

Читать
онлайн
Read
onlineТрифонова Т.А.^{1,2}, Марцев А.А.², Селиванов О.Г.², Курбатов Ю.Н.²,
Ростунов А.О.²

Оценка эпидемиологического риска для здоровья и загрязнения литейным производством почв малого города

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, Россия;²ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», 600000, Владимир, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В работе представлены результаты исследования, направленного на оценку эпидемиологического риска здоровью населения и уровня загрязнения почвы тяжёлыми металлами и мышьяком малого города с литейным производством.

Материалы и методы. Объекты исследования – заболеваемость населения Меленковского района Владимирской области и почвенный покров города Меленки. Для оценки неблагоприятного воздействия почвы на здоровье использованы показатели эпидемиологического риска. Проведена эколого-гигиеническая характеристика почв Меленок. Пробы почвы отбирали в зоне производственных предприятий, автодороги, жилого частного сектора, ландшафтно-рекреационной зоны. Почвенный покров исследовался рентгенофлуоресцентным методом для определения содержания тяжёлых металлов (ТМ) и мышьяка.

Результаты. Проведённое исследование по оценке эпидемиологического риска позволило установить, что в Меленковском районе относительно фоновых региональных значений у детей существует очень высокий риск по девяти классам болезней, у взрослых – по шести классам болезней. Установлено загрязнение почвы Меленок мышьяком и ТМ, что, вероятно, обусловлено спецификой и продолжительностью работы старейшего предприятия города – литейно-механического завода. В центральной части города выявлены локальные участки, представляющие высокие риски для здоровья, что определяет необходимость организации постоянного эколого-гигиенического мониторинга. Наибольшую опасность для здоровья населения представляет мышьяк, концентрации которого практически во всех точках отбора проб превышают санитарно-гигиенические нормативы.

Ограничения исследования. Ограничения исследования связаны с разовым отбором проб и небольшим количеством реперных участков, что ограничивает возможности более широкой интерпретации полученных данных.

Заключение. Установлено, что функционирующее в течение длительного времени городское предприятие даже во время продолжительного простоя или прекращения основной деятельности потенциально способно нести высокие риски для здоровья населения за счёт загрязнения почв прилегающей территории. Чрезвычайно опасное по суммарному показателю химическое загрязнение почвы прилегающей к литейно-механическому заводу территории требует проведения специальных природоохранных мероприятий по удалению и дальнейшей нейтрализации химических элементов. Для сокращения загрязнения почвы города требуются углублённые исследования качества почвы и разработка мероприятий на промышленных предприятиях с целью снижения уровней загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: Владимирская область; оценка риска; здоровье населения; загрязнение почвы; тяжёлые металлы; мышьяк; литейное производство

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует заключения комитета по биомедицинской этике.

Для цитирования: Трифонова Т.А., Марцев А.А., Селиванов О.Г., Курбатов Ю.Н., Ростунов А.О. Оценка эпидемиологического риска для здоровья и загрязнения литейным производством почв малого города. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(2): 172–181. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-2-172-181> <https://elibrary.ru/kjgijop>

Для корреспонденции: Марцев Антон Андреевич, доцент, канд. биол. наук, доцент каф. биологии и экологии ВлГУ, 600000, Владимир. E-mail: MartsevAA@yandex.ru

Участие авторов: Трифонова Т.А. – концепция и дизайн исследования; Марцев А.А. – концепция и дизайн исследования, обработка данных, написание текста, итоговое оформление; Селиванов О.Г. – обработка данных, написание текста; Курбатов Ю.Н. – лабораторные исследования; Ростунов А.О. – отбор проб и подготовка. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 26.06.2023 / Поступила после доработки: 24.10.2023 / Принята к печати: 09.02.2024 / Опубликовано: 15.03.2024

Tatyana A. Trifonova^{1,2}, Anton A. Martsev², Oleg G. Selivanov², Yuriy N. Kurbatov²,
Alexey O. Rostunov²

Assessment of the epidemiological health risk of foundry contamination of small town soils

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation;²Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, 600000, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The paper presents the results of the assessment of the risk to public health and the level of soil contamination with heavy metals and arsenic in a small town with a foundry.

Materials and methods. The objects of the study are the morbidity of the population of the Melenkovsky district of the Vladimir region and the soil cover of the city of Melenki. The assessment of the probable risk of morbidity is based on the determination of epidemiological risk indicators, the obtained values of which were converted into values normalized by the marginal error of the background level (Δ). Soil samples were taken in the zone of industrial enterprises, highways, residential private sector, landscape, and recreational areas. The soil cover was examined by X-ray fluorescence method for the evaluation of the content of heavy metals and arsenic.

Results. The study conducted to assess the probable risk allowed establishing in the Melenkovsky district, relative to the background regional values, children to have a very high risk for nine classes of diseases, adults to have a very high risk for 6 classes of diseases. There has been established the contamination of the soil of

the city of Melenka with heavy metals and arsenic to be probably due to the specifics and duration of operation of the oldest enterprise in the city – the foundry and mechanical plant. In the central part of the city, there have been identified local areas posing high health risks, which determines the need to manage permanent environmental and hygienic monitoring here. The greatest danger to public health is arsenic, whose concentrations in almost all sampling points exceed sanitary and hygienic standards.

The limitations of the study are related to one-time sampling and a small number of reference sites, which limits the possibilities of a broader interpretation of the data obtained.

Conclusion. It has been established that a city enterprise operating for a long time, due to soil contamination of the adjacent territory, can bear high risks to public health even during prolonged downtime or termination of its main activity. The chemical contamination of the soil in the territory adjacent to the foundry and mechanical plant, which is extremely dangerous in terms of the total indicator, requires special environmental measures to remove and further neutralize chemical elements. To reduce soil pollution in the city, there are required modernization of industrial enterprises and the creation of expanded sanitary protection zones around them.

Keywords: Vladimir region; risk assessment; public health; soil pollution; heavy metals; arsenic; foundry production

Compliance with ethical standards. The study does not require the conclusion of the Biomedical ethics committee.

For citation: Trifonova T.A., Martsev A.A., Selivanov O.G., Kurbatov Yu.N., Rostunov A.O. Assessment of the epidemiological health risk of foundry contamination of small town soils. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2024; 103(2): 172–181. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-103-2-172-181> (In Russ.) <https://elibrary.ru/kjgijop>

For correspondence: Anton A. Martsev, MD, PhD, docent of the Department of biology and ecology, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, 600000, Russian Federation. E-mail: MartsevAA@yandex.ru

Contribution: Trifonova T.A. – concept and design of the study; Martsev A.A. – research concept and design, data processing, text writing, final design; Selivanov O.G. – data processing, text writing; Kurbatov Yu.N. – laboratory research; Rostunov A.O. – sampling and sample preparation. 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.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: June 26, 2023 / Revised: October 24, 2023 / Accepted: February 9, 2024 / Published: March 15, 2024

Введение

Производственная деятельность человека часто сопряжена с загрязнением окружающей среды и несёт потенциальные риски для здоровья населения. Во Владимирской области основными источниками загрязнения окружающей среды являются крупные промышленные предприятия и автотранспорт, которые сосредоточены в основном в областном центре и в крупных районных городах. В результате их деятельности выделяется в атмосферный воздух, а затем выпадает на почвы городских территорий значительное количество твёрдых компонентов выбросов и аэрозолей, содержащих опасные поллютанты, в том числе тяжёлые металлы (ТМ), которые, обладая малой подвижностью и высокой способностью к аккумуляции, накапливаются в верхнем почвенном горизонте. ТМ не перерабатываются почвенными микроорганизмами, а переходят из одних форм в другие и длительно сохраняются в почвах [1, 2]. Вклад ТМ в токсичность почвы может составлять до 34,8% [3]. При максимальном химическом загрязнении ТМ почва может безвозвратно утратить свои санитарно-экологические функции [4]. Химически опасное загрязнение почвы ТМ создаёт угрозу не только почвенному микробиоценозу, поверхностным и грунтовым водам, но и проживающему населению вследствие возможного вторичного загрязнения приземного слоя атмосферы почвенной пылью. ТМ, сорбированные на частичках почвы и пыли, под воздействием ветровой и транспортной эрозии загрязняют атмосферный воздух, что в дальнейшем может оказать влияние на заболеваемость как взрослого, так и детского населения [5, 6]. В контексте оценки потенциальных рисков для здоровья населения научным сообществом исследуются преимущественно почвы крупных промышленных городов [7–11], что объясняется значительной техногенной нагрузкой со стороны предприятий и автотранспорта, а также высокой численностью и плотностью населения.

Содержание ТМ в почвах небольших городов исследуется в меньшей степени, так как считается, что техногенное воздействие за счёт низкого промышленного потенциала незначительно, следовательно, вероятность рисков для здоровья населения небольшая. Действительно, реальность сегодняшнего дня для небольших городов такова,

что большинство расположенных в них промышленных производств в силу ряда экономических причин либо работает не на полную мощность, либо прекратили деятельность, либо перепрофилированы и раздроблены на мелкие производства. Такая участь постигла многие являвшиеся прежде градообразующими машиностроительные и металлообрабатывающие заводы, текстильные фабрики, а также стекольные производства в городах Владимирской области. Необходимо отметить, что некоторые предприятия имели или имеют более чем столетнюю производственную деятельность, в течение которой, вероятно, происходило загрязнение окружающей среды. К таким предприятиям можно отнести функционирующее на протяжении более 140 лет в Меленках Владимирской области предприятие, специализирующееся на литейно-механическом производстве (ныне ООО «Литмаш-М»). Начинало оно свою историю в 1881 г. как меднолитейный завод, выпускавший паровые медные свистки (гудки). В годы Великой Отечественной войны завод перешёл на выпуск продукции из бронзовых и чугуных отливок для нужд фронта. В 90-е годы XX века в связи с тяжёлым экономическим положением завод оказался банкротом. В 2001 г. было создано предприятие «Литмаш-М», проведена реконструкция с заменой устаревшего оборудования, газификация производства, организована механическая обработка отливок на станках с числовым программным управлением, налажен выпуск конкурентоспособной продукции – деталей из высокопрочного чугуна и стали для различных отраслей промышленности нашей страны и на экспорт. Но, как и всякое литейное производство, данное предприятие может быть источником высокого загрязнения окружающей среды за счёт выделяющихся в процессе плавки металлов химических веществ, что и обуславливает риски для здоровья населения. Состав выбросов загрязняющих веществ различен и зависит от литейных сплавов, состояния футеровки печи, технологии плавки, используемых энергоносителей и др. Таким образом, в небольших городах важно исследовать почвы, которые на протяжении длительного времени могли накапливать загрязняющие вещества, в том числе ТМ. Это позволит оценить химическое загрязнение и установить, способны ли почвы к самоочищению после воздействия в течение длительной техногенной нагрузки, а также оценить риски для здоровья населения.

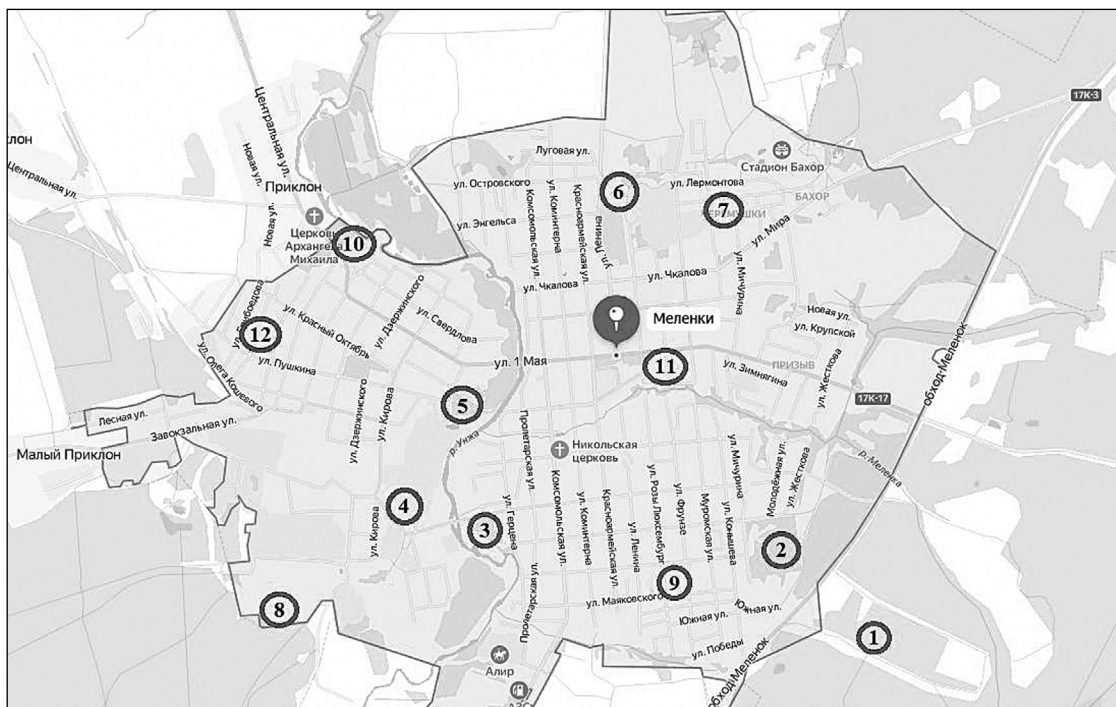


Рис. 1. Точки отбора проб почв.

Fig. 1. Soil sampling points.

Цель исследования – оценка эпидемиологического риска для здоровья населения Меленковского района Владимирской области и эколого-гигиеническая характеристика загрязнения почв г. Меленки ТМ и мышьяком.

Материалы и методы

Объекты исследования – заболеваемость населения Меленковского района и почвенный покров г. Меленки. Меленковский район – муниципальное образование на юго-востоке Владимирской области. Занимает четвёртое место среди районов области по площади территории (2220,92 км²). Численность населения, по данным 2021 г., составляет 32 701 человек. Административный центр – город Меленки, площадь которого составляет 10,86 км², население 13 407 человек (по данным 2021 г.), соответственно он относится к малым городам. По данным Администрации Владимирской области, Меленковский район в 2019 г. по количеству выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух занимал десятое место в регионе со значением 1,952 тыс. тонн¹. В исследовании использованы официальные статистические сборники МИАЦ «Состояние здоровья населения Владимирской области» за 2001–2019 гг. Проведён анализ относительных (%) данных о первичной заболеваемости детского (до 14 лет) и взрослого (от 18 лет) населения Меленковского района по 16 классам болезней классификации ВОЗ (МКБ-10). В основу оценки риска заболеваемости положено определение показателей эпидемиологического риска². Полученные значения были преобразованы в нормированные по предельной ошибке фонового уровня (Δ) величины. Основной расчётной характеристикой являлся нормированный показатель эпидемиологического риска (W^A), значение которого оце-

нивалось по пяти степеням: низкий ($W^A < 0$), умеренный ($0 < W^A < 1$), повышенный ($1 < W^A < 2$), высокий ($2 < W^A < 3$) и очень высокий ($W^A > 3$). При изучении уровня загрязнения почвенного покрова Меленки особое внимание было уделено территориям, находящимся в зоне влияния производственных предприятий (рис. 1). Это «Меленковский хлебозавод» (точка № 4), обувная фабрика ООО «Жаннет» (точка № 5), металлургическое предприятие ООО «Литмаш-М» (точка № 6), «Меленковский консервный завод» (точка № 7). Промышленные предприятия, расположенные и на окраине города, и в центральной его части, практически везде вплотную примыкают к частному жилому сектору, являющемуся основной городской застройкой. Таким образом, будучи возможными источниками поступления химических загрязнителей в окружающую среду, они могут обуславливать риски для здоровья населения.

Точка отбора пробы почвы № 11 находится вдали от промышленных предприятий на центральной улице 1 Мая, по которой проходит основной автомобильный городской транспорт. Точки отбора № 8, № 9 и № 12 представлены образцами почв с территории садовых участков и жилого частного сектора. В пойме р. Унжи, протекающей практически по центральной части города, отобрана проба почвы № 3. Ландшафтно-рекреационная зона, наименее подверженная антропогенной нагрузке, представлена образцами почв, отобранных в точках № 1, 2, 10.

Отбор образцов почв для исследований проводили в августе 2022 г. из горизонта 0–10 см методом конверта в трёх повторностях в соответствии с ГОСТ Р 58595–19. На кафедре биологии и экологии ВлГУ почву исследовали на содержание ТМ и мышьяка, пробоподготовку выполняли в соответствии с ГОСТ 14.4.02–84. Определение pH водных вытяжек из образцов почв проводили на pH-метре Mettler Toledo Seven Compact S220. Определение ТМ и мышьяка проводили рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре «Спектроскан МАКС-G» в соответствии с методикой М-049-ПДО/18, предназначенной для измерений массовой доли (валового содержания) ТМ и оксидов металлов в порошковых пробах почв.

¹ О состоянии окружающей среды во Владимирской области в 2019 году. Вып. 27: ежегодный доклад. Владимирская область, Администрация. Департамент природопользования и охраны окружающей среды; Владимир, 2020. 135 с.

² Оценка эпидемиологического риска здоровью на популяционном уровне при медико-гигиеническом ранжировании территорий: Пособие для врачей. Под ред. академика РАМН, профессора А.И. Потапова. М., 1999. 48 с.

Для оценки уровня загрязнения почв ТМ и мышьяком были использованы показатель накопления (P_n) и коэффициент опасности (K_o).

Показатель накопления (P_n) ТМ и мышьяка рассчитывали по формуле (1):

$$P_n = \frac{C_i - C_\phi}{C_\phi}, \quad (1)$$

где C_i – концентрация ТМ и мышьяка в почве, мг/кг; C_ϕ – фоновое содержание ТМ и мышьяка в почве, мг/кг.

Фоновые концентрации ТМ и мышьяка в почве устанавливали согласно Письму Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации от 07.12.1993 г. № 04–25 «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами».

Коэффициент опасности ТМ и мышьяка рассчитывали по формуле (2):

$$K_o = \frac{C_i}{ПДК_i / ОДК_i}, \quad (2)$$

где C_i – концентрация ТМ и мышьяка в почве, мг/кг; $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация ТМ и мышьяка в почве, мг/кг.

Предельно допустимые концентрации ТМ и мышьяка в почве ($ПДК_i$) и ориентировочно допустимые концентрации ($ОДК_i$) определены согласно СанПиН 1.2.3685–21.

Для оценки уровня химического загрязнения почв городов с действующими источниками загрязнения как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения рассчитывали коэффициенты концентрации ТМ и мышьяка (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c)³.

Коэффициент концентрации ТМ определяли по формуле (3):

$$K_c = C_i / C_\phi, \quad (3)$$

где C_i – концентрация ТМ и мышьяка в почве, мг/кг; C_ϕ – фоновое содержание ТМ и мышьяка в почве, мг/кг.

Суммарный показатель загрязнения (Z_c) почв для всех точек отбора проб рассчитывали как сумму коэффициентов концентрации химических элементов-загрязнителей:

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

где n – число определяемых суммируемых веществ; K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения.

Таблица 1 / Table 1

Оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю Z_c

Estimated scale of the danger of soil pollution according to the total indicator Z_c

Категории загрязнения почв Soil pollution categories	Величина Z_c Z_c value
Допустимая / Permissible	Менее 16 / Less 16
Умеренно опасная / Moderately dangerous	16–32
Опасная / Dangerous	32–128
Чрезвычайно опасная / Extremely dangerous	Более 128 / Over 128

Анализ распределения геохимических показателей показывает пространственную структуру загрязнения почвы селитебных территорий и позволяет выделить зоны потенциального риска для здоровья населения. Оценку степени опасности загрязнения почвы Меленок по суммарному показателю Z_c согласно СанПиН 1.2.3685–21 проводили по оценочной шкале (табл. 1).

Результаты

В Меленковском районе, как и во всей Владимирской области, отмечается рост первичной заболеваемости детей, который за анализируемый период составил 16,2% (рис. 2). При этом районные показатели заболеваемости ниже областных на 41,6% (за 2019 г.). Заболеваемость взрослого населения Меленковского района снизилась на 26% и стала ниже областных значений на 17,4% (за 2019 г.). Нами рассчитан эпидемиологический риск для населения Меленковского района. Целью была оценка формирующегося под влиянием комплекса факторов среды обитания здоровья населения на территориях, контрастно различающихся по качественным и количественным параметрам среды обитания за счёт естественных факторов и антропогенной нагрузки. Результаты анализа представлены в табл. 2.

Почвы в Меленковском районе Владимирской области дерново-подзолистые песчаные и супесчаные с содержанием физической глины 10–20% (< 0,01 мм), гумуса 1,83%,

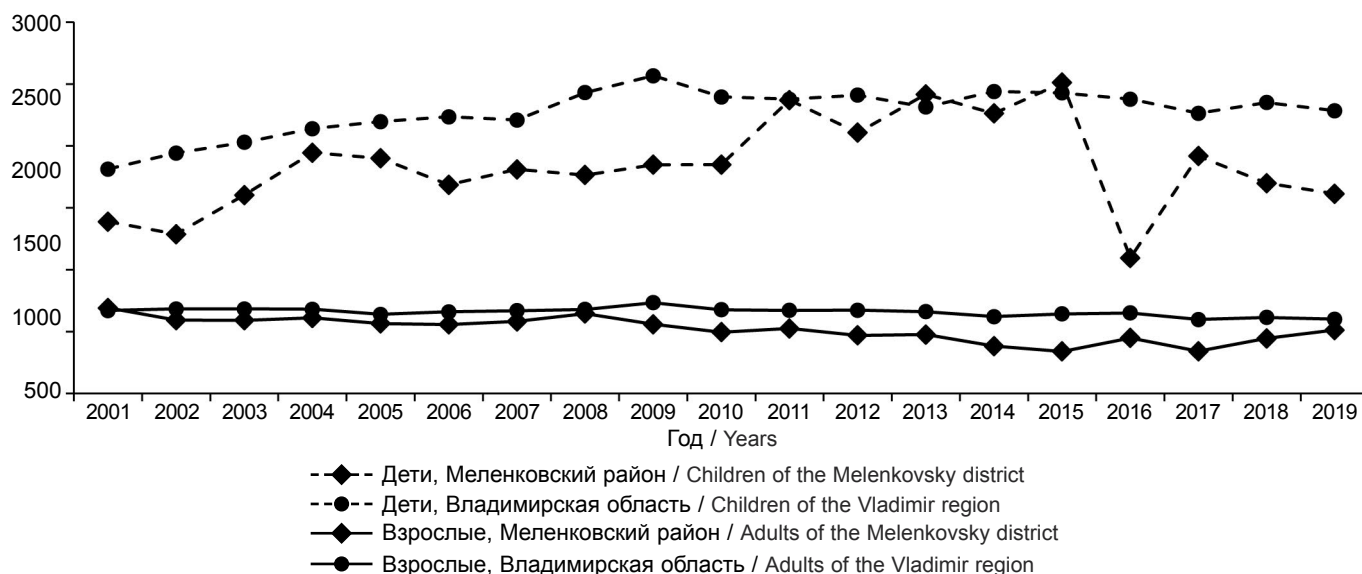


Рис. 2. Динамика первичной заболеваемости детского и взрослого населения Меленковского района и Владимирской области.

Fig. 2. Trend in incidence in children and adults of the Melenkovsky district and the Vladimir region.

Таблица 2 / Table 2

Степень риска заболеваемости детского и взрослого населения Меленковского района (классы болезней по МКБ-10)
The degree of risk of morbidity with ICD-10 classes of diseases in children and adults of the Melenkovsky district

Класс болезней по МКБ-10 Class of diseases according to ICD-10	Дети / Children		Взрослые / Adults	
	W ^a	Оценка степени риска Risk assessment	W ^a	Оценка степени риска Risk assessment
Инфекционные болезни (A00–B9) Infectious diseases	1.31	Повышенный Elevated	0.58	Умеренный Moderate
Новообразования (C00–D48) Neoplasms	1.88	Повышенный Elevated	4.16	Очень высокий Very high
Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм (D50–D89) Diseases of the blood, hematopoietic organs and individual disorders involving the immune mechanism	4.99	Очень высокий Very high	0.78	Умеренный Moderate
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ (E00–E90) Diseases of the endocrine system, eating disorders and metabolic disorders	5.45	Очень высокий Very high	6.24	Очень высокий Very high
Психические расстройства и расстройства поведения (F00–F9) Mental disorders and behavioral disorders	4.34	Очень высокий Very high	3.61	Очень высокий Very high
Болезни нервной системы (G00–G99) Diseases of the nervous system	3.01	Очень высокий Very high	2.38	Высокий High
Болезни глаза и его придаточного аппарата (H00–H59) Diseases of the eye and its accessory apparatus	3.31	Очень высокий Very high	1.41	Повышенный Elevated
Болезни уха и сосцевидного отростка (H60–H95) Diseases of the ear and mastoid process	1.08	Повышенный Elevated	1.23	Повышенный Elevated
Болезни системы кровообращения (I00–I99) Diseases of the circulatory system	14.23	Очень высокий Very high	6.27	Очень высокий Very high
Болезни органов дыхания (J00–J99) Respiratory diseases	1.43	Повышенный Elevated	1.19	Повышенный Elevated
Болезни системы органов пищеварения (K00–K93) Diseases of the digestive system	4.97	Очень высокий Very high	0.49	Умеренный Moderate
Болезни кожи и подкожной клетчатки (L00–L99) Diseases of the skin and subcutaneous tissue	5.40	Очень высокий Very high	7.51	Очень высокий Very high
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (M00–M99) Diseases of the musculoskeletal system and connective tissue	3.91	Очень высокий Very high	6.50	Очень высокий Very high
Болезни мочеполовой системы (N00–N99) Diseases of the genitourinary system	2.96	Высокий High	1.41	Повышенный Elevated
Врождённые аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения (Q00–Q99) Congenital anomalies (malformations), deformities and chromosomal disorders	2.54	Высокий High	Не рассматривалось Not considered	
Травмы и отравления (S00–T98) Injuries and poisoning	1.03	Повышенный Elevated	0.11	Умеренный Moderate
Беременность, роды и послеродовой период (O00–O99) Pregnancy, childbirth and the postpartum period	Не рассматривалось Not considered		–0.54	Низкий Low

имеют рН в пределах 4,5–6,0 [12]. Водородный показатель (рН) почвенной среды в черте Меленок находится в диапазоне 6,56–7,68, что характеризует её как нейтральную или слабощелочную. В значительной степени это связано с формированием и трансформацией городских почв (табл. 3). Они переуплотнены, почвенные горизонты перемешаны, содержат большое количество строительного и бытового мусора. Высвобождение кальция, магния под действием атмосферных осадков из различных обломков, строительного мусора, цемента, извести и т. д., имеющих щелочную реакцию, способствует повышению щёлочности городских почв и, как следствие, накоплению токсичных элементов.

Концентрации ТМ в исследуемых образцах почв находятся в следующих диапазонах (min → max): Со – 3,13–11,87 мг/кг; Ni – 4,45–49,73; Cr – 0,06–187,58; Pb – 7,99–235,92 мг/кг; Zn – 16,64–459,31; Cu – 0–894,56 мг/кг; концентрации металлоида As – в диапазоне 0,78–14,59 мг/кг.

Для выявления приоритетных химических загрязнителей почвы был рассчитан показатель накопления (P_n) ТМ и металлоида мышьяка (табл. 4). Поскольку для хрома значения фоновых концентраций отсутствуют, нами в качестве фонового значения для расчётов было использовано минимально установленное значение концентрации хрома (в данном случае в точке № 8).

Таблица 3 / Table 3

Водородный показатель (рН) среды и содержание токсичных элементов в образцах почв (мг/кг)
The hydrogen index (pH) of the medium and the content of toxic elements in soil samples (mg/kg)

Точки отбора проб Sampling points	рН, ед.	As	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Cr
1	6.56	3.58	6.91	17.24	21.00	29.92	4.64	24.81
2	6.64	3.26	4.45	7.99	4.87	16.64	3.13	4.30
3	7.38	13.10	49.73	56.64	34.87	188.30	11.87	187.58
4	7.59	6.39	14.93	60.67	45.49	101.60	4.82	45.07
5	7.68	2.86	12.36	23.83	11.19	57.92	6.37	25.95
6	7.66	14.59	42.67	235.92	894.56	459.31	10.90	109.00
7	7.3	11.35	24.71	39.62	54.29	142.79	9.08	174.03
8	6.61	0.78	8.23	16.08	7.46	21.31	7.86	0.06
9	7.21	3.48	8.91	19.26	10.72	124.58	4.85	22.16
10	6.59	7.83	10.51	20.40	10.02	53.85	4.43	30.43
11	6.65	6.60	21.13	24.55	< НПКО*	101.35	9.08	35.31
12	6.87	4.85	9.66	9.12	< НПКО	33.65	4.98	12.53
Фон / Background		1.5	6.00	6.00	8.00	28.00	3.00	–
ПДК (ОДК) / MPC (UEC)		2	20	32	33	55	–	–

Примечание. * – нижний предел количественного определения.

Note: * – lower limit of quantitative determination.

Таблица 4 / Table 4

Показатель накопления (I_n) тяжёлых металлов и мышьяка в образцах почв
Indicator of accumulation (P_n) of heavy metals in soil samples

Точки отбора проб Sampling points	As	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Cr	Σ_{cp}^*
1	1.39	0.15	1.87	1.62	0.07	0.55	449.01	0.94
2	1.17	–0.26	0.33	–0.39	–0.41	0.04	76.99	0.08
3	7.73	7.29	8.44	3.36	5.72	2.96	3401.91	5.92
4	3.26	1.49	9.11	4.69	2.63	0.61	816.68	3.63
5	0.90	1.06	2.97	0.40	1.07	1.12	469.72	1.25
6	8.72	6.11	38.32	110.82	15.40	2.63	1976.34	30.34
7	6.56	3.12	5.60	5.79	4.10	2.03	3156.05	4.53
8	–0.48	0.37	1.68	–0.07	–0.24	1.62	0	0.48
9	1.32	0.49	2.21	0.34	3.45	0.62	401.02	1.40
10	4.22	0.75	2.40	0.25	0.92	0.48	551.06	1.50
11	3.40	2.52	3.10	0	2.62	2.03	639.63	2.28
12	2.24	0.61	0.52	0	0.20	0.66	226.30	0.70
Среднее значение Average value	3.37	1.98	6.38	10.57	2.96	1.28	1013.73	–

Примечание. * – среднее арифметическое без значений по Cr.

Note: * – arithmetic mean without values for Cr.

Показатель накопления ТМ и мышьяка в почве Меленок возрастает в ряду: Co → Ni → Zn → As → Pb → Cu → Cr.

Токсическую опасность загрязнения почвы ТМ оценивали по степени превышения содержания величины ПДК (ОДК) того или иного элемента, рассчитав для каждого величину коэффициента опасности (K_o). В связи с тем, что по валовым формам кобальта и хрома нормативные показатели

отсутствуют, для этих элементов расчёты не проводили. Результаты представлены в табл. 5. Ряд имеет следующий вид (min → max): Ni → Pb → Zn → Cu → As. Зная фактические значения содержания химических элементов в почве и их региональные фоновые значения, мы рассчитали коэффициенты концентрации для каждого элемента и суммарный показатель загрязнения Z_c почвы. Результаты представлены в табл. 6.

Таблица 5 / Table 5

Коэффициенты опасности (K_o) тяжёлых металлов и мышьяка в образцах почв**Hazard coefficients (C_o) of heavy metals in soil samples**

Точки отбора проб Sampling points	As	Ni	Pb	Cu	Zn	Σ_{cp}^*
1	1.79	0.35	0.54	0.64	0.54	0.77
2	1.63	0.22	0.25	0.15	0.30	0.51
3	6.55	2.49	1.77	1.06	3.42	3.06
4	3.20	0.75	1.90	1.38	1.85	1.81
5	1.43	0.62	0.74	0.34	1.05	0.84
6	7.29	2.13	7.37	27.11	8.35	10.45
7	5.67	1.24	1.24	1.65	2.60	2.48
8	0.39	0.41	0.50	0.23	0.39	0.38
9	1.74	0.45	0.60	0.32	2.27	1.08
10	3.92	0.53	0.64	0.30	0.98	1.27
11	3.30	1.06	0.77	0.00	1.84	1.39
12	2.43	0.48	0.28	0.00	0.61	0.76
Среднее значение Average value	3.28	0.89	1.38	2.76	2.02	—

Примечание. Здесь и в табл. 6: * – среднее арифметическое.

Note: Here and in Table 6: * – arithmetic mean.

Таблица 6 / Table 6

Коэффициент концентрации (K_c) и суммарный показатель загрязнения почвы (Z_c)**Concentration coefficient (C_c) and total soil pollution index (Z_c)**

Точки отбора проб Sampling points	K_c / C_c							Z_c
	As	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Σ_{cp}^*	
1	2.39	1.15	2.87	2.62	1.07	1.55	1.94	6.65
2	2.17	0.74	1.33	0.61	0.59	1.04	1.08	1.49
3	8.73	8.29	9.44	4.36	6.72	3.96	6.92	36.50
4	4.26	2.49	10.11	5.69	3.63	1.61	4.63	22.78
5	1.90	2.06	3.97	1.40	2.07	2.12	2.25	8.52
6	9.72	7.11	39.32	111.82	16.40	3.63	31.34	183.01
7	7.56	4.12	6.60	6.79	5.10	3.03	5.53	28.20
8	0.52	1.37	2.68	0.93	0.76	2.62	1.48	3.88
9	2.32	1.49	3.21	1.34	4.45	1.62	2.40	9.42
10	5.22	1.75	3.40	1.25	1.92	1.48	2.50	10.03
11	4.40	3.52	4.10	0.00	3.62	3.03	3.11	13.67
12	3.24	1.61	1.52	0.00	1.20	1.66	1.54	4.23
Среднее значение Average value	4.37	2.98	7.38	11.40	3.96	2.28	—	—

Обсуждение

Заболелаемость населения, являясь ведущим критерием общественного здоровья, обусловлена результатом взаимодействия целого ряда факторов, при этом выявить приоритетный часто не представляется возможным. Даже внутри региона заболелаемость имеет определённую специфику, на которую накладывают отпечаток возрастная структура

населения, территориально-географические особенности, экологические и социально-экономические факторы. Известно, что здоровье детей может являться индикатором состояния окружающей среды, поскольку растущий организм более чувствителен к воздействию средовых компонентов. У детей Меленковского района очень высокий относительно фоновых региональных значений эпидемиологический риск заболеваемости установлен по девяти классам болезней. Особое опасение вызывает степень риска болезней системы кровообращения. У взрослого населения очень высокий риск заболеваемости установлен по шести классам болезней. Очень высокая степень риска и у детей, и у взрослых обнаружена по пяти классам болезней: болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ; психические расстройства и расстройства поведения; болезни системы кровообращения; болезни кожи и подкожной клетчатки; болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани.

Одним из ведущих факторов риска для здоровья является загрязнение атмосферного воздуха, состояние которого можно косвенно оценить по содержанию поллютантов в почве. Известно, что интенсивность сорбции ТМ в почве зависит от значения рН почвенной среды, определяющего их подвижность, накопление или вымывание. Результаты исследования показывают, что рН водных вытяжек образцов почв находится в диапазоне 6,56–7,68, то есть водородный показатель почвы близок к нейтральной и слабощелочной среде. Такое значение рН почвенной среды характерно для урбозёмов – большинства городских почв [13]. В почве многие ТМ сильнее закрепляются в нейтрально-щелочной среде, чем в кислой, и это во многом объясняет их низкую водорастворимость и высокие концентрации в почве [14]. Поэтому повышенное значение рН почвенной среды способствует накоплению ТМ в почве.

Основными ТМ, характерными для урбанизированных почв, являются свинец (Pb), хром (Cr), медь (Cu), никель (Ni), цинк (Zn), кобальт (Co), а также металлоид мышьяк (As). Их содержание в значительной степени обусловлено уровнем техногенной химической нагрузки, сорбционными и буферными свойствами, фильтрационной способностью, гранулометрическим составом и рН почвы, а также наличием органических веществ и других компонентов [15]. Приоритетными загрязнителями почвы Меленок, как видно из табл. 3, являются прежде всего относящиеся к первому классу опасности Zn, Pb, As, а также относящиеся ко второму классу опасности Ni и Cu. Накоплению указанных выше элементов способствует тип почвы, характеризующийся низким содержанием гумуса, низкой кислотностью почвы и лёгким механическим составом [16]. Из всех обнаруженных поллютантов, вероятно, наибольшую опасность представляет мышьяк, относящийся к высокоопасным загрязняющим веществам. Известно, что As способен вызывать у человека гематологические эффекты, анемию, кожные болезни, рак лёгких. Концентрации данного элемента практически во всех точках отбора проб превышают санитарно-гигиенические нормативы. Поскольку наибольшие концентрации As обнаружены в точке № 6, можно предположить, что его присутствие в пробах является результатом использования литейно-механическим заводом для выплавки металлов железорудного материала, содержащего примеси мышьяка. В процессе высокотемпературной плавки As распределяется в металле, шлаковом расплаве и возгонах в виде газов, причём уход мышьяка в газовую фазу в промышленных условиях достигает 42% [17]. В аэрируемых песчаных и супесчаных почвах As активно закрепляется на частицах гидроксида железа, который для таких элементов-сидерофилов, как As, Cr, является главным почвенным сорбентом [18]. Нейтральная рН городской почвенной среды способствует сорбции As на поверхности органических и минеральных коллоидов, а также хемосорбции As с карбонатами, при этом образованные соединения As обладают малой подвижностью [19]. Также As сорбируется на частицах гетита (αFeOOH) и техноген-

ного магнетита (Fe_3O_4), поступающего в почву с твёрдыми компонентами выбросов различных предприятий города [20, 21]. Самые высокие концентрации химических элементов в почве обнаружены около завода «Литмаш-М» (точка отбора проб № 6), где превышение нормативных показателей (ПДК/ОДК) по меди достигает нескольких десятков раз. Вероятно, это связано со спецификой производства данного предприятия. Особую опасность представляют выбросы, образующиеся при получении сплавов цветных металлов (пары цинка, кадмия, свинца, бериллия) [22]. Попадая в атмосферу, часть поллютантов затем выпадает вокруг территории завода, загрязняя почву, которая является источником вторичного загрязнения приземного слоя атмосферы. В условиях небольшого населённого пункта с плотно прилегающим к промышленным предприятиям частным сектором это может оказать негативное воздействие на здоровье населения. В малых городах с небольшим городским бюджетом большинство автомобильных дорог находится в неудовлетворительном состоянии, что способствует за счёт движения автомобильного транспорта образованию, особенно в летний период, большого количества пыли с частицами ТМ. Высокий уровень загрязнения ТМ почвы, прилегающей к территории завода «Литмаш-М» (точка № 6), может быть обусловлен не только аэрогенным фактором, но и многолетним использованием прилегающей к заводу территории в качестве отвалов для захоронения образующихся в процессе работы твёрдых литейных отходов: формовочных и стержневых смесей, включая брак форм и стержней, просыпи и шлаки из отстойников пылеочистительной аппаратуры и установок регенерации смесей, литейные шлаки и т. д., которые содержат ТМ [22]. Известно, что в России, как правило, подвергается переработке менее половины этих отходов, остальные хранятся на территории металлургических предприятий или прилегающих к ним отвалах [23]. На современном этапе деятельности завода «Литмаш-М» образуются отходы гальванического производства, содержащие такие металлы, как Zn, Cr, Cu. Из-за нехватки оборудованных надлежащим образом площадок для хранения и захоронения твёрдых отходов возрастает опасность водной и воздушной миграции компонентов отходов, содержащих ТМ, что увеличивает площадь и степень загрязнения прилегающих территорий. Таким образом, наблюдается локальное техногенное загрязнение почвы ТМ в результате технологической деятельности предприятия. Выявление таких участков с высоким химическим загрязнением является одной из важнейших эколого-геохимических задач при оценке состояния окружающей среды любого города, имеющего промышленные предприятия (не только функционирующие), и должно сопровождаться обязательным проведением специальных природоохранных мероприятий по удалению и дальнейшей нейтрализации обнаруженных опасных химических элементов. В настоящем исследовании установлено, что почва северной территории города, прилегающей к заводу «Литмаш-М», по суммарному показателю загрязнения ($Z_c = 183,01$) относится к чрезвычайно опасной категории для здоровья населения, и это может являться причиной высокой заболеваемости населения.

К опасной категории загрязнения относится почва в пойме р. Унжи (№ 3), что, вероятно, обусловлено попаданием ТМ и As с загрязнёнными стоками и отложением данных элементов во время подтопления, вызванного паводками или весенним половодьем. Ведение в этой зоне огородного хозяйства и выращивание сельскохозяйственных культур несёт потенциальные риски для здоровья местного населения.

К умеренно опасной зоне относятся юго-западная (№ 4) и северо-восточная (№ 7) части города, включающие территорию заводов «Хлебозавод Меленковский» и «Меленковский консервный завод». Зона жилой частной застройки, садовых товариществ (точки № 8, 9, 12) и ландшафтно-рекреационная зона (точки № 1, 2, 10) ожидаемо имеют допустимый уровень загрязнения почв ($Z_c < 16$). В эту же группу вошли точки № 5 и № 11, расположенные в центральной

части города. Безусловно, движение автомобильного транспорта вносит определённый вклад в загрязнение почвы ТМ, особенно цинком, входящим в состав вулканизаторов шин. Данное обстоятельство подтверждается рядом зарубежных исследований, которые указывают, что в местах вынужденного снижения скорости движения автомобилей концентрация Zn в городской почве возрастает [24, 25]. Однако в небольшом городе движение автомобильного транспорта не настолько интенсивно, поэтому загрязнение почв находится на допустимом уровне. Наименьший суммарный показатель загрязнения установлен для точек № 1, 2, 8, 12, которые наиболее удалены от источников воздействия промышленных предприятий и автотранспорта.

Поскольку настоящее исследование ограничено разовым отбором проб, интересным представляется продолжение, направленное на изучение динамических показателей содержания ТМ в почве г. Меленки. Для минимизации ошибки репрезентативности стоит увеличить число реперных участков.

Заключение

Установлено, что за период 2001–2019 гг. первичная заболеваемость детей в Меленковском районе выросла на 16,2%, а заболеваемость взрослых снизилась на 26%. Значения первичной заболеваемости детей и взрослых в 2019 г. были ниже областных на 41,6 и 17,4% соответственно. Исследование эпидемиологического риска позволило установить у детей Меленковского района очень высокий относительно фоновых региональных значений риск по девяти классам болезней, у взрослых — по шести классам болезней. Очень высокая степень риска и у детей, и у взрослых обнаружена по пяти классам болезней: болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ; психические расстройства и расстройства поведения; болезни системы кровообращения; болезни кожи и подкожной клетчатки; болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани.

Проведённая эколого-гигиеническая оценка почв г. Меленки позволила установить наличие загрязнения ТМ и мышьяком, что, вероятно, обусловлено спецификой и продолжительностью работы старейшего предприятия города — литейно-механического завода. Отмечено значительное варьирование содержания токсикантов в черте города, что является характерным признаком урбанизированных почв, подверженных различным видам антропогенного воздействия. Оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения позволила установить, что периферийная часть города (ландшафтно-рекреационная зона) относится к категории допустимого загрязнения. В центральной части города выявлены участки с высокими уровнями загрязнения почвы, представляющие потенциально высокие риски для здоровья, что определяет необходимость организации постоянного эколого-гигиенического мониторинга. Наибольшую опасность для здоровья населения представляет мышьяк, концентрации которого практически во всех точках отбора проб превышают санитарно-гигиенические нормативы.

Установлено, что функционирующее в течение длительного времени городское предприятие за счёт загрязнения почв прилегающей территории способно нести высокие риски для здоровья населения даже во время продолжительного простоя или прекращения основной деятельности. Выявленное чрезвычайно опасное по суммарному показателю химическое загрязнение почвы на прилегающей к литейно-механическому заводу территории требует проведения специальных природоохранных мероприятий, направленных на удаление и нейтрализацию химических элементов. Для уменьшения загрязнения почвы города требуются углублённые исследования качества почвы, разработка мероприятий с целью снижения загрязнения окружающей среды от промышленных объектов.

Литература

(п.п. 2, 3, 20, 24, 25 см. References)

1. Водяницкий Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор). *Почвоведение*. 2013; (7): 872. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13050171> <https://elibrary.ru/qcmtrn>
4. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Денисова Т.В., Даденко Е.В. Оценка устойчивости почв юга России к химическому загрязнению. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2013; 91: 398–408. <https://elibrary.ru/rknkmh>
5. Чеснокова С.М., Подолец А.А., Савельев О.В., Мазин В.М. Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почв, экологической обстановки, когнитивных способностей и правонарушений младших школьников г. Кольчугино Владимирской области. *Современные проблемы науки и образования*. 2017; (3): 142. <https://elibrary.ru/yunepn>
6. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы). *Астраханский вестник экологического образования*. 2013; (1): 182–92. <https://elibrary.ru/pxntgr>
7. Чеснокова С.М., Савельев О.В. Эколого-геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком почв городов Владимирской области с различной спецификой промышленного производства. *Экология урбанизированных территорий*. 2019; (1): 43–9. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2019-11043> <https://elibrary.ru/nspvtx>
8. Трифонова Т.А., Подолец А.А., Селиванов О.Г., Марцев А.А. Оценка загрязнения почв рекреационных территорий промышленного города соединениями тяжелых металлов и мышьяка. *Теоретическая и прикладная экология*. 2018; (2): 94–101. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-2-094-101/1> <https://elibrary.ru/xtciqh>
9. Казимов М.А., Алиева Н.В., Фатуллаева С.Ф., Али Ф.М. Гигиеническая оценка уровня тяжелых металлов в биосредах населения города Баку. *Здоровье населения и среда обитания – ZHUSO*. 2020; (3): 22–6. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-324-3-22-26> <https://elibrary.ru/macirk>
10. Синцов А.В., Бармин А.Н., Зимовец П.А., Валов М.В. Геоэкологическая оценка современного содержания свинца в почвенном покрове урбанизированных территорий Нижнего Поволжья. *Геология, география и глобальная энергия*. 2021; (2): 137–44. <https://doi.org/10.21672/2077-6322-2021-81-2-137-144> <https://elibrary.ru/blmjgg>
11. Каманина И.З., Каплина С.П., Макаров О.А. Канцерогенный риск, связанный с загрязнением почв, для здоровья населения городов. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(3): 299–304. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-299-304> <https://elibrary.ru/huybjw>
12. Комаров В.И., Селиванов О.Г., Марцев А.А., Подолец А.А., Лукьянов С.Н. Содержание тяжелых металлов в пахотном горизонте почв сельскохозяйственного назначения Владимирской области. *Агрохимия*. 2019; (12): 75–82. <https://doi.org/10.1134/S0002188119100089> <https://elibrary.ru/eldgxx>
13. Ельшаева И.В., Воропаева Е.В. Особенности физико-химических свойств урбанизированных почв в зависимости от характера их освоения. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2016; (44): 46–9. <https://elibrary.ru/xhpwgv>
14. Водяницкий Ю.Н. Учет геохимических особенностей территории и погодных условий при нормировании тяжелых металлов в почвах. *Агрохимия*. 2014; (2): 66–72. <https://elibrary.ru/rybiq>
15. Тихонова А.А., Иванцова Е.А. Особенности организации мониторинга тяжелых металлов в почвенном покрове городской среды (на примере г. Волгограда). *Проблемы региональной экологии*. 2020; (4): 95–9. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2020-14095> <https://elibrary.ru/cdnjie>
16. Марцев А.А., Селиванов О.Г., Трифонова Т.А. Оценка почвы придорожной территории автодороги Р-72 по содержанию тяжелых металлов и мышьяка. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(7): 730–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-7-730-735> <https://elibrary.ru/aajybj>
17. Михалина Е.С. Исследование поведения мышьяка, содержащегося в техногенном и природном сырье черной металлургии, с целью оценки воздействия на окружающую среду: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.; 2003. <https://elibrary.ru/nmjbgd>
18. Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А. Ферригидрит в почвах. *Почвоведение*. 2016; (7): 862–73. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16070121> <https://elibrary.ru/wdoszr>
19. Тагивердиев С.С., Сальник Н.В. О распределении химических элементов минеральной части почвы в структурных фракциях черноземов и урбостратоземов Ростовской агломерации. *Живые и биокосные системы*. 2022; (41): 4. <https://doi.org/10.18522/2308-9709-2022-41-4> <https://elibrary.ru/zkqehx>
21. Водяницкий Ю.Н. Превращения мышьяка в загрязненных почвах. *Агрохимия*. 2013; (4): 87–96. <https://elibrary.ru/pzdjhz>
22. Егорычев В., Шутов С., Тяжелов В. Литейное производство и экология. *Технадзор*. 2015; (11): 120–1. <https://elibrary.ru/xhbaif>
23. Коряков А.Е., Шишкина А.А., Шишкина П.А. Воздействие предприятий металлургической промышленности на почву и пути его снижения. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2019; (9): 371–4. <https://elibrary.ru/arsroo>

References

1. Vodyanitskiy Yu.N. Contamination of soils with heavy metals and metalloids and its ecological hazard (analytic review). *Pochvovedenie*. 2013; 46(7): 793–801. <https://doi.org/10.1134/S1064229313050153> <https://elibrary.ru/rffikd>
2. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press; 2001.
3. Abrahams P.W. Soils: their implications to human health. *Sci. Total Environ*. 2002; 291(1–3): 1–32. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)01102-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)01102-0)
4. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Denisova T.V., Dadenko E.V. Stability evaluation of southern Russia soils to chemical pollution. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013; 91: 398–408. <https://elibrary.ru/rknkmh> (in Russian)
5. Chesnokova S.M., Podolets A.A., Savel'ev O.V., Mazein V.M. Assessment of the level of heavy metal contamination of soils, environmental situation, cognitive abilities and delinquency of younger schoolchildren in Kolchugino, Vladimir region. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2017; (3): 142. <https://elibrary.ru/yunepn> (in Russian)
6. Teplaya G.A. Heavy metals as a factor of environmental pollution (review). *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2013; (1): 182–92. <https://elibrary.ru/pxnttr> (in Russian)
7. Chesnokova S.M., Savel'ev O.V. Pollution with heavy metals and arsenic of the soils of the cities of the Vladimir region with different specificity of industrial production. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2019; (1): 43–9. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2019-11043> <https://elibrary.ru/nspvtx> (in Russian)
8. Trifonova T.A., Podolets A.A., Selivanov O.G., Martsev A.A. Assessment of soil contamination in the recreational areas of the city by the industrial compounds of heavy metals and arsenic. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2018; (2): 94–101. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-2-094-101/1> <https://elibrary.ru/xtciqh> (in Russian)
9. Kazimov M.A., Alieva N.V., Fatullaeva S.F., Ali F.M. Hygienic assessment of heavy metal levels in biological samples of the population of Baku. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2020; (3): 22–6. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-324-3-22-26> <https://elibrary.ru/macirk> (in Russian)
10. Sintsov A.V., Barmin A.N., Zimovets P.A., Valov M.V. Geoecological assessment of the contemporary lead content in the soil cover of the urbanized territories of the lower Volga region. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*. 2021; (2): 137–44. <https://doi.org/10.21672/2077-6322-2021-81-2-137-144> <https://elibrary.ru/blmjgg> (in Russian)
11. Kamanina I.Z., Kaplina S.P., Makarov O.A. Carcinogenic risk associated with soil pollution for urban population health. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(3): 299–304. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-299-304> <https://elibrary.ru/huybjw> (in Russian)
12. Komarov V.I., Selivanov O.G., Martsev A.A., Podolets A.A., Luk'yanov S.N. Heavy metals contamination in arable horizon of soils of agricultural appointment of the Vladimir region. *Agrokimiya*. 2019; (12): 75–82. <https://doi.org/10.1134/S0002188119100089> <https://elibrary.ru/eldgxx> (in Russian)
13. El'shaeva I.V., Voropaeva E.V. Features of physicochemical urban soils' properties depending on the nature of their development. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016; (44): 46–9. <https://elibrary.ru/xhpwgv> (in Russian)
14. Vodyanitskiy Yu.N. Assessment of local geochemical features and weather conditions at the regulation of heavy metals in soils. *Agrokimiya*. 2014; (2): 66–72. <https://elibrary.ru/rybiq> (in Russian)
15. Tikhonova A.A., Ivantsova E.A. Features of the organization of monitoring of heavy metals in the soil cover of the urban environment: a case study of Volgograd. *Problemy regional'noy ekologii*. 2020; (4): 95–9. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2020-14095> <https://elibrary.ru/cdnjie> (in Russian)
16. Martsev A.A., Selivanov O.G., Trifonova T.A. Evaluation of the roadside soil of the P72 highway by the content of heavy metals and arsenic. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(7): 730–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-7-730-735> <https://elibrary.ru/aajybj> (in Russian)
17. Mikhailina E.S. *Study of the behavior of users entering the technogenic and natural resources of ferrous metallurgy in order to assess the impact on the environment*: Diss. Moscow; 2003. (in Russian)
18. Vodyanitskiy Yu.N., Shoba S.A. Ferrihydrite in soils. *Pochvovedenie*. 2016; (7): 796–806. <https://doi.org/10.1134/S1064229316070127> <https://elibrary.ru/wujyiv>
19. Tagiverdiev S.S., Sal'nik N.V. Distribution of gross chemical composition in structural fractions of chernozems and urbostratozems of Rostov agglomeration. *Zhivye i biokosnye sistemy*. 2022; (41): 4. <https://doi.org/10.18522/2308-9709-2022-41-4> <https://elibrary.ru/zkqehx> (in Russian)
20. Wang J., Li Z., Zhu Q., Wang C. Review on arsenic environment behaviors in aqueous solution and soil. *Chemosphere*. 2023; 333: 138869. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138869>

Original article

21. Vodyanitskiy Yu.N. Transformation of arsenic in contaminated soils. *Agrokhimiya*. 2013; (4): 87–96. <https://elibrary.ru/pzdjhz> (in Russian)
22. Egorychev V., Shutov S., Tyazhelov V. Foundry production and ecology. *Tekhnadzor*. 2015; (11): 120–1. <https://elibrary.ru/xhbaif> (in Russian)
23. Koryakov A.E., Shishkina A.A., Shishkina P.A. Influence of metallurgical industries on soil and ways to reduce it. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2019; (9): 371–4. <https://elibrary.ru/arsroo> (in Russian)
24. Müller A., Kocher B., Altmann K., Braun U. Determination of tire wear markers in soil samples and their distribution in a roadside soil. *Chemosphere*. 2022; 294: 133653. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133653>
25. Klöckner P., Reemtsma T., Eisentraut P., Braun U., Ruhl A.S., Wagner S. Tire and road wear particles in road environment – Quantification and assessment of particle dynamics by Zn determination after density separation. *Chemosphere*. 2019; 222: 714–21. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.176>

Информация об авторах

Трифоновна Татьяна Анатольевна – доктор биол. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, зав. каф. биологии и экологии ВлГУ, 600000, Владимир, Россия

Марцев Антон Андреевич – доцент, канд. биол. наук, доцент каф. биологии и экологии ВлГУ, 600000, Владимир, Россия. E-mail: MartsevAA@yandex.ru

Селиванов Олег Григорьевич – зав. лаб. каф. биологии и экологии ВлГУ, 600000, Владимир, Россия

Курбатов Юрий Николаевич – аспирант каф. биологии и экологии ВлГУ, 600000, Владимир, Россия

Ростунов Алексей Олегович – аспирант каф. биологии и экологии ВлГУ, 600000, Владимир, Россия

Information about the authors:

Tatyana A. Trifonova, MD, PhD, DSci, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Faculty of Soil Science of the Lomonosov Moscow State University, Head of the Department of Biology and Ecology of Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, 600000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-1628-9430>

Anton A. Martsev, MD, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, 600000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3572-9163> E-mail: MartsevAA@yandex.ru

Oleg G. Selivanov, Head of the Laboratory of Biology and Ecology, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, 600000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3674-0660>

Yurij N. Kurbatov, Postgraduate student of the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, 600000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0904-3854>

Alexey O. Rostunov, Postgraduate student of the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, 600000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6609-5634>