

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-284-297

EDN: QZZVCM

УДК 574.24:615.322

Научная статья / Research article

## Эколого-гигиеническая оценка загрязнения почв урбоценозов Центрального Черноземья приоритетными экотоксикантами

Н.А. Дьякова  *Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация* [Ninotchka\\_V89@mail.ru](mailto:Ninotchka_V89@mail.ru)

**Аннотация.** Цель исследования – эколого-гигиеническая оценка почв урбоценозов Центрального Черноземья по содержанию наиболее приоритетных экотоксикантов. На примере Воронежской области было выбрано 13 площадок отбора образцов верхних слоев почв урбоценозов города Воронеж, а также одна заповедная территория в качестве образцов сравнения. Проведено изучение содержания в почвах урбоценозов и заповедных зон города Воронежа основных токсичных элементов, а также природных и техногенных радионуклидов. Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка выявлялось атомно-абсорбционным методом. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов определялась методом радиометрической спектроскопии. Исследование почв на содержание природных и техногенных радионуклидов в сравнении со среднемировыми показателями и средними значениями удельных активностей по России позволило подтвердить их относительное радиологическое благополучие. Лимитирующим показателем качества почв урбоценозов региона явилось содержание в них подвижных форм меди – превышение предельно допустимых норм по данному показателю выявлено более чем в половине исследуемых образцов, что можно связать с недостаточной эффективностью очистки выбросов промышленных предприятий и транспорта, а также с низкой гумусированностью урбанизированных почв и, как следствие, малой способностью к прочной фиксации металлов. Полученные результаты комплексных эколого-гигиенических исследований почв Воронежской области демонстрируют в целом преимущественно их соответствие требованиям действующих нормативов, что открывает значительные перспективы дальнейшего развития региона.

**Ключевые слова:** мышьяк, тяжелые металлы, валовое содержание, подвижные формы, природные радионуклиды, техногенные радионуклиды

© Дьякова Н.А., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**История статьи:** поступила в редакцию 13.05.2025; доработана после рецензирования 19.05.2025; принята к публикации 25.05.2025.

**Заявление о конфликте интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Дьякова Н.А. Эколого-гигиеническая оценка загрязнения почв урбоценозов Центрального Черноземья приоритетными экотоксикантами // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 284–297. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-284-297>

## Ecological and hygienic assessment of soil pollution of urbocenoses of the Central Chernozem region with priority ecotoxicants

Nina A. Dyakova  

*Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation*

 [Ninotchka\\_V89@mail.ru](mailto:Ninotchka_V89@mail.ru)

**Abstract.** The purpose of the study was an ecological and hygienic assessment of the soils of the urbocenoses of the Central Chernozem region according to the content of the highest priority ecotoxicants. Using the example of the Voronezh region, 13 sites for sampling the upper layers of soils of urbocenoses in the city of Voronezh were selected, as well as 1 protected area as comparison samples. The main toxic elements, as well as natural and man-made radionuclides, were studied in the soils of urbocenoses and protected areas of the city of Voronezh. The content of gross and mobile forms of heavy metals and arsenic was determined by the atomic absorption method. Specific activity of natural and technogenic radionuclides was determined by radiometric spectroscopy. The study of soils for the content of natural and man-made radionuclides in comparison with the world average indicators and average values of specific activities in Russia made it possible to confirm their relative radiological well-being. The limiting indicator of the quality of the studied soils of urbocenoses was the content of mobile forms of copper in them – exceeding the maximum permissible standards for this indicator was detected in more than half of the studied samples, which can be associated with insufficient efficiency of cleaning emissions into the atmosphere of industrial enterprises and transport, as well as with low humanization of urbanized soils, which is a consequence of low ability to strong fixation of metals. The results of comprehensive ecological and hygienic studies of the soils of the Voronezh region generally demonstrate their compliance with the requirements of the current standards, which opens up significant prospects for the further development of the region.

**Keywords:** arsenic, heavy metals, gross content, mobile forms, natural radionuclides, man-made radionuclides

**Article history:** received 13.05.2025; revised 19.05.2025; accepted 25.05.2025.

**Conflicts of interest.** The author declares no conflicts of interest.

**For citation:** Dyakova NA. Ecological and hygienic assessment of soil pollution of urbocenoses of the Central Chernozem region with priority ecotoxicants. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):284–297. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-284-297>

## Введение

Увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду диктует необходимость мониторинга экологического состояния как естественных, так и искусственно созданных человеком экосистем [1; 2]. Известно, что почвы являются ключевыми аккумулялирующими компонентами антропогенной экосистемы [3; 4].

Воронежская область относится к экономически и стратегически значимым промышленным субъектам Российской Федерации [5–7], отличается ежегодным приростом индекса промышленного производства, составляющим на 2023 г. 107 %<sup>1</sup>. Возрастание техногенной нагрузки на окружающую среду объясняет необходимость эколого-гигиенического исследования основных тенденций развития урбоценозов [8; 9].

Наиболее значимыми источниками попадания экотоксикантов в окружающую среду являются автотранспорт, применение ядохимикатов и удобрений, промышленные предприятия [10; 11]. Выбросы автотранспорта происходят преимущественно непосредственно над поверхностью почвы, однако концентрация экотоксикантов и расстояние, на которое осуществляется их рассеивание, значительно варьируют [12–14]. Распространение загрязняющих веществ от промышленных предприятий зависит от особенностей очистных и выхлопных сооружений, климатических и погодных условий, розы ветров [16; 17].

Почвы Воронежской области представлены преимущественно черноземами, для которых характерны высокие концентрации гумуса и других органических веществ, что обеспечивает высокую способность к сорбции ряда экотоксикантов, в частности тяжелых металлов и радиоизотопов [18–20]. В связи с этим отмечается относительно более высокое содержание в черноземных почвах радионуклидов как техногенного, так и природного происхождения. Прочность сорбции радиоизотопов также увеличивается с уменьшением размера частиц почвы и увеличением pH [18; 21; 22].

Учитывая ежегодно возрастающее воздействие на флору и фауну тяжелых металлов и радионуклидов как наиболее приоритетных экотоксикантов в силу их распространенности, токсического эффекта и способности к кумуляции, актуальным является комплексное исследование экологического состояния почв урбоценозов Воронежской области.

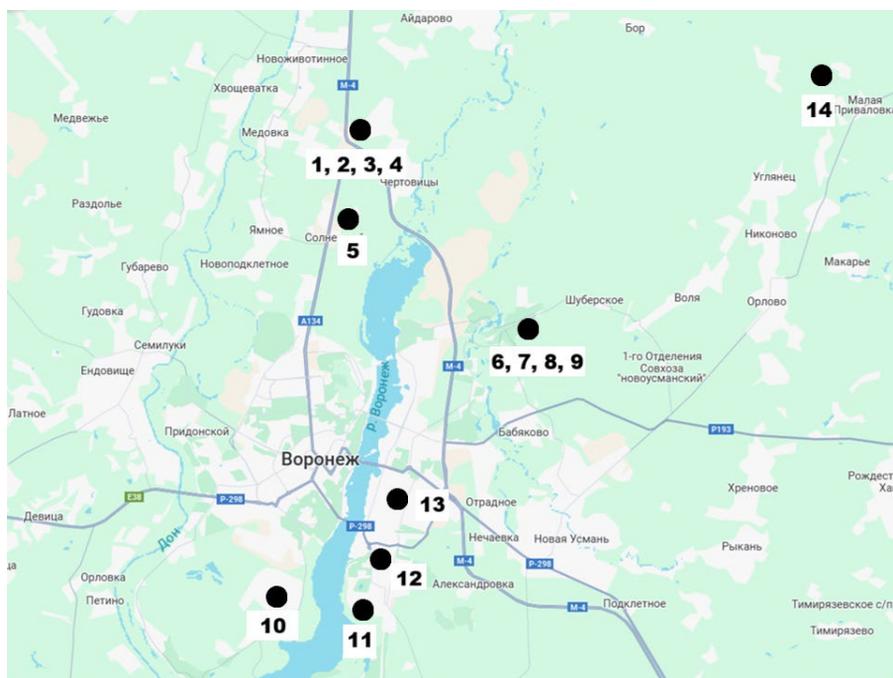
---

<sup>1</sup> Управление Роспотребнадзора по Воронежской области. URL: <http://36.rosпотребнадзор.ru/key-areas/sanitary/14645> (дата обращения: 29.03.2025).

**Цель исследования** – эколого-гигиеническая оценка почв урбоценозов Центрального Черноземья по содержанию наиболее токсичных тяжелых металлов, а также природных и техногенных радионуклидов.

## Материалы и методы

Исследования проводили на примере урбоценозов города Воронежа, вблизи наиболее значимых объектов хозяйственного пользования [17] (табл. 1, рис.). Пробы почв отбирали согласно ГОСТ Р 58595-2019 методом конверта на удалении 0–50 м от обочины дороги на улице Димитрова; на удалении 500–800 м от теплоэлектростанции (ТЭЦ) «ВОГРЭС»; на удалении 500–900 м от химического предприятия ОАО «Воронежсинтезкаучук»; вблизи взлетно-посадочных полос международного аэропорта Воронеж им. Петра Первого; на расстоянии 0–50 м от правого берега низовья Воронежского водохранилища (вблизи Химзатона); на удалении 0–300 м с шагом в 100 м от автомагистрали М4 «Дон» на выезде из г. Воронежа; на удалении 0–300 м с шагом в 100 м от железнодорожных путей вблизи станции Графская Железнодорожного района г. Воронежа; в Воронежском государственном природном биосферном заповеднике им. В.М. Пескова вблизи поселка Краснолесный (Железнодорожный район г. Воронежа) – контрольная точка заготовки образцов (табл. 1). Исследовали верхние слои почв (0–10 см), так как именно они подвергаются наибольшему антропогенному воздействию.



Карта-схема пунктов отбора проб (обозначения расшифрованы в табл. 1)

Источник: составлено Н.А. Дьяковой.

Schematic map of sampling points (symbols are deciphered in Table 1)

Source: compiled by N.A. Dyakova.

Таблица 1. Список учетных площадок для отбора проб почв  
Table 1. List of soil sampling sites

№ п/п	Территория отбора пробы / Sampling area	Координаты места заготовки / Coordinates of harvesting site	Тип почвы / Soil type
<i>Урбоценозы / Urbocenoses</i>			
1.	Автоматрираль М4 «Дон» (0 м) / M4 Don Motorway (0 m)	51°37' с.ш., 39°18' в.д. / 51° 37' N, 39° 18' E	Серые лесостепные среднесуглинистые / Gray forest-steppe medium loamy
2.	Автоматрираль М4 «Дон» (100 м) / M4 Don Motorway (100 m)	51°37' с.ш., 39°18' в.д. / 51° 37' N, 39° 18' E	Серые лесостепные среднесуглинистые / Gray forest-steppe medium loamy
3.	Автоматрираль М4 «Дон» (200 м) / M4 Don Motorway (200 m)	51°37' с.ш., 39°18' в.д. / 51° 37' N, 39° 18' E	Серые лесостепные среднесуглинистые / Gray forest-steppe medium loamy
4.	Автоматрираль М4 «Дон» (300 м) / M4 Don Motorway (300 m)	51°37' с.ш., 39°18' в.д. / 51° 37' N, 39° 18' E	Серые лесостепные среднесуглинистые / Gray forest-steppe medium loamy
5.	Аэропорт Воронеж им. Петра I / Airport Voronezh named after Peter I	51°51' с.ш., 39°11' в.д. / 51° 51' N, 39° 11' E	Аллювиальные засоленные / Alluvial saline
6.	Железнодорожные пути (0 м) / Railway tracks (0 m)	51°58' с.ш., 36°58' в.д. / 51° 58' N, 36° 58' E	Серые лесные суглинистые / Gray forest loamy
7.	Железнодорожные пути (100 м) / Railway tracks (100 m)	51°58' с.ш., 36°58' в.д. / 51° 58' N, 36° 58' E	Серые лесные суглинистые / Gray forest loamy
8.	Железнодорожные пути (200 м) / Railway tracks (200 m)	51°58' с.ш., 36°58' в.д. / 51° 58' N, 36° 58' E	Серые лесные суглинистые / Gray forest loamy
9.	Железнодорожные пути (300 м) / Railway tracks (300 m)	51°58' с.ш., 36°58' в.д. / 51° 58' N, 36° 58' E	Серые лесные суглинистые / Gray forest loamy
10.	Низовье Воронежского водохранилища (Химзатон) / Lower reaches of the Voronezh reservoir (Khimzaton)	51°57' с.ш., 39°17' в.д. / 51° 57' N, 39° 17' E	Серые лесостепные среднесуглинистые / Gray forest-steppe medium loamy
11.	ОАО «Воронежсинтезкаучук» / OJSC Voronezhsintezkauchuk	51°51' с.ш., 39°27' в.д. / 51° 51' N, 39° 27' E	Аллювиальные луговые оглеенные суглинистые / Alluvial meadow clayey loam
12.	ТЭЦ «ВОГРЭС» / СНПП "VOGRES"	51°52' с.ш., 39°25' в.д. / 51° 52' N, 39° 25' E	Аллювиальные луговые оглеенные суглинистые / Alluvial meadow clayey loam
13.	Улица г. Воронежа (ул. Димитрова) / Voronezh Street (Dimitrova St.)	51°57' с.ш., 39°27' в.д. / 51° 57' N, 39° 27' E	Урбано-дерново-лесные песчаные / Urban-sod-forest sandy
<i>Контроль (фон) / Control (background)</i>			
14.	Воронежский биосферный заповедник / Voronezh Biosphere Reserve	51°59' с.ш., 39°53' в.д. / 51°59' N, 39°53' E	Дерновые лесные / Sod forest

Источник: составлено Н.А. Дьяковой.  
Source: compiled by N.A. Dyakova.

Определение содержания в пробах почв валовых и подвижных форм токсичных элементов проводили на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915МД в соответствии с «МУ по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства»<sup>2</sup>. Исследования проводили

<sup>2</sup> Постановление от 28.01.2021 г. № 2 об утверждении СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Москва, 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 08.04.2025).

с тремя параллельными опытами, допускаемые расхождения определяли при доверительной вероятности 95 %.

Определение в пробах почв удельной активности радионуклидов проводили с использованием спектрометра-радиометра МКГБ-01 «РАДЭК» в соответствии с МР 2.6.1/2.3.7.0216-20<sup>3</sup>.

## Результаты и обсуждение

Средние концентрации валовых и подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах урбоценозов города Воронежа приведены в табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 2. Средние значения валовых концентраций токсичных элементов в почвах урбоценозов города Воронеж, мг/кг  
Table 2. Average values of gross concentrations of toxic elements in soils of urbcenoses of the city of Voronezh, mg/kg

№ п/п	Территория отбора пробы / Sampling area	Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
<i>Урбоценозы / Urbocenoses</i>										
1.	Автомостраль М4 «Дон» (0 м) / M4 Don Motorway (0 m)	26,6	0,08	0,68	1,9	37,3	25,3	15,0	59,1	94,1
2.	Автомостраль М4 «Дон» (100 м) / M4 Don Motorway (100 m)	12,6	0,07	0,59	1,7	26,9	32,1	13,2	30,6	87,4
3.	Автомостраль М4 «Дон» (200 м) / M4 Don Motorway (200 m)	10,1	0,03	0,22	1,2	11,2	18,4	8,1	19,5	46,3
4.	Автомостраль М4 «Дон» (300 м) / M4 Don Motorway (300 m)	8,0	0,02	0,21	1,1	8,2	19,4	5,1	19,5	30,4
5.	Аэропорт Воронеж им. Петра I / Airport Voronezh named after Peter I	<b>33,8</b>	0,11	0,20	1,6	15,6	24,6	6,3	28,1	25,9
6.	Железнодорожные пути (0 м) / Railway tracks (0 m)	20,2	0,24	0,31	0,9	28,0	18,3	12,8	65,4	90,8
7.	Железнодорожные пути (100 м) / Railway tracks (100 m)	6,2	0,06	0,23	0,8	15,7	14,2	9,7	58,1	83,8
8.	Железнодорожные пути (200 м) / Railway tracks (200 m)	3,9	0,09	0,46	0,4	10,2	10,6	4,1	42,9	74,4
9.	Железнодорожные пути (300 м) / Railway tracks (300 m)	3,0	0,02	0,41	0,1	6,3	9,4	2,2	31,4	64,8
10.	Низовье Воронежского водохранилища (Химзатон) / Lower reaches of the Voronezh reservoir (Khimzaton)	11,9	0,13	0,17	1,5	8,5	18,1	7,3	7,9	37,1
11.	ОАО «Воронежсинтезкаучук» / OJSC Voronezhskintezkauchuk	17,4	0,14	0,13	1,6	4,2	43,5	11,3	28,7	132,1
12.	ТЭЦ «ВОГРЭС» / SHPP «VOGRES»	7,4	0,16	0,09	3,8	5,4	36,7	12,1	37,9	94,3
13.	Улица г. Воронежа (ул. Димитрова) / Voronezh Street (Dimitrova St.)	15,8	0,15	0,18	1,7	6,2	35,5	21,8	38,3	123,3
<i>Контроль (фон) / Control (background)</i>										
14.	Воронежский биосферный заповедник / Voronezh Biosphere Reserve	4,1	0,04	0,02	0,9	2,2	3,9	3,0	3,3	11,5
Ориентировочно допустимый уровень / Approximate allowable level		32,0	2,1	2,0	10,0	80,0	–	–	132,0	220,0

Источник: составлено Н.А. Дьяковой.  
Source: compiled by N.A. Dyakova.

<sup>3</sup> Методические рекомендации МР 2.6.1/2.3.7.0216-20 «Радиохимическое определение удельной активности природных РН в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах». Москва, 2020. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74835247/> (дата обращения: 15.04.2025).

Таблица 3. Средние значения концентрации подвижных форм токсичных элементов в почвах урбоценозов города Воронеж, мг/кг  
 Table 3. Average values of concentration of mobile forms of toxic elements in soils of urbocenoses of the city of Voronezh, mg/kg

№ п/п	Территория отбора пробы / Sampling area	Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
<i>Урбоценозы / Urbocenoses</i>										
1.	Автомостраль М4 «Дон» (0 м) / M4 Don Motorway (0 m)	<b>7,18</b>	0,03	0,12	0,15	<b>6,34</b>	<b>6,57</b>	3,61	<b>17,12</b>	<b>26,50</b>
2.	Автомостраль М4 «Дон» (100 м) / M4 Don Motorway (100 m)	3,66	0,01	0,12	0,07	3,24	4,09	2,35	<b>3,18</b>	19,20
3.	Автомостраль М4 «Дон» (200 м) / M4 Don Motorway (200 m)	2,84	0,01	0,04	0,05	1,47	3,52	1,49	2,27	13,88
4.	Автомостраль М4 «Дон» (300 м) / M4 Don Motorway (300 m)	1,85	0,01	0,04	0,03	1,23	4,07	0,77	1,46	8,16
5.	Аэропорт Воронеж им. Петра I / Airport Voronezh named after Peter I	<b>10,82</b>	0,03	0,05	0,12	2,18	5,92	1,23	<b>5,88</b>	5,48
6.	Железнодорожные пути (0 м) / Railway tracks (0 m)	<b>7,09</b>	0,06	0,07	0,06	<b>4,21</b>	3,85	2,85	<b>12,97</b>	<b>26,36</b>
7.	Железнодорожные пути (100 м) / Railway tracks (100 m)	2,04	0,01	0,05	0,04	2,52	1,98	1,47	<b>4,96</b>	18,45
8.	Железнодорожные пути (200 м) / Railway tracks (200 m)	0,99	0,01	0,09	0,03	1,24	1,78	0,47	2,15	14,85
9.	Железнодорожные пути (300 м) / Railway tracks (300 m)	0,82	0,01	0,07	0,01	0,82	1,15	0,42	1,14	14,92
10.	Низовье Воронежского водохранилища (Химзатон) / Lower reaches of the Voronezh reservoir (Khimzaton)	2,52	0,02	0,03	0,12	1,10	3,42	1,76	2,72	11,89
11.	ОАО «Воронежсинтезкаучук» / OJSC Voronezhsintezkauchuk	4,08	0,02	0,02	0,13	0,47	<b>9,12</b>	2,57	<b>6,33</b>	<b>38,30</b>
12.	ТЭЦ «ВОГРЭС» / СНРР "VOGRES"	2,43	0,03	0,02	0,37	0,49	<b>6,87</b>	2,42	<b>9,07</b>	19,77
13.	Улица г. Воронежа (ул. Димитрова) / Voronezh Street (Dimitrova St.)	<b>6,94</b>	0,06	0,04	0,17	0,99	<b>9,58</b>	<b>5,45</b>	<b>10,35</b>	<b>35,75</b>
<i>Контроль (фон) / Control (background)</i>										
14.	Воронежский биосферный заповедник / Voronezh Biosphere Reserve	1,04	0,01	0,01	0,07	0,26	0,59	0,61	0,92	3,44
ПДК / Maximum allowable concentration		6,0	-	-	-	4,0	6,0	5,0	3,0	23,0

Источник: составлено Н.А. Дьяковой.  
 Source: compiled by N.A. Dyakova.

Валовая концентрация свинца в изучаемых образцах почв урбоценозов варьировала в пределах 3,0–33,8 мг/кг. В контрольном образце валовое содержание элемента составило 4,1 мг/кг. В почве, отобранной вблизи аэропорта, превышены ориентировочно допустимые нормы (32,0 мг/кг) валового содержания металла. Концентрация подвижных форм свинца варьировала в пределах 0,8–10,8 мг/кг, с превышением предельно допустимых норм (6 мг/кг) вблизи аэропорта, а также на улице города, вдоль трассы М4, железной дороги, что можно объяснить хроническим загрязнением почв выбросами транспорта [13].

В отношении ртути все изучаемые образцы почв соответствовали установленным нормативам. Валовое содержание данного элемента не превышало 50 % от допустимых концентраций. Концентрация подвижных форм ртути не превышала 0,06 мг/кг. Наиболее высокое содержание ртути

отмечено в почвах вдоль железнодорожных путей, вблизи ТЭЦ, на улице города, что может объясняться хроническим загрязнением промышленными и транспортными выбросами [2; 8].

В образце контрольной зоны валовое содержание кадмия составило 0,02 мг/кг, в почвах урбоценозов – 0,09–0,68 мг/кг. Концентрация подвижных форм элемента колебалась в пределах 0,01–0,12 мг/кг. Наиболее высокое содержание кадмия отмечено в почвах, отобранных на удалении 0–100 м от трассы М4.

Валовое содержание мышьяка в почве контрольной зоны составило 0,9 мг/кг, в почвах урбоценозов – 0,1–3,8 мг/кг, достигая значений, превышающих установленные нормативы, в образцах, отобранных вблизи ТЭЦ, которая более 70 лет работала на каменном угле, естественной примесью к которому является мышьяк [2; 6]. Концентрация подвижных форм мышьяка достигала 0,37 мг/кг, наибольшие значения отмечены вблизи ТЭЦ, химического предприятия, на улице города и вдоль трассы М4, что связано с относительно высоким валовым содержанием элемента [9].

Валовая концентрация никеля в почвах урбанизированных территорий составляла 4,2–37,3 мг/кг, в образце контрольной зоны – 2,2 мг/кг. Содержание подвижных форм металла достигало 6,3 мг/кг, с превышением допустимых норм в образцах, отобранных вдоль трассы М4 и железной дороги, что связано с высокой концентрацией в них валовых форм элемента и особенностями почв, бедных гумусовыми кислотами, связывающими металлы в прочные комплексы [16].

Валовое содержание хрома в почвах урбоценозов варьировало в пределах 9,4–43,5 мг/кг. Более низкий уровень концентраций хрома в почве выявлен для образца контрольной территории (3,9 мг/кг). Превышение допустимых норм подвижного хрома (6 мг/кг), содержание которого варьировало 0,6–9,6 мг/кг, отмечено в образцах, заготовленных на улице города, вблизи ТЭЦ, промышленного предприятия, вдоль трассы М4.

Валовое содержание кобальта в почвах урбоценозов составило 2,2–21,8 мг/кг, в почве контрольной зоны – 3,0 мг/кг. Концентрация подвижных форм элемента составила 0,42–5,45 мг/кг. Наиболее высокая валовая концентрация элемента и превышение предельно допустимой концентрации подвижного кобальта отмечены в почве улицы г. Воронежа.

Валовая концентрация меди в почвах урбоценозов колебалась в пределах 7,9–65,4 мг/кг. В образце контрольной зоны содержание элемента составило 3,3 мг/кг. Наиболее высокие валовые концентрации меди в почвах выявлены вдоль трассы М4 «Дон», вдоль и на удалении 100 м от железной дороги. Концентрация подвижных форм меди в почвах варьировала в пределах 0,9–17,1 мг/кг. Превышение допустимых норм подвижных форм металла выявлено в 8 образцах почв (вблизи аэропорта, ОАО «Воронежсинтезкаучук», ТЭЦ, на улице города, на удалении 0–100 м от железной дороги и трассы М4),

что связано с высокими валовыми концентрациями элемента данных территорий, а также с низкой гумусированностью урбанизированных почв [4; 17].

Валовая концентрация цинка в почвах урбоценозов составила 25,9–132,1 мг/кг, в образце контрольной территории – 11,5 мг/кг, концентрация подвижных форм цинка в почвах – 3,4–38,3 мг/кг с превышением допустимых его норм вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук», на улице города, вдоль трассы М4 и железной дороги. На этих же территориях отмечены более высокие валовые концентрации цинка (более 80 мг/кг), что, вероятно, связано с недостаточной очисткой выбросов производственного предприятия (цинк используется для вулканизации каучуков), а также с истиранием оцинкованных деталей транспорта, шин и применением в машинных маслах цинксодержащих присадок [1; 2; 4; 13].

ПДК как техногенных, так и природных радионуклидов в почве в настоящее время не нормированы<sup>4</sup>. Удельная активность стронция-90 в почвах урбоценозов города Воронеж варьировала в пределах 5,9–8,0 Бк/кг, для контрольного образца составила 6,8 Бк/кг (табл. 4). Удельная активность цезия-137 в почвах урбоценозов колебалась в пределах 31,8–74,7 Бк/кг, в образце контрольной зоны выявлено 51,7 Бк/кг.

Удельная активность калия-40 в почвах урбоценозов Воронежской области составила 346–895 Бк/кг, в почве контрольной территории – 312 Бк/кг. Удельная активность радия-226 в почвах города Воронежа составляла 6,8–13,6 Бк/кг, а в почве контрольной зоны – 5,4 Бк/кг. Удельная активность тория-232 в образцах урбоценозов варьировала в пределах 31,6–63,8 Бк/кг при значениях для заповедной территории 32,1 Бк/кг. Значения удельной активности природных радионуклидов в почвах урбоценозов Воронежской области в целом относительно невелики и сопоставимы со среднестатистическими (табл. 4).

Отмечено, что относительно более высокой удельной активностью природных радиоизотопов, а также цезия-137 отличались образцы почв, отобранные вблизи и на небольшом удалении от ТЭЦ (около ООО «Воронежсинтезкаучук», вдоль низовья водохранилища, на улице г. Воронежа). Данные результаты объяснимы тем, что более полувека ТЭЦ «ВОГРЭС» функционировала, используя в качестве топлива различные сорта каменного угля, сжигание которого является источником выбросов ряда естественных радиоизотопов. Известно, что в выбросах теплоэлектростанций, функционирующих на твердом топливе, радиоизотопы содержатся в количествах, формирующих порой даже большую эффективную эквивалентную дозу, чем атомные электростанции сопоставимой мощности [18].

<sup>4</sup> См.: [2; 3]; Управление Роспотребнадзора по Воронежской области. URL: <http://36.rospotrebnadzor.ru/key-areas/sanitary/14645> (дата обращения: 29.03.2025).

Таблица 4. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в почвах урбоценозов города Воронежа, Бк/кг  
 Table 4. Specific activity of natural and man-made radionuclides in soils of urbocenoses of the city of Voronezh, Bq/kg

№ п/п	Территория отбора пробы / Sampling area	Радионуклиды / Radionuclides				
		Техногенные / Man-made		Естественные / Natural		
		Стронций-90 / Strontium-90	Цезий-137 / Cesium-137	Калий-40 / Potassium-40	Радий-226 / Radium-226	Торий-232 / Thorium-232
<i>Урбоценозы / Urbocenoses</i>						
1.	Автоматрираль М4 «Дон» (0 м) / M4 Don Motorway (0 m)	6,7 ± 1,5	53,8 ± 19,7	366 ± 37	7,8 ± 3,4	33,0 ± 10,4
2.	Автоматрираль М4 «Дон» (100 м) / M4 Don Motorway (100 m)	6,9 ± 1,9	55,0 ± 18,0	361 ± 41	7,4 ± 3,8	35,8 ± 11,2
3.	Автоматрираль М4 «Дон» (200 м) / M4 Don Motorway (200 m)	6,2 ± 1,1	54,9 ± 17,5	346 ± 38	6,8 ± 2,7	32,8 ± 8,5
4.	Автоматрираль М4 «Дон» (300 м) / M4 Don Motorway (300 m)	6,5 ± 2,4	53,7 ± 15,6	375 ± 45	7,3 ± 3,5	33,9 ± 9,4
5.	Аэропорт Воронеж им. Петра I / Airport Voronezh named after Peter I	5,9 ± 2,7	45,9 ± 12,6	390 ± 23	8,0 ± 3,6	35,8 ± 7,4
6.	Железнодорожные пути (0 м) / Railway tracks (0 m)	7,2 ± 3,1	32,5 ± 12,6	367 ± 29	7,8 ± 3,5	33,5 ± 7,9
7.	Железнодорожные пути (100 м) / Railway tracks (100 m)	7,0 ± 3,9	34,6 ± 15,8	360 ± 27	7,4 ± 3,6	33,0 ± 7,0
8.	Железнодорожные пути (200 м) / Railway tracks (200 m)	7,4 ± 4,1	31,8 ± 14,4	346 ± 30	7,9 ± 2,9	31,6 ± 5,8
9.	Железнодорожные пути (300 м) / Railway tracks (300 m)	7,5 ± 3,6	34,5 ± 13,6	372 ± 37	7,2 ± 3,3	34,7 ± 7,2
10.	Низовье Воронежского водохранилища (Химзатон) / Lower reaches of the Voronezh reservoir (Khimzaton)	7,4 ± 3,9	70,5 ± 23,7	809 ± 61	13,3 ± 4,7	52,9 ± 8,0
11.	ОАО «Воронежсинтезкаучук» / OJSC Voronezhsintezkauchuk	7,0 ± 3,8	72,1 ± 19,8	807 ± 56	13,5 ± 5,0	55,2 ± 7,7
12.	ТЭЦ «ВОГРЭС» / CHPP "VOGRES"	6,4 ± 1,8	74,7 ± 13,0	895 ± 38	13,6 ± 4,9	63,8 ± 9,8
13.	Улица г. Воронежа (ул. Димитрова) / Voronezh Street (Dimitrova St.)	8,0 ± 3,3	70,8 ± 17,5	811 ± 48	12,9 ± 5,9	52,3 ± 9,5
<i>Контроль (фон) / Control (background)</i>						
14.	Воронежский биосферный заповедник / Voronezh Biosphere Reserve	6,8 ± 3,2	51,7 ± 14,7	312 ± 42	5,4 ± 2,4	32,1 ± 10,6
	Кларк по России по Орлову П.М. и Луневу М.И. (2009 г.) / Clark for Russia by Orlov PM and Lunev MI (2009)	–	–	460	28	22
	Мировой кларк по Орлову П.М. и Луневу М.И. (2009 г.) / World Clark by Orlov PM and Lunev MI (2009)	–	–	460	26	26
	Мировой кларк по Тихомирову Ф.А. (1988 г.) / World Clark by Tikhomirov FA (1988)	–	–	450	38	32

Источник: составлено Н.А. Дьяковой.  
 Source: compiled by N.A. Dyakova.

## Выводы

Проведено изучение содержания в почвах урбоценозов и заповедных зон города Воронежа области валовых и подвижных форм основных токсичных элементов, природных и техногенных радиоизотопов. Исследование почв на содержание природных и техногенных радионуклидов в сравнении со среднемировыми показателями и средними значениями удельных активностей по России позволило подтвердить их относительное радиологическое благополучие. Лимитирующим показателем качества почв урбоценозов региона явилось содержание в них подвижных форм меди – превышение предельно допустимых норм по данному показателю выявлено более чем в половине исследуемых образцов, что можно связать с недостаточной эффективностью очистки выбросов промышленных предприятий и транспорта, а также с низкой гумусированностью урбанизированных почв и, как следствие, малой способностью к прочной фиксации металлов. Полученные результаты комплексных эколого-гигиенических исследований почв Воронежской области демонстрируют в целом преимущественно их соответствие требованиям действующих нормативов, что открывает значительные перспективы дальнейшего развития региона.

## Список литературы

- [1] Дьякова Н.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». 2019. № 95. С. 19–30. EDN: PHZWCV
- [2] Дьякова Н.А., Гапонов С.П., Сливкин А.И. Эколого-гигиеническая оценка состояния почв антропогенных экосистем Воронежской области // Известия КГТУ. 2020. № 59. С. 61–72. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2020-59-61-72> EDN: OCEKIS
- [3] Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в городских почвах. Москва : Логос, 2014. 310 с. EDN: UDFTJD
- [4] Епринцев С.А., Клетиков О.В., Дьякова Н.А., Виноградов П.М., Шекоян С.В. Геоинформационный мониторинг формирования очагов экологически-обусловленной заболеваемости населения крупных городов при воздействии факторов окружающей среды // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2024. № 3. С. 135–141. <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/135-141> EDN: JGXNDN
- [5] Дьякова Н.А. Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2022. 264 с. EDN: KURTMZ
- [6] Дьякова Н.А., Самылина И.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П., Кукуева Л.Л., Мындра А.А., Шушунова Т.Г. Оценка экологического состояния образцов верхних слоев почв и корней одуванчика лекарственного, отобранных на территории Воронежской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия, Биология, Фармация. 2016. № 2. С. 119–126. EDN: WBKVQT
- [7] Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гравель И.В. Эколого-фармакогностическая оценка качества лекарственного растительного сырья Центрального Черноземья. Москва : РУСАЙНС, 2023. 238 с.

- [8] Дьякова Н.А., Епринцев С.А., Клепиков О.В., Виноградов П.М. Эколого-гигиеническая оценка верхних слоев почв антропогенно нарушенных территорий средней полосы России по содержанию подвижных форм тяжелых металлов // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2024. № 2 (36). С. 19–26. EDN: CUXYRN
- [9] Нечаева Е.Г., Белозерцева И.А., Напрасникова Е.В., Воробьева И.Б., Давыдова Н.Д., Дубынина С.С., Власова Н.В. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем Сибирских регионов. Новосибирск : Наука, 2010. 315 с. EDN: SGMWXD
- [10] Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4<sup>th</sup> ed. Boca Raton, FL, USA : CRS Press, 2010. 548 p.
- [11] Dziubanek G., Baranowska R., Ćwieląg-Drabek M., Sychala A., Piekut A., Rusin M., Hajok I. Cadmium in edible plants from Silesia, Poland, and its implications for health risk in populations // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017. Vol. 142. P. 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.048>
- [12] Dziubanek G., Piekut A., Rusin M., Baranowska R., Hajok I. Contamination of food crops grown on soils with elevated heavy metals content // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015. Vol. 118. P. 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.032>
- [13] Плахов Г.А., Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н. Взаимосвязь свинца, цинка и меди с органическим веществом и карбонатами в городских почвах (на примере Ростова-на-Дону) // *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 4 (58). № ст. 419. EDN: DZOHST
- [14] Аристархов А., Лунев М., Павлихина А. Эколого-агрохимическая оценка состояния пахотных почв России по содержанию в них подвижных форм тяжелых металлов // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2016. № 6. С. 42–48. EDN: XCDFND
- [15] Чимитдоржиева Г.Д., Нимбуева А.З., Чимитдоржиева Э.О. Кобальт и хром в системе: порода почва – растение – гумус (на примере Западного Забайкалья) // *Агрехимия*. 2018. № 3. С. 81–85. DOI: 10.1134/S0002188118080057 EDN: UWYHGP
- [16] Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенков Ю.Б., Мильхеев Е.Ю., Нимбуева А.З., Бодеева Е.А. Никель лесостепных экосистем Западного Забайкалья в системе порода – почва – гумусовые вещества – растения // *Агрехимия*. 2016. № 3. С. 58–64. EDN: VXJDMB
- [17] Медико-экологический атлас Воронежской области : монография / С.А. Куролап, Н.П. Мамчик, О.В. Клепиков и др. Воронеж : ГУП ВО «Воронежская областная типография – издательство им. Е.А. Болховитинова», 2010. 167 с.
- [18] Бекман И.Н. Радиозология и экологическая радиохимия. Москва : Юрайт, 2018. 400 с. EDN: LIDUFV
- [19] Калдыбаев Б.К. Содержание стронция-90 и цезия-137 в почвенном покрове Прииссыккуля // *Наука и новые технологии*. 2009. № 7. С. 65–68. EDN: WADKBN
- [20] Воропаев В.Н., Сотников Б.А. Многолетняя динамика содержания стронция-90 в профиле почвы чернозёма выщелоченного // *Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации*. 2016. № 1 (35). С. 6–9. EDN: XINTJH
- [21] Балыкин Д.Н., Пузанов А.В., Балыкин С.Н., Салтыков А.В., Рождественская Т.А. Радионуклиды  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и донных отложениях территории космодрома «Восточный» (Амурская область) // *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2019. № 3 (54). С. 98–104. EDN: RHBZJO
- [22] Ефремов И.В., Рахимова Н.Н., Янчук Е.Л. Особенности миграции радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в системе почва-растение // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2005. № 12 (50). С. 42–46. EDN: JVG0BD

## References

- [1] Dyakova NA. Assessment of heavy metals and arsenic pollution in urban and agroecosystems upper soil layers, Central Black Earth Region. *Scientific and practical journal "Vestnik IrGSHA"*. 2019;95:19–30. (In Russ.). EDN: PHZWCV
- [2] Dyakova NA, Gaponov SP., Slivkin AI. Ecological and hygienic assessment of soil condition of the anthropogenic ecosystems of the Voronezh region. *News of Kaliningrad State Technical University*. 2020;59:61–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2020-59-61-72> EDN: OCEKIS
- [3] Alekseenko VA, Alekseenko AV. *Chemical elements in urban soils*. Moscow: Logos; 2014. (In Russ.). EDN: UDFTJD
- [4] Yeprintsev SA, Klepikov OV, Dyakova NA, Vinogradov PM, Shekoyan SV. Geoinformational monitoring of the formation of foci of environmentally related morbidity of the large cities' population under the influence of environmental factors. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2024;3:135–141. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/135-14> EDN: JGXNDN
- [5] Dyakova NA *Environmental assessment of raw materials of medicinal plants of the Voronezh region*. Voronezh: Cifrovaya poligrafiya; 2022. (In Russ.). EDN: KURTMZ
- [6] D'yakova NA, Samylina IA, Slivkin AI, Gaponov SP, Kukueva LL, Myndra AA, Shushunova TG. Assessment of the ecological state of samples of the upper layers of soils and roots of medicinal dandelion taken in the Voronezh region. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry, Biology, Pharmacy*. 2016;2:119–126. (In Russ.). EDN: WBKVQT
- [7] D'yakova NA, Slivkin AI, Gravel' IV. *Ecological and pharmacognostic assessment of the quality of medicinal plant raw materials of the Central Black Earth Region*. Moscow: RUSAJNS publ.; 2023. (In Russ.).
- [8] Dyakova NA, Eprintsev SA, Klepikov OV, Vinogradov PM. Ecological and hygienic assessment of the upper soil layers of anthropologically disturbed territories of the middle strip of Russia by the content of mobile forms of heavy metals. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2024;(2):19–26. (In Russ.). EDN: CUXYRN
- [9] Nechaeva EG, Belozerceva IA, Naprasnikova EV, Vorob'eva IB, Davy'dova ND, Duby'nina SS, Vlasova NV. *Monitoring and forecasting of real-dynamic state of geosystems of Siberian regions*. Novosibirsk: Nauka Publishers; 2010. (In Russ.). EDN: SGMWXD
- [10] Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants*. 4th ed. Bosa Raton, FL, USA: CRS Press; 2010.
- [11] Dziubanek G, Baranowska R, Ćwieląg-Drabek M, Spychała A, Piekut A, Rusin M, Hajok I. Cadmium in edible plants from Silesia, Poland, and its implications for health risk in populations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017;142:8–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.048>
- [12] Dziubanek G, Piekut A, Rusin M, Baranowska R, Hajok I. Contamination of food crops grown on soils with elevated heavy metals content. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015;118:183–189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.032>
- [13] Plakhov GA, Bezuglova OS, Tagiverdiev SS, Gorbov SN. Interrelation of lead, zinc, and copper with organic matter and carbonates in urban soils (a case study of Rostov-on-Don). *AgroEcoInfo*. 2023;4:14. (In Russ.). EDN: DZOHST
- [14] Aristarkhov A, Lunev M, Pavlikhina A. Ecological and agrochemical assessment of the state of arable soils in Russia by the content of mobile forms of heavy metals in them. *Mezhdunarodnyi Sel'skokhozyaistvennyi Zhurnal*. 2016;6:42–48. (In Russ.). EDN: XCDFND

- [15] Chimitdorzhieva GD, Nimbueva AZ, Chimitdorzhieva EO. Cobalt and chromium in the system: breed soil – plant – humus (on the example of Western Transbaikalia). *Agrochemistry*. 2018;3:81–85. (In Russ.). DOI: 10.1134/S0002188118080057 EDN: UWYHGP
- [16] Chimitdorzhieva GD, Tsybenkov YuB, Milkheev EY, Nimbueva AZ. Nickel of forest-steppe ecosystems of Western Transbaikalia in the system of rock – soil – humus substances – plants. *Agrochemistry*. 2016;3:58–64. (In Russ.). EDN: VXJDMB
- [17] Kurolap SA, Mamchik NP, Klepikov OV, et al. *Medical and ecological atlas of the Voronezh region: monograph*. Voronezh: State Unitary Enterprise of the Voronezh Region “Voronezh regional printing house – publishing house named after E.A. Bolkhovitinova”; 2010. (In Russ.).
- [18] Beckman IN. *Radioecology and environmental radiochemistry*. Moscow: Publishing URAIT; 2018. (In Russ.). EDN: LIDUFV
- [19] Kaldybaev BK. Concentration and distribution of experimental radionuclide strontium-90 and caesium-137 in the soil sample cover of near Issyk-Kul. *Science and new technologies*. 2009;7:65–68. (In Russ.). EDN: WADKBN
- [20] Voropaev VN, Sotnikov BA. Long-term dynamics of strontium-90 content in soil profile of leached chernozem. *Ecology of the Central Black Earth Region of the Russian Federation*. 2016;(1):6–9. (In Russ.). EDN: XINTJH
- [21] Balykin DN, Puzanov AV, Balykin SN, Saltykov AV, Rozhdestvenskaya TA. Radionuclides  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  in soils and bottom sediments of the territory of the Vostochny cosmodrome (Amur region). *Bulletin of the Altay Branch of the Russian Geographical Society*. 2019;(3):98–104. (In Russ.). EDN: RHBZJO
- [22] Efremov IV, Rakhimova NN, Yanchuk EL. Peculiarities of migration of cesium-137 and strontium-90 LV in the soil-plant system. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2005;(12):42–46. (In Russ.). EDN: JVG0BD

### Сведения об авторе:

Дьякова Нина Алексеевна, доктор фармацевтических наук, доцент, доцент кафедры фармацевтической технологии, Воронежский государственный университет, Российская Федерация, 394007, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1. ORCID: 0000-0002-0766-3881; eLIBRARY SPIN-код: 3477-0510. E-mail: Ninochka\_V89@mail.ru.

### Bio note:

Nina A. Dyakova, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Docent, Associate Professor at the Department of Pharmaceutical Technology, Voronezh State University, 1 Universitetskaya Sq, Voronezh, 394007, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0766-3881; eLIBRARY SPIN-code: 3477-0510. E-mail: Ninochka\_V89@mail.ru