

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 632.122.1:546.47:546.56:546.77(470.32)

РАДИОНУКЛИДЫ ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ )  
В АГРОЭКОСИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

© 2024 г. С. В. Лукин<sup>1,2,\*</sup>

Представлено академиком РАН В.И. Кирюхиным 18.06.2024 г.

Поступило 18.06.2024 г.

После доработки 17.07.2024 г.

Принято к публикации 24.07.2024 г.

Исследования проводились в 2023–2024 гг. на реперных объектах Белгородской области. Методика исследований – общепринятая в агрохимической службе. Цель работы заключалась в изучении удельной активности естественных и искусственных радионуклидов в почвах и растениях агроэкосистем. В ходе исследований было установлено, что по средней величине удельной активности  $^{40}\text{K}$  в пахотных черноземах выщелоченных (539 Бк/кг), типичных (544 Бк/кг) и обыкновенных (573 Бк/кг) существенных различий не наблюдается, а в черноземах остаточно-карбонатных величина данного параметра (207 Бк/кг) была в 2.60–2.77 раза ниже. Средняя величина удельной активности  $^{232}\text{Th}$  в черноземах выщелоченных (39.2 Бк/кг), типичных (42.9 Бк/кг), обыкновенных (46.7 Бк/кг) была выше, чем в остаточно-карбонатных (19.9 Бк/кг) в 1.97–2.35 раза. Изучаемые почвы существенно не отличались по средней удельной активности  $^{226}\text{Ra}$ , величина которой была в пределах 17.3–18.9 Бк/кг. В западных районах области варьирование удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвах находилось в пределах 5.9–19.6, восточных – 16.3–87.2 Бк/кг. Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в почвах западных районов была ниже 3, восточных – ниже 5 Бк/кг. В изучаемой растениеводческой продукции средняя удельная активность  $^{40}\text{K}$  была в пределах 111–597 Бк/кг, а  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  не превышала 6 и 8 Бк/кг соответственно. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  была менее 3, а  $^{90}\text{Sr}$  – 2 Бк/кг, что существенно ниже установленных предельных уровней для данного параметра.

**Ключевые слова:** естественные радионуклиды, искусственные радионуклиды, удельная активность, чернозем, озимая пшеница, эспарцет

**DOI:** 10.31857/S2686739724120202

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим природным фактором, играющим значительную роль в жизни человека, является естественный радиационный фон. Его величина во многом зависит от содержания в почвах долгоживущих естественных радионуклидов (ЕРН). К основным представителям ЕРН, удельная активность которых определяется при проведении экологического мониторинга почв, относят  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  (промежуточный продукт распада  $^{238}\text{U}$ ), с периодом полураспада  $1.27 \times 10^9$ ,  $1.39 \times 10^9$  и  $1.6 \times 10^3$  лет соответственно [1, 2].

После аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году большая часть Центральной России подверглась радиоактивному загрязнению искусственными радионуклидами (ИРН). Главными загрязнителями стали  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  с периодами полураспада 30.2 и 28.8 лет соответственно [3–5]. В основном ИРН депонировались в почвах, в том числе сельскохозяйственного назначения. Отечественным законодательством предельно допустимые уровни удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах не установлены, однако утверждена система зонирования территории в зависимости от плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  (критический радионуклид): 1–5 Кү/км<sup>2</sup> (37–185 кБк/м<sup>2</sup>) – зона проживания с льготным социально-экономическим статусом, 5–15 Кү/км<sup>2</sup> (185–555 кБк/м<sup>2</sup>) – зона проживания с правом на отселение, более 15 Кү/км<sup>2</sup> (555 кБк/м<sup>2</sup>) – зона отселения [6].

В продуктах питания и кормах для животных нормируется содержание только ИРН  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

<sup>1</sup>Центр агрохимической службы “Белгородский”,  
Белгород, Россия

<sup>2</sup>Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет, Белгород, Россия

\*E-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

Например, для зерна, предназначенного на пищевые цели, предельные уровни удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  составляют 60 и 11 Бк/кг, а для фуражного – 180 и 100 Бк/кг соответственно [7].

Несмотря на то, что с момента Чернобыльской катастрофы прошло 38 лет и большая часть ИРН уже распалась, определение их удельной активности в почвах и растениях является важной составной частью агроэкологического мониторинга, проводимого агрохимической службой России.

Целью данной работы было изучение удельной активности естественных и искусственных радионуклидов в почвах и растениях Центрального Черноземья на примере Белгородской области.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в юго-западной части Центрально-Черноземного экономического района на территории Белгородской области. В лесостепной части области преобладают черноземы типичные и выщелоченные, а в степной – черноземы обыкновенные и остаточно-карбонатные. Черноземы выщелоченные, типичные и обыкновенные сформировались на лёссовидных суглинках и глинах, а чернозёмы остаточно-карбонатные – на элювии мела [8].

В рамках проведения фонового мониторинга образцы целинного чернозема типичного отбирались на территории участка “Ямская степь” государственного заповедника “Белогорье”, расположенного в муниципальном образовании (МО) “Губкинский городской округ”, а чернозёма обыкновенного – на территории особо охраняемой природной территории (ООПТ)

урочище “Гнилое” около с. Викторополь в МО “Вейделевский район” (рис. 1). В слое 10–20 см целинного чернозема типичного содержание физической глины (частиц размером менее 0.01 мм), органического вещества и рН водной вытяжки ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) составляло 57.3%, 10.1% и 7.0, а чернозема обыкновенного – 66.3%, 9.5%, 7.0 соответственно.

Образцы черноземов выщелоченных и типичных, используемых в сельскохозяйственном производстве, отбирались с реперных участков на территории МО “Ракитянский район”, черноземов обыкновенных – МО “Вейделевский район”, остаточно-карбонатных – МО “Ровеньский район”. Для каждого подтипа чернозема из слоя почвы 0–25 см отбиралось по 20 проб. Пробы почв и растений отбирались по общепринятой в агрохимической службе методике [9]. В пахотных черноземах выщелоченных среднее содержание физической глины, органического вещества,  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  составляло 53.9%, 5.4%, 6.3, типичных – 55.1%, 5.5%, 6.6, обыкновенных – 72.5%, 5.6%, 7.8, остаточно-карбонатных – 62.1%, 4.0%, 8.3 соответственно.

Все анализы проводились в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ “ЦАС “Белгородский”. Определение удельной активности  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  во всех объектах и  $^{90}\text{Sr}$  в образцах растениеводческой продукции проводили по методике ФР.1.38.2011.10033 “Методика измерений удельной активности природных радионуклидов, цезия-137, стронция-90 в пробах объектов окружающей среды и продукции предприятий с применением спектрометра-радиометра гамма и бета-излучений МКГБ-01 “РАДЭК” и гамма-спектрометра МКСП-01 “РАДЭК”. Определение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в почве

**Таблица 1.** Удельная активность  $^{40}\text{K}$  в растениеводческой продукции, Бк/кг абсолютно сухого вещества

| Почва                                  | Культура           | Вариационно-статистические характеристики |         |      |    |
|--|--------------------|---|---------|------|----|
|  |                    | $\bar{x} \pm t_{0.95} s \bar{x}$          | lim     | V, % | n  |
| Чернозем обыкновенный (пашня)          | пшеница зерно      | 111±5                                     | 90–130  | 10.2 | 21 |
|  | озимая солома      | 182±16                                    | 136–231 | 19.7 | 21 |
|  | эспарцет (сено)    | 597±55                                    | 316–811 | 20.4 | 20 |
| Чернозем обыкновенный (циелина)        | разнотравье (сено) | 375±28                                    | 286–470 | 16.1 | 20 |
| Чернозем остаточно-карбонатный (пашня) | эспарцет (сено)    | 402±52                                    | 222–598 | 27.6 | 20 |



Рис. 1. Картограмма зоны исследований с пунктами отбора проб.

проводили по ГОСТ Р 54041-2010 “Почвы. Метод определения  $^{90}\text{Sr}$ ”.

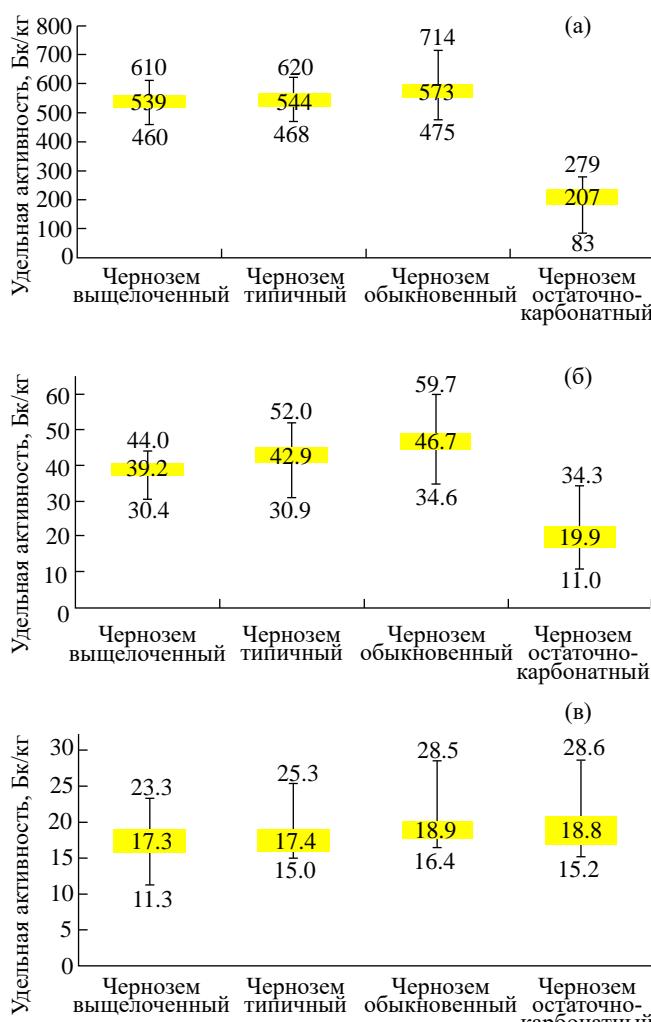
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Радионуклиды в почвах.** Концентрация и распределение ЕРН в почвах зависят от многих факторов: гранулометрического и минералогического состава, кислотности почвенного раствора, содержания и качества органического вещества, характера увлажнения и др. [10]. Как правило, удельная активность  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  возрастает при увеличении содержания физической глины, поэтому в песчаных и супесчаных почвах величина данного параметра ниже, чем в суглинистых и глинистых [3].

В целинном черноземе типичном по удельной активности естественные радионуклиды образуют убывающий ряд (Бк/кг):  $^{40}\text{K}(523) > ^{232}\text{Th}(38.2) > ^{226}\text{Ra}(18.2)$ , в целинном чернозёме обыкновенном –  $^{40}\text{K}(537) > ^{232}\text{Th}(37.9) > ^{226}\text{Ra}(20.0)$ .

По средней величине удельной активности  $^{40}\text{K}$  в пахотных черноземах выщелоченных (539 Бк/кг), типичных (544 Бк/кг) и обыкновенных (573 Бк/кг) существенных различий установлено не было, однако прослеживалась тенденция увеличения данного параметра в черноземах обыкновенных, обусловленная более высоким содержанием физической глины в последних. Средняя удельная активность  $^{40}\text{K}$  в данных подтипах черноземов была в 2.60–2.77 раза выше, чем в черноземах остаточно-карбонатных (207 Бк/кг). Это связано с более низким содержанием валового калия в почвах, сформированных на элювии мела, по сравнению с черноземами, где почвообразующими породами являются лессовидные суглинки и глины (рис. 2). В окружающей среде соотношение  $^{40}\text{K}/^{39}\text{K}$  является постоянным для всей планеты [1].

Средняя величина удельной активности  $^{232}\text{Th}$  в черноземах выщелоченных (39.2 Бк/кг) и типичных (42.9 Бк/кг) существенно не отличалась, а в чернозёмах обыкновенных (46.7 Бк/кг) была



**Рис. 2.** Удельная активность естественных радионуклидов  $^{40}\text{K}$  (а),  $^{232}\text{Th}$  (б),  $^{226}\text{Ra}$  (в) в пахотном слое почв, Бк/кг.

выше, чем в выщелоченных. Средняя удельная активность  $^{32}\text{Th}$  в данных подтипах черноземов была в 1.97–2.35 раза выше, чем в черноземах остаточно-карбонатных (19.9 Бк/кг). Установленные различия обусловлены свойствами почвообразующих пород.

Изучаемые подтипы черноземов существенно не отличались по средней удельной активности  $^{226}\text{Ra}$ . Величина данного параметра была в пределах 17.3–18.9 Бк/кг при варьировании в интервале от 11.3 до 28.6 Бк/кг.

В исследованиях, проведенных на серых лесных почвах Владимирской области с содержанием физической глины на уровне 34%, средняя величина данного параметра была в пределах 490–582 Бк/кг, что хорошо согласуется

с удельной активностью этого радионуклида в пахотных черноземах выщелоченных, типичных и обыкновенных Белгородской области [5]. В то же время средняя удельная активность  $^{40}\text{K}$  в пахотных черноземах южных Волгоградской области составляла 625 Бк/кг при варьировании в пределах 523–798 Бк/кг, что несколько выше, чем установленная в наших исследованиях [2]. В этих же почвах удельная активность  $^{232}\text{Th}$  составляла 40.2 Бк/кг при варьировании от 29.0 до 52.6 Бк/кг, а  $^{226}\text{Ra}$  – 21.1 Бк/кг при варьировании в пределах 13.1–39.8 Бк/кг, что хорошо согласуется с величиной данных параметров в черноземах выщелоченных, типичных и обыкновенных Белгородской области.

По оценкам [1], средняя удельная активность  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  в черноземах России составляет 500, 31.7, 23.1, а стандартный интервал – 390–610, 22–42, 12–34 Бк/кг соответственно. Для почв планеты средняя удельная активность  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  составляет 370, 26 и 26, а типичный диапазон – 110–740, 7–48, 11–52 Бк/кг соответственно [11].

Особенностью радиоактивного загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  в результате Чернобыльской катастрофы является “пятнистость” и высокая неравномерность [3, 5]. В Белгородской области было выявлено около 140 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения, подвергшихся загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  в пределах 37–185 кБк/м<sup>2</sup>. В основном эти земли находятся в восточных районах области и для них характерна более высокая вариабельность удельной активности ИРН, чем для почв западных районов (рис. 3).



**Рис. 3.** Картограмма загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  земель сельскохозяйственного назначения Белгородской области (по состоянию на 01.01.2004).

Как свидетельствуют архивные данные ФГБУ “ЦАС “Белгородский”, до Чернобыльской катастрофы в 1985 году мощность дозы гамма-излучения на реперных объектах была в пределах 7–12 мкР/час. После аварии в 1986 году на реперных объектах западной части области величина данного параметра была в пределах 9–52, а в восточной части, например, в МО “Алексеевский городской округ”, достигала 130–200 мкР/час. Поэтому на загрязненных полях была проведена вспашка на глубину 30 см, а на некоторых – глубокая вспашка плантажными плугами (более 40 см) с целью заглубления ИРН и экранирования вызываемого ими излучения. В 1987 году мощность дозы гамма-излучения была уже в пределах 11–24 мкР/час. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почвах западных районов была в пределах 15–96,  $^{90}\text{Sr}$  – 9–24 Бк/кг. В почвах восточной части области варьирование удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  составляло 99–279,  $^{90}\text{Sr}$  – 13–32 Бк/кг.

По итогам радиологического обследования 2023–2024 гг. мощность дозы гамма-излучения на реперных объектах была в пределах 8–14 мкР/час. В западной части области (МО “Ракитянский район”) на черноземах типичных и выщелоченных средняя удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  составляла 11 Бк/кг с колебаниями в пределах 5.9–19.6 Бк/кг, а удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  была менее 3 Бк/кг. В восточной части области на черноземах обыкновенных (МО “Вейделевский район”) средняя удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  составляла 35.3 Бк/кг с варьированием от 22.2 до 43.8 Бк/кг, а на черноземах остаточно-карбонатных (МО “Ровеньский район”) – 39.4 Бк/кг при варьировании от 16.3 до 87.2 Бк/кг. Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в почвах реперных объектов восточной части области была менее 5 Бк/кг.

*Радионуклиды в растениях.* Величина удельной активности радионуклидов в растениях изменяется в широком диапазоне и обусловлена химическими свойствами самих радионуклидов, биологическими особенностями различных видов и сортов растений, условиями вегетации, эколого-агрохимической характеристикой почв, в частности уровнем содержания в них самих радионуклидов и элементов антагонистов.

На черноземах обыкновенных в целинном разнотравье, представленном ковылем перистым, типчаком, ежей сборной, кострецом безостым, пыреем ползучим и некоторыми другими видами степной растительности, удельная активность  $^{40}\text{K}$  в среднем составляла 375

с колебаниями в пределах 286–470 Бк/кг. Удельная активность этого радионуклида в почве была в 1.43 раза выше, чем в растениях (табл. 1).

На пахотных черноземах обыкновенных в сене эспарцета средняя удельная активность  $^{40}\text{K}$  составляла 597 с колебаниями в интервале 316–811 Бк/кг. Величина данного показателя практически соответствовала удельной активности  $^{40}\text{K}$  в почве (573 Бк/кг). Средняя удельная активность этого ЕРН в зерне озимой пшеницы составляла 111 при варьировании в пределах 90–130 Бк/кг. Удельная активность  $^{40}\text{K}$  в соломе была в 1.6 раза выше, чем в зерне этой культуры. Удельная активность в почве была выше, чем в зерне и соломе озимой пшеницы в 5.2 и 3.1 раза соответственно. По литературным данным, удельная активность  $^{40}\text{K}$  в зерне пшеницы в среднем составляет 128 Бк/кг [12].

Средняя удельная активность  $^{40}\text{K}$  в эспарцете, выращенном на черноземах остаточно-карбонатных, составляла 402 Бк/кг, что было почти в 1.5 раза ниже, чем на черноземах обыкновенных. Удельная активность данного ЕРН в этой культуре была в 1.9 раза выше, чем в почве.

В растениях Северо-Западного Алтая удельная активность  $^{40}\text{K}$  варьирует от 6 до 3985 при среднем значении параметра 740 Бк/кг. Удельная активность этого ЕРН в растениях выше, чем в почвах (487 Бк/кг), что связано с биогенными свойствами элемента [12]. В растениях сухостепной зоны Ростовской области величина данного показателя находится в пределах 28–516 при среднем значении 149 Бк/кг. Удельная активность  $^{40}\text{K}$  в растениях примерно в три раза ниже, чем в почвах [13]. На юге Тюменской области в сене многолетних трав удельная активность  $^{40}\text{K}$  колеблется в диапазоне от 23.9 до 3977 Бк/кг [14].

В 2023–2024 гг. уровень удельной активности  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в растениеводческой продукции не превышал 6 и 8 Бк/кг соответственно. По литературным данным, уровни удельной активности  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  варьируют в широких пределах. Например, на юге Тюменской области в сене многолетних трав удельная активность  $^{232}\text{Th}$  изменялась в пределах от 18.7 до 296 Бк/кг,  $^{226}\text{Ra}$  – от 7.3 до 340 Бк/кг [14]. В растениях сухостепной зоны Ростовской области удельная активность  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  варьирует в пределах 10.9–98.3 и 10.3–82 Бк/кг соответственно [13]. В растениях Северо-Западного Алтая удельная активность  $^{232}\text{Th}$  варьирует от 1 до 50 и в среднем составляет 8.13 Бк/кг [12]. Обобщение данных из разных регионов мира показывает, что в растениях,

выращенных на почвах с нормальным фоном, удельная активность  $^{232}\text{Th}$  варьирует от  $0.5 \times 10^{-5}$  до 2.8 Бк/кг, а на почвах с высокими концентрациями элемента (ториевые провинции) изменяется в пределах 0.058–80 Бк/кг [15, 16].

В 1986 году в менее загрязненных западных районах области удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зерне озимых культур была в пределах 9.3–91.8 и 0.3–4.5, а в наиболее пострадавших восточных – 10.1–190 и 2.0–5.5 Бк/кг соответственно. Столь высокий уровень загрязнения продукции, видимо, был связан с попаданием радиоактивных выпадений непосредственно на вегетирующие растения. Однако уже в 1987 году в западных районах области удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зерне озимых и яровых культур была в пределах 1.3–3.4 и 0.8–1.4, восточных – 1.4–5.9 и 1.1–4.6 Бк/кг соответственно, что не превышает допустимых уровней, установленных для пищевой продукции. В последующие годы в ходе радиационного мониторинга растениеводческой продукции с превышением предельных уровней удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  не выявлялось. В 2023–2024 гг. уровень удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческой продукции не превышал 3 и 2 Бк/кг соответственно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе исследований было установлено, что по средней величине удельной активности  $^{40}\text{K}$  в пахотных чернозёмах выщелоченных (539 Бк/кг), типичных (544 Бк/кг) и обыкновенных (573 Бк/кг) существенных различий не наблюдается, а в черноземах остаточно-карбонатных величина данного параметра (207 Бк/кг) была в 2.60–2.77 раза ниже. Средняя величина удельной активности  $^{232}\text{Th}$  в черноземах выщелоченных (39.2 Бк/кг), типичных (42.9 Бк/кг), обыкновенных (46.7 Бк/кг) была выше, чем в остаточно-карбонатных (19.9 Бк/кг) в 1.97–2.35 раза. Изучаемые почвы существенно не отличались по средней удельной активности  $^{226}\text{Ra}$ , величина которой была в пределах 17.3–18.9 Бк/кг. В западных районах области варьирование удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвах находилось в пределах 5.9–19.6, восточных – 16.3–87.2 Бк/кг. Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в почвах западных районов была ниже 3, восточных – ниже 5 Бк/кг. В изучаемой растениеводческой продукции средняя удельная активность  $^{40}\text{K}$  была в пределах 111–597 Бк/кг, а  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  не превышала 6 и 8 Бк/кг соответственно. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  была менее 3, а  $^{90}\text{Sr}$  – 2 Бк/кг,

что существенно ниже установленных предельных уровней для данного параметра.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов П. М., Сычев В. Г., Аканова Н. И. Естественные радионуклиды в почвах России и фосфатных рудах планеты // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 4. С. 62–67. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-14074>
2. Aparin B. F., Mingareeva E. V., Sukhacheva E. Y., Sanzharova N. I. Concentrations of Radionuclides ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , and  $^{137}\text{Cs}$ ) in Chernozems of Volgograd Oblast Sampled in Different Years // Eurasian Soil Science. 2017. V. 50. No. 12. P. 1395–1405. <https://doi.org/10.1134/S106422931712002X>
3. Орлов П. М., Гладышева О. В., Лунев М. И., Аканова Н. И. Зависимость содержания техногенных и естественных радионуклидов в почвах Центрального федерального округа от интенсивности применения минеральных удобрений и химических мелиорантов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 1. С. 37–42.
4. Воскресенский В. С. Изучение содержания радионуклидов в почвах городских и природных территорий // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 1. С. 69–73.
5. Уткин А. А. Мониторинг  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{40}\text{K}$  в серых лесных почвах и растениях реперных участков Владимирской области // Радиационная биология. Радиоэкология. 2023. Т. 63. № 2. С. 199–210. <https://doi.org/10.31857/S0869803123020121>
6. Закон Российской Федерации “О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС” от 15.05.1991 № 1244–1. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5323/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5323/) (дата обращения: 08.04.2024).
7. ТРТС015/2011 Технический регламент Таможенного союза “О безопасности зерна” (с изменениями на 15 сентября 2017 года) Технический регламент Таможенного союза от 09.12.2011 N015/2011. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320395> (дата обращения: 10.04.2024).
8. Соловченко В. Д. Плодородие и рациональное использование почв Белгородской области. Белгород: Отчий дом, 2005. 292 с.
9. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / В. Г. Сычёв, А. Н. Аристархов, И. В. Володарская и др. М.: МСХ, 2003. 195 с.
10. Rachkova N. G., Shuktomova I. I., Taskaev A. I. The state of natural radionuclides of uranium, radium,

- and thorium in soils // Eurasian Soil Science. 2010. V. 43. № 6. P. 651–658.  
<https://doi.org/10.1134/S1064229310060050>
11. United Nations. Istochniki i deistvie ioniziruyushchey radiatsii. Nauchnyi komitet Organizatsii Ob"edinennykh Natsii po deistviyu atomnoi radiatsii: Doklad za 1977 god General'noi Assamblei s prilozheniyami [The sources and effects of ionizing radiation. The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report for 1977 to the General Assembly with annexes]. New York, 1978. V. 1. P. 233–260.
  12. Егорова И. А., Кислицина Ю. В., Пузанов А. В. Особенности накопления радионуклидов в растениях Северо-западного Алтая // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. № 11 (61). 2009. С. 32–38.
  13. Бураева Е. А. Удельная активность естественных радионуклидов и искусственного  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и травянистых растениях Ростовской области // Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1(94). С. 77–84.  
<https://doi.org/10.24412/1993-3916-2023-1-77-84>.
  14. Бурлаенко В. З., Игашева С. П. Анализ активности природных радионуклидов в почвенно-растительном покрове на территории юга Тюменской области // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9. № 3. С. 32–36.
  15. Фесенко С. В., Емлютина Е. С. Содержание тория в растениях: Обзор мировых данных // Радиационная биология. Радиоэкология. 2022. Т. 62. № 4. С. 434–445.  
<https://doi.org/10.31857/S086980312204004X>.
  16. Kritsananuwat R., Sahoo S. K., Arae H., Fukushi M. Distribution of  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  in selected soil and plant samples as well as soil to plant transfer // Radianal. Nucl. Chem. 2015. V. 303. P. 2571–2577.

## RADIOMUCLIDES ( $^{40}\text{K}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ ) IN AGROECOSYSTEMS OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

S. V. Lukin<sup>a,b, #</sup>

*Presented by Academician of the RAS V.I. Kiryushin on June 18, 2024.*

<sup>a</sup>*Belgorod Center for Agrochemical Service, Belgorod, Russian Federation*

<sup>b</sup>*Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: serg.lukin2010@yandex.ru*

Research was conducted in 2023–2024 on the defining areas of the Belgorod region. Our research technique is conventional within the agrochemical service. The goal of this project was to study the specific activity of  $^{40}\text{K}$  natural and artificial radionuclides in soils and plants of certain agroecosystems. Studies have shown that specific activity does not vary significantly between leached arable (539 Bq/kg), typical (544 Bq/kg) and ordinary (573 Bq/kg), while in residual carbonate chernozems the value of said measurement (207 Bq/kg) was 2.60–2.77 times lower. The average specific activity of  $^{223}\text{Th}$  in leached, typical and ordinary chernozems was 1.97–2.35 times higher than the other residual carbonat chernozems. The average specific activity of Ra in studied soils did not differ significantly, staying within 17.3–18.9 Bq/kg. In soils of the region's western areas, specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  ranged from 5.9 to 19.6, southern – 16.3–87.2 Bq/kg, while eastern sections of the region varied from 15.3–87.2 Bq/kg. Specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in western soils was below 3, whereas the south extended from 16.3 to 87.2 Bq/kg. An average of  $^{40}\text{K}$  specific activity altered from 111 Bq/kg to 597 Bq/kg was recorded within studied crop production, while  $^{232}\text{Th}$ 's and  $^{226}\text{Ra}$ 's ranges did not exceed 6 and 8 Bq/kg respectively.  $^{136}\text{Cs}$ ' specific activity was less than 3, while  $^{90}\text{Sr}$  stayed at less than 2 Bq/kg, which is significantly lower than the established limit for said parameter.

**Keywords:** natural radionuclides, artificial radionuclides, specific activity, chernozem, winter wheat, sainfoin