

© Ю. А. Павлова, Н. А. Дьякова

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ АГРОЦЕНОЗОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ НАИБОЛЕЕ ПЕРСИСТЕНТНЫМИ ЯДОХИМИКАТАМИ

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
Россия, 394006, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1*

Павлова Ю. А., Дьякова Н. А. Загрязнение почв агроценозов ростовской области наиболее персистентными ядохимикатами. – В статье приведены результаты изучения загрязнения почв некоторых агроценозов Ростовской области наиболее персистентными пестицидами. Подтверждена экологическая безопасность исследуемых почв в отношении хлорорганических, сим-триазиновых пестицидов, производных 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты. Полученные результаты создают предпосылки для развития органического растениеводства и сертификации продукции как экологически чистой, что позволяет позиционировать регион как благоприятную сельскохозяйственную зону.

Ключевые слова: почвы, Ростовская область, хлорорганические пестициды, сим-триазиновые пестициды, производные 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты.

Введение

Загрязнение почв ядохимикатами представляет собой одну из наиболее серьезных экологических проблем современности, оказывающую многогранное негативное воздействие на экосистемы и здоровье человека [1]. Пестициды сыграли ключевую роль в интенсификации сельского хозяйства и увеличении продовольственной продуктивности. Однако их бесконтрольное и чрезмерное применение привело к накоплению токсичных веществ в почвенном покрове. Это загрязнение характеризуется высокой устойчивостью к разложению многих ядохимикатов, способностью к биоаккумуляции и дальнейшей миграцией по пищевым цепям [5, 6, 16]. Данная проблема требует постоянного мониторинга содержания пестицидов и их метаболитов в различных объектах окружающей среды, в частности, в почвах [3].

Пестициды представляют собой химические или биологические средства, используемые для борьбы с вредителями, сорняками и болезнями растений. К ним относятся инсектициды (для уничтожения насекомых), гербициды (для борьбы с сорняками), фунгициды (против грибов) и другие категории [5]. Основными источниками загрязнения почв пестицидами являются внесение в почву для борьбы с почвенными вредителями, стекание с обработанных растений во время осадков или полива, неправильная утилизация остатков пестицидов и тары, а также атмосферный перенос при распылении [4, 20].

После попадания в почву пестициды подвергаются сложным процессам трансформации, включая адсорбцию, миграцию и разложение [8, 26]. Эти процессы определяются физико-химическими свойствами веществ и характеристиками самой почвы [4, 7]. Скорость разложения пестицидов зависит от множества факторов: температуры, влажности, pH почвы, содержания органического вещества и активности почвенных микроорганизмов [16, 23, 26]. Наиболее медленно разлагаются пестициды в почвах с высоким содержанием глины и органических веществ, где они образуют устойчивые комплексы с ионами железа, алюминия и марганца [3, 11].

Широкое применение пестицидов приводит к нарушению структуры почвенных сообществ и снижению их устойчивости к внешним воздействиям. Это проявляется в снижении способности почв к самоочищению, ухудшении водно-физических свойств, снижении биологической продуктивности экосистем [2, 7, 8].

Пестициды оказывают негативное воздействие на почвенные экосистемы, нарушая естественный баланс и снижая биоразнообразие [3, 8, 16]. Наиболее уязвимыми являются

почвенные микроорганизмы, играющие ключевую роль в процессах круговорота питательных веществ и поддержания плодородия [27]. Так, применение пестицидов приводит к сокращению популяций бактерий, отвечающих за фиксацию азота [16]. Это нарушает естественный азотный цикл и снижает плодородие почв [24, 27]. Дождевые черви, играющие ключевую роль в аэрации почвы и разложении органического вещества, особенно чувствительны к воздействию пестицидов [28].

Для повышения производственного потенциала растениеводческой отрасли количество химических удобрений и пестицидов увеличивается ежегодно в геометрической прогрессии [4, 20]. Их применение стало неотъемлемой частью современного агропромышленного комплекса, позволяя сохранять до 20–30 % урожая [17]. Известно, что в 2015 г. использование минеральных удобрений в России достигало 2 млн. т в год, в 2020 г. – 4 млн. т, а к концу 2025 г. планируется достичь уровня применения минеральных удобрений в 8 млн. т [16].

Ростовская область, как один из крупнейших аграрных регионов России [14, 15], ежегодно обрабатывает пестицидами около 5 млн га земель. По площади сельскохозяйственных угодий (8,5 млн. га) Ростовская область занимает второе место среди субъектов Российской Федерации [25], при этом по плодородию почв – лишь десятое. При общей площади пахотных земель более 5,9 млн. га (данные на 2022 г.) регион является одним из лидеров по приросту применения минеральных удобрений, который составляет 10 % в год (по данным на 2023 г.), а в период за 2020–2023 гг. их использование возросло на 60 % [19, 21].

По данным территориального управления Россельхознадзора на 2023 г. после проведения внеплановых выездных проверок, в регионе выявлено нарушение применения пестицидных и других агрохимических веществ. За 2023 г. региональным управлением Россельхознадзора по Ростовской области было вынесено более 2 тысяч предостережений о недопустимости нарушения обязательных требований и составили 14 протоколов об административных правонарушениях и аннулировано более 900 деклараций о соответствии растениеводческой продукции [21]. В частности, в Цимлянском районе выявлено применение инсектицидов 1 и 2 класса опасности с превышением нормы расхода. Также неоднократно появлялись сообщения о проблемах применения пестицидов и агрохимикатов в Чертковском районе, которые, по данным УФС Россельхознадзора региона, приводили не только загрязнению растительной продукции, но и к массовой гибели пчел. Проблемы возникали при обработке сельскохозяйственных угодий пестицидами без соблюдения требований их безопасного применения (не в вечерние, а в утренние часы) [18, 19].

Таким образом, современные агроэкосистемы Ростовской области характеризуются устойчивым загрязнением пестицидами различных химических классов. Уступая по токсичности современным фосфорорганическим пестицидам, хлорорганические ядохимикаты способны длительное время находиться и циркулировать в неизменном виде в почве, растениях, живых организмах. Относительно персистентными являются и сим-триазиновые пестициды [10].

Особо актуальной является проблема загрязнения почв и растительной продукции Ростовской области хлорорганическими пестицидами (группа изомеров ГХЦГ, ДДТ и их метаболиты, алдрин, гептахлор), а также гербицидами (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д) и сим-триазиновыми (атразин, прометрин и симазин)) [19, 21]. Их особая экологическая значимость объясняется устойчивостью к влиянию факторов окружающей среды (период полураспада в естественных условиях составляет порядка 15–20 лет), высокими коэффициентами биоаккумуляции (до 10^3 – 10^5), а также глобальной циркуляцией в биосфере [2, 10]. Анализ общемировых мониторинговых данных показал обнаружение ДДТ в 92 % проб почв, ГХЦГ – в 65 % растительных образцов, а превышение ПДК – в 28 % исследуемых образцов, что указывает на необходимость систематического экологического мониторинга [23, 26].

Несмотря на глобальные ограничения, проблема ДДТ остается актуальной из-за его персистентности. Использовался для борьбы с комарами в очагах малярии, саранчой, вредителями сельскохозяйственных культур. Полный запрет на использование ДДТ на территории в нынешних границах РФ – с 1980-х гг. Период полураспада в почве – 2–15 лет. Характеризуется высокой летучестью, что объясняет атмосферный перенос на большие расстояния и обнаружение на территориях, где никогда не проводились химические обработки (в частности, в Арктике и Антарктиде). Аккумулируется в пищевых цепях, основные депо – жировая ткань организмов, донные отложения. Канцероген (группа 2В по классификации IARC). Под действием ультрафиолета превращается в токсичный и биоаккумулируемый полихлорированный бифенил [5, 10, 11, 22].

Период активного использования ГХЦГ в сельском хозяйстве пришелся на 1940–1990 гг. Ядохимикат применяли для обработки овощных и плодово-ягодных культур, в лесном хозяйстве, семеноводстве. Запрет на использование в РФ вступил в силу с 1990-х годов, однако, ограниченное применение γ -изомера (линдана) имеет место в санитарной обработке помещений и обработке древесины с соблюдением буферных зон (2 км от водоемов). Наиболее широко распространен в северных широтах. α - и γ -изомеры ГХЦГ характеризуются коэффициентом биоаккумуляции менее 100, β -изомер – 500–1 500. Канцероген (группа 2В IARC) [5, 10, 22, 26].

Алдрин – запрещенный к использованию персистентный хлорорганический ядохимикат. Период активного применения пришелся на 1950–1970 гг. Обладает высоким коэффициентом биоконцентрации и длительным периодом полураспада (до 7 лет), мигрирует по биологическим цепям. Накапливается в жирах, легко проникает через кожу, высокоопасен при ингаляционном пути попадания. Под воздействием солнечного излучения способен превращаться в более токсичную форму – диэлдрин [11, 22].

Гептахлор – высокотоксичный хлорорганический несистемный пестицид, используемый в США с 1953 г. На территории РФ запрещен с 1986 г. Липофилен, легко проникает через кожу. Способен в почве, а также организме животных и человека превращаться в гептахлорэпоксид, токсичность которого в 3–5 раз выше, чем у гептахлора [5, 11, 22].

Многолетнее использование сим-триазиновых гербицидов также ведет к кумуляции их и их метаболитов в почве. Хлорсодержащие сим-триазиновые ядохимикаты (атразин, симазин и прометрин), широко применяемые для борьбы с сорной растительностью, в почве сохраняются длительное время (периоды полураспада соответственно составляют 100, 90 и 60 суток). Имеют выраженную устойчивость к биодеградации и способность к кумуляции в организмах животных и человека. Запрещены к использованию в ЕС с 2004 г. в силу способности к загрязнению грунтовых вод. Однако из-за высокой эффективности используются в более, чем 80 странах мира, в том числе в РФ [10, 11, 17, 22].

Наиболее активным гербицидом является аминная соль 2,4-дихлорфеноксисукусной кислоты (2,4-Д), персистентность которой варьирует от 180 до 360 суток. Используется с 1945 г. Липофильна, легко проникает через кожу, в организме человека не метаболизируется, выводится в неизменном виде с мочой, вызывает бесплодие у мужчин, эмбриотоксична, нейротоксична, канцероген (группа 2В) [11, 17, 22].

Таким образом, актуальным является проведение мониторинга загрязнения почв пестицидами в сельскохозяйственных районах Ростовской области.

Цель исследования – провести изучение почвенного загрязнения наиболее персистентными ядохимикатами агроценозов ведущих сельскохозяйственных районов Ростовской области – Чертковского и Цимлянского.

Материалы и методы исследования

Пробы почвы отбирали в агроценозах Чертковского (49.40629 с. ш., 40.16045 в. д.) и Цимлянского (47.61434 с. ш., 41.82359 в. д.) районов Ростовской области с учетом горизонтальной неоднородности (методом конверта) глубиной 0–20 см от поверхности [12].

Каждая объединенная проба состояла из 5 точечных проб (не менее 200 г каждая). Исследования проводили на аналитическом хроматографе многократноциклического действия «Хроматэк-Кристалл-5000» с детектированием и обработкой хроматографических сигналов с помощью программного обеспечения «Хроматэк Аналитик». Способ определения липофильных ядохимикатов в почве основан на извлечении определяемых соединений н-гексаном в соотношении 1 : 10 с последующей очисткой концентрированной серной кислотой и нейтрализацией раствором натрия гидрокарбоната, упаривании извлечения, растворении сухого остатка в ацетоне с последующим и количественным определением пестицидов в ацетоновом растворе [9]. Определение проводилось методом внутреннего стандарта, в качестве которых использовали растворы стандартных образцов соответствующих ядохимикатов. Контроль качества обеспечивали с помощью проведения для каждой серии определений холостого опыта, а также контрольного стандарта (каждые 10 проб). Использовали следующие критерии приемлемости: восстановление 80–120 %, совпадение времен удерживания $\pm 0,1$ мин, соответствие ионных соотношений ± 15 %.

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

Результаты и обсуждение

На территории обследуемых агроценозов Чертковского и Цимлянского районов Ростовской области (табл. 1) содержание остаточных пестицидов в образцах почв не превышают предельно допустимых норм [13].

Результаты исследований образцов почв показали отсутствие хлорорганических пестицидов в анализируемом материале: содержание ГХЦГ и его изомеров, а также ДДТ и его метаболитов составляло для всех образцов менее 0,005 мг/кг, алдрин и гептахлор – менее 0,001 мг/кг, что соответствует порогу чувствительности рекомендованной МУ [12] методики.

Исследования подтвердили отсутствие в исследуемых образцах почв сим-триазиновых ядохимикатов: концентрация атразина, симазина, прометрина составила менее 0,001 мг/кг, что также является порогом чувствительности методики.

Экспериментально подтверждено и отсутствие в почвах изучаемых агроценозов Чертковского и Цимлянского районов Ростовской области производных 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты. Содержание 2,4-Д составило менее 0,001 мг/кг.

Полученные результаты коррелируют с данными аналогичных исследований почв агроценозов Воронежской области [5, 6] и создают предпосылки для развития органического растениеводства и сертификации продукции как экологически чистой, что позволяет позиционировать Ростовскую и Воронежскую области как благоприятные зоны для сельскохозяйственного производства.

Для поддержания экологической безопасности необходимо работать над внедрением системы постоянного экологического мониторинга, разработкой региональных программ по защите почв, созданием банка данных по остаточным пестицидам. Актуальной задачей следует считать внедрение ГИС-технологии для картирования загрязненных территорий и оптимизации производства растительной продукции. Ключевым направлением работы должно стать ужесточение регулирования оборота наиболее опасных персистентных пестицидов. Также современные технологии позволяют значительно сократить объемы применяемых пестицидов за счет дифференцированного внесения средств защиты с учетом реальных потребностей, мониторинга состояния посевов с помощью дистанционного зондирования и дронов, прогнозирования вспышек численности вредителей с использованием искусственного интеллекта.

Содержание ядохимикатов в почвах агроценозов Ростовской области, мг/кг

Пробная площадка	Тип почв	Группа пестицида	Ядохимикат	Почва
Чертковский район	Черноземы южные	Хлорорганические	ГХЦГ и его изомеры	<0,005
			ДДТ и его метаболиты	<0,005
			Алдрин	<0,001
			Гептахлор	<0,001
		Сим-триазиновые	Атразин	<0,001
			Симазин	<0,001
			Прометрин	<0,001
Производные 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты	2,4-Д	<0,001		
Цимлянский район	Черноземы солонцеватые	Хлорорганические	ГХЦГ и его изомеры	<0,005
			ДДТ и его метаболиты	<0,005
			Алдрин	<0,001
			Гептахлор	<0,001
		Сим-триазиновые	Атразин	<0,001
			Симазин	<0,001
			Прометрин	<0,001
Производные 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты	2,4-Д	<0,001		
ПДК [13]		Хлорорганические	ГХЦГ и его изомеры	0,1
			ДДТ и его метаболиты	0,1
			Алдрин	Не нормируется
			Гептахлор	0,05
		Сим-триазиновые	Атразин	0,5 (транслокационный)
			Симазин	0,2 (транслокационный) 0,01 (фитосанитарный)
			Прометрин	0,5 (транслокационный)
		Производные 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты	2,4-Д	Не нормируется

Выводы

Загрязнение почв пестицидами представляет собой многоаспектную проблему, требующую комплексного подхода к решению. Ростовская область в условиях интенсивного сельского хозяйства требует усиленного контроля за пестицидным загрязнением почв. Проведенные исследования подтверждают экологическую безопасность почв агроценозов Чертковского и Цимлянского районов Ростовской области в отношении хлорорганических, сим-триазиновых пестицидов, а также производных 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты. Полученные результаты создают предпосылки для развития органического растениеводства и сертификации продукции как экологически чистой, что позволяет позиционировать регион как благоприятную зону для растительного производства.

Список литературы

1. 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.

2. *Ашихмина Т. Я., Колупаев А. В., Широких А. А.* Биотрансформация пестицидов в наземных экосистемах (обзор литературы) // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 2. С. 4–12.
3. *Громова В. С., Пчеленок О. А., Шушпанов А. Г.* Изучение влияния современных видов пестицидов на биологическую активность почвы // Экология ЦЧО РФ. 2012. № 2 (29). С. 128–130
4. *Делова О. В., Денисенко В. И.* Гигиеническая оценка факторов окружающей среды и риска для здоровья населения // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. № 4. С. 810–813.
5. *Дьякова Н. А.* Особенности накопления хлорорганических пестицидов в лекарственном растительном сырье Воронежской области // Ульяновский медико-биологический журнал. 2024. № 1. С. 115–129. DOI 10.34014/2227-1848-2024-1-115-129.
6. *Дьякова Н. А., Самылина И. А., Сливкин А. И., Гапонов С. П., Кукуева Л. Л., Мындра А. А.* Анализ загрязненности лекарственного растительного сырья Воронежской области наиболее опасными пестицидами // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2015. № 3. С. 112–115.
7. *Заряева Е. В.* Анализ данных регионального мониторинга содержания пестицидов в объектах окружающей среды Воронежской области // Вестник новых медицинских технологий. 2011. № 2. С. 476–478.
8. *Ижевский С. С.* Негативные последствия применения пестицидов // Защита и карантин растений. 2006. № 5. С. 16–19.
9. *Клисенко М. А.* Методы определения микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде. М.: Колос, 1983. 123 с.
10. *Лазарев Н. В., Левина Э. Н.* Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Органические вещества. Л.: Химия, 1976. 592 с.
11. *Мельников Н. Н.* Пестициды. Химия, технология и применение. М.: Химия, 1987. 712 с.
12. 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. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003852> (Дата обращения: 25.08.2025).
13. СанПиН 1.2.3.685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М., 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 25.08.2025).
14. *Селиванова Ю. А., Дьякова Н. А., Вервикина А. А., Сливкин А. И.* Изучение содержания посторонних минеральных примесей в лекарственном растительном сырье синантропной флоры Ростовской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2022. №2. С. 90–95.
15. *Селиванова Ю. А., Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Вервикина А. А.* Исследование общего минерального комплекса лекарственного растительного сырья синантропной флоры Ростовской области // Вестник Смоленской медицинской академии. 2022. № 21(4). С. 205–210. DOI: 10.37903/vsgma.2022.4.28.
16. *Семеренко С. А., Бушнева Н.А.* Влияние пестицидов на почвенную микрофлору (обзор) // Масличные культуры. 2024. № 4 (200). С. 132-140. DOI: 10.25230/2412-608X-2024-4-200-132-140.
17. *Тулакин А. В., Механтьева Л. Е., Куролап С. А.* Гигиена окружающей и производственной среды предприятий минеральных удобрений. М.: Истоки, 2007. 220 с.
18. Управление Роспотребнадзора по Ростовской области. [Электронный ресурс]. URL: <https://61.rospotrebnadzor.ru/> (дата обращения: 26.08.2025).

19. Федеральное государственное бюджетное учреждение государственный центр агрохимической службы «Ростовский». [Электронный ресурс]. URL: <https://gcas-rostovskiy.orgs.biz/> (дата обращения: 26.08.2025).
20. Чубирко М. И., Мамчик Н. П., Механтьев Л. Е. Гигиенические проблемы применения пестицидов // Гигиена: прошлое, настоящее, будущее. 2001. № 1. С. 239–240.
21. Экологический Вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2023 году». Под общ. ред. М. В. Фишкина. Ростов-На-Дону: ООО «Принт», 2024. 372 с.
22. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. [Электронный ресурс] URL: <https://www.atsdr.cdc.gov> (дата обращения: 26.08.2025).
23. Gevaio B., Semple K. T., Jones K. C. Bound pesticide residues in soils: a review // Environmental Pollution. 2000. Vol. 108. P. 3–14.
24. Islam W., Noman A., Naveed H., Huang, Z., Chen H. Y. H. Role of environmental factors in shaping the soil microbiome // Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27 (33). P. 41225–41247.
25. Pavlova Yu. A., Slivkin A. I., Dyakova N. A., Vervikina A. A. Study of Flavonoid Accumulation Patterns in Common Yarrow Herb of Synanthropic Flora in Rostov Oblast // Russian Agricultural Sciences. 2024. № 50(4). P. 418–422. DOI: 10.3103/S1068367424700460.
26. Ponneelan K. T. P. B., Subramanian C., Suchitra R., Canech K. C. Studies on the pesticide (Lindane) utilizing in the paddy field // Journal of ecotoxicology & environmental monitoring. 2006. Vol. 16. No. 3. P. 211–214.
27. Sokol N. W., Slessarev E., Marschmann G. L., Nicolas A., Blazewicz S. J., Brodie E. L. Life and death in the soil microbiome: how ecological processes influence biogeochemistry // Nature Reviews Microbiology. 2020. Vol. 20. P. 415–430.
28. Strickland M. S., Rousk J. Considering fungal: bacterial dominance in soils – methods, controls, and ecosystem implications // Soil Biology and Biochemistry. 2010. Vol. 42. P. 1385–1395.

Поступила в редакцию 01.09.2025 г.

Pavlova Yu. A., Dyakova N. A. Soil pollution of agrocenoses of Rostov region with the most persistent pesticides. – The article presents the results of the study of soil pollution of some agrocenoses of the Rostov region with the most persistent pesticides. The ecological safety of the studied soils with respect to organochlorine, sim-triazine pesticides derived from 2,4-dichlorophenoxyacetic acid has been confirmed. The obtained results create prerequisites for the development of organic crop production and certification of products as environmentally friendly, which makes it possible to position the region as a favorable agricultural zone.

Keywords: soils, Rostov region, organochlorine pesticides, sim-triazine pesticides, 2,4-dichlorophenoxyacetic acid derivatives.

Павлова Юлия Александровна

доцент кафедры фармацевтической технологии фармацевтического факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, РФ.
E-mail: u.a.selivanova@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-1204-927X
AuthorID: 1108905

Pavlova Yulia Aleksandrovna

Associate Professor of Department of Pharmaceutical Technology, Faculty of Pharmacy, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation.

Дьякова Нина Алексеевна

доктор фармацевтических наук, доцент, доцент кафедры фармацевтической технологии фармацевтического факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, РФ.
E-mail: ninochka_v89@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0766-3881
AuthorID: 684554

Dyakova Nina Alekseevna

Doctor of Pharmaceutical Sciences, Docent, Associate Professor of Department of Pharmaceutical Technology, Faculty of Pharmacy, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation.