



Синицкая Т.А., Плетенев П.А., Бухонов А.В.

Санитарно-эпидемиологическая оценка состояния почв Российской Федерации (обзор литературы)

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия

РЕЗЮМЕ

В рамках настоящего исследования описаны результаты санитарно-эпидемиологической оценки качества почвы субъектов Российской Федерации (далее — РФ), основанные на результатах мониторинга Роспотребнадзора за последние 10 лет, как возможного фактора риска для здоровья населения. Представлен сравнительно-динамический анализ проб почвы по санитарно-химическим, микробиологическим, паразитологическим и энтомологическим показателям в субъектах РФ. Проанализированы результаты мониторинга с 2015 по 2024 г. (более 2 млн проб почв), выполнено сравнение с данными, представленными в отечественных и зарубежных источниках информации, — Scopus, Web of Science, PubMed, РИНЦ и др.

Установлено снижение количества проб с неудовлетворительными показателями, что свидетельствует о положительной динамике. Значительное улучшение отмечается по санитарно-химическим и паразитологическим показателям. Однако с 2021 по 2024 г. наблюдалось увеличение доли проб, не отвечающих нормативам по микробиологическим показателям, а также имеющих остаточное загрязнение стойкими органическими загрязнителями [дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и гексахлорциклогексан (ГХЦГ)].

Анализ данных свидетельствует о необходимости усиления контроля микробиологических показателей почв, позволяющих оценивать их санитарное состояние, и содержания стойких органических загрязнителей, поскольку почва, сорбируя их, является долгосрочным хранилищем загрязняющих веществ. Эти направления стратегически важны для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, достижения целей производственной безопасности и устойчивого развития территорий.

Ключевые слова: качество почвы; санитарно-эпидемиологическое состояние почв; санитарно-химические показатели загрязнения почвы; микробиологические показатели загрязнения почвы; паразитологические показатели загрязнения почвы; энтомологические показатели загрязнения почвы; геохимические провинции; тяжёлые металлы; приоритетные загрязняющие вещества; стойкие органические загрязнители почвы

Для цитирования: Синицкая Т.А., Плетенев П.А., Бухонов А.В. Санитарно-эпидемиологическая оценка состояния почв Российской Федерации (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2026; 105(3): 257–266. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-3-257-266> <https://elibrary.ru/fxcqki>

Для корреспонденции: Плетенев Павел Александрович, e-mail: pletenev.pa@fncg.ru

Вклад авторов: Синицкая Т.А. — редактирование; Плетенев П.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и анализ литературных данных, написание текста, редактирование; Бухонов А.В. — сбор и анализ литературных данных, редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 28.11.2025 / Принята к печати: 24.03.2026 / Опубликовано: 17.04.2026

Tatyana A. Sinitskaya, Pavel A. Pletenev, Aleksandr V. Bukhonov

Sanitary and epidemiological assessment of the state of soils in the Russian Federation (literature review)

Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141000, Russian Federation

ABSTRACT

This study describes the results of a sanitary and epidemiological assessment of soil quality in the constituent entities of the Russian Federation (RF), based on the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor) monitoring over the past 10 years, as a potential risk factor for harm to public health. A comparative dynamic analysis of soil samples for sanitary-chemical, microbiological, parasitological, and entomological indicators in the constituent entities of the RF is presented. Monitoring results from 2015 to 2024, containing information on more than 2 million soil samples, are analyzed. The obtained results are compared with the results of scientific literature and analyzed. The information was obtained through the analysis of domestic and foreign information sources — Scopus, Web of Science, PubMed, RSCI, etc.

Over the specified period, a positive trend was shown to be observed in the reduction in the number of samples with unsatisfactory indicators. Significant improvements are noted for sanitary-chemical and parasitological indicators. However, from 2021 to 2024, an increase was observed in the proportion of samples failing to meet to microbiological criteria, as well as those with residual contamination by persistent organic pollutants such as dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and hexachlorocyclohexane (HCH).

The data analysis demonstrates the need to strengthen monitoring for soil microbiological parameters, which allow assessing their sanitary condition, and the content of persistent organic pollutants in soils. Soil, by absorbing these pollutants, acts as a long-term reservoir for pollutants. Under current conditions, all of the above is a strategic necessity for ensuring the sanitary and epidemiological well-being of the population, food security, and the sustainable development of populated areas.

Keywords: soil quality; sanitary and epidemiological condition of soils; sanitary and chemical indicators of soil pollution; microbiological indicators of soil pollution; parasitological indicators of soil pollution; entomological indicators of soil pollution; geochemical provinces; heavy metals; priority pollutants; persistent organic pollutants of soil

For citation: Sinitskaya T.A., Pletenev P.A., Bukhonov A.V. Sanitary and epidemiological assessment of the state of soils in the Russian Federation (literature review). *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2026; 105(3): 257–266. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-3-257-266> <https://elibrary.ru/fxcqki> (In Russ.)

For correspondence: Pavel A. Pletenev, e-mail: pletenev.pa@fncg.ru

Contributions: Sinitskaya T.A. — editing; Pletenev P.A. — study concept and design, literature collection and analysis, writing, editing; Bukhonov A.V. — literature collection and analysis, editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: November 28, 2025 / Accepted: March 24, 2025 / Published: April 17, 2026

Почва — это рыхлый минеральный или органический материал, состоящий из трёх фаз (твёрдой, жидкой и газообразной), находящийся на поверхности Земли и образующийся в результате процессов выветривания при взаимодействии литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы [1]. Почва служит средой обитания для микро- и макроорганизмов, растений и животных и таким образом поддерживает жизнь человека и цивилизации [1, 2]. Ранее даже само определение почвы служило интересам сельского хозяйства, что отражено в двух современных системах классификации почв [3, 4] — Всемирной справочной базы (World Reference Base, WRB) и Рабочей группы Международного союза почвоведов (IUSS Working Group WRB, 2022). В настоящее время почва, которой часто не уделяли должного внимания, стала восприниматься как важнейший ресурс, а почвенная безопасность рассматривается как основа пяти жизненно важных аспектов человеческой цивилизации: продовольственной и водной безопасности [5], смягчения последствий изменения климата, защиты биоразнообразия, предоставления экосистемных услуг и энергетической устойчивости [1]. Почвоведы совместно с гигиенистами должны уделять больше внимания взаимодействию человека и почвы, разрабатывать устойчивые решения для сохранения почв, в числе которых природоориентированные решения, био- и фиторемедиация и другие стратегии.

Санитарно-эпидемиологическая оценка почвы — это комплексное исследование, направленное на оценку качества и безопасности почвы для человека, а также разработку устойчивого решения для сохранения почв. Требования к качеству почвы, имеющие своей целью защиту здоровья населения, установлены Федеральным законом № 52-ФЗ¹ и СанПиН 1.2.3685–21². Указанные нормативы охватывают санитарно-химические, бактериологические, паразитологические и энтомологические показатели почв. Соответствующая вышеуказанным показателям почва не имеет превышений предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ, не содержит патогенных бактерий, гельминтов и личинок синантропных мух, а также соответствует нормативам по санитарному числу — показателю, косвенно характеризующему способность почвы к самоочищению от органических загрязнений.

Цели санитарно-эпидемиологической оценки почв — определение их безопасности для здоровья человека и окружающей среды, выявление источников загрязнения, оценка риска возникновения инфекционных и неинфекционных болезней, разработка мер по реабилитации и обеспечению безопасного проживания населения и производства. Это достигается через гигиеническую оценку химических и микробиологических показателей для предотвращения вреда от токсичных веществ и патогенных микроорганизмов, контроля качества почвы [6].

В работе обобщены результаты исследований, проведённых в России и за рубежом. Информация получена посредством анализа отечественных и зарубежных источников информации — Scopus, Web of Science, PubMed, РИНЦ и др. Для поиска в базах данных PubMed, Scopus и Web of Science использовали фильтры на английском языке. Критерии включения, обеспечивающие единообразие оценки исследований, были разработаны заранее. В обзор включены работы, опубликованные в период с 1970 г. по март 2026 г.

Почвы естественных экосистем находятся в состоянии динамического равновесия [3, 7–9]. Освоение целинных земель для нужд сельского хозяйства нарушает этот баланс [10–13]. Постоянное изъятие с урожаем значительной части биоген-

ных элементов приводит к прогрессирующему обеднению почвенного плодородного слоя в агроценозах [14]. Для компенсации этих потерь и поддержания продуктивности агроценозов вносят органические и минеральные удобрения [15]. Нерациональное применение удобрений и средств защиты растений усугубляет ситуацию: провоцирует деградационные процессы, угнетает естественные почвенные биоценозы, нарушает процессы самоочищения и может привести к необратимому снижению плодородия [3, 15–17].

Особую опасность для почвенного микробиоценоза представляют тяжёлые металлы и стойкие органические загрязнители (СОЗ), применяемые в качестве ядохимикатов [4, 18–21]. СОЗ признаны веществами, представляющими серьёзную опасность для здоровья человека и окружающей среды. Поэтому несколько групп СОЗ, в том числе многие отдельные соединения, были включены в список Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях [22]. СОЗ способны накапливаться не только в почве, но и в воде, донных отложениях водоёмов. После попадания в объекты окружающей среды тяжёлые металлы включаются в пищевые цепи, переходят из почвы и воды в растения, затем в животных, а в конечном итоге могут попасть с пищей в организм человека [2, 4, 18, 19, 23–27].

Антропогенный круговорот веществ, формируемый в настоящее время сельскохозяйственной деятельностью человека, по масштабу сопоставим с материальными потоками промышленного производства. При этом объёмы производства и применения агрохимикатов (минеральных удобрений) и пестицидов продолжают неуклонно расти [28]. Нерациональное и недостаточно регламентированное их использование вызывает серьёзный дисбаланс в естественных циклах биогенных элементов, что ведёт к глобальному нарушению круговорота веществ не только в агроценозах, но и в биосфере.

Наряду с биоремедиацией (*ex situ*, *in situ*) и фиторемедиацией (фитоэкстракция, рекультивация) почв для борьбы с истощением и загрязнением природных ресурсов необходимо принимать меры по их сохранению и рациональному использованию. Поэтому существует потребность непрерывного контроля и строгого нормирования содержания поллютантов не только в почве, но и в других объектах окружающей среды. Это позволит предотвратить загрязнение почв и (или) их полное истощение [10].

Согласно ст. 21 ФЗ № 52¹, в почвах городских и сельских поселений, сельскохозяйственных угодий Российской Федерации содержание потенциально опасных для человека химических и биологических веществ, биологических и микробиологических организмов, а также уровень радиационного фона не должны превышать предельно допустимых концентраций (уровней), установленных санитарными правилами. Отдельному регулированию подвергаются пестициды (ФЗ № 109³), относящиеся к основным экстенсивным загрязнителям объектов окружающей среды. Целенаправленное использование пестицидов в агроэкосистемах преследует хозяйственные цели. Обладая высокой биологической активностью, стойкостью и способностью мигрировать в объектах окружающей среды (почва ↔ вода ↔ воздух ↔ растения), эти вещества включаются в биогеохимический цикл, тем самым обуславливая прямое и опосредованное воздействие поллютантов на здоровье людей.

Основные санитарно-эпидемиологические требования к качеству почв населённых мест в Российской Федерации определены действующими СанПиН 2.1.3684–21⁴

³ Федеральный закон «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» от 19.07.1997 г. № 109-ФЗ (дата обращения: 12.12.2025 г.).

⁴ СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (дата обращения: 12.12.2025 г.).

¹ Статья 21. «Санитарно-эпидемиологические требования к почвам, содержанию территорий городских и сельских поселений, промышленным площадкам» Федерального закона от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ (ред. от 01.09.2025 г.) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

² СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

и СанПиН 1.2.3685–21⁵. Последние содержат перечень гигиенических нормативов содержания загрязняющих веществ в почве, а также критерии оценки степени её загрязнения. Почва функциональных зон – критически важный компонент городской экосистемы и фактор здоровья населения. От её качества зависят эпидемиологическая, токсикологическая безопасность и психоэмоциональное благополучие населения. В связи с этим Роспотребнадзор уделяет пристальное внимание контролю качества почв функциональных зон на территории России, а мониторинг качества почв и выполнение санитарных норм рассматриваются как базовая инвестиция в общественное здоровье и устойчивое развитие населённых пунктов. Индустриализация и технологический прогресс последних 60 лет привели к появлению в городах по всему миру больших участков заброшенных, малоиспользуемых и потенциально загрязнённых земель. Эти территории, которые обычно называют заброшенными участками, требуют тщательного мониторинга и восстановления [29, 30]. При этом для оценки риска вредного воздействия тяжёлых металлов, пестицидов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и других химических веществ часто используют специальные методики (индекс загрязнения Немероу, индекс экологического риска Хакансона, композиционный и корреляционный анализ) [20, 31–37]. Для оценки долгосрочных рисков для окружающей среды и здоровья человека важно также понимать, как атмосферные загрязнители взаимодействуют с загрязнением почвы [38]. Результаты сравнительного анализа показывают значительную корреляцию между концентрациями в воздухе и почве некоторых ПАУ и полициклических ароматических соединений (ПАС), особенно при усреднении данных о загрязнении воздуха за длительные периоды (до 6 мес), что указывает на кумулятивный эффект осаждения [38].

В 2024 г. органами и организациями Роспотребнадзора отобрано и исследовано суммарно 236 495 проб почв различных функциональных зон⁶, из них по показателям:

- санитарно-химическим показателям – более 45,4 тыс. проб (более 19,2% всех проб почвы);
- микробиологическим – более 69 тыс. проб (< 29,2%);
- паразитологическим – более 94,5 тыс. проб (< 39,9%);
- энтомологическим – более 15,5 тыс. проб (< 6,5%);
- радиационным – 11,8 тыс. проб (5%);
- вирусологическим – 22 пробы (0,01%).

Данные, представленные на **рис. 1**, показывают, что основное внимание в рамках контроля качества почв уделяется игровым зонам на территориях детских организаций (44,3% всех отобранных и проанализированных образцов). Важно, что именно в этой функциональной зоне определён наименьший процент проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам, – 1,7%. Повышенная чувствительность детей к поллютантам ставит в ряд приоритетов государства задачу создания безопасной среды обитания [1, 39].

Наибольшее количество проб, не соответствующих гигиеническим нормативам (6,55%), отмечено на территориях сельскохозяйственного и частного приусадебного назначения. Этот процент указывает на угрозу продовольственной и экологической безопасности страны. За период с 2015 по 2024 г. доля почв, в которых было отмечено превышение гигиенических нормативов, снизилась незначительно: с 3,82% в 2015 г. до 3,03% в 2024 г. (**рис. 2**).

Не менее важны для сохранения здоровья населения микробиологические параметры почв функциональных зон [38]. В ряде случаев они являются даже более важным индикатором непосредственной опасности для здоровья населения, чем химическое загрязнение. В отличие от тяжёлых



Рис. 1. Количество исследований (*n*) почвы по функциональным зонам и доля проб (%) почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам, в 2024 г.

Fig. 1. The number (*n*) of soil studies by functional zones and the proportion (%) of soil samples that do not meet hygienic standards in 2024.

металлов, которые действуют хронически и отдалённо, патогенные микроорганизмы и яйца гельминтов могут вызвать острые массовые болезни в кратчайшие сроки после паводков, прорыва канализации, выпаса скота и также снижаться под воздействием УФ-излучения, высушивания, конкуренции с аборигенной микрофлорой [40]. Именно поэтому при гигиенической оценке любой функциональной зоны химические и микробиологические показатели анализируют в комплексе, раскрывая полную картину рисков для здоровья населения. Так, проведённый метаанализ, обобщающий 914 наборов данных из 72 исследований, позволил количественно оценить влияние тяжёлых металлов на микроорганизмы [41]. Результаты общего эффекта показывают, что тяжёлые металлы негативно влияют на большинство микробиологических показателей: численность бактерий (–38%), численность грибов (–18%), содержание углерода в микробной биомассе (–42%), содержание азота в микробной биомассе (–44%), активность арилсульфатазы (–45%) и дегидрогеназы (–66%) значительно снизились ($p < 0,01$) [42]. В исследовании [43] показано влияние загрязнения тяжёлыми металлами на почвенные микроорганизмы, растения и здоровье человека.

Очевидно, что загрязнение почв тяжёлыми металлами не только увеличивает риски для здоровья населения, но и опосредованно снижает потенциал самоочищения почвы, тем самым создавая благоприятную среду для размножения патогенной микрофлоры [44]. Пренебрежение микробиологией при контроле почвы может быть равносильно игнорированию наиболее вероятной и быстрой угрозы возникновения вспышек инфекционных и паразитарных болезней.

⁵ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

⁶ Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации в 2024 году». Размещён: 1 июня 2025 г. (дата обращения: 12.12.2025 г.).



Рис. 2. Доля проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам в Российской Федерации (2015–2024 гг.).

Fig. 2. The share of soil samples that do not meet hygienic standards in the Russian Federation in 2015–2024.

Анализ динамики санитарно-химических, микробиологических и паразитологических показателей почв за период с 2015 по 2024 г. показал снижение по санитарно-химическим (на 28,1%), микробиологическим (на 4,55%); паразитологическим – на 51,2% показателям с преобладанием микробиологического загрязнения над остальными (рис. 3).

В то же время наиболее благоприятная динамика отмечается по паразитологическим показателям. За последние десять лет доля проб, не соответствующих нормативам, в этой категории имеет тренд к постоянному снижению. Ос-

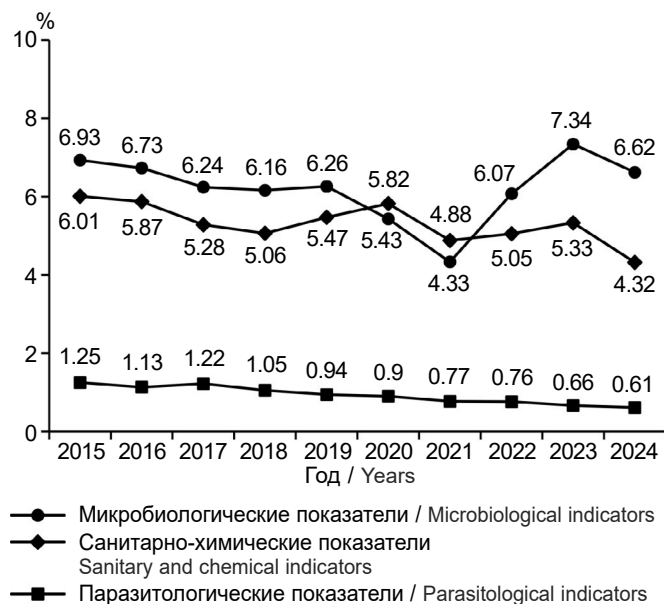


Рис. 3. Доля проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим, микробиологическим и паразитологическим показателям (2015–2024 гг.), %.

Fig. 3. The share of soil samples that do not meet hygienic standards for sanitary-chemical, microbiological, and parasitological indicators, 2015–2024, %.

новной вклад в долю неблагоприятных показателей вносят жизнеспособные яйца (0,5%) и личинки (0,07%) гельминтов. Ключевыми источниками загрязнения почв селитебной зоны гельминтами являются домашние и бродячие животные [7, 8, 45].

В РФ уборка за домашними питомцами при выгуле в местах общего пользования регламентируется ФЗ № 498⁷, который обязывает владельцев животных убирать продукты их жизнедеятельности. Если домашних питомцев регулярно дегельминтизируют, то бродячие и дикие животные, обитающие в условиях городской среды, вносят значительный вклад в загрязнение почвы гельминтами [46–48]. Следовательно, безответственное поведение хозяев животных, а также наличие в селитебной зоне свободно живущих кошек, собак обуславливают фекальное загрязнение почв. Начиная с 2021 г. происходило увеличение доли проб, не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям. Это может свидетельствовать о снижении супрессирующей активности почвы, то есть о возможной скрытой деградации задолго до проявления вспышек болезней и накопления патогенной микрофлоры [49]. Данный тезис дополнительно подтверждается динамикой изменения доли проб почв, не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям, в функциональных зонах (рис. 4). Анализ данных показал, что с 2022 г. несоответствие почв гигиеническим нормативам увеличилось во всех функциональных зонах, за исключением категории «прочее».

Для преодоления вышеуказанных проблем целесообразно проводить мониторинг и восстановление супрессивной активности почв (через внесение органики, использование сидератов, биопрепаратов на основе антагонистов, щадящую обработку), которые должны стать неотъемлемой частью стратегии улучшения санитарно-эпидемиологического состояния почв всех функциональных зон, особенно сельскохозяйственных. Такой переход от борьбы с последстви-

⁷ Федеральный закон «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 27.12.2018 г. № 498-ФЗ (последняя редакция).

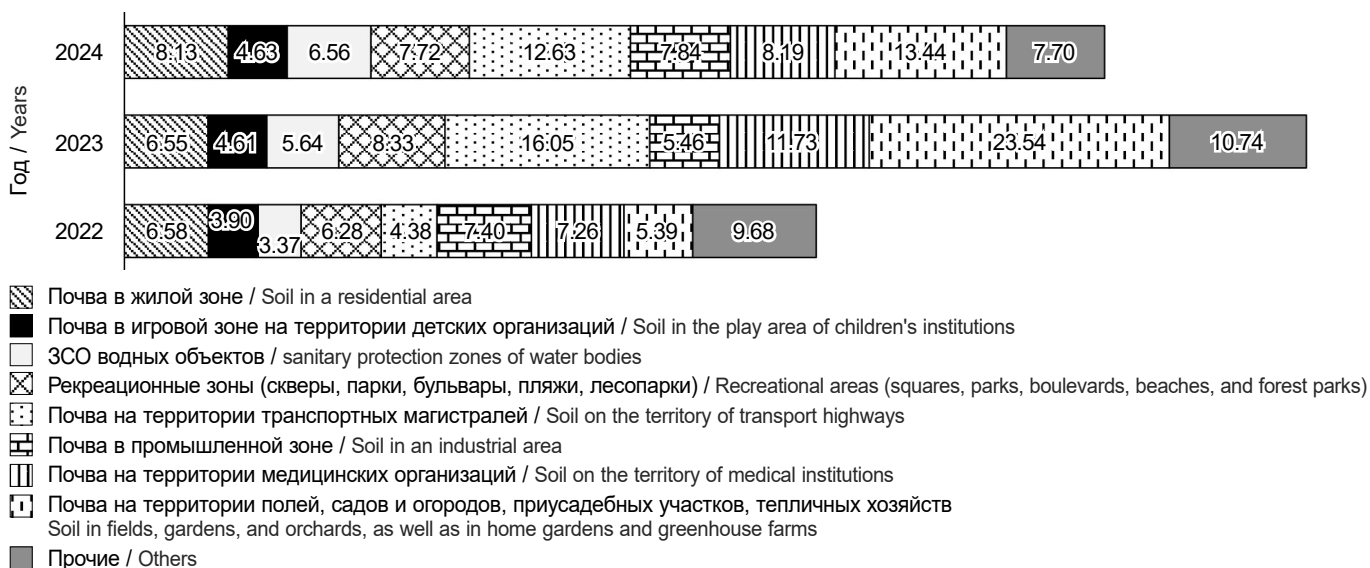


Рис. 4. Доля проб почв, не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям в функциональных зонах (2022–2024 гг.), %.

Fig. 4. The share of soil samples, that do not meet hygienic standards for microbiological indicators in functional zones (2022–2024), %.

ями к управлению экосистемной устойчивостью относится к природоориентированным решениям.

В Государственном докладе «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации в 2023 году»⁸ отмечено неуклонное увеличение среднероссийского показателя микробиологического загрязнения почв в жилой и игровых зонах, в том числе на территориях детских и медицинских учреждений. Так, в 2023 г. такой рост отмечен в 29 субъектах РФ, а в 2024 г. — в 36⁶. Превышение нормативов отмечается в основном по содержанию колиформных бактерий и энтерококков, что может косвенно указывать на дисбаланс естественной микрофлоры, вызванный фекальным загрязнением [50].

При оценке влияния почв на здоровье населения отдельного внимания заслуживают урбанозёмы — почвы городских территорий [51, 52]. Урбанозёмы имеют искусственное происхождение, создаются в процессе формирования городской среды. Они функционируют под воздействием тех же факторов почвообразования, что и естественные почвы, но с добавлением специфического в городской среде антропогенного фактора (влияние транспорта, промышленности, строительства) [53].

Постоянная нагрузка на почвенную систему приводит к изменению её основных компонентов и характеристик: агрохимических, физических, микробиологических и биохимических свойств [54, 55]. Загрязнённая городская почва может быть источником вторичного загрязнения атмосферного воздуха и воды, благоприятной средой для сохранения и размножения жизнеспособных патогенных микроорганизмов, яиц гельминтов и личинок насекомых — переносчиков кишечных инфекций, гельминтозов, паразитозов. Для минимизации антропогенной нагрузки на качественные и количественные показатели почв городских территорий необходимо не только внедрять экологичные технологии и систематически поддерживать баланс питательных веществ, но и контролировать активность почвенных микроорганизмов и вирусов.

Отдельного внимания требует вирусологическая оценка качества почв. Это направление исследований позволяет расширить контроль санитарно-вирусологического состояния почв. Такие исследования играют важную роль в про-

филактике инфекционных болезней, а при возникновении эпидемических вспышек позволяют выявлять источники первичного заражения.

За последние несколько лет сотрудниками отдела микробиологических методов исследования окружающей среды ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» достигнуты значительные результаты в диагностике патогенных вирусов. В частности, результатом стали подготовленные и направленные на утверждение методические указания «Определение патогенных вирусов в почве методом полимеразной цепной реакции (ПЦР)».

Анализ данных о санитарно-химическом состоянии почв за период с 2015 по 2024 г. выявил положительную динамику: произошло снижение удельного веса проб почв, не соответствующих нормативам по вирусологическим показателям, — с 6,96% в 2015 г. до 4,66% в 2024 г.

В отличие от патогенных микроорганизмов, способных вызвать острые массовые болезни в кратчайшие сроки, тяжёлые металлы в почве действуют длительно и отдалённо. Иными словами, тяжёлые металлы в почве представляют собой латентную, неумолимую угрозу. Хроническое и отдалённое действие тяжёлых металлов требует долгосрочной научно обоснованной стратегии, которая предполагает не только мониторинговые наблюдения и строгое нормирование в почве, но и применение технологий, позволяющих снижать подвижность тяжёлых металлов для предотвращения их в растениях.

Именно из-за хронического и отдалённого негативного воздействия тяжёлые металлы в почве рассматриваются как приоритетные стойкие токсичные вещества (СТВ), контроль которых является основой профилактики неинфекционной заболеваемости [18, 25, 27, 56].

Так, согласно «Обзору состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2024 год»⁹, подготовленному Научно-производственным объединением «Тайфун», входящим в структуру Росгидромета, с 2020 по 2024 г. в Кировграде Свердловской области содержание свинца в почвах увеличилось в среднем в 18 раз, максимально — в 70 раз; содержание цинка выросло в среднем в 18 раз, максимально — в 135 раз; содержание меди — в 62 раза, а максимально — в 300 раз, содержание кадмия — в среднем

⁸ Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году». Размещён: 31 мая 2024 г.

⁹ Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2024 год (актуализирован 2 июля 2025 г.).

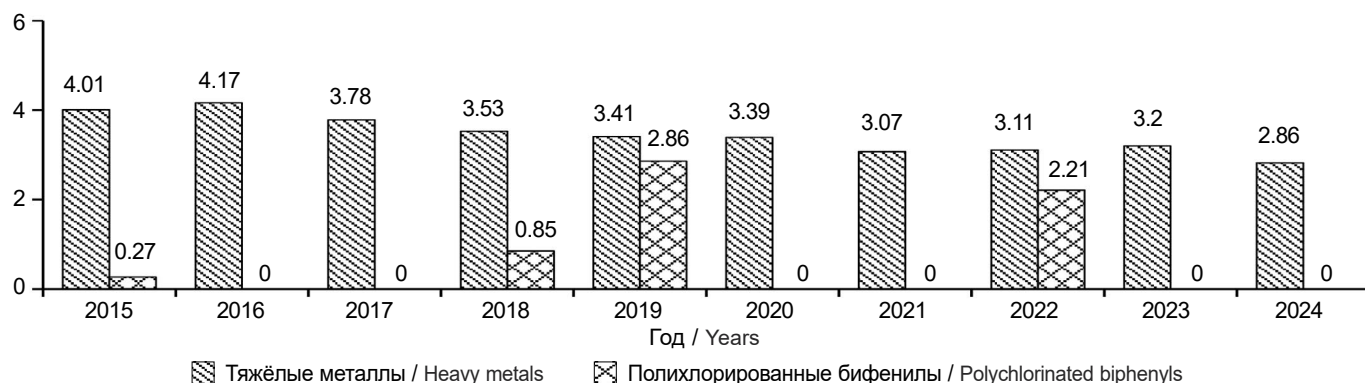


Рис. 5. Доля проб почвы с превышением гигиенических нормативов по содержанию тяжёлых металлов и полихлорированных бифенилов в жилой зоне, игровых зонах на территории детских и медицинских организаций (2015–2024 гг.), %.

Fig. 5. The proportion of soil samples with excess hygienic standards for the content of heavy metals and polychlorinated biphenyls in residential areas, play areas on the territory of children's institutions, medical institutions, 2015–2024, %.

в 3 раза, максимально — в 9 раз. В других промышленных городах также наблюдается достаточно серьёзная ситуация. Например, в Дальнегорске Приморского края содержание подвижных форм свинца в почве в среднем в 8 раз выше гигиенического норматива, а максимальное превышение отмечено на уровне 18 ПДК; среднее превышение содержания цинка в почве — 5 раз, а максимальное — 14 раз.

Действительно, в старых промышленных городах ситуация с загрязнением почв тяжёлыми металлами выглядит ужасающе, но всё же проводимые мероприятия по снижению этой нагрузки дают результаты: в многолетней динамике по стране наблюдается снижение удельного веса неудовлетворительных проб, в том числе по содержанию тяжёлых металлов (рис. 5), как на территориях жилой зоны, так и в игровых зонах детских и медицинских организаций.

Среди приоритетных тяжёлых металлов основной вклад в превышение гигиенических нормативов вносят никель (1,7%), свинец (0,99%), мышьяк (0,66%), кадмий (0,22%) и ртуть (0,18%). В целом доля неудовлетворительных проб невелика, но эти химические элементы являются канцерогенами, поэтому постоянный контакт с ними как при ингаляционном, так и при дермальном поступлении потенциально опасен, особенно для детей и подростков. Тем не менее существуют мероприятия, снижающие риск. Например, борьба с пылью уменьшает экспозиционные риски для населения. Обустройство и уход за придомовыми территориями уменьшают склонность почвы к пылению и связывают в ней тяжёлые металлы. Общеизвестно, что тяжёлые металлы формируют с органическим веществом почвы комплексные соединения, делая их менее доступными для растений. Кроме того, в почвах с нейтральной и щелочной реакцией среды подвижность солей тяжёлых металлов значительно снижается [5, 18, 56].

На рис. 5 представлены изменения удельного веса проб почвы с превышением гигиенических нормативов по содержанию тяжёлых металлов и полихлорированных бифенилов (ПХБ). Многолетняя динамика не имеет какой-либо закономерности, что указывает на отсутствие массового загрязнения почв этими СОЗ, но даже периодическое их выявление в количествах, превышающих установленные гигиенические нормативы, особенно в местах массового пребывания людей, вызывает опасения. ПХБ в России не производятся с 1993 г. согласно требованиям Стокгольмской конвенции¹⁰, однако по-прежнему разрешено использовать содержащее

ПХБ оборудование (трансформаторы, конденсаторы, содержащие жидкие остатки вещества) до 2025 г. При этом с 2028 г. необходимо полностью ликвидировать оборудование, содержащее ПХБ.

Поскольку ПХБ используются преимущественно как диэлектрические жидкости в трансформаторах или конденсаторах, основными источниками поступления этих веществ в объекты окружающей среды остаются станции и подстанции распределительных сетей, а также мусоросжигательные заводы, где ПХБ могут формироваться при сжигании отходов [57–59]. Попавшие в почву с различными миграционными потоками ПХБ могут перемещаться на достаточно большие расстояния, вызывая загрязнение водоёмов, воздуха и вторичное загрязнение почв.

Опасность ПХБ, как и других СОЗ, заключается в их высокой токсичности, стойкости к разложению в окружающей среде, способности к переносу на большие расстояния с водными, воздушными течениями и накоплению в биологических организмах. Экспериментально доказано, что уровни СОЗ в окружающей среде имели максимальные концентрации на пике их производства в 1960–1980 гг. В дальнейшем, после введения запрета на производство и применение этих веществ, уровни загрязнения постепенно снижались, однако до настоящего времени СОЗ представляют собой серьёзную экологическую угрозу не только для почвы, но и для атмосферы, а также значительный риск для здоровья человека и различных компонентов лесных экосистем [60]. СОЗ подвержены переносу пылевыми частицами по воздуху на большие расстояния, накоплению в абиотических матрицах, биоаккумуляции в живых организмах [46, 53]. Так, СОЗ в высоких концентрациях обнаруживаются на отдалённых от промышленного производства территориях [60, 61], а в последнее время эти соединения находят даже в Арктике [62, 63].

На данный момент список Приложения А к Стокгольмской конвенции, в соответствии с которым перечисленные в нём вещества подлежат ликвидации, содержит 26 веществ или групп веществ, и большая их часть относится к пестицидам, в том числе хлорорганическим (ХОП), которые широко производились и применялись в XX веке во всём мире. ХОП, поименованные в Стокгольмской конвенции, в РФ на протяжении долгого времени не применяются и не производятся [64], поэтому единственными источниками поступления этих веществ в почву могут быть утечки из мест хранения в процессе ликвидации или обезвреживания [65].

В 1970 г. было принято решение об изъятии на всей территории СССР высокотоксичных инсектицидов из ас-

¹⁰ Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. <https://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?e=UNEP-POPS-COP-CONVTEXT-2021.Russian.pdf> (ссылка активна на 12.11.2025 г.).

сортимента применяемых на фуражных и продовольственных культурах, однако в сельском хозяйстве их продолжали активно применять до 1975 г. и позднее для борьбы с переносчиками инфекционных болезней. А запрет на применение ДДТ и гексахлорциклопексана (ГХЦГ) для целей медицинской дезинсекции был введен лишь приказом Минздрава СССР от 2 марта 1989 г.¹¹ В 1998 г. по предложению ООН¹² в рамках Программы по охране окружающей среды (ЮНЕП) была принята конвенция, ограничившая торговлю опасными веществами и пестицидами типа ДДТ, фосфорорганическими и ртутными соединениями. Многочисленные исследования подтверждают, что хлорированные углеводороды присутствуют практически во всех организмах, обитающих в воде и на суше. В это же время в перечень токсикантов, обязательных для контроля, были включены ДДТ и ГХЦГ [26, 66].

В почве ХОП сохраняются от 2 до 15 лет, а ДДТ и ГХЦГ — ещё дольше, задерживаясь в верхнем слое почвы и медленно мигрируя по профилю. Время сохранения зависит от влажности почвы, её типа, кислотности (рН) и температуры. Численность микроорганизмов в почве также важна, поскольку микробы медленно, но разлагают различные препараты. Поэтому мониторинг содержания СОЗ в объектах окружающей среды является важным этапом принятия решений по защите населения страны от опасных для здоровья химических веществ.

Несмотря на запрет применения, до сих пор обнаруживаются почвы, в которых присутствуют ДДТ и его метаболиты, а также ГХЦГ в количествах, превышающих нормативы, что связано с высокой персистентностью этого инсектицида [67, 68]. Многолетние наблюдения НПО «Тайфун»¹³ за динамикой содержания ДДТ в загрязнённой почве на территории загородного лагеря им. Коли Мяготина в Курганской области показывают, что в связи с отсутствием механической обработки почвы и высокой стойкостью ХОП к разложению загрязнение суммарным ДДТ сохраняется. В 2024 г. среднее содержание суммарного ДДТ на территории лагеря весной было несколько выше уровня предыдущего года — 0,197 мг/кг (в 2023 г. — 0,116 мг/кг), осенью — 0,09 мг/кг, что соответствует уровню 2023 г. — 0,093 мг/кг.

В 2024 г. было выявлено высокое содержание суммарного ДДТ весной и осенью в Тамбовской (4,37 и 1,4 ПДК), Курской (2,43 и 0,85 ПДК), Воронежской (1,95 и 0,79 ПДК) областях.

В 2024 г. на территории ЦФО площадь загрязнения суммарным ДДТ и суммарным ГХЦГ составила 1996 га. В Тамбовской области максимум был зафиксирован весной (0,44 мг/кг), что соответствовало превышению ранее действовавшего ПДК в 4,4 раза. В Курской области весной максимум составил 0,24 мг/кг. Минимальное среднее содержание ДДТ наблюдалось в Белгородской, Владимирской, Костромской, Липецкой, Московской, Рязанской, Тульской областях, где ОК не превышали 0,01 мг/кг.

Содержание суммарного ГХЦГ в отобранных образцах не превышало 0,19 ПДК, что соответствует уровню последних лет. В Липецкой области среднее содержание весной составило 0,004 мг/кг, в Белгородской области изомеры ГХЦГ обнаружены в следовых количествах. В Воронежской, Курской, Тамбовской областях данный пестицид не был выявлен ни в одной пробе.

¹¹ Приказ Минздрава СССР от 02.03.1989 г. № 138 «О запрете на использование ДДТ».

¹² Роттердамская конвенция о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле. <https://synergies.pops.int/Resources/Shared/scripts/appPubKit/docs/02-RotterdamConvention-Text.Russian.pdf> (ссылка активна на 12.11.2025 г.).

¹³ Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2024 год. Ежегодное издание. Отв. ред. Г.М. Черногаева. М.: Росгидромет, 2025.

Также было проведено исследование почв в местах складирования и захоронения пестицидов в Костромской, Самарской, Саратовской, Иркутской, Курганской областях и Республике Удмуртия. Результаты обследований участков, прилегающих к местам хранения пестицидов, показали, что в 2024 г., как и в предыдущие годы наблюдений, распространения загрязнений от складов пестицидов в большинстве случаев не происходит. Максимальная отмеченная концентрация ДДТ в почве на уровне 0,037 мг/кг (0,4 ПДК) выявлена в 150 м от участка захоронения пестицидов в районе села Махайло-Овсянка Пестравского района Самарской области, а максимальная концентрация ГХЦГ — в районе ОПХ «Минское» Костромской области — 0,018 мг/кг (0,2 ПДК).

Данные НПО «Тайфун» подтвердили: несмотря на то, что и производство, и применение ХОП давно прекращено, они всё ещё циркулируют в биосфере, особенно в аграрных районах страны.

Заключение

В результате проведённого нами исследования выявлена устойчивая тенденция уменьшения числа проб почв, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим нормативам: их доля снизилась с 3,82% в 2015 г. до 3,03% в 2024 г., что свидетельствует об определённой эффективности реализованных санитарно-гигиенических мероприятий.

Наиболее значительное улучшение зафиксировано по паразитологическим показателям: число проб, не отвечающих нормативам, снизилось на 51,2% за исследуемый десятилетний период.

В то же время, несмотря на общее снижение за 10 лет, с 2021 г. отмечается устойчивый рост доли проб, не отвечающих нормативам по микробиологическим показателям. Преобладание в структуре загрязнения колиформных бактерий и энтерококков указывает на свежее фекальное загрязнение и может свидетельствовать об уменьшении буферной ёмкости почв и снижении их способности к самоочищению.

Таким образом, борьба с загрязнением почв должна быть направлена не только на удаление поллютантов, но и на восстановление полноценного почвенного микробиома.

В целом положительная динамика отмечена по санитарно-химическим показателям (снижение за изученный период составило 28,1%). Однако такие тяжёлые металлы (никель, свинец, мышьяк, кадмий и ртуть) остаются приоритетными и распространёнными загрязнителями, формирующими потенциальные канцерогенные риски для здоровья населения, что особенно остро проявляется в городах с развитой промышленностью. Несмотря на многолетний запрет, в отдельных регионах ЦФО РФ сохраняется устойчивое остаточное загрязнение почв СОЗ, что обусловлено их чрезвычайной персистентностью. При этом не отмечено значительного распространения загрязнения от мест депонирования и захоронения пестицидов.

Наивысший уровень загрязнения почв выявлен на территориях сельскохозяйственного назначения (поля, сады, огороды), что подтверждает необходимость усиления санитарного надзора в аграрном секторе страны. Санитарно-эпидемиологическая оценка и усиленный надзор могут рассматриваться как природоориентированные решения (Nature-based Solutions, NbS), предостращающие экологические проблемы городов за счёт использования естественных функций природных экосистем [69].

Таким образом, проведённый нами анализ подтверждает, что комплексные и систематические наблюдения позволяют предупредить риски для здоровья населения, связанные с загрязнением почв функциональных зон, а борьба с фактическим загрязнением должна быть направлена не только на физическое удаление поллютантов, но и на восстановление максимально приближенного к естественному почвенного микробиоценоза.

Литература

(п.п. 2, 9, 12, 13, 20–22, 25–27, 29–38, 40–43, 45, 48, 49, 51, 52, 54–56, 58–69 см. References)

1. Балева Л.С., Сипягина А.Е. Экологическая педиатрия – актуальная проблема современности. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2020; 65(6): 6–11. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-6-11> <https://elibrary.ru/xxckpv>
3. Бузетти К.Д., Иванов М.В. Воздействие минеральных и органических удобрений на экосистему, качество сельскохозяйственной продукции и здоровье человека. *Аграрная наука*. 2020; (5): 80–4. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-80-84> <https://elibrary.ru/dqlgfz>
4. Вашукевич Н.В. Агроэкологические схемы как пример устойчивых методов ведения сельского хозяйства. *Аграрное образование и наука*. 2024; (2): 35–43. <https://elibrary.ru/gnnfwd>
5. Волкова А.В. Тяжёлые металлы в экосистемах и агроценозах. *Science Time*. 2021; (12): 88–93. <https://elibrary.ru/slyjqb>
6. Соколов М.С., Соколов Д.М., Тымчук С.Н., Ларин В.Е. Методология и показатели санитарно-микробиологического контроля безопасности почвы. *Биосфера*. 2014; 6(2): 158–69. <https://elibrary.ru/shjzcd>
7. Калашников Ю.С., Клепиков О.В., Куропан С.А., Кульнев В.В., Кизеев А.Н., Никанов А.Н. и др. Оценка неблагоприятного воздействия объектов несанкционированного накопления твёрдых коммунальных отходов на окружающую среду и здоровье населения. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНСО*. 2024; 32(5): 33–41. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-5-33-41> <https://elibrary.ru/viwrbt>
8. Федотова Л.А., Манаева Е.С., Сутункова М.П. О формировании и развитии системы государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды). *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(12): 766–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-12-766-773> <https://elibrary.ru/obbkgs>
10. Козлякова Я.В., Магарил Е.Р. Качественное и количественное исследование природных ресурсов и способы его уменьшения. В кн.: *Система управления экологической безопасностью: сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции*. Екатеринбург; 2024: 194–200. <https://elibrary.ru/hgkrff>
11. Чебоचाков Е.Я., Иванов О.А., Капсаргин А.И., Муртаев В.Н. Влияние технологии освоения и использования целинных, залежных земель на агроэкологическую устойчивость и плодородие почвы. *Аграрная наука*. 2024; (9): 82–7. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-82-87> <https://elibrary.ru/jasqao>
14. Джаббаров Н.И., Савельев А.П., Добринов А.В., Захаров А.М., Жуйков И.И. Моделирование и прогнозирование выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий в зависимости от агрофизических свойств почвы. *Инженерные технологии и системы*. 2024; 34(1): 101–14. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.101-114> <https://elibrary.ru/eoefrt>
15. Кирушин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. *Почвоведение*. 2019; (9): 1130–9. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062> <https://elibrary.ru/muweqk>
16. Казакова Х., Акыева М., Аллабердиева А., Довлетгелдиев Д., Алыева М. Химия в сельском хозяйстве: удобрения и пестициды. *Наука и мировоззрение*. 2025; (41): 132–6.
17. Сюняева О.И., Окунева О.А., Леонова Ю.В. Региональный мониторинг параметров плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. *Земледелие*. 2021; (6): 10–3. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-6-10-13> <https://elibrary.ru/ygkqgh>
18. Графкина М.В., Питрюк А.В., Свиридова Е.Ю. Проблемы экологического мониторинга содержания тяжёлых металлов в почвах. *Экология урбанизированных территорий*. 2025; (3): 6–14. <https://doi.org/10.24412/1816-1863-2025-3-6-14> <https://elibrary.ru/wxbfsh>
19. Худяков С.Е. Агроэкологический мониторинг земельных ресурсов и оценка агроландшафтов. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2020; 6(2): 124–7. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2020-6-2-124-127> <https://elibrary.ru/bnsylzh>
23. Евсеева И.С., Ушакова О.В. Организация социально-гигиенического мониторинга качества почв (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2024; 103(6): 610–5. <https://elibrary.ru/tyzowd>
24. Минченко Л.А. Санитарно-микробиологическое исследование почвы. *Столыпинский вестник*. 2021; 3(3): 31. <https://elibrary.ru/zyfyek>
28. Левкевич Р.Е., Сенотрусова С.В. Производство минеральных удобрений в России: тенденции развития отрасли. *Инновации и инвестиции*. 2023; (8): 361–5. <https://elibrary.ru/oqrptm>
39. Р 2.1.10.3968–23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. М.; 2023.
44. Кадырова Г.Х., Усманкулова А.А., Закирьева С.И., Каримов Х.Н., Пайзиллоев А.К., Атаджанова Ш.Ш. Скрининг устойчивых к ионам тяжёлых металлов почвенных микроорганизмов. *Universum: химия и биология*. 2021; (12–1): 11–8. <https://doi.org/10.32743/UniChem.2021.90.12.12547> <https://elibrary.ru/lxdkjin>
46. Сидоренко М.Л., Ким А.В., Богатыренко Е.А. *Санитарно-гигиенический анализ почвы по микробиологическим показателям*. Владивосток; 2025.
47. Аракельян Р.С., Шеметова С.А., Ванюкова О.А., Шендо Г.Л., Полянская Н.В., Никешина Т.В. Санитарно-паразитологическое и санитарно-бактериологическое состояние почвы Астраханской области. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2021; 23(3): 35–40. <https://doi.org/10.17816/brmma59092> <https://elibrary.ru/svsbnk>
50. Хишов А.С., Балагула Т.В., Лаврухина О.И., Третьяков А.В., Иванова О.Е., Козеичева Е.С. Микробиологическая контаминация пищевого сырья и готовых продуктов питания (аналитический обзор). *Техника и технология пищевых производств*. 2023; 53(3): 486–503. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2451> <https://elibrary.ru/ivkwii>
53. Степанова Л.П., Писарева А.В., Яковлева Е.В., Раскатов В.А. Экологическая оценка состояния почвенной микро- и мезофауны в условиях техногенных воздействий. *Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского — природного заповедника РАН*. 2019; (2): 30–41. <https://doi.org/10.21072/eco.2021.10.04>
57. Бельков В.М. Методы и технологии обезвреживания полихлорированных бифенилов в трансформаторных маслах. *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта*. 2016; 75(1): 12–8. <https://elibrary.ru/vmfxfx>
1. Baleva L.S., Sipyagina A.E. Ecologic pediatrics is a pressing challenge of our time. *Rossiiskii vestnik perinatologii i pediatrii*. 2020; 65(6): 6–11. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-6-11> <https://elibrary.ru/xxckpv> (in Russian)
2. Afrin M., Kabir E., Noyon M.R.O.K., Akter N., Sultana T., Nayeem U., et al. Spectrochemical, biological, and toxicological studies of DDT, DDD, and DDE: An in-silico approach. *Inform. Med. Unlocked*. 2023; 39: 101254. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2023.101254>
3. Buzetti K.D., Ivanov M.V. The impact of mineral and organic fertilizers on the ecosystem, agricultural product quality, and human health. *Agrarnaya nauka*. 2020; (5): 80–4. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-80-84> <https://elibrary.ru/dqlgfz> (in Russian)
4. Vashukevich N.V. Agri-environmental schemes as an example of sustainable farming practices. *Agrarnoe obrazovanie i nauka*. 2024; (2): 35–43. <https://elibrary.ru/gnnfwd> (in Russian)
5. Volkova A.V. Heavy metals in ecosystems and agroecosystems. *Science Time*. 2021; (12): 88–93. <https://elibrary.ru/slyjqb> (in Russian)
6. Sokolov M.S., Sokolov D.M., Tymchuk S.N., Larin V.E. Methodology and indicators of sanitary-microbiological control of soil safety. *Biosfera*. 2014; 6(2): 158–69. <https://elibrary.ru/shjzcd> (in Russian)
7. Kalashnikov Yu.S., Klepikov O.V., Kurlop S.A., Kul'nev V.V., Kizeev A.N., Nikanov A.N., et al. Assessment of adverse effects of illegal municipal solid waste dumping sites on the environment and human health. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2024; 32(5): 33–41. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-5-33-41> <https://elibrary.ru/viwrbt> (in Russian)
8. Fedotova L.A., Manaeva E.S., Sutunkova M.P. On the formation and development of the state environmental monitoring system (state environmental monitoring). *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2023; 63(12): 766–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-12-766-773> <https://elibrary.ru/obbkgs> (in Russian)
9. Perroni M., da Veiga C.P., Su Z., Ramos F.M., da Silva W.V. Dynamic equilibrium of the sustainable ecosystem variables. *Environ. Sci. Pollut. Res. Preprint*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1423338/v1>
10. Kozlyakova Ya.V., Magaril E.R. Qualitative and quantitative depletion of natural resources and ways to reduce it. In: *Environmental Safety Management System: Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference*. Ekaterinburg; 2024: 194–200. <https://elibrary.ru/hgkrff> (in Russian)
11. Chebochakov E.Ya., Ivanov O.A., Kapsargin A.I., Murtaev V.N. The impact of technologies for the development and use of virgin, fallow lands on agroecological stability and soil fertility. *Agrarnaya nauka*. 2024; (9): 82–7. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-82-87> <https://elibrary.ru/jasqao> (in Russian)
12. Mukhanbetkaliyev Y.Y., Kadyrov A.S., Berdikulov M.A., Mukhanbetkaliyeva A.A., Kadyrov A.S., Zhanabayev A.A., et al. The virgin lands campaign and the occurrence of foot-and-mouth disease and anthrax in the Republic of Kazakhstan (1955–1970). *Front. Vet. Sci.*. 2025; 12: 1549307. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1549307>
13. Yakovets L. Agricultural assessment of soil condition in dependence on the intensity of agricultural chemistry. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2020; (48–1): 3–8. <https://elibrary.ru/foegei>
14. Jabbarov N.I., Savelyev A.P., Dobrinov A.V., Zakharov A.M., Zhuikov I.I. Modeling and forecasting the removal of biogenic elements from agricultural lands depending on the soil agrophysical properties. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2024; 34(1): 101–14. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.101-114> <https://elibrary.ru/eoefrt> (in Russian)
15. Kiryushin V.I. The management of soil fertility and productivity of agroecosystems in adaptive-landscape farming systems. *Eurasian Soil Sci.*. 2019; 52(9): 1137–45. <https://doi.org/10.1134/S1064229319070068> <https://elibrary.ru/fhebph>
16. Kazakova Kh., Akyeva M., Allaberdiyeva A., Dovletgeldiyev D., Alyeva M. Chemistry in agriculture: fertilizers and pesticides. *Nauka i mirovozzrenie*. 2025; (41): 132–6. (in Russian)

References

17. Sunyayeva O.I., Okuneva O.A., Leonova Yu.V. Regional monitoring of soil fertility parameters of agricultural lands. *Zemledelie*. 2021; (6): 10–3. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-6-10-13> <https://elibrary.ru/yglqkh> (in Russian)
18. Grafkina M.V., Pitryuk A.V., Sviridova E.Yu. Problems of environmental monitoring of heavy metal content in soils. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*. 2025; (3): 6–14. <https://doi.org/10.24412/1816-1863-2025-3-6-14> <https://elibrary.ru/wxbfsh> (in Russian)
19. Khudyakov S.E. Agroecological monitoring of land resources and assessment of agricultural landscapes. *Interesko Geo-Sibir*. 2020; (6(2): 124–7. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2020-6-2-124-127> <https://elibrary.ru/bnsyhz> (in Russian)
20. Ndungu A.W., Yan X., Makokha V.A., Githaiga K.B., Wang J. Occurrence and risk assessment of heavy metals and organochlorine pesticides in surface soils, Central Kenya. *J. Environ. Health Sci. Eng.* 2019; 17(1): 63–73. <https://doi.org/10.1007/s40201-018-00326-x>
21. Zhou W., Li M., Varenayam A. A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerg. Contam.* 2025; 11(1): 100410. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410> <https://elibrary.ru/ujmanv>
22. Agarwal T., Khillare P., Shridhar V., Ray S. Pattern, sources and toxic potential of PAHs in the agricultural soils of Delhi, India. *J. Hazard. Mater.* 2009; 163(2–3): 1033–9. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.058>
23. Evseeva I.S., Ushakova O.V. Management of socio-hygienic monitoring of the soil quality. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(6): 610–5. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.058> (in Russian)
24. Minchenko L.A. Sanitary and microbiological study of the soil. *Stolypinskii vestnik*. 2021; 3(3): 31. <https://elibrary.ru/zyzyfek> (in Russian)
25. Arora P., Paliwal R., Rani N., Chaudhry S. Recent trends in bioremediation of heavy metals: challenges and perspectives. In: Kumar V., Thakur I.S., eds. *Omics Insights in Environmental Bioremediation*. Singapore: Springer; 2022. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4320-1_5
26. Nguyen H.Q., Nguyen B.X., Tran T.Q., Van Nguyen A. Removal of DDT, DDD, and DDE from washing extracts of contaminated soil using polyaniline/bagasse composite material. *Turk. J. Chem.* 2025; 49(3): 310–24. <https://doi.org/10.55730/1300-0527.3731>
27. Teschke R., Chien N.X., Xuan T.D. Impact of heavy metals as trace elements on the ecosystem and health. *Recent Prog. Nutr.* 2025; 5(4): 1–61. <https://doi.org/10.21926/rpn.2504023>
28. Levkevich R.E., Senotrusova S.V. Production of mineral fertilizers in Russia: trends in the development of the industry. *Innovatsii i investitsii*. 2023; (8): 361–5. <https://elibrary.ru/orqptm> (in Russian)
29. Hursthouse A., Leitao T., Voigt A., Heller A., Bechet B., da Luz P.B. Environmental pressures on and status of urban allotments. In: *Urban Allotment Gardens in Europe*. London; 2016: 144–64.
30. Megharaj M., Naidu R. Soil and brownfield bioremediation. *Microb. Biotechnol.* 2017; 10(5): 1244–9. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12840>
31. Ford L., Bharadwaj L., McLeod L., Waldner C. Human health risk assessment applied to rural populations dependent on unregulated drinking water sources: a scoping review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2017; 14(8): 846. <https://doi.org/10.3390/ijerph14080846>
32. Olisah C., Adeniji A.O., Okoh O.O., Okoh A.I. Occurrence and risk evaluation of organochlorine contaminants in surface water along the course of Swartkops and Sundays River Estuaries, Eastern Cape Province, South Africa. *Environ. Geochem. Health*. 2019; 41(6): 2777–801. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00336-0>
33. Su M., Zhu Z., Li T., Jin J., Hu J. Levels, profiles and potential human health risks of brominated and parent polycyclic aromatic hydrocarbons in soils around three different types of industrial areas in China. *Sci. Total Environ.* 2022; 846: 157506. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157506>
34. Tommasi F., Lyons D.M., Pagano G., Oral R., Thomas P.J., Eccles K.M., et al. Geospatial pattern of topsoil pollution and multi-endpoint toxicity in the petrochemical area of Augusta-Priolo (eastern Sicily, Italy). *Chemosphere*. 2023; 333: 138802. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138802>
35. Tongu S.M., Sha'Ato R., Wase G.A., Okonko J.O., Vesuwe R.N. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in city drains in Makurdi, central Nigeria: seasonal variations, source apportionment and risk assessment. *Heliyon*. 2023; 9(3): e14324. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14324>
36. Ukalska-Jaruga A., Lewińska K., Mammadov E., Karczewska A., Smreczak B., Medyńska-Juraszek A. Residues of persistent organic pollutants (POPs) in agricultural soils adjacent to historical sources of their storage and distribution – the case study of Azerbaijan. *Molecules*. 2020; 25(8): 1815. <https://doi.org/10.3390/molecules25081815>
37. Xu H., Wang H., Singh B.P., Croot P., Zhang C. Identification of possible sources for potentially toxic elements and polycyclic aromatic hydrocarbons and their spatially varying relationships in urban soils of Dublin, Ireland. *Environ. Pollut.* 2023; 333: 122034. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122034>
38. Račić N., Ružičić S., Pehnek G., Jakovljević I., Sever Štrukil Z., Rinkovec J., et al. Linking atmospheric and soil contamination: a comparative study of PAHs and metals in PM₁₀ and surface soil near urban monitoring stations. *Toxics*. 2025; 13(10): 866. <https://doi.org/10.3390/toxics13100866>
39. R 2.1.10.3968–23. Guidelines for assessing public health risks from exposure to chemical substances that pollute the environment. Moscow; 2023. (in Russian)
40. Banerjee S., van der Heijden M.G.A. Soil microbiomes and one health. *Nat. Rev. Microbiol.* 2023; 21(1): 6–20. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00779-w>
41. Schlosser-Brandenburg J., Midha A., Mugo R.M., Ndombi E.M., Gachara G., Njomo D., et al. Infection with soil-transmitted helminths and their impact on coinfections. *Front. Parasitol.* 2023; 2: 1197956. <https://doi.org/10.3389/fpara.2023.1197956>
42. Li D., Zhang X., Zhang H., Fan Q., Guo B., Li J. A global meta-analysis reveals effects of heavy metals on soil microorganisms. *J. Hazard. Mater.* 2025; 491: 138018. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138018>
43. Dahoun K., Djadouni F. Effects of heavy-metal pollution on soil microbial community, plants, and human health. *J. J. Earth Environ. Sci.* 2020; 11(3): 234–40.
44. Kadirova G.Kh., Usmankulova A.A., Zakiryaeva S.I., Karimov Kh.N., Payziloev A.K., Atadzhanova Sh.Sh. Screening of ion resistant heavy metals soil microorganisms. *Universum: khimiya i biologiya*. 2021; (12–1): 11–8. <https://doi.org/10.32743/UniChem.2021.90.12.12547> <https://elibrary.ru/lxdkjin> (in Russian)
45. Kumar P., Mina U. *Fundamentals of Ecology and Environment*. 3rd ed. New Delhi: Pathfinder; 2021.
46. Sidorenko M.L., Kim A.V., Bogatyrenko E.A. *Sanitary-Hygienic Analysis of Soil by Microbiological Indicators [Sanitarno-gigienicheskiy analiz pochvy po mikrobiologicheskim pokazatelyam]*. Vladivostok; 2025. (in Russian)
47. Arakelian R.S., Shemetova S.A., Vanyukova O.A., Shendo G.L., Polyanskaya N.V., Nikeshtina T.V. Sanitary parasitological and sanitary-bacteriological condition of the soil in the Astrakhan region. *Vestnik Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii*. 2021; 23(3): 35–40. <https://doi.org/10.17816/brmma59092> <https://elibrary.ru/svsbnk> (in Russian)
48. Socohou A., Sina H., Degbey C.C., Ahouandjinou H., Gounou-Kora H., Baba-Moussa F., et al. Risk factors and microbiological control of soils, surfaces and medical-technical equipment. *Int. J. Pathog. Res.* 2019; 3(1): 1–9.
49. Wooliver R., Kivlin S.N., Jagadamma S. Microbial communities and their association with soil health indicators under row cash crop and cover crop diversification: a case study. *Front. Microbiol.* 2025; 16: 1664417. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1664417>
50. Khishov A.S., Balagula T.V., Lavrukina O.I., Tretyakov A.V., Ivanova O.E., Kozeicheva E.S. Microbiological contamination of food raw materials and ready-to-eat foods: analytical review. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. 2023; 53(3): 486–503. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2451> <https://elibrary.ru/ivkwii> (in Russian)
51. Pouyat R.V., Day S.D., Brown S., Schwarz K., Shaw R.E., Szlavetz K., et al. Urban soils. In: Pouyat R., Page-Dumroese D., Patel-Weyand T., Geiser L., eds. *Forest and Rangeland Soils of the United States Under Changing Conditions*. Cham: Springer; 2020: 127–44. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45216-2_7
52. Salomon M.J., Watts-Williams S.J., McLaughlin M.J., Cavignoli T.R. Urban soil health: a city-wide survey of chemical and biological properties of urban agriculture soils. *J. Clean. Prod.* 2020; 275: 122900. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122900>
53. Stepanova L.P., Pisareva A.V., Yakovleva E.V., Raskatov V.A. Environmental assessment of micro- and mesofauna of soil in the conditions of technogenic influences. *Trudy Karadagskoi nauchnoi stantsii im. T.I. Vyazemskogo — prirodnogo zapovednika RAN*. 2019; (2): 30–41. <https://doi.org/10.21072/eco.2021.10.04> (in Russian)
54. Abdul Rahman N.S.N., Abdul Hamid N.W., Nadarajah K. Effects of abiotic stress on soil microbiome. *Int. J. Mol. Sci.* 2021; 22(16): 9036. <https://doi.org/10.3390/ijms22169036>
55. Bhaduri D., Sihi D., Bhowmik A., Verma B.C., Munda S., Dari B. A review on effective soil health bio-indicators for ecosystem restoration and sustainability. *Front. Microbiol.* 2022; 13: 938481. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.938481>
56. Alengebawy A., Abdelkhalek S.T., Qureshi S.R., Wang M.-Q. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: ecological risks and human health implications. *Toxics*. 2021; 9(3): 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
57. Bel'kov V.M. Methods and technologies of disposal of poly-chloride biphenyls in transformer oils. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*. 2016; 75(1): 12–8. <https://elibrary.ru/vmfxfx> (in Russian)
58. Blais J.M., Froese K.L., Kimpe L.E., Muir D.C., Backus S., Comba M., et al. Assessment and characterization of polychlorinated biphenyls near a hazardous waste incinerator: analysis of vegetation, snow, and sediments. *Environ. Toxicol. Chem.* 2003; 22(1): 126–33.
59. González C., Bolaños-Guerrón D. Economic feasibility proposal for treatment and/or disposal technologies of dielectric oils contaminated with PCB. *Heliyon*. 2021; 7(2): e05838. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05838>
60. Nechita C., Geana E.I., Ionete R.E., Ciucure C.T., Koç İ., Camarero J.J. Quantitative source-oriented, bioaccumulation and toxicity of organic pollutants in a formerly mining area. *Environ. Geochem. Health*. 2026; 48(5): 206. <https://doi.org/10.1007/s10653-026-03093-z>
61. Islam M.S.M.M., Siddik M.N.A., Islam M.A., Trisha S.A., Alam M., Ali M.H., et al. Polyaromatic hydrocarbons and trace metals in road-deposited soil, source apportionment, and risk analysis: evidence from the largest port city of Bangladesh. *Environ. Geochem. Health*. 2025; 18(47): 446. <https://doi.org/10.1007/s10653-025-02752-x>
62. Lv Z., Liu Z., Li D., Cai M., Liu J., Zhang X.H., et al. Anthropogenic PAHs reshape sedimentary microbiomes and ecotoxicological risks in polar regions: A pan-Arctic/Antarctic metagenomic study. *J. Hazard. Mater.* 2025; 499: 140321. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.140321>
63. Yakovleva E.V., Gabov D.N., Vasilevich R.S., Sun L., Dubrovskiy Yu.A. Factors influencing the accumulation of PAHs in mound peatlands of the European Arctic. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2025; 32(45): 25785–802. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-37161-1>
64. Madaj R., Sobiecka E., Kalinowska H. Lindane, kepone and pentachlorobenzene: chloropesticides banned by Stockholm convention. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2018; 15: 471–80. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1417-9>
65. Choi M.P., Kang Y.H., Peng X.L., Ng K.W., Wong M.H. Stockholm Convention organochlorine pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons

- in Hong Kong air. *Chemosphere*. 2009; 77(6): 714–9. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.039>
66. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for DDT, DDE, and DDD. Atlanta; 2022.
67. Mansouri A., Cregut M., Abbes C., Durand M.J., Landoulsi A., Thouand G. The environmental issues of DDT pollution and bioremediation: a multidisciplinary review. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2017; 181(1): 309–39. <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2214-5>
68. Mengistu D.A., Geremew A., Tessema R.A., Wolfing T. Concentrations of DDT metabolites in different food items and public health risk in Africa regions: systematic review and meta-analysis. *Front. Public Health*. 2025; 13: 1511012. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1511012>
69. Somarakis G., Stagakis S., Chrysoulakis N., eds. *Nature-Based Solutions Handbook. ThinkNature Project funded by the EU Horizon 2020 Research and Innovation Programme*. ThinkNature; 2019.

Сведения об авторах

Синицкая Татьяна Алексеевна, доктор мед. наук, профессор, член-корр. РАН, гл. науч. сотр. Центра по гигиеническому нормированию химических веществ в воздушной среде и почве, ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия. E-mail: Sinitskaya.ta@fncg.ru

Плетнев Павел Александрович, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., зав. отд. гигиенического нормирования и мониторинга химических веществ в почве, ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия. E-mail: Pletenev.PA@fncg.ru

Бухонов Александр Вячеславович, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. отд. гигиенического нормирования и мониторинга химических веществ в почве ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия. E-mail: Buhonov.av@fncg.ru

About the authors

Tatyana A. Sinitskaya, DSc (Medicine), professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Center for Hygienic Standardization of Chemical Substances in Air and Soil, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3794-6292> E-mail: Sinitskaya.ta@fncg.ru

Pavel A. Pletenev, PhD (Biology), senior researcher, head, Department of hygienic standardization and monitoring of chemical substances in soil, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8814-3086> E-mail: Pletenev.PA@fncg.ru

Aleksandr V. Buhonov, PhD (Biology), senior researcher, Department of hygienic standardization and monitoring of chemical substances in soil, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0219-9960> E-mail: Buhonov.av@fncg.ru