

DOI 10.31029/vestdnc98/9

УДК 504.53+351.777.6

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

Н. А. Дьякова, ORCID: 0000-0002-0766-3881

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

ANALYTICAL ASSESSMENT OF THE QUALITY OF ARABLE LAND IN THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

N. A. Dyakova, ORCID: 0000-0002-0766-3881

Voronezh State University, Voronezh, Russia

Аннотация. Целью исследования являлась аналитическая оценка качества пахотных земель Центрального Черноземья по содержанию наиболее значимых экотоксикантов и суммарному показателю загрязнения. На примере Воронежской области было выбрано 13 учетных площадок в наиболее развитых агропромышленных районах региона и 3 заповедные территории в качестве контрольных. Содержание тяжелых металлов и мышьяка определяли атомно-абсорбционным методом, хлорорганических пестицидов – методом газовой хроматографии, природных и техногенных радионуклидов – методом радиометрической спектроскопии. Показано соответствие требованиям нормативной документации всех образцов почв агроценозов по содержанию токсичных элементов, подтверждено их относительное экологическое благополучие в отношении загрязнения хлороорганическими пестицидами, природными и техногенными радионуклидами. Анализ суммарных показателей загрязнения почв антропогенно нарушенных территорий относительно контрольных зон выявил, что допустимую степень загрязнения имеют лишь 6 образцов, отобранных в Воробьевском, Грибановском, Новохоперском, Ольховатском, Репьевском, Хохольском районах. Умеренно опасная степень загрязнения почв выявлена в агроценозах Верхнекхавского, Лискинского, Панинского, Петропавловского, Подгоренского, Россoshанского, Эртильского районов. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости постоянного мониторинга качества почв сельскохозяйственный угодий Воронежской области, а также их реабилитации, в частности методами фиторемедиации.

Abstract. This study aimed to comprehensively assess the quality of agricultural land in the Central Black Earth Region based on the content of significant ecotoxins and a composite pollution index. Using the Voronezh region as a case study, 13 sampling sites were selected across its most developed agro-industrial districts, with three protected areas designated as controls. Heavy metals and arsenic were quantified using atomic absorption spectroscopy, organochlorine pesticides via gas chromatography, and natural/technogenic radionuclides by radiometric spectroscopy. All soil samples from the agricultural sites complied with regulatory standards for toxic elements and demonstrated relative environmental safety concerning organochlorine pesticides and radionuclides. However, analysis of the composite pollution index, calculated for anthropogenically disturbed areas relative to the controls, revealed that only six samples had an acceptable pollution level (from the Vorobeovsky, Gribanovsky, Novokhopersky, Olkhovatsky, Repyevsky, and Khokholsky districts). A moderately hazardous pollution level was detected in agroecosystems of the Verkhnekhavsky, Liskinsky, Paninsky, Petropavlovsky, Podgorensky, Rossoshansky, and Ertilsky districts. These findings underscore the necessity for continuous monitoring of soil quality in the Voronezh region's agricultural lands and indicate a need for rehabilitation, for instance, through phytoremediation techniques.

Ключевые слова: агроценозы, почвы, Воронежская область, мышьяк, тяжелые металлы, природные радионуклиды, техногенные радионуклиды, хлорорганические пестициды, суммарный показатель загрязнения.

Keywords: agroecosystems, soils, Voronezh region, arsenic, heavy metals, natural radionuclides, man-made radionuclides, organochlorine pesticides, total pollution index.

Введение

Одной из глобальных проблем современности является загрязнение окружающей среды. В результате хозяйственной деятельности человека природные экосистемы претерпевают значительные изменения, формируются новые антропогенные экосистемы, характеризующиеся неустойчивостью и значительными изменениями в объектах окружающей среды [1]. Увеличение техногенной нагрузки на окружающую среду обуславливает необходимость постоянного мониторинга экологического состояния как естественных экосистем, так и искусственно созданных человеком [2]. В данных условиях почва, а особенно верхние ее слои, является ключевым депонирующим компонентом антропогенной экосистемы [3, 4].

Воронежская область является одним из крупнейших промышленных и сельскохозяйственных субъектов Центрального федерального округа и Центрально-Черноземного экономического района, характеризуется высокими численностью населения (более 2,3 млн человек), долей городского населения (более 68% на 2023 г.), а также ежегодно возрастающим индексом промышленного производства (порядка

130%) и валовым региональным продуктом (более 900 млрд рублей на 2022 г.) [5, 6]. Потенциал сельскохозяйственного сектора Воронежской области достаточно высок, регион занимает ведущие позиции в стране по выпуску растениеводческой продукции. Площадь земель сельскохозяйственного назначения в регионе составляет 4,2 млн га, из которых 3,8 млн га – сельскохозяйственные угодья, в том числе 3 млн га – пашни. Воронежская область находится на лидирующих позициях в России по производству основных видов растениеводческой продукции: по производству сахарной свеклы – 2-е место, подсолнечника – 4-е место, зерновых культур – 9-е место [7, 8].

Однако ежегодно возрастающее антропогенное влияние диктует необходимость постоянного мониторинга окружающей среды. Эколого-гигиеническая оценка качества почв различных субъектов нашей страны и ближнего зарубежья подтверждает необходимость проведения таких региональных исследований [1, 3, 5, 8]. В настоящий момент к наиболее опасным экотоксикантам относят тяжелые металлы и мышьяк, хлорорганические пестициды, радионуклиды в силу их высокой устойчивости, широкого распространения, способности к биогенным миграциям, кумуляции в почвах и в живых организмах [9, 10].

Цель исследования – аналитическая оценка качества пахотных земель Воронежской области по содержанию наиболее значимых экотоксикантов и суммарному показателю загрязнения.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на примере агроценозов Воронежской области, наиболее значимых для сельскохозяйственного сектора региона (табл. 1). Для анализа особенностей загрязнения почв экотоксикантами пробы также отбирали на территориях, лишенных антропогенного воздействия (заповедные зоны) [11]. Пробы почв отбирали согласно ГОСТ Р 58595-2019 методом конверта на удалении 0–100 м от края сельскохозяйственного угодья. Исследовали верхние слои почв (0–10 см), так как именно они подвергаются наибольшему антропогенному воздействию.

Таблица 1. Список учетных площадок отбора проб почв

№ п/п	Территория отбора пробы	Тип почвы	Географические координаты
Контрольные территории			
1.	Воронежский заповедник (Рамонский р-н)	дерновые лесные	51°53' с.ш. и 39°30' в.д.
2.	Теллермановский лес (Борисоглебский р-н)	темно-серые лесные	51°22' с.ш. и 42°57' в.д.
3.	Хоперский заповедник (Новохоперский р-н)	пойменно-лесные серые глееватые	51°15' с.ш. и 41°46' в.д.
Агроценозы			
4.	Сельскохозяйственное поле (Верхнекавский р-н)	черноземы обыкновенные	51°38' с.ш. и 40°06' в.д.
5.	Сельскохозяйственное поле (Воробьевский р-н)	черноземы обыкновенные	50°38' с.ш. и 40°57' в.д.
6.	Сельскохозяйственное поле (Грибановский р-н)	черноземы солонцеватые	51°26' с.ш. и 41°58' в.д.
7.	Сельскохозяйственное поле (Лискинский р-н)	черноземы обыкновенные	50°58' с.ш. и 39°28' в.д.
8.	Сельскохозяйственное поле (Новохоперский р-н)	черноземы обыкновенные	51°07' с.ш. и 41°37' в.д.
9.	Сельскохозяйственное поле (Ольховатский р-н)	черноземы обыкновенные	50°17' с.ш. и 39°16' в.д.
10.	Сельскохозяйственное поле (Панинский р-н)	черноземы обыкновенные	51°38' с.ш. и 40°06' в.д.
11.	Сельскохозяйственное поле (Петропавловский р-н)	черноземы обыкновенные	50°06' с.ш. и 40°54' в.д.
12.	Сельскохозяйственное поле (Подгоренский р-н)	черноземы обыкновенные	50°25' с.ш. и 39°41' в.д.
13.	Сельскохозяйственное поле (Репьевский р-н)	черноземы обыкновенные	51°05' с.ш. и 38°39' в.д.
14.	Сельскохозяйственное поле (Россошанский р-н)	черноземы обыкновенные	50°12' с.ш. и 39°35' в.д.
15.	Сельскохозяйственное поле (Хохольский р-н)	черноземы обыкновенные	51°34' с.ш. и 38°47' в.д.
16.	Сельскохозяйственное поле (Эртильский р-н)	черноземы обыкновенные	51°51' с.ш. и 40°48' в.д.

Определяли содержание элементов 1 класса опасности – мышьяка, кадмия, ртути, свинца, цинка, никеля, а также некоторых наиболее токсичных металлов 2 класса опасности – меди, хрома и кобальта [12] на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915МД. Для количественного определения ртути и мышьяка использовали ртутно-гидридную приставку РГП-915. Определение наиболее устойчивых в окружающей среде хлорорганических пестицидов в пробах почвы проводили на газовом хроматографе «Цвет 500М». Определение удельной активности радионуклидов вели на спектрометре-радиометре МКГБ-01 «РАДЭК» в соответствии с МР 2.6.1/2.3.7.0216-20. Анализы осуществлялся с тремя параллельными опытами, допускаемые расхождения определения определяли при доверительной вероятности 95% [12, 13].

Для объективной оценки степени загрязнения почв антропогенно нарушенных территорий использовали суммарный показатель загрязнения [14], позволяющий использовать уровень количественного содержания экотоксикантов в качестве индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения. Суммарный показатель загрязнения (Z_c) рассчитывали по формулам [14]:

$$Z_c = \sum(K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1), \quad (1)$$

$$K_{ci} = \frac{c_i}{c_\phi}, \quad (2)$$

где n – число определяемых экотоксикантов; K_{ci} – коэффициент концентрации i -го экотоксиканта; C_i – реальное содержание загрязняющего элемента; C_ϕ – фоновое содержание экотоксиканта.

В качестве фоновых значений принимали среднее содержание экотоксикантов в контрольных пробах. Интерпретация результатов расчета степени опасности загрязнения почв экотоксикантами осуществлялась по шкале, в которой соответствие величины Z_c определяется следующим образом:

<16 – допустимая степень опасности загрязнения почв;

16–32 – умеренно опасная степень загрязнения почв;

32–128 – опасная степень загрязнения почв;

>128 – чрезвычайно опасная степень загрязнения почв [14].

Результаты и их обсуждение

Концентрация свинца в почвах сельскохозяйственных угодий составила 1,71–13,11 мг/кг (табл. 2), что на порядок меньше ОДК (130 мг/кг). Для почв заповедных территорий отмечено содержание свинца на уровне 4,10–4,73 мг/кг. Наиболее высокий уровень содержания свинца в почвах агроценозов, в 2–3 раза отличающийся от концентраций металла в почвах контрольных площадок, отмечен в образцах Верхнекавского и Эртильского районов, что свидетельствует о высокой антропогенной нагрузке на данных территориях.

Таблица 2. Средние значения содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвах агроценозов Воронежской области, мг/кг

№ п/п	Территория отбора пробы	Элемент								
		Pb	Cd	Hg	As	Co	Cr	Ni	Zn	Cu
Контрольные территории										
1.	Воронежский заповедник (Рамонский р-н)	4,10± 0,07	0,02± 0,003	0,04± 0,005	0,90± 0,03	2,99± 0,12	3,90± 0,09	2,24± 0,05	11,48± 0,12	3,30± 0,11
2.	Теллермановский лес (Борисоглебский район)	4,74± 0,10	0,04± 0,002	0,01± 0,002	0,55± 0,05	1,84± 0,07	2,86± 0,06	2,86± 0,03	25,61± 0,10	6,85± 0,16
3.	Хоперский заповедник (Новохоперский р-н)	4,33± 0,12	0,07± 0,002	0,03± 0,003	0,64± 0,07	2,17± 0,09	4,63± 0,08	5,76± 0,04	17,35± 0,14	7,41± 0,24
Агроценозы										
4.	Сельскохозяйственное поле (Верхнекавский р-н)	11,54 ± 0,06	0,31± 0,005	0,08± 0,005	1,34± 0,06	6,39± 0,14	10,54± 0,12	4,86± 0,05	29,09± 0,13	26,83± 0,15
5.	Сельскохозяйственное поле (Воробьевский р-н)	2,78± 0,13	0,11± 0,002	0,07± 0,006	0,66± 0,09	5,11± 0,15	4,02± 0,03	7,31± 0,06	14,77± 0,08	23,38± 0,10
6.	Сельскохозяйственное поле (Грибановский р-н)	6,21± 0,08	0,07± 0,004	0,02± 0,002	1,28± 0,04	4,04± 0,17	4,18± 0,05	11,82± 0,10	35,72± 0,19	18,01± 0,12
7.	Сельскохозяйственное поле (Лискинский р-н)	7,83± 0,15	0,33± 0,009	0,06± 0,004	0,74± 0,04	9,33± 0,21	9,57± 0,08	1,46± 0,02	9,58± 0,08	17,88± 0,23
8.	Сельскохозяйственное поле (Новохоперский р-н)	4,45± 0,07	0,22± 0,014	0,01± 0,001	1,07± 0,09	4,01± 0,19	2,53± 0,10	4,85± 0,03	17,86± 0,12	10,57± 0,18
9.	Сельскохозяйственное поле (Ольховатский р-н)	1,71± 0,12	0,26± 0,016	0,08± 0,002	0,98± 0,02	5,46± 0,20	12,72± 0,07	8,96± 0,04	30,20± 0,15	9,34± 0,31

10.	Сельскохозяйственное поле (Панинский р-н)	6,86±0,18	0,23±0,017	0,11±0,007	1,26±0,08	8,62±0,07	12,88±0,09	10,87±0,06	47,93±0,21	10,34±0,13
11.	Сельскохозяйственное поле (Петропавловский р-н)	4,67±0,13	0,25±0,008	0,08±0,004	0,69±0,03	10,04±0,09	8,42±0,04	1,35±0,02	28,97±0,13	29,62±0,23
12.	Сельскохозяйственное поле (Подгоренский р-н)	3,21±0,15	0,25±0,006	0,04±0,003	0,91±0,05	7,38±0,13	4,46±0,02	13,83±0,07	26,62±0,12	26,95±0,25
13.	Сельскохозяйственное поле (Репьевский р-н)	3,21±0,09	0,18±0,008	0,08±0,005	1,19±0,04	9,91±0,17	7,26±0,05	6,21±0,04	21,08±0,09	9,37±0,13
14.	Сельскохозяйственное поле (Россошанский р-н)	6,76±0,21	0,22±0,010	0,13±0,008	1,21±0,08	8,31±0,21	8,51±0,09	14,57±0,07	25,01±0,08	28,76±0,27
15.	Сельскохозяйственное поле (Хохольский р-н)	3,51±0,09	0,18±0,003	0,04±0,002	0,82±0,03	7,01±0,17	6,62±0,08	12,12±0,06	41,82±0,17	15,41±0,14
16.	Сельскохозяйственное поле (Эртильский р-н)	13,11±0,20	0,32±0,011	0,12±0,009	0,73±0,06	4,58±0,20	4,68±0,05	12,98±0,08	46,75±0,23	14,92±0,13
	ОДК	130,0	2,0	2,1	10,0	—	—	80,0	220,0	132,0

Концентрация кадмия в почвах сельскохозяйственных угодий варьировала в диапазоне 0,07–0,34 мг/кг. Для почв контрольных территорий содержание кадмия составило 0,02–0,07 мг/кг. Полученные результаты не превышают установленных нормативов ОДК, однако подчеркивают более высокий уровень содержания кадмия в почвах агроценозов региона, что может быть связано с применением кадмий-содержащих пестицидов [6, 10].

Концентрация ртути в почвах агроценозов Воронежской области составляла 0,01–0,13 мг/кг, в контрольных образцах – 0,01–0,04 мг/кг, что является относительно невысоким показателем [1, 3, 8].

Концентрация мышьяка в почвах сельскохозяйственных угодий Воронежской области варьировала на относительно невысоком уровне – 0,72–1,34 мг/кг. Для контрольных зон содержание мышьяка в почве составило 0,55–0,90 мг/кг, что является сопоставимым с агроценозами показателями.

Концентрация кобальта в почвах агроценозов принимала числовые значения 4,02–10,04 мг/кг. Для почв контрольных территорий выявлено более низкое содержание кобальта – 1,84–2,99 мг/кг. Для сельскохозяйственных угодий ряда районов (Лискинский, Петропавловский, Репьевский) данные отличия отмечены более чем в 2 раза, что, вероятно, связано с высоким уровнем применения в данных районах минеральных удобрений, содержащих кобальт [2, 3].

Содержание хрома в почвах сельскохозяйственных земель региона составило 2,53–12,88 мг/кг, что также является относительно невысоким уровнем [1, 3, 8]. Для почв контрольных зон отмечен более низкий уровень концентраций элемента – 2,86–4,62 мг/кг, что указывает на загрязнение почв агроценозов хромом в результате хозяйственной деятельности человека.

Концентрация никеля в почвах агроценозов Воронежской области имела большой диапазон варьирования – 1,46–14,57 мг/кг, в почвах заповедных территорий – заметно ниже – 2,24–5,76 мг/кг. Выявлен значительно более высокий уровень содержания никеля в почвах сельскохозяйственных угодий ряда районов (Подгоренского, Россошанского, Хохольского, Эртильского и др.), что можно объяснить особенностями почв исследуемых агроценозов, представленных преимущественно черноземами, обладающими большей сорбционной емкостью в отношении тяжелых металлов по сравнению с лесными почвами контрольных зон.

В образцах почв контрольных зон содержание цинка отмечено на уровне 11,5–25,6 мг/кг. Концентрация цинка в почвах агроценозов составила 9,6–47,9 мг/кг, что не превышало ОДК. Содержание элемента в почвах сельскохозяйственных угодий некоторых районов (Панинского, Эртильского, Хохольского) в два и более раза превышала его концентрацию в почвах контрольных зон. Цинк является добавляемым в удобрения микроэлементом, чем можно объяснить более высокий уровень его содержания в почвах агроценозов [2, 6].

Концентрация меди в почвах сельскохозяйственных земель не превышала ОДК и составляла 9,34–29,62 мг/кг, в образцах контрольных зон – значительно ниже – 3,30–7,41 мг/кг. Наиболее высокое содержание меди выявлено в почве агроценоза Россошанского района, что можно связать с недостаточной эффективностью очистки выбросов расположенного в непосредственной близости промышленного предприятия ОАО «Минудобрения», регионального производителя минеральных удобрений, в которые медь входит в качестве микроэлементной добавки [1, 6], а также с применением данных удобрений.

Анализ почв агроценозов Воронежской области (табл. 3) показал, что содержание хлорорганических пестицидов лежало ниже пределов их обнаружения: концентрация ГХЦГ составила менее 0,001 мг/кг, а ДДТ – менее 0,007 мг/кг, что соответствует нижней границе чувствительности хроматографа. Подтверждено отсутствие гептахлора и алдрина в почвенных образцах.

Таблица 3. Содержание хлорорганических пестицидов в почвах агроценозов Воронежской области, мг/кг

№ п/п	Территория отбора пробы	Пестицид			
		ГХЦГ и его изомеры (в сумме)	ДДТ и его метаболиты (в сумме)	Алдрин	Гептахлор
1.	Сельскохозяйственное поле (Верхнекавский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
2.	Сельскохозяйственное поле (Воробьевский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
3.	Сельскохозяйственное поле (Грибановский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
4.	Сельскохозяйственное поле (Лискинский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
5.	Сельскохозяйственное поле (Новохоперский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
6.	Сельскохозяйственное поле (Ольховатский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
7.	Сельскохозяйственное поле (Панинский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
8.	Сельскохозяйственное поле (Петропавловский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
9.	Сельскохозяйственное поле (Подгоренский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
10.	Сельскохозяйственное поле (Репьевский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
11.	Сельскохозяйственное поле (Россошанский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
12.	Сельскохозяйственное поле (Хохольский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
13.	Сельскохозяйственное поле (Эртильский р-н)	не более 0,001	не более 0,007	отс.	отс.
ПДК		0,1	0,1	-	0,05

Таблица 4. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в почвах агроценозов Воронежской области, Бк/кг

№ п/п	Территория отбора пробы	Sr-90	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232
		Контрольные территории				
1.	Воронежский заповедник (Рамонский р-н)	6,8±3,3	51,7±14,8	312±43	5,4±2,5	32,1±10,4
2.	Теллермановский лес (Борисоглебский район)	5,0±2,8	20,7±9,1	408±31	4,1±1,1	30,5±4,8
3.	Хоперский заповедник (Новохоперский р-н)	5,4±1,8	24,2±12,5	437±28	5,1±1,8	31,1±6,9
Агроценозы						
4.	Сельскохозяйственное поле (Верхнекавский р-н)	8,3±4,6	53,1±16,7	489±27	8,6±2,7	39,9±7,5
5.	Сельскохозяйственное поле (Воробьевский р-н)	5,3±1,8	21,5±16,6	442±43	8,4±2,7	35,9±9,8
6.	Сельскохозяйственное поле (Грибановский р-н)	5,7±2,1	23,8±11,6	459±41	9,8±3,6	39,8±7,6
7.	Сельскохозяйственное поле (Лискинский р-н)	4,3±2,6	43,7±13,8	342±40	8,1±3,7	25,1±9,4
8.	Сельскохозяйственное поле (Новохоперский р-н)	6,2±2,7	24,7±10,6	478±52	10,5±3,4	39,1±10,0
9.	Сельскохозяйственное поле (Ольховатский р-н)	6,0±3,5	41,4±15,1	494±32	8,7±3,1	45,2±6,3
10.	Сельскохозяйственное поле (Панинский р-н)	7,1±2,1	42,9±16,0	481±36	9,8±3,1	38,8±8,9
11.	Сельскохозяйственное поле (Петропавловский р-н)	5,4±1,8	26,4±11,1	567±34	9,3±3,7	37,1±10,1
12.	Сельскохозяйственное поле (Подгоренский р-н)	6,8±2,3	40,7±10,8	583±27	8,2±4,3	42,5±11,8
13.	Сельскохозяйственное поле (Репьевский р-н)	7,8±3,7	50,8±11,2	508±38	8,8±3,6	34,9±10,6
14.	Сельскохозяйственное поле (Россошанский р-н)	6,7±2,8	43,4±12,8	583±28	8,3±3,8	41,2±10,8
15.	Сельскохозяйственное поле (Хохольский р-н)	7,9±3,6	51,9±16,7	569±36	9,9±4,7	40,8±4,7
16.	Сельскохозяйственное поле (Эртильский р-н)	8,7±3,8	30,9±15,8	479±35	9,4±3,3	38,9±9,6
Кларк по России по Орлову П.М. и Луневу М.И. (2009 г.) [17]		—	—	460	28	22
Мировой кларк по Орлову П.М. и Луневу М.И. (2009 г.) [17]		—	—	460	26	26
Мировой кларк по Тихомирову Ф.А. (1988 г.) [17]		—	—	450	38	32
Допустимая удельная активность в овощах, бахчевых [18]		40	80			
Допустимая удельная активность в лекарственном растительном сырье [19]		200	400			

ПДК как техногенных, так и природных радионуклидов в почве не нормированы [12, 15, 16]. Удельная активность стронция-90 в почвах сельскохозяйственных угодий варьировала в пределах 4,3–8,7 Бк/кг, для контрольных образцов 5,0–6,8 Бк/кг (табл. 4). Удельная активность цезия-137 в почвах агроценозов варьировала в пределах 21,5–53,1 Бк/кг, в образцах контрольных зон – 20,7–51,7 Бк/кг. Более

высокой удельной активностью стронция-90 (выше 7 Бк/кг) и цезия-137 (выше 50 Бк/кг) выделялись почвы северо-западной части Воронежской области (Верхнекавский, Рамонский, Репьевский, Хохольский районы), что связано с попаданием данных районов в зону Чернобыльских радиоактивных выпадений [16, 17].

Таблица 5. Расчетные значения суммарного показателя загрязнения с интерпретацией полученных результатов

№ п/п	Территория отбора пробы	Величина суммарного показателя загрязнения	Степень загрязнения почвы
1.	Сельскохозяйственное поле (Верхнекавский р-н)	21	умеренно опасная
2.	Сельскохозяйственное поле (Воробьевский р-н)	9	допустимая
3.	Сельскохозяйственное поле (Грибановский р-н)	9	допустимая
4.	Сельскохозяйственное поле (Лискинский р-н)	16	умеренно опасная
5.	Сельскохозяйственное поле (Новохоперский р-н)	7	допустимая
6.	Сельскохозяйственное поле (Ольховатский р-н)	14	допустимая
7.	Сельскохозяйственное поле (Панинский р-н)	20	умеренно опасная
8.	Сельскохозяйственное поле (Петропавловский р-н)	17	умеренно опасная
9.	Сельскохозяйственное поле (Подгоренский р-н)	16	умеренно опасная
10.	Сельскохозяйственное поле (Репьевский р-н)	13	допустимая
11.	Сельскохозяйственное поле (Россошанский р-н)	23	умеренно опасная
12.	Сельскохозяйственное поле (Хохольский р-н)	13	допустимая
13.	Сельскохозяйственное поле (Эртильский р-н)	21	умеренно опасная

Удельная активность калия-40 в почвах агроценозов Воронежской области составила 342–583 Бк/кг, в почвах контрольных территорий – 312–437 Бк/кг. Удельная активность радия-226 в почвах сельскохозяйственных угодий варьировала в пределах 8,1–10,5 Бк/кг, а в почвах контрольных зон не превышала 5,4 Бк/кг. Удельная активность тория-232 в образцах агроценозов варьировала в пределах 25,1–45,2 Бк/кг при значениях для заповедных территорий 30,5–32,1 Бк/кг. Несколько более высокими числовыми показателями удельной активности в почвах сельскохозяйственных угодий относительно мировых и российских кларков (табл. 5) отличались калий-40 и торий-232. Это объясняется особенностями почв агроценозов Воронежской области, в большинстве своем представленных черноземами, для которых характерны более высокие средние значения активности природных радионуклидов в силу их высокой сорбционной емкости [17]. Значения удельной активности природных радионуклидов в почвах агроценозов Воронежской области в целом относительно невелики и близки к среднестатистическим мировым и российским (табл. 4).

Значения удельной активности техногенных радионуклидов в почвах особенно значимы для обеспечения качества и безопасности культивируемых растений. Сопоставление полученных результатов определения содержания стронция-90 и цезия-137 в почвах агроценозов Воронежской области со значениями для почв контрольных зон, а также с допустимыми показателями для растительной продукции [18, 19], позволяют говорить об их относительном экологическом благополучии. Однако, учитывая высокую биологическую доступность радионуклидов и способность их к миграции по биологическим цепям, необходим постоянный мониторинг качества пахотных земель, в том числе по показателю «радионуклиды».

При относительном экологическом благополучии и полном соответствии существующим нормативам проб почв агроценозов Воронежской области по содержанию тяжелых металлов и мышьяка, хлорорганических пестицидов, природных и техногенных радионуклидов, при анализе рассчитанных суммарных показателей загрязнения почв антропогенно нарушенных территорий относительно контрольных зон выявлено, что допустимую степень загрязнения имеют лишь 6 образцов, отобранных в Воробьевском, Грибановском, Новохоперском, Ольховатском, Репьевском, Хохольском районах (табл. 5). Умеренно опасная степень загрязнения почв при этом выявлена в семи оставшихся агроценозах Верхнекавского, Лискинского, Панинского, Петропавловского, Подгоренского, Россошанского, Эртильского районов [14]. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости постоянного мониторинга качества почв сельскохозяйственных угодий Воронежской области, а также их реабилитации, в частности, методами фиторемедиации [20].

Заключение

Изучено содержание в почвах агроценозов и заповедных зон Воронежской области основных токсичных элементов, хлорорганических пестицидов, природных и техногенных радионуклидов. Содержание тяжелых металлов и мышьяка оказалось соответствующим требованиям нормативной документации во всех контрольных образцах и образцов почв агроценозов. Однако уровень концентрации свинца, кадмия, хрома, кобальта, никеля, цинка меди в почвах ряда сельскохозяйственных угодий значительно превышает содержание элементов в грунте контрольных площадок, не подверженных лишенных антропогенному воздействию. Исследование образцов почв агроценозов Воронежской области позволило подтвердить их относительное экологическое благополучие в отношении загрязнения хлорорганическими пестицидами, а также природными и техногенными радионуклидами. При анализе рассчитанных суммарных показателей загрязнения почв антропогенно нарушенных территорий относительно контрольных зон выявлено, что допустимую степень загрязнения имеют лишь 6 образцов, отобранных в Воробьевском, Грибановском, Новохоперском, Ольховатском, Репьевском, Хохольском районах. Умеренно опасная степень загрязнения почв при этом выявлена в агроценозах Верхнекавского, Лискинского, Панинского, Петропавловского, Подгоренского, Россошанского, Эртильского районов. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости постоянного мониторинга качества почв сельскохозяйственный угодий Воронежской области, а также их реабилитации, в частности методами фиторемедиации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьякова Н.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Вестник ИрГСХА. 2019. № 95. С. 19–30.
2. Дьякова Н.А., Гапонов С.П., Сливкин И.А. Эколого-гигиеническая оценка состояния почв антропогенных экосистем Воронежской области // Известия Калининградского государственного технического университета. 2020. № 59. С. 61–72. DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-61-72
3. 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. 42–47.
4. Дьякова Н.А. Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2022. 264 с.
5. Епринцев С.А., Клепиков 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. Сер.: География. Геоэкология. 2024. № 3. С. 135–141.
6. 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. Т. 9, № 2(36). С. 19–26. DOI: 10.25744/genb.2024.10.32.003
7. Управление Роспотребнадзора по Воронежской области [сайт]. URL: <http://36.rosпотребnadzor.ru/key-areas/sanitary/14645> (дата обращения: 26.11.2024).
8. Лукин С.В. Экологическая оценка содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвах и сельскохозяйственных растениях Центрального Черноземья // Почвоведение. 2024. № 10. С. 1414–1423. DOI: 10.31857/S0032180X24100101
9. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гравель И.В. Эколого-фармакогностическая оценка качества лекарственного растительного сырья Центрального Черноземья. М.: РУСАЙНС, 2023. 238 с.
10. Заряева Е.В. Анализ данных регионального мониторинга содержания пестицидов в объектах окружающей среды Воронежской области // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18, № 2. С. 476–478.
11. Медико-экологический атлас Воронежской области / С.А. Куролап, Н.П. Мамчик, О.В. Клепиков [и др.]. Воронеж: ГУП ВО «Издательство им. Е.А. Болховитинова», 2010. 167 с.
12. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М., 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 08.03.2025).
13. 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». М., 2020. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74835247/> (дата обращения: 17.03.2025).

14. Методические указания МУ 2.1.7.730-99 «Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест». М., 1999. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003852> (дата обращения: 17.03.2025).
15. Воропаев В.Н., Сотников Б.А. Многолетняя динамика содержания стронция-90 в профиле почвы чернозема выщелоченного // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. 2016. № 1(35). С. 6–9.
16. Балыкин Д.Н., Пузанов А.В., Балыкин С.Н., Салтыков А.В., Рождественская Т.А. Радионуклиды ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs в почвах и донных отложениях территории космодрома «Восточный» (Амурская область) // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2019. № 3(54). С. 98–104.
17. Бекман И.Н. Радиоэкология и экологическая радиохимия. М.: Издатель Мархотин П.Ю., 2018. 400 с.
18. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 14.11.2001 № 36 о введении в действие санитарных норм СанПин 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». М., 2001. URL: <https://base.garant.ru/4178234/> (дата обращения: 18.03.2025).
19. Государственная фармакопея Российской Федерации. XV изд. [Электронный ресурс]. URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>. (дата обращения: 18.05.2025).
20. Мещерякова В.Ю., Дьякова Н.А., Павлова Ю.А. Перспективы использования различных растений с целью фиторемедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами // Ульяновский медико-биологический журнал. 2024. № 3. С. 139–154. DOI 10.34014/2227-1848-2024-3-139-154

Поступила в редакцию 26.03.2025 г.

Принята к печати 30.09.2025 г.

* * *

Дьякова Нина Алексеевна, доктор фармацевтических наук, доцент, доцент кафедры фармацевтической технологии, Воронежский государственный университет; e-mail: ninochka_v89@mail.ru

Nina A. Dyakova, Doctor of Pharmaceutical Sciences, associate professor, associate professor of the Department of Pharmaceutical Technology, Voronezh State University; ninochka_v89@mail.ru