ±39	665 ±65	380 ±45	732 ±93	497 ±56	512 ±83	434 ±83	364 ±56	397 ±38	389 ±52	367 ±27
	Среднее для Воронежской области Average for Voronezh region	690	844	525	919	742	791	478	447	528	526	506

Территориальное распределение УА радиоизотопа калия тесно коррелирует с данными по почве: наиболее высокие ее значения отмечены в образцах ЛРС, заготовленного вблизи ТЭЦ «ВО-ГРЭС». Это подтверждает влияние на радиационный фон прилегающих территорий хронического загрязнения от выбросов ТЭЦ, работающих на твердом топливе [4, 18].

Расчет КК между УА калия-40 в образцах почв и ЛРС выявил наличие тесной корреляции между данными показателями, что позволяет судить о преимущественно транспочвенном загрязнении флоры региона данным радиоизотопом (табл. 2).

Анализ КН калия-40 в ЛРС позволит выявить значительные различия в аккумуляции радиоизотопа различными видами и частями растений. Наибольшей накопительной способностью в отношении калия-40 характеризуются надземные вегетативные органы с высоким уровнем метаболизма. Трава и листья (КН 1,06-1,85) отличаются наиболее активным накоплением радиоизотопа. Корни аккумулируют калий-40 на уровне близком к равновесному с почвой (КН 1,04-1,05). Цветки демонстрируют наименьшую аккумуляционную способность (КН 0,90-0,94).

Общий вид ряда убывания средних значений УА калия-40 в различных видах изученного растительного сырья можно представить в таком виде: пустырника пятилопастного трава → полыни горькой трава → крапивы двудомной листья → подорожника большого листья → горца птичьего трава → одуванчика лекарственного корни → лопуха большого корни → тысячелистника обыкновенного трава → липы сердцевидной цветки → пижмы обыкновенной цветки (табл. 3).

Выявленная видовая и органная специфика аккумуляции калия-40 соответствует физиологи-

ческой роли стабильного калия, который является ключевым элементом клеточного сока и активно участвует в метаболических процессах [10, 13, 19].

Выводы. Полученные результаты определения УА калия-40 в образцах ЛРС и почв Воронежской области отличаются относительной равномерностью распределения по изучаемым районам заготовки. Несколько более высокими показателями УА калия-40 выделяются образцы, заготовленные в зоне влияния ТЭЦ, которая до начала 2000-х годов функционировала на каменном угле, содержащем в качестве естественной примеси природные радиоизотопы, поступающие через выбросы вместе с золой и недожогом в окружающую среду. Корреляционный анализ УА калия-40 в почве и ЛРС подтвердил наличие тесной взаимосвязи между данными показателями, что позволяет судить о преимущественно транспочвенном поступлении его в сырье. Выявлены значительные различия в аккумуляции калия-40 различными видами и частями растений. Наибольшей накопительной способностью в отношении калия-40 характеризуются надземные вегетативные органы с высоким уровнем метаболизма. Трава и листья (КН 1,06-1,85) отличаются наиболее активным накоплением радиоизотопа. Корни аккумулируют калий-40 на уровне, близком к равновесному с почвой (КН 1,04-1,05). Цветки демонстрируют наименьшую аккумуляционную способность (КН 0,90-0,94). Установлен общий вид ряда убывания накопления калия-40 в ЛРС: пустырника пятилопастного трава → полыни горькой трава → крапивы двудомной листья → подорожника большого листья → горца птичьего трава → одуванчика лекарственного корни → лопуха большого корни → тысячелистника обыкновенного трава → липы сердцевидной цветки → пижмы обыкновенной цветки.

Таблица 2

Table 2

КК между УА калия-40 в образцах почв и ЛРС

Correlation coefficients between the specific activity of potassium-40 in soil samples and medicinal plant raw materials

ЛРС Medicinal plant raw materials	КК Correlation coefficients
Polygoni avicularis herba	0.97
Artemisiae absinthii herba	0.93
Achilleae millefolii herba	0.95
Leonuri herba	0.94
Plantaginis majoris folia	0.92
Urticae dioicae folia	0.90
Tiliae flores	0.79
Tanaceti vulgaris flores	0.91
Taraxaci officinalis radices	0.96
Arctii radices	0.97

КН калия-40 в ЛРС

Potassium-40 accumulation coefficients in medicinal plant raw materials

№	Район заготовки Area of collecting	<i>Polygoni avicularis herba</i>	<i>Artemisiae absinthii herba</i>	<i>Achilleae millefolii herba</i>	<i>Leonuri herba</i>	<i>Plantaginis majoris folia</i>	<i>Urticae dioicae folia</i>	<i>Tiliae flores</i>	<i>Tanacetii vulgaris flores</i>	<i>Taraxaci officinalis radices</i>	<i>Arctii radices</i>
1	Воронежский государственный заповедник Voronezh State Reserve	1.36	1.66	1.01	1.97	1.33	1.65	1.04	0.91	1.05	0,99
2	Хоперский государственный заповедник Hoper State Reserve	1.20	1.46	0.93	1.86	1.23	1.41	0.95	0.72	1.05	1,05
3	Теллермановский лес Tellerman Forest	1.48	1.25	0.96	2.00	1.49	1.56	1.03	0.92	1.01	1,03
4	с. Елань-Колено Elan-Koleno village	1.19	1.39	1.05	1.94	1.48	1.59	0.98	0.83	1.02	0,98
5	с. Нижнедевицк Nizhnedevitsk village	1.28	1.48	0.86	1.87	1.43	1.59	1.02	0.86	0.99	0,89
6	г. Острогожск Ostrogozhsk city	1.18	1.40	0.87	1.50	1.43	1.46	1.02	0.86	1.02	0,99
7	г. Семилуки Semiluki city	1.39	1.76	1.19	1.84	1.41	1.73	0.88	0.96	0.97	1,00
8	г. Нововоронеж Novovoronezh city	1.29	1.62	1.01	1.86	1.30	1.63	0.94	0.85	1.00	0,99
9	Высоковольтные ЛЭП (Каширский р-н) High-voltage power transmission lines (Kashira district)	1.32	1.96	1.12	1.75	1.28	1.65	0.92	0.85	1.03	1,04
10	Лискинский р-н Liskinsky region	1.45	1.98	1.19	2.09	1.63	1.73	1.08	0.87	1.06	1,04
11	Ольховатский р-н Olkhovatsky region	1.34	1.69	1.04	1.86	1.45	1.59	0.98	0.96	1.04	0,96
12	Подгоренский р-н Podgorensky region	1.27	1.66	1.02	1.69	1.43	1.46	0.85	0.94	1.05	1,05
13	Петропавловский р-н Peter and Paul region	1.41	1.62	1.04	1.79	1.51	1.54	0.91	0.94	0.93	0,98
14	Грибановский р-н Gribanovsky region	1.31	1.87	1.11	1.96	1.53	1.83	1.05	0.92	1.10	1,07
15	Хохольский р-н Hokholsky region	1.27	1.64	1.09	1.95	1.61	1.57	0.91	0.92	1.20	0,97
16	Новохоперский р-н New Khopyor region	1.28	1.86	1.07	1.70	1.42	1.74	1.04	0.91	1.09	1,07
17	Репьевский район Repyevsky region	1.41	1.80	1.04	1.89	1.48	1.78	0.91	0.99	1.02	0,98
18	Воробьевский р-н Vorobyevsky region	1.44	1.89	0.99	2.05	1.48	1.84	1.10	0.97	1.11	1,02
19	Панинский р-н Paninsky region	1.41	1.82	1.03	1.96	1.43	1.74	1.04	0.92	0.96	1,08
20	Верхнехавский р-н Verkhnekhavsky region	1.30	1.66	1.07	1.94	1.86	1.79	1.07	0.87	0.90	1,04
21	Эртильский р-н Ertilsky region	1.43	1.90	1.05	1.84	1.96	1.70	1.05	0.89	1.04	1,01
22	Россошанский р-н Rossosh region	1.25	1.51	0.97	2.02	1.69	1.55	0.91	0.84	0.97	0,97
23	Около ОАО «Минудобрения» (г. Россошь) Close OJSC "Minudobriya" (Rossoch city)	1.37	1.52	1.01	1.93	1.49	1.59	0.80	0.88	1.02	0,94

Таблица 3. Окончание

Table 3. End

24	Около ООО «Бормаш» (г. Поворино) Close LLC "Bormash" (Povorino city)	1.36	1.35	1.09	1.88	1.31	1.78	1.07	0.96	1.12	1,14
25	г. Борисоглебск Borisoglebsk city	1.43	1.63	1.06	1.92	1.57	1.65	1.13	0.92	1.02	1,06
26	г. Калач Kalach city	1.45	1.65	1.03	1.82	1.55	1.66	0.93	0.96	0.98	1,06
27	Около теплоэлектростанции «ВОГРЭС» (г. Воронеж) Close "VOGRES" Thermal Power Plant (Voronezh city)	1.28	1.66	1.05	1.50	1.20	1.35	0.67	0.70	0.98	1,03
28	Около ООО «ВОРОНЕЖСИНТЕЗКАУЧУК» (г. Воронеж) Close LLC "Sibur" (Voronezh city)	1.48	1.63	1.17	1.56	1.43	1.46	0.71	0.74	1.06	1,17
29	Около водохранилища (г. Воронеж) Close the reservoir (Voronezh city)	1.38	1.58	1.09	1.48	1.38	1.16	0.63	0.73	1.07	1,13
30	Около аэропорта Close the airport	1.29	1.85	1.07	1.81	1.36	1.58	1.11	0.99	1.17	1,05
31	Улица Димитрова (г. Воронеж) Dimitrova Street (Voronezh city)	1.41	1.55	0.88	1.50	1.48	1.25	0.71	0.75	0.95	1,10
32	Вдоль трассы М4 (Рамонский р-н) Along the M4 route (Ramon region)	1.33	1.94	1.10	1.89	1.45	1.46	1.29	1.02	1.35	1,14
33	Вдоль трассы А144 (Аннинский р-н) Along the A144 route (Anna region)	1.39	1.79	0.97	1.95	1.48	1.56	1.07	0.91	1.10	1,01
34	Вдоль трассы М4 (Павловский р-н) Along the M4 route (Pavlovsk region)	1.45	1.95	1.07	2.05	1.46	1.58	1.18	0.95	1.19	1,17
35	Вдоль нескоростной дороги (Богучарский р-н) Along the non-high-speed road (Boguchar region)	1.46	1.69	0.99	1.97	1.48	1.48	1.04	1.15	1.10	1,15
36	Вдоль железной дороги Along the railroad	1.74	1.96	1.12	2.16	1.47	1.51	1.28	1.07	1.17	1,15
Среднее для Воронежской области Average for Voronezh region		1,36	1,68	1,06	1,85	1,47	1,59	0,98	0,90	1,05	1,04

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Автор заявляет об отсутствии финансирования

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. 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. *Adv Biol Sci Res.* 2019;7:94–96. DOI: 10.2991/isils-19.2019.22
2. Jablonskikh L.A. Content and vertical distribution of heavy metals and radionuclides in hydromorphic soils of the forest steppe. *Eurasian Soil Sci.* 1999;32(4):394–403.
3. 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. *Russ J Bioorg Chem.* 2025;51(7):3056–3067. DOI: 10.1134/S106816202515018X.
4. Богачев А.В. Миграция <sup>137</sup>Cs и калия в системе «почва–растение». Факты, закономерности, гипотезы: учебное пособие. Москва: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН; 1997. 35 с. [Bogachev A.V. Migration of <sup>137</sup>Cs and potassium in the soil–plant system. Facts, patterns, hypotheses: a study guide. Moscow: Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences; 1997. 35 p. (in Russ.)].

5. Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Том 4. Москва: ФЭМБ, 2018 1883 с. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. Edition XIV. Volume 4. Moscow: FEMB, 2018 1883p. (in Russ.)].
6. European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare. European Pharmacopoeia. 10th ed. Strasbourg: EDQM; 2019: 4120.
7. Dyakova N.A., Lyubashevsky D.E., Chupandina E.E., Pisklyukov A.A. Study of natural and artificial radionuclides accumulation by medicinal plant raw materials on the example of nettle leaves of *Urtica dioica*. *Biol Trace Elem Res*. 2025;(7). DOI: 10.1007/s12011-025-04702-1.
8. Dyakova N.A. Accumulation of natural and artificial radionuclides by medicinal plant raw materials using nettle leaves as an example. *Pharm Chem J*. 2024;58(3):468–477. DOI: 10.1007/s11094-024-03166-2.
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. *Adv Environ Biol*. 2014;8(13):414–418.
10. Парамонова Т.А., Романцова Н.А. Сравнительный анализ поступления цезия-137 и калия-40 в травянистую растительность на радиоактивно загрязненной территории Тульской области. *Живые и биосферные системы*. 2013;(5):4–9. [Paramonova T.A., Romantsova N.A. Comparative analysis of cesium-137 and potassium-40 input into herbaceous vegetation on radioactively contaminated territory of Tula region. *Zhivye i biosfernye sistemy*. 2013;(5):4–9. (in Russ.)]. EDN: UYNDLD.
11. Ryzhakova N.K., Babeshina L.G., Kondratyeva A.G., Sechnaya D.Y. Contents of macro-, microelements and long-lived radionuclides in the medicinal plants belonging to the wetland community of Siberian region, Russia. *Phytochem Lett*. 2017;22:280–286. DOI: 10.1016/j.phytol.2017.10.001.
12. Dyakova N.A., Slivkin A.I., Trineeva O.V. From assessment of radionuclide contamination in herbal medicine raw material of Voronezh region to issues concerning standardization of natural radionuclides. *Pharm Chem J*. 2022;56(8):1082–1086. DOI: 10.1007/s11094-022-02757-1.
13. Бекман И.Н. Радиозология и экологическая радиохимия. Москва; 2018. 400 с. [Bekman I.N. Radioecology and environmental radiochemistry. Moscow; 2018. 400 p. (in Russ.)].
14. İsel P., Sahin L., Hafizoğlu N., Ganioglu E., Mül-ayim A. Natural and artificial radioactive pollution in sediment and soil samples of the Bosphorus, Istanbul. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2023;30(27):70937–70949. DOI: 10.1007/s11356-023-27455-7.
15. Maystrenko T., Rybak A. Radium uptake by earthworms *Eisenia fetida* after exposure to contaminated soil. *J Environ Radioact*. 2023;257:107085. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2022.107085.
16. Kozłowska B., Walencik A., Dorda J., Zipper W. Radioactivity of dumps in mining areas of the Upper Silesian Coal Basin in Poland. *EPJ Web Conf*. 2012;24:05006. DOI: 10.1051/epjconf/20122405006.
17. Wang X., Feng Q., Sun R., Liu G. Radioactivity of Natural Nuclides (40K, 238U, 232Th, 226Ra) in Coals from Eastern Yunnan, China. *Minerals*. 2015;5: 637–646. DOI: 10.3390/min5040513.
18. Pak Y.N., Pak D.Y., Ponomaryova M.V., Baizbayev M.B., Zhelayeva N.V. Radioactivity of coal and its combustion wastes. *Coke Chem*. 2018;61(5):188–192.
19. Kuzmanović P., Srećković M., Lužaić T. Quantification of <sup>40</sup>K and <sup>137</sup>Cs in food packaging materials and radiation risk assessment due to their potential migration into food. *Sci Total Environ*. 2026;1023:181642. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2026.181642.
20. Lee J.W., Lee S.D., Min H.B., Han C.H., Kim K.P. Assessment of K-40 and Cs-137 radioactivity concentrations and annual effective dose due to ingestion of staple foods in South Korea. *Appl Radiat Isot*. 2025;226:112246. DOI: 10.1016/j.apradiso.2025.112246.
21. Hampton C.R., Broadley M.R., White P.J. Short review: the mechanisms of radiocaesium uptake by Arabidopsis roots. *Nukleonika*. 2005;50:S3–S8.
22. Živković M.P., Alshehri A.H.D., Abas Abdullah A., Krstić D.Ž., Salem F.A., Wais T.Y. Dietary exposure to natural and artificial radionuclides through cereal, legume, seed, and nut products: measurement and uptake assessment. *J Environ Radioact*. 2026;291:107860. DOI:10.1016/j.jenvrad.2025.107860.
23. Saleh D.S., Salh H., Smail J.M., Ahmad S.T. A review of annual effective dose from ingesting <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, and <sup>40</sup>K in rice across different countries. *Isotopes Environ Health Stud*. 2025;61(3):298–309. DOI: 10.1080/10256016.2025.2488297.
24. Методические рекомендации МР 2.6.1/2.3.7.0216-20. Радиохимическое определение удельной активности природных радионуклидов в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах. Москва; 2020. [Methodological recommendations MR 2.6.1/2.3.7.0216-20. Radiochemical determination of specific activity of natural radionuclides in food products, soil, other environmental objects and bioassays. Moscow; 2020. (in Russ.)]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74835247/>
25. Фёрстер Э., Рёнц Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Москва; 1983. 304 с. [Förster E, Rönz E. *Methods of correlation and regression analysis*. Moscow; 1983. 304 p. (in Russ.)].

Поступила в редакцию 10.03.2026

Подписана в печать 25.06.2026

## ACCUMULATION OF POTASSIUM-40 IN MEDICINAL PLANT RAW MATERIALS OF FLORA OF VORONEZH REGION

© Dyakova N.A.

**Voronezh State University (VSU)**

1, University Sqr., Voronezh, Voronezh region, 394006, Russian Federation

The problem of accumulation of radionuclides in medicinal plant raw materials is multifaceted and requires a deep understanding of the physicochemical and biological mechanisms underlying their migration in the soil-plant-drug system. Therefore, regional monitoring is needed to study the radioecological situation, including the analysis of not only man-made, but also natural radionuclides.

**Objective** – to study the peculiarities of accumulation in plant resources of the flora of the Voronezh region of potassium-40.

**Materials and methods.** A number of widespread species were selected for the study, including bird highlander grass (*Polygonum aviculare* L.), wormwood (*Artemisia absinthium* L.), yarrow (*Achillea millefolium* L.), motherwort five-lobed (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.), plantain leaves large (*Plantago major* L.) and dioecious nettles (*Urtica dioica* L.), heart-shaped linden flowers (*Tilia cordata* Mill.) and common tansy (*Tanacetum vulgare* L.), the roots of dandelion medicinal (*Taraxacum officinale* F.H.Wigg) and burdock large (*Arctium lappa* L.). In parallel, soil samples were taken from a depth of 0-20 cm to assess the background content of radionuclides. Measurements of potassium-40 specific activity in soil and plant samples were performed using the RADEK MKGB-01 spectrometer.

**Results.** Statistical analysis revealed the presence of a strong positive correlation between the specific activity of the radionuclide in the soil and in plant raw materials. This allows us to assert that the main way potassium-40 gets into the raw materials is its absorption from the soil. With an increase in the specific activity of potassium-40 in the soil, its specific activity in plant raw materials increased. The unevenness of the distribution of the radioisotope in various plant organs has been established. Potassium-40 is most concentrated in the leaves and grasses of the analyzed species.

**Conclusion.** The results of the study demonstrate the need to take into account regional features and industrial history of the area when assessing the quality of medicinal plant raw materials, in particular, in relation to natural radionuclides, and can also be used in the development of regional standards for its quality.

**Keywords:** potassium-40; Voronezh region; accumulation coefficients; medicinal plant raw materials; correlation coefficients.

**Dyakova Nina A.** – Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Assistant Professor, Department of Pharmaceutical Technology, VSU, Voronezh, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0002-0766-3881. E-mail: Ninochka\_V89@mail.ru

### CONFLICT OF INTEREST

The author declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

### SOURCE OF FINANCING

The author states that there is no funding for the study

Received 10.03.2026

Accepted 25.06.2026

**For citation:** Dyakova N.A. Accumulation of potassium-40 in medicinal plant raw materials of flora of Voronezh region. *Humans and their health*. 2026;29(2):81–90. DOI: 10.21626/vestnik/2026-2/11. EDN: ZEVMYT.