



Каманина И.З.^{1,3}, Каплина С.П.^{1,3}, Макаров О.А.^{1,2}

Канцерогенный риск, связанный с загрязнением почв, для здоровья населения городов

¹Государственный университет «Дубна», 141980, Дубна, Россия;

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119234, Москва, Россия;

³Объединённый институт ядерных исследований, 141980, Дубна, Россия

Введение. Создание комфортной городской среды предполагает отсутствие угрозы здоровью населения и окружающей природной среде. Почва в урбоэкосистемах, аккумулируя загрязняющие вещества, защищает сопредельные среды, однако при высоком уровне загрязнения сама становится источником опасности.

Материалы и методы. В работе проведена оценка риска для здоровья населения, связанного с загрязнением городских почв. Исследование проведено в соответствии с Р 2.1.10.1920–04 в Кольчугине Владимирской области и Дубне Московской области, почвы которых существенно различаются по уровню загрязнения тяжёлыми металлами (ТМ). Расчёты риска проведены на основании фактических данных о содержании в почве ТМ, а также данных о прогнозируемых уровнях загрязнения почв (через 50 и 100 лет).

Результаты. Канцерогенный риск для здоровья взрослого населения городов Кольчугино и Дубна при пероральном поступлении ТМ как в настоящий момент, так и при изменении уровня загрязнения в результате атмосферного поступления загрязняющих веществ в течение расчётного периода (50, 100 лет) характеризуется как минимальный (*de minimis*) риск. При ингаляционном поступлении ТМ население 25% территории Дубны испытывает средний уровень риска. Суммарный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения при загрязнении почв ТМ на всей территории Кольчугина и в 47% случаев в Дубне находится выше приемлемого уровня. При сохранении современного уровня загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами и опосредованного влияния на качество почвы площадь территории городов с неприемлемым уровнем риска увеличится.

Ограничения исследования. В работе проведена оценка канцерогенного риска как вероятности развития наиболее социально значимого неблагоприятного эффекта влияния среды обитания на здоровье.

Заключение. Необходимо проведение мероприятий по ремедиации почв Кольчугина Владимирской области и снижению поступления загрязняющих веществ в почвы городов Кольчугина и Дубны.

Ключевые слова: тяжёлые металлы; окружающая среда; загрязнение; риск; почва; здоровье человека; город

Соблюдение этических стандартов. Местный комитет по этике ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» одобрил настоящее исследование, проведённое в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или других научных целей (ETS N 123), Директивой Европейского союза, Постановлением Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/EU от 22.09.2010 о защите животных, используемых в научных целях.

Для цитирования: 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>

Для корреспонденции: Каманина Инна Здиславовна, канд. биол. наук, доцент каф. экологии и наук о Земле ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна», 141980, Дубна. E-mail: kamanina@uni-dubna.ru

Участие авторов: Каманина И.З. — концепция исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, редактирование; Каплина С.П. — статистическая обработка, описание и анализ данных, написание текста; Макаров О.А. — концепция исследования, написание текста, редактирование. 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: 31.01.2023 / Принята к печати: 24.03.2023 / Опубликовано: 20.04.2023

Inna Z. Kamanina^{1,3}, Svetlana P. Kaplina^{1,3}, Oleg A. Makarov^{1,2}

Carcinogenic risk associated with soil pollution for urban population health

¹Dubna State University, Dubna, 141980, Moscow Region, Russian Federation;

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation;

³Joint Institute for Nuclear Researches, Dubna, 141980, Russian Federation

Introduction. Creating a comfortable urban environment includes the absence of a threat to the environment and population health. By accumulating pollutants, soil in urban ecosystems protects adjacent environments from pollution, but if the pollution reaches high level the soil itself becomes a source of danger.

Material and methods. In this work the assessment of the risk for public health associated with urban soils pollution for the cities Kolchugino, Vladimir Region and Dubna, Moscow Region, whose soils significantly different of heavy metal (HM) level pollution was executed in accordance with R 2.1.10.1920–04. Risk calculations were carried out on the base of the actual data of heavy metals concentrations in the soil, and also the data of predicted levels soil pollution (after 50 and 100 years).

Results. Carcinogenic risk for the health of adult population in the cities Kolchugino and Dubna with peroral intake of heavy metals both now and if the level pollution will be changed as a result of the atmospheric emission pollutants during the calculated period (50, 100 years) were characterized as a minimum (*De minimis*) risk. Risk for population health with inhalation of heavy metals was characterized as an average level on the 25% of Dubna territories. The total carcinogenic risk for the health of adult population in the course of heavy metals soil pollution on the whole territory in the city Kolchugino and in 47% of cases in the city Dubna were characterized above an acceptable level. If the current level of aerogenic pollutants is maintained, the area of cities with an unacceptable level of risk will be increase.

Limitations. The paper assesses the carcinogenic risk as the probability of developing the most socially significant adverse effect of the environmental impact on health.

Conclusion. It is necessary to carry out measures for the remediation of soils in the city Kolchugino Vladimir Region and reduce the flow of pollutants into the soils of the cities Kolchugino and Dubna.

Keywords: heavy metals; environment; pollution; risk; soil; city; Moscow region

Compliance with ethical standards. The Local ethics committee of the North-West Public Health Research Center approved this study carried out under the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experiments or Other Scientific Purposes (ETS N 123), Directive of the European Parliament and Council of the European Union 2010/63/EU of 22.09.2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

For citation: 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)

For correspondence: Inna Z. Kamanina, MD, PhD, head of the Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: kriyat@s-znc.ru

Information about authors:

Kamanina I.Z., <https://orcid.org/0000-0001-9186-8689> Kaplina S.P., <https://orcid.org/0000-0003-1323-6349> Makarov O.A., <https://orcid.org/0000-0001-5323-305X>

Contribution: Kamanina I.Z. – the concept of the study, collection material and data processing, statistical processing, writing a text, editing; Kaplina S.P. – statistical data processing, data description and analysis, writing a text; Makarov O.A. – the concept of the study, writing a text, 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.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: January 31, 2022 / Accepted: March 24, 2023 / Published: April 20, 2023

Введение

Обеспечение безопасной среды обитания является приоритетной задачей в нашей стране, что обозначено в Указе Президента Российской Федерации «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [1], а также в «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года» [2].

Создание комфортной городской среды подразумевает отсутствие угрозы окружающей природной среде и здоровью населения, что необходимо учитывать при решении задач эффективного градостроительного планирования. Неотъемлемой частью комфортной городской среды является её соответствие санитарно-эпидемиологическим и экологическим требованиям. Данные экологического мониторинга недостаточно информативны с точки зрения популяционно-здоровья населения. В условиях цифровизации появилась потребность в научном обосновании применения различных подходов для моделирования и прогнозирования состояния окружающей среды урбозкосистем.

Малые города становятся всё более привлекательными для жизни, особенно в связи с возможностью дистанционной работы, при этом состоянии окружающей среды в них нередко находится под двойным негативным влиянием вследствие загрязнения от производства, расположенного на территории города, и загрязнения от источников более крупных городов.

Почва является депонирующей средой и выполняет важную экологическую функцию в урбозкосистемах, аккумулируя взвешенные частицы из атмосферного воздуха. Однако при повышении уровней загрязнения поллютантами в почве снижается активность сапрофитных микроорганизмов, что способствует снижению её самоочищающей способности и защитных функций [3, 4]. Это может способствовать вторичному загрязнению воздуха в результате процессов денудации почвенных частиц, содержащих токсичные вещества. Мониторинг загрязнённости почв сельтебных территорий и своевременное проведение ремедиации обеспечат экологическую безопасность окружающей среды, реализацию мероприятий по сохранению здоровья населения [5].

Оценка экологического риска и риска для здоровья населения широко применяется в отечественной практике на территориях, испытывающих высокий уровень антропогенной нагрузки [6–10]. Процедура оценки риска для здоровья [11] включает количественную и (или) качественную характеристику вредных эффектов, способных развиться в результате воздействия факторов среды обитания на конкретную группу людей при специфических условиях экспозиции.

Загрязнение почвенного покрова способно оказать ингаляционное, пероральное и накожное воздействие на организм человека.

Цель исследования – проведение оценки связанного с загрязнением городских почв риска для здоровья населения, в том числе на основе прогнозных значений, полученных при помощи балансового подхода.

Материалы и методы

Объектами исследования были выбраны города с невысокой численностью населения и разной степенью антропогенной нагрузки. Город Кольчугино – административный центр Кольчугинского района, расположен в северо-западной части Владимирской области на правом берегу р. Пекши, являющейся притоком р. Клязьмы, в 74 км от Владимира и в 131 км от Москвы. Площадь города – 3100 га, численность населения на 01.01.2021 г. составляла 41 369 человек (малый город). Кольчугино – промышленный город цветной металлургии, относится к моногородам. Основными градообразующими предприятиями являются предприятия по обработке цветных металлов: АО «Электрокабель» Кольчугинский завод, ООО «Кольчугинский мельхиор», АО «Интерсильверлайн», ООО «МТК «ЗиО-Мет». На Кольчугинском заводе цветных металлов до недавнего времени выпускалось около 30% общего объёма проката цветных металлов в России. Суммарный объём валовых выбросов в среднем составляет около 1260 т/год. Дубна – наукоград, город областного подчинения, расположенный в самой северной точке Московской области по обеим сторонам реки Волги, в 128 км от Москвы. Площадь города составляет 6336 га, численность населения на 01.01.2021 г. – 74 499 человек (средний город). На территории Дубны преобладают наукоёмкие отрасли, такие как авиастроение, приборостроение, машиностроение и др. Суммарный объём валовых выбросов составляет около 1500 т/год [12]. В Кольчугине и Дубне отсутствуют стационарные посты наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха. По данным снеговой съёмки, нагрузка тяжёлых металлов с атмосферными выпадениями на территории этих городов крайне неравномерна, и почвы существенно различаются по уровню загрязнения (табл. 1). В почвах Кольчугина превышение ПДК кадмия отмечается на 76% территории города, превышение ПДК свинца – на 34% [13]. Максимальные уровни загрязнения выявлены в жилых районах, прилегающих непосредственно к промплощадке, где сосредоточены предприятия цветной металлургии, существующие с момента основания города. В почвах Дубны превышения санитарно-гигиенических нормативов по содержанию тяжё-

Таблица 1 / Table 1

Статистические характеристики содержания валовых форм тяжёлых металлов в почвах (C) и нагрузки тяжёлых металлов с атмосферными выпадениями (ΔQ) (по данным снеговой съёмки)

Statistical characteristics of the content of total forms of heavy metals in soils (C) and the load of heavy metals with atmospheric fallout (ΔQ) according to snow survey data

Характеристика Characteristic	1-й класс опасности / 1 hazard class				2-й класс опасности / 2 hazard class	
	Свинец / Lead (Pb)		Кадмий / Cadmium		Никель / Nickel	
	C, мг/кг mg/kg	ΔQ , г/км ² в год g/km ² per year	C, мг/кг mg/kg	ΔQ , г/км ² в год g/km ² per year	C, мг/кг mg/kg	ΔQ , г/км ² в год g/km ² per year
<i>г. Кольчугино, Владимирская область / Kolchugino, Vladimir Region</i>						
Объём выборки / Sample size	24	20	24	20	–	–
Минимум / Minimum	5.48	525	0.273	41	Н.о. / N.d.	Н.о. / N.d.
Максимум / Maximum	192.49	4099	2.119	440	Н.о. / N.d.	Н.о. / N.d.
Среднее / Average	41.38	1227	1.078	182	Н.о. / N.d.	Н.о. / N.d.
Медиана / Median	19.94	751	0.969	175	Н.о. / N.d.	Н.о. / N.d.
Стандартное отклонение / Standard deviation	54.75	984	0.604	126	Н.о. / N.d.	Н.о. / N.d.
Ошибка среднего / Error of mean	11.18	220	0.123	28	Н.о. / N.d.	Н.о. / N.d.
Дисперсия / Dispersion	2998	968 173	0.365	15 924	Н.о. / N.d.	Н.о. / N.d.
<i>г. Дубна, Московская область / Dubna, Moscow Region</i>						
Объём выборки / Sample size	47	47	47	47	47	47
Минимум / Minimum	0.71	235	0.015	12	0.43	196
Максимум / Maximum	7.91	7991	0.393	384	12.45	4804
Среднее / Average	3.03	1709	0.122	33	2.85	846
Медиана / Median	2.66	1256	0.104	16	2.48	547
Стандартное отклонение / Standard deviation	1.77	1610	0.075	59	2.07	959
Ошибка среднего / Error of mean	0.26	235	0.011	9	0.30	140
Дисперсия / Dispersion	3.13	2 592 500	0.006	3498	4.28	919 486

Примечание. Н.о. – не определялось. / Note: N.d. – not detected.

лых металлов не выявлено, вся территория города соответствует «допустимому» уровню загрязнения [12].

Оценка риска для здоровья населения проведена в соответствии с Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [11]. Расчёты риска для здоровья населения проведены на основании фактических данных о содержании в почве тяжёлых металлов 1-го и 2-го классов опасности, а также данных о прогнозируемых уровнях загрязнения почв (через 50 и 100 лет), полученных с использованием данных о нагрузке тяжёлых металлов с атмосферными выпадениями, и балансового метода, описанного в [13, 14].

Оценка уровня индивидуального пожизненного канцерогенного риска (CR) проводилась по формуле:

$$CR = LADD \cdot SF,$$

где *LADD* – среднесуточная доза токсиканта, поступающего в организм в течение жизни, мг/(кг · сут); *SF* – фактор канцерогенного потенциала, (мг/(кг · сут))⁻¹.

Для учёта различных путей воздействия почвенного покрова на организм человека использованы расчётные формулы 1 и 2 в зависимости от характера поступления токсиканта [11].

При пероральном воздействии:

$$I = C_s \cdot FI \cdot EF \cdot ET \cdot CF_2 \cdot ((EDc \cdot IRc/BWc) + (EDa \cdot IRa/BWa)) / (AT \cdot 365) \quad (1)$$

При ингаляционном воздействии:

$$I = (Ca \cdot IR \cdot ED \cdot EF) / (BW \cdot AT \cdot 365) \quad (2)$$

Параметры, используемые для расчётов канцерогенных рисков для здоровья взрослого населения при загрязнении почв Кольчугина и Дубны, представлены в табл. 2.

Классификация риска для здоровья проведена согласно [11].

Результаты

Как показали расчёты, канцерогенный риск для здоровья взрослого населения Кольчугина при ингаляционном пути поступления загрязняющих веществ из почвы (свинец и кадмий, содержащиеся в почвах города) в большинстве случаев находится на уровне неприемлемого. Канцерогенный риск при ингаляционном поступлении из почвы свинца только на 13% территории города находится на приемлемом для населения уровне ($< 9,92 \cdot 10^{-5}$), а 71% территории города испытывает средний канцерогенный риск, неприемлемый для населения (от $1,23 \cdot 10^{-4}$ до $7,32 \cdot 10^{-4}$). В 16% случаев риск оценивается как высокий (*de manifestis*), то есть $> 2,71 \cdot 10^{-3}$. Через 50 лет территория города с приемлемым риском сократится на 4%, а через 100 лет низкого (допустимого) уровня риска не будет вовсе. При ингаляционном поступлении кадмия на большей части территории (75% площади города) риск для здоровья населения является высоким (*de manifestis*) и составляет $> 4,48 \cdot 10^{-3}$, в 25% случаев – средним (от $5,77 \cdot 10^{-4}$ до $9,28 \cdot 10^{-4}$). В течение 50 лет соотношение среднего и высокого уровней риска сохранится. Через 100 лет средний уровень канцерогенного риска для здоровья населения при ингаляционном поступлении кадмия вследствие загрязнения почв будет составлять менее 13%.

Канцерогенный риск для здоровья взрослого населения Кольчугина при пероральном поступлении кадмия и свинца

Таблица 2 / Table 2

Исходные данные для оценки риска

Input data for risk assessment

Параметр Parameter	Характеристика Characteristic	Стандартное значение Standard value
<i>При ингаляционном воздействии / Under inhalation exposure</i>		
<i>Ca</i>	Концентрация вещества в воздухе, мг/м ³ (Concentration of substance in air, mg/m ³)	$C_s \cdot (1/PEF + 1/EF)$
<i>Cs</i>	Концентрация вещества в почве, мг/кг (Concentration of substance in soil, mg/kg)	Фактическое значение Actual value
<i>PEF</i>	Фактор эмиссии пылевых частиц, м ³ /кг (Particulate Emissions factor, m ³ /kg)	$1.32 \cdot 10^9$
<i>IR</i>	Скорость поступления, м ³ /сут (Rate of admission, m ³ /day)	20
<i>EF</i>	Частота воздействия, дней/год (Exposure frequency, days/year)	220
<i>ED</i>	Продолжительность воздействия, лет (Exposure duration, years)	30
<i>BW</i>	Масса тела, кг (Body weight, kg)	70
<i>AT</i>	Период усреднения экспозиции, лет (Exposure averaging period, years)	30
<i>При пероральном воздействии / Peroral exposure</i>		
<i>Cs</i>	Концентрация вещества в почве, мг/кг (Concentration of substance in soil, mg/kg)	Фактическое значение Actual value
<i>IR</i>	Скорость поступления, кг/сут (Rate of admission, kg/day)	0.0001
<i>IRc</i>	Скорость поступления в возрасте 6 и менее лет, мг/сут (Rate of admission at the age of 6 years or less, mg/day)	0.0002
<i>IRa</i>	Скорость поступления в возрасте старше 6 лет, мг/сут (Rate of admission over 6 years of age, mg/day)	0.0001
<i>ET</i>	Время воздействия, ч/день (Exposure time, hours/day)	1
<i>CF2</i>	Пересчётный коэффициент, дней/ч (Calculation factor, days/hour)	$ET/24$
<i>FI</i>	Загрязнённая фракция почвы, отн. ед. (Contaminated soil fraction, rel. units)	1.0 (100%)
<i>EF</i>	Частота воздействия, дней/год (Exposure frequency, days/year)	220
<i>EDc</i>	Продолжительность воздействия в возрасте моложе 6 лет, лет (Duration of exposure younger than 6 years, years)	6
<i>EDa</i>	Продолжительность воздействия в возрасте старше 6 лет, лет (Duration of exposure over 6 years of age, years)	24
<i>BWc</i>	Масса тела в возрасте 6 и менее лет, кг (Body weight aged 6 years or less, kg)	15
<i>BWa</i>	Масса тела в возрасте старше 6 лет, кг (Body weight over 6 years of age, kg)	70
<i>AT</i>	Период усреднения экспозиции, лет (Exposure averaging period, years)	70

из почвы как в настоящий момент, так и при изменении уровня загрязнения в результате атмосферного поступления загрязняющих веществ в течение расчётного периода (50 и 100 лет) составляет $< 1,00 \cdot 10^{-7}$. Такой риск характеризуется как минимальный (*de minimis*), то есть на уровне повседневного, не требует дополнительных мероприятий по снижению, но подлежит периодическому контролю.

Суммарный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения Кольчугина при загрязнении почв (в результате перорального и ингаляционного поступления свинца и кадмия) находится на неприемлемом уровне (табл. 3). В 17% случаев население испытывает средний риск (от $7,47 \cdot 10^{-4}$ до $9,99 \cdot 10^{-4}$), в 83% случаев — высокий (*de manifestis*) ($> 7,19 \cdot 10^{-3}$), что является неприемлемым для населения в целом. При дальнейшем атмосферном поступлении загрязняющих веществ площадь территории города с высоким уровнем риска к 50 годам воздействия увеличится на 8% и составит 91%, а через 100 лет — 96%.

Канцерогенный риск для здоровья взрослого населения Дубны при пероральном поступлении кадмия в настоящий момент составляет от $2,34 \cdot 10^{-10}$ до $6,12 \cdot 10^{-9}$, а при пероральном поступлении свинца — от $1,01 \cdot 10^{-9}$ до $1,52 \cdot 10^{-8}$. Такой уровень риска характеризуется как минимальный (*de minimis*), на уровне повседневного. При изменении показателей в результате атмосферного поступления загрязняющих веществ в течение расчётного периода (50 и 100 лет) категория риска не изменится (минимальный уровень риска, *de minimis*), он останется на уровне повседневного. Такой риск не требует дополнительных мероприятий по снижению, но подлежит периодическому контролю.

Канцерогенный риск для здоровья взрослого населения Дубны при ингаляционном поступлении загрязняющих веществ (свинец, кадмий и никель), содержащихся в почвах города, в настоящее время на большей части территории (75% площади) находится на низком уровне. Неприемлемый для населения уровень риска за счёт опасности ингаляционного поступления никеля отмечается на 25% площади города и составляет от $1,07 \cdot 10^{-3}$ до $3,51 \cdot 10^{-3}$. Неприемлемый уровень риска за счёт ингаляционного поступления в организм из почвы кадмия и свинца на сегодняшний день отсутствует. Канцерогенный риск от ингаляционного поступления кадмия составляет от $3,17 \cdot 10^{-5}$ до $8,31 \cdot 10^{-4}$, что соответствует предельно допустимому (низкому) риску. Канцерогенный риск от ингаляционного поступления свинца также находится на верхней границе приемлемого (от $1,11 \cdot 10^{-5}$ до $1,00 \cdot 10^{-4}$). За ближайшие 50 лет канцерогенный риск для здоровья взрослого населения Дубны при ингаляционном поступлении увеличится незначительно. На 4% возрастёт неприемлемый уровень риска от загрязнения никелем. Через 100 лет неприемлемый уровень канцерогенного риска при ингаляционном поступлении никеля составит 36%, кадмия — 4%. При воздействии свинца этот показатель не будет превышать предельно допустимого канцерогенного риска. Тем не менее при совместном ингаляционном поступлении ТМ канцерогенный риск возрастает на значительной части городской территории. В итоге суммарный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения Дубны от загрязнения почв ТМ на 47% территории превышает верхнюю границу приемлемого и составляет от $1,10 \cdot 10^{-4}$ до $3,86 \cdot 10^{-3}$ (см. табл. 3). При дальнейшем поступлении загрязняющих

Таблица 3 / Table 3

Суммарный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения Кольчугина и Дубны**Total carcinogenic risk for the health of the adult population of the cities of Kolchugino and Dubna**

Характеристика Characteristic	Существующее положение Actual data	Через 50 лет After 50 years	Через 100 лет After 100 years
г. Кольчугино, Владимирская область / Kolchugino, Vladimir Region			
Объём выборки / Sample size	24	24	24
Минимум / Minimum	7.47E-04	8.88E-04	9.46E-04
Максимум / Maximum	7.19E-03	7.26E-03	7.34E-03
Среднее / Average	2.86E-03	3.00E-03	3.14E-03
Медиана / Median	2.64E-03	2.70E-03	2.77E-03
Стандартное отклонение Standard deviation	1.69E-03	1.70E-03	1.71E-03
Ошибка среднего Error of mean	3.45E-04	3.47E-04	3.50E-04
Дисперсия / Dispersion	2.85E-06	2.88E-06	2.93E-06
г. Дубна, Московская область / Dubna, Moscow Region			
Объём выборки / Sample size	47	47	47
Минимум / Minimum	1.95E-04	2.19E-04	2.45E-04
Максимум / Maximum	3.86E-03	3.99E-03	4.13E-03
Среднее / Average	1.10E-03	1.22E-03	1.33E-03
Медиана / Median	9.48E-04	1.04E-03	1.11E-03
Стандартное отклонение Standard deviation	6.75E-04	7.25E-04	7.94E-04
Ошибка среднего Error of mean	9.85E-05	1.06E-04	1.16E-04
Дисперсия / Dispersion	4.56E-07	5.26E-07	6.30E-07

веществ из атмосферы площадь территории города со средним неприемлемым уровнем риска к 50 годам воздействия увеличится на 4% и составит 51%, а через 100 лет – 60%.

Обсуждение

В практике оценки риска для здоровья населения чаще рассматривается загрязнение атмосферного воздуха [6, 7], поверхностных и грунтовых вод, используемых в качестве источника питьевого водоснабжения [10]. Проведённая в настоящем исследовании оценка риска, связанного с загрязнением почв, показала опасность развития канцерогенных эффектов для населения при ингаляционном пути поступления тонкодисперсных загрязнённых почвенных частиц на территории обследованных городов. Выявлена значительная пространственная неоднородность уровней загрязнения почвы, что позволяет провести ранжирование изученных территорий по уровню санитарно-эпидемиологического и экологического благополучия. По данным [15], величина

суммарного канцерогенного риска при поступлении металлов с почвой на территории г. Оренбурга значительно ниже ($< 10^{-7}$) и оценивается как пренебрежимо малая. По мнению авторов [15], канцерогенный риск при оценке вклада тяжёлых металлов, поступающих с пищевыми продуктами, резко возрастает (от $1,5 \cdot 10^{-4}$ до $2,7 \cdot 10^{-6}$) и переходит в категорию предельно допустимого. В малых и средних городах значительная часть жилой застройки представлена частным сектором с приусадебными хозяйствами, в непосредственной близости от города располагаются садоводческие товарищества, что создаёт опасность поступления тяжёлых металлов с продуктами питания, полученными на этих участках.

Так как на большей части территории Кольчугина суммарный канцерогенный риск находится на высоком уровне, необходимо проведение экстренных мероприятий по его снижению, в первую очередь следует уделить внимание снижению уровня загрязнения почв. В ряде случаев необходимо провести изъятие почв с высокими уровнями загрязнения с последующей утилизацией. Выявленный в Кольчугине и Дубне средний уровень риска требует проведения плановых мероприятий, углублённого изучения различных аспектов существующей проблемы (см. табл. 3). В данном случае необходимо снижение уровня загрязнения городских почв и уменьшение поступления загрязняющих веществ из атмосферы при воздействии стационарных и передвижных источников (промышленные предприятия, котельные, автотранспорт) с учётом трансграничного переноса. На территории Кольчугина загрязнение почвы тяжёлыми металлами может быть связано с поступлением в атмосферный воздух выбросов от предприятий цветной металлургии.

Оценка риска для здоровья населения на основе прогнозных значений, полученных при помощи балансового подхода, показала незначительное увеличение суммарного канцерогенного риска в среднесрочной перспективе.

Заключение

В городах, которые являются объектом настоящего исследования, в значительной степени сосредоточены не только памятники истории и культуры, но и научные учреждения, промышленные предприятия. Дальнейшее развитие таких городов сопряжено с возрастанием антропогенной нагрузки. В последнее время большое внимание уделяется снижению объёма выбросов и улучшению качества атмосферного воздуха – приоритетным мероприятиям, направленным на сохранение здоровья населения. Городские почвы как деполирующая среда выполняют важную защитную функцию, накапливают и удерживают тяжёлые металлы. Исследования показали, что при отсутствии своевременной ремедиации городских почв они могут становиться источником загрязнения атмосферного воздуха и создавать риск для здоровья постоянно проживающего населения. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости управленческих решений с целью создания безопасной, комфортной среды проживания и хозяйственной деятельности на территории Кольчугина Владимирской области. В современных условиях в малых и средних городах необходимо осуществлять лабораторный контроль почвы и выполнять оценку риска для здоровья населения с учётом степени антропогенной нагрузки.

Литература

1. Указ Президента РФ № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». М.; 2018.
2. Указ Президента РФ № 642 «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года». М.; 2016.
3. Иванова Ю.С., Горбачев В.Н. Загрязнение почв тяжёлыми металлами под влиянием несанкционированных свалок (медико-экологический аспект). *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2012; (1): 119–24. <https://www.elibrary.ru/ojytun>
4. Соседова Л.М., Новиков М.А., Титов Е.А. Воздействие наночастиц металлов на почвенный биоценоз (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2020; 99(10): 1061–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1061-106685> <https://www.elibrary.ru/bljigm>
5. Ушакова Е.С., Караваева Т.И., Пузик А.Ю., Волкова М.А., Белкин П.А. Оценка загрязнённости почв детских площадок на территории жилых районов. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(1): 14–20. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-1-14-20> <https://www.elibrary.ru/zgfnpg>
6. Май И.В., Клейн С.В., Максимова Е.В., Балашов С.Ю., Цинкер М.Ю. Гигиеническая оценка ситуации и анализ риска для здоровья населения как информационная основа организации мониторинга и формирования комплексных планов воздухоохраняющих мероприятий федерального проекта «Чистый воздух». *Гигиена и санитария*. 2021; 100(10): 1043–51. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051> <https://www.elibrary.ru/ohsroc>

7. Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Суржикова Р.Н., Мотуз И.Ю. Оценка экологического риска для здоровья населения от выбросов в воздушную среду обрабатывающего предприятия. *Медицина в Кузбассе*. 2020; 19(1): 52–7. <https://doi.org/10.24411/2687-0053-2020-1009> <https://www.elibrary.ru/lkqtyh>
8. Марцинкевич Г.И., Счастливая И.И., Карпиченко А.А., Воробьев Д.С. Формирование и оценка экологических рисков урболандшафтов в промышленных городах Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2021; (2): 45–62. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-45-62>
9. Мавляутинова Г.С. Вопросы методологии оценки и расчета экологических рисков. *Проблемы региональной экологии*. 2011; (4): 291–6. <https://www.elibrary.ru/oihbkt>
10. Бабаян Г.Г., Сакоян А.Г. Тяжелые металлы и мышьяк в питьевой воде и оценка риска здоровью населения региона с развитой горнодобывающей промышленностью. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(7): 725–32. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-7-725-732> <https://www.elibrary.ru/rtjwfd>
11. Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.; 2004.
12. Каманина И.З., Каплина С.П., Макаров О.А., Кликодуева Н.А. *Комплексная оценка экологического состояния наукограда Дубна*. Дубна; 2019.
13. Каманина И.З., Каплина С.П., Любимова А.В. Анализ пространственно-временной картины полей химического загрязнения почв, как базового компонента городских. В кн.: *Сборник трудов XXIII Международной научно-практической конференции: актуальные проблемы экологии и природопользования*. М.; 2022: 338–43.
14. Макаров О.А., Макаров А.А. Прогнозирование химического загрязнения почв тяжелыми металлами при помощи балансового метода (на примере локальных участков города Москвы и города Подольска). *Экология урбанизированных территорий*. 2016; (1): 50–8. <https://www.elibrary.ru/wdkwfr>
15. Боев В.М., Зеленина Л.В., Кудусова Л.Х., Кряжева Е.А., Зеленин Д.О. Гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения, ассоциированного с загрязнением депонирующих сред тяжелыми металлами. *Анализ риска здоровью*. 2022; (1): 17–26. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.02> <https://www.elibrary.ru/psyyqm>

References

1. Decree of the President of the Russian Federation № 204 «On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024». Moscow; 2018. (in Russian)
2. Decree of the President of the Russian Federation № 642 «Strategies for scientific and technological development of the Russian Federation until 2035». Moscow; 2016. (in Russian)
3. Ivanova Yu.S., Gorbachev V.N. Heavy metals pollution of soil under the influence of illegal dumping (Health and environmental aspects). *Ulyanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal*. 2012; (1): 119–24. <https://www.elibrary.ru/oijtun> (in Russian)
4. Sosedova L.M., Novikov M.A., Titov E.A. Impact of metal nanoparticles on the ecology of soil biocenosis (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(10): 1061–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1061-106685> <https://www.elibrary.ru/bljigm> (in Russian)
5. Ushakova E.S., Karavaeva T.I., Puzik A.Yu., Volkova M.A., Belkin P.A. Assessment of soil contamination at playgrounds in residential areas. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(1): 14–20. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-1-14-20> <https://www.elibrary.ru/zgfmng> (in Russian)
6. May I.V., Kleyn S.V., Maksimova E.V., Balashov S.Yu., Tsinker M.Yu. Hygienic assessment of the situation and analysis of the health risk of the population as an information basis for the management of monitoring and the formation of complex plans for air protection measures of the federal project «Clean Air». *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(10): 1043–51. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051> <https://www.elibrary.ru/ohsroc> (in Russian)
7. Surzhikov D.V., Kislitsyna V.V., Surzhikova R.N., Motuz I.Yu. Evaluation of environmental risk for the health of the population from the emissions to the air of the processing enterprise. *Meditsina v Kuzbasse*. 2020; 19(1): 52–7. <https://doi.org/10.24411/2687-0053-2020-1009> <https://www.elibrary.ru/lkqtyh> (in Russian)
8. Martsinkevich G.I., Schastnaya I.I., Karpichenko A.A., Vorob'ev D.S. Formation and assessment of ecological risks of urban landscapes in industrial cities of Belarus. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya*. 2021; (2): 45–62. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-45-62> (in Russian)
9. Mavlyautdinova G.S. Questions of methodology for estimating and calculation of ecological risks. *Problemy regional'noy ekologii*. 2011; (4): 291–6. <https://www.elibrary.ru/oihbkt> (in Russian)
10. Babayan G.G., Sakoyan A.G. Heavy metals and arsenic in drinking water and health risk assessment of the region with the developed mining industry. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(7): 725–32. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-7-725-732> <https://www.elibrary.ru/rtjwfd> (in Russian)
11. Guidelines R 2.1.10.1920–04 for the assessment of the public health risk when exposed to chemicals polluting the environment. Moscow; 2004. (in Russian)
12. Kamanina I.Z., Kaplina S.P., Makarov O.A., Klykoduva N.A. *Complex environmental assessment of the science city Dubna [Kompleksnaya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya naukograda Dubna]*. Dubna; 2019. (in Russian)
13. Kamanina I.Z., Kaplina S.P., Lyubimova A.V. Analysis the spatiotemporal fields of chemical soil pollution as a basic component of urban ecosystems. In: *Proceedings of XXIII International Scientific and Practical Conference: Actual Problems of Ecology and Environmental Management [Sbornik trudov XXIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya]*. Moscow; 2022: 338–43. (in Russian)
14. Makarov O.A., Makarov A.A. Prediction of chemical pollution of soils with heavy metals using the balance sheet method (for example local sites in Moscow and Podolsk). *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2016; (1): 50–8. <https://www.elibrary.ru/wdkwfr> (in Russian)
15. Boev V.M., Zelenina L.V., Kudasova L.Kh., Kryazheva E.A., Zelenin D.O. Hygienic assessment of carcinogenic health risks associated with contamination of depositing media with heavy metals. *Analiz riska zdorov'yu*. 2022; (1): 17–26. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.02> <https://www.elibrary.ru/psyyqm> (in Russian)