

Оригинальная статья / Original article
УДК 504
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-158-164

Распределение уровней загрязнения почвы тяжёлыми металлами в Ивановской и Костромской областях

Алексей Н. Сивухин¹ , Дмитрий С. Марков², Ирина Б. Нода³

¹Ивановский государственный университет, Иваново, Россия

²Ивановский государственный университет (Шуйский филиал), Шуя, Россия

³ФГБУ САС «Ивановская», Богородское, Россия

Контактное лицо

Алексей Н. Сивухин, старший преподаватель кафедры общей биологии и физиологии Ивановского государственного университета (ФГБОУ ВО «ИвГУ»); 153000 Россия, г. Иваново, пр-т Ленина, 136.
Тел. +79158223153
Email: ecobiota@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5157-0500>

Формат цитирования

Сивухин А.Н., Марков Д.С., Нода И.Б.
Распределение уровней загрязнения почвы тяжёлыми металлами в Ивановской и Костромской областях // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 2. С. 158-164. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-158-164

Получена 14 января 2020 г.

Прошла рецензирование 16 марта 2020 г.

Принята 23 марта 2020 г.

Резюме

Цель. Определить потенциальные источники загрязнения тяжёлыми металлами почвенного покрова Ивановской и Костромской областей. Обозначить риски для здоровья населения изучаемых регионов.

Материал и методы. Заложено 72 точки пробоотбора. Лабораторная подготовка вытяжек из почвенных образцов велась на базе биолого-химического факультета Ивановского государственного университета. Аппаратный анализ проводился на атомно-абсорбционном спектрофотометре «210 VGP». Статистическая и математическая обработка данных проводилась в открытом программном пакете «OpenOffice Calc». Построение картографических материалов осуществлялась в ГИС «Quantum GIS Brighton». Поскольку часто почвы загрязнены сразу несколькими элементами, то для них был рассчитан суммарный показатель загрязнения Z_c , отражающий эффект воздействия групп элементов.

Результаты. В весенних образцах почвы значительных превышений предельно допустимых концентраций (ПДК) для кобальта, свинца и кадмия не обнаружено. Средняя величина загрязнённости (Z_c) для Ивановской области составила 20 единиц (значительный уровень загрязнения), для Костромской – 38 (высокий уровень загрязнения). Коэффициент опасности для содержания тяжёлых металлов в почвенном покрове Ивановской области входит во второй диапазон (значительный риск), в почвенном покрове Костромской области – в третий диапазон (высокий риск).

Заключение. В основном тяжёлые металлы попадают в почву со свалок твёрдых бытовых отходов, а также оседают в течение бесснежного времени года. Существует риск для здоровья населения.

Ключевые слова

Тяжёлые металлы, Ивановская область, Костромская область, коэффициент опасности, почва.

Distribution of levels of soil contamination by heavy metals in the Ivanovo and Kostroma regions, Russia

Alexey N. Sivukhin¹ , Dmitry S. Markov² and Irina B. Noda³

¹Ivanovo State University, Ivanovo, Russia

²Ivanovo State University, (Shuya branch), Shuya, Russia

³FSBI SAS Ivanovskaya, Bogorodskoye village, Russia

Principal contact

Alexey N. Sivukhin. Senior Lecturer,
Department of General Biology and
Physiology, Ivanovo State University; 136
Lenin Ave, Ivanovo, Russia 153000.
Tel. +79158223153
Email ecobiota@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5157-0500>

How to cite this article

Sivukhin A.N., Markov D.S., Noda I.B.
Distribution of levels of soil
contamination by heavy metals in the
Ivanovo and Kostroma regions, Russia.
South of Russia: ecology, development.
2020, vol. 15, no. 2, pp. 158-164. (In
Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-
2020-2-158-164

Received 14 January 2020

Revised 16 March 2020

Accepted 23 March 2020

Abstract

Aim. Identify potential sources of heavy metal contamination of soil in the Ivanovo and Kostroma regions, Russia. Identify the risks to public health in the regions studied.

Material and Methods. 72 sampling sites were laid out. Laboratory preparation of extracts from soil samples was carried out in the facilities of the Biological-Chemical Faculty of Ivanovo State University. Hardware analysis was undertaken using a 210 VGP atomic absorption spectrophotometer. Statistical and mathematical data processing was carried out with the OpenOffice Calc open-source software package. The plotting of cartographic materials was done with Quantum GIS Brighton. Since soils are often contaminated with several elements at the same time, the total pollution index (Zc) was calculated for them, thus reflecting the effect of exposure of the groups of elements.

Results. Significant excesses above the maximum permissible concentrations (MPC) for cobalt, lead, and cadmium were not found in spring soil samples. The average pollution value Zc for the Ivanovo region was 20 units (a significant pollution level) and for Kostroma - 38 (a high pollution level). The hazard coefficient for the content of heavy metals in the soil cover of the Ivanovo region is thus in the second range (significant risk), while in the soil cover of the Kostroma region it is in the third range (high risk).

Conclusions. Mostly heavy metals enter the soil from solid waste dumps and also settle during the snowless season. There is a risk to public health.

Key Words

Heavy metals, Ivanovo region, Kostroma region, hazard coefficient, soil.

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, неизбежно сопровождающее нынешний технический прогресс, наносит ущерб здоровью населения [1-3]. В связи с тем, что работы, посвященные изучению загрязнения почвенного покрова и его влияния на здоровье жителей Ивановской и Костромской областей очень немногочисленны, актуальность и своевременность данного исследования не подлежит сомнению. В докладе Департамента природных ресурсов и экологии по Ивановской области отражено в основном влияние на водную и атмосферную среду, почва изучена лишь опосредованно, работ на эту тему немного [4].

Общее содержание тяжелых металлов в почвенном покрове Ивановской и Костромской областей достаточно высоко, предельно допустимые концентрации свинца, кадмия и кобальта в отдельных местах превышены в несколько раз [5].

Помимо очевидного вреда, который могут приносить валовые формы тяжёлых металлов, с пылью попадая в дыхательные пути человека и животных, серьёзную опасность загрязнение подвижными формами тяжёлых металлов представляет по причине их высокой биодоступности для культурных растений, возделываемых на проблемной территории и выпас скота, либо скашивание травы для прокорма скота и птицы [6; 7]. Поля Ивановской и Костромской областей активно засеваются сельскохозяйственными культурами, как в промышленных масштабах, так и в личных целях (огороды, дачные участки). Потребление этих растений и мяса этих животных в пищу обуславливает накопление поллютанта в организме человека.

Очень важно понять, откуда поступают поллютанты в почвенный покров и в какие сезоны их концентрация наиболее высока. Исследования в соседних регионах показывают, что источниками тяжёлых металлов в почвах в основном являются промышленные предприятия [8].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось на территории Ивановской и Костромской областей. Объектом исследования послужили почвы. Опираясь на данные, полученные в 2014 году [5], было принято решение проверить содержание кадмия, кобальта и свинца в районе потенциальных источников загрязнения, поскольку именно эти поллютанты характеризовались наибольшими величинами содержания в почвенном покрове. Для уточнения времени задержки элементов в биодоступном слое почвы пробы отбирались в мае-июне 2018 года.

Были проанализированы образцы из 20 точек пробоотбора – район Костромской ГРЭС, юго-восточная граница Приволжска, район рекультивированной ШПУ УР-100 в 5 км севернее Лежнева, районы ТЭЦ-2 (в том числе её золоотвалы) и бывшего меланжевого комбината в г. Иваново, свалка ТБО «Чистое поле» и район ИЗТС в г. Иваново, а также деревни Болобино, Серково и Чихачево, которые находятся вдоль трассы Иваново – Нижний Новгород. Эти точки максимально приближены к потенциальным источникам тяжёлых

металлов (промышленные предприятия, электростанция, крупные автомагистрали, такие как Иваново – Нижний Новгород). Также, были математически проанализированы данные, полученные нами ранее для Ивановской и Костромской областей.

Каждая почвенная проба была усреднена квартованием, затем из образцов были приготовлены азотнокислые и пероксидные вытяжки для обнаружения валовых и подвижных соединений тяжёлых металлов соответственно [9]. Лабораторная подготовка вытяжек велась на базе биолого-химического факультета Ивановского государственного университета. Аппаратный анализ проводился на атомно-абсорбционном спектрофотометре «210 VGP» на базе испытательного центра «Качество». Статистическая и математическая обработка данных проводилась в открытом программном пакете «OpenOffice Calc». Построение картографических материалов осуществлялась в ГИС «Quantum GIS Brighton».

Поскольку часто почвы загрязнены сразу несколькими элементами, то для них был рассчитан суммарный показатель загрязнения Z_c , отражающий эффект воздействия групп элементов: $Z_c = \sum (K_c) - (n-1)$, где n – число учитываемых элементов [10].

Расчёт рисков для населения зависит от многих факторов. Необходимо учитывать способ и скорость распространения того или иного поллютанта, опасность каждого из них, особенности жизни людей в различных регионах и множество других параметров.

Общая формула для расчета величины поступления химического вещества имеет следующий вид:

$$I = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}, \text{ где}$$

I – поступление (количество химического вещества на границе обмена), мг/кг массы тела в день;

C – концентрация химического вещества; средняя концентрация, воздействующая в период экспозиции (например, мг/л воды);

CR – величина контакта; количество загрязненной среды, контактирующее с телом человека в единицу времени или за один случай воздействия (например, л/день);

EF – частота воздействий, число дней/год;

ED – продолжительность воздействия, число лет;

BW – масса тела: средняя масса тела в период экспозиции, кг;

AT – время осреднения; период осреднения экспозиции, число дней [11].

Характеристика риска развития неканцерогенных эффектов для отдельных веществ проводится на основе расчета коэффициента опасности по формуле:

$$HQ = AD/RfD \text{ или } HQ = AC/RfC,$$

где HQ – коэффициент опасности;

AD – средняя доза, мг/кг;

AC – средняя концентрация, мг/м³;

RfD – референтная (безопасная) доза, мг/кг;

RfC – референтная (безопасная) концентрация, мг/м³ [12].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая величина загрязненности Zc, рассчитанная для Ивановской области относительно регионального фона в 2014 г. составляет 20, что говорит о значительном уровне загрязнения, для которого характерен относительно высокий уровень заболеваемости населения, особенно детей, а также высокая вероятность развития физиологических отклонений. Для удобства восприятия информации были созданы

карты распределения значения Zc по муниципальным районам (рис. 1). Рассчитанные значения Zc для большинства исследуемых участков в Костромской области в основном превышают порог в 32 единицы (рис. 2), что говорит о высокой степени общего загрязнения тяжёлыми металлами на данных территориях ($32 < Zc < 128$). Среднее значение Zc по Костромской области составило 38, что говорит об опасной категории загрязнения почв [11; 12].

Таблица 1. Содержание валовых и подвижных форм тяжёлых металлов в отдельных точках Ивановской и Костромской областей

Table 1. Content of gross and mobile forms of heavy metals at individual points in the Ivanovo and Kostroma regions

| Точки Points | Pb mov, mg/kg* | Pb gross, mg/kg* | Cd mov, mg/kg* | Cd gross, mg/kg* | Co mov, mg/kg* | Co gross, mg/kg* |
|---|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| 1. Золотвал у бывшего Завода чесальных машин / Carding Machine Factory | 0,108 | 24,3 | 0 | 0,062 | 0,049 | 0,344 |
| 2. Ивановский абразивный завод / Ivanovo Abrasive Works | 0,041 | - | 0 | | 0,017 | - |
| 3. Костромская ГРЭС / Kostroma Hydroelectric Station | 0,03 | 12,7 | 0 | 0,02 | 0,137 | 0,804 |
| 4. Болобино / Bolobino | 0,016 | 4,8 | 0,004 | 0 | 0,026 | 0,824 |
| 5. У забора ТЭЦ-2 / Fence of Thermal Power Plant-2 | 0,04 | 16,7 | 0 | 0,177 | 0,01 | 0,764 |
| 6. Берег реки у ТЭЦ-2 / River bank of Thermal Power Plant-2 | 1,348 | 17,6 | 0 | 0,227 | 0,016 | 0,724 |
| 7. Маслово, 1,5 км юго-восточнее от ШПУ УР-100 / Maslovo, 1.5 km south-east of ShPU UR-100 | 0,064 | 38,6** | 0 | 0,097 | 0,019 | 0,964 |
| 8. Ул. Станкостроителей с запада от ИЗТС / Ivanovo Machine Tool Manufacturing Plant | 0,113 | 3,6 | 0 | - | 0,02 | - |
| 9. Завод чесальных машин / Carding Machine Factory | 0,069 | - | 0,003 | 0,009 | 0,07 | 0,704 |
| 10. Свалка «Чистое Поле» на старых кучах / Chistoye Pole rubbish dump on old heaps | 0,278 | 19,4 | 0,005 | 0,167 | 0,078 | 0,614 |
| 11. ШПУ УР-100 в 5 км севернее Лежнева / ShPU UR-100 about 5 km north of Lezhnevo | 0,348 | 19,1 | 0 | 0,082 | 0,103 | 0,514 |
| 12. Граница Ивановской и Нижегородской обл. / Border of Ivanovo and Nizhny Novgorod regions | 0,045 | 11,5 | 0 | 0,297 | 0,035 | 0,434 |
| 13. Меланжевый комбинат / Melange plant | 51,748** | - | 0,04 | - | 0,298 | - |
| 14. Свалка «Чистое Поле» на новых кучах / Chistoye Pole rubbish dump on new heaps | 6,248** | - | 0 | - | 0,051 | - |
| 15. Торфяной переезд / Torfyanoy pereezd | 0,158 | - | 0,005 | - | 0,049 | - |
| 16. Свалка «Чистое Поле» у дороги / Chistoye Pole rubbish dump on the road | 2,178 | - | 0,98 | - | 0,039 | - |
| 17. Юго-восточная граница Приволжска / South-eastern border of Privolzhsk | 0,088 | 11,1 | 0,105 | 1,297** | 0,157 | 0,554 |
| 18. Поле культурных злаков у Рогозинихи / Field of cultivated cereals in Rogozinikha | 0,118 | 4,3 | 0,116 | 0,124 | 0,041 | 1,144 |
| 19. Серково / Serkovo | 0,108 | 19,3 | 0,067 | 0,04 | 0,129 | 0,604 |
| 20. Чихачево / Chikhachovo | 0,068 | 15,8 | 6,056 | 0,127 | 0,038 | 0,594 |

Примечание: * – Mov – подвижные формы, gross – валовые формы. ** – Полужирным шрифтом указаны превышения ПДК (ОДК)

Note: * – Mov – mobile forms, gross – gross forms. ** – Bold indicates in excess of MPC (UEC)

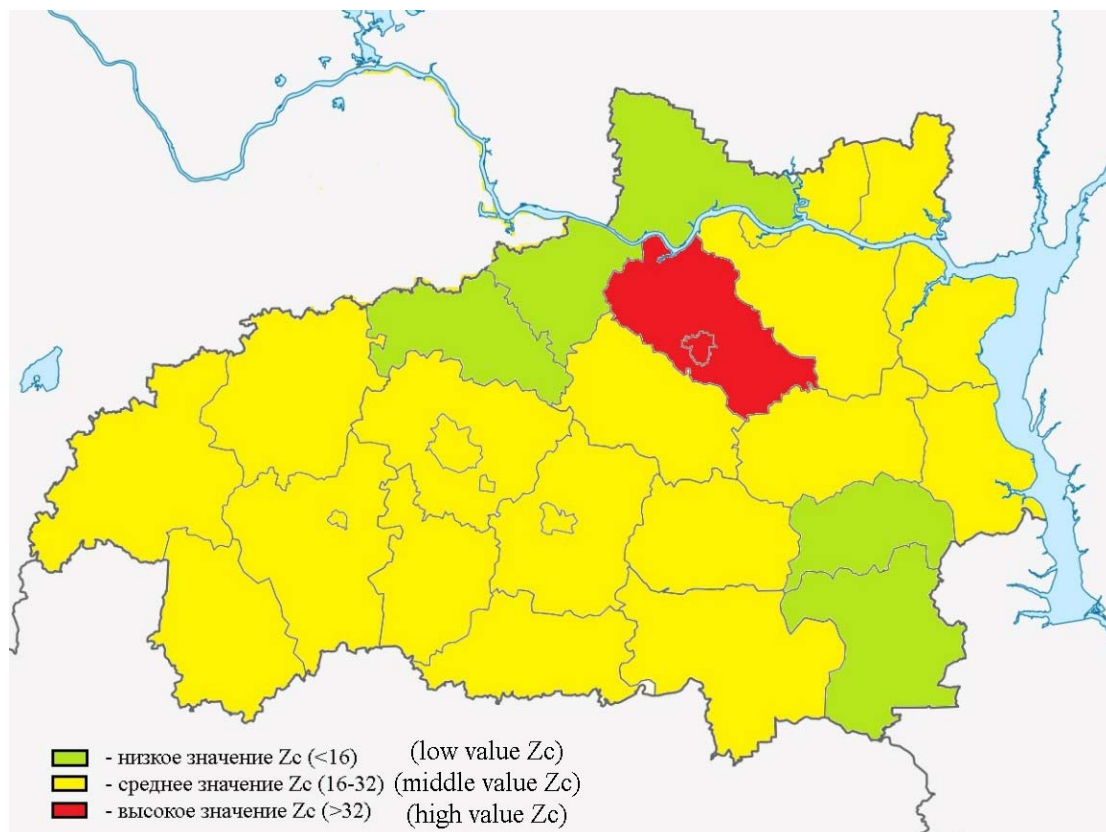


Рисунок 1. Общая величина загрязнённости (Z_c) для Ивановской области в 2014 году
Figure 1. Total amount of pollution (Z_c) for the Ivanovo region in 2014

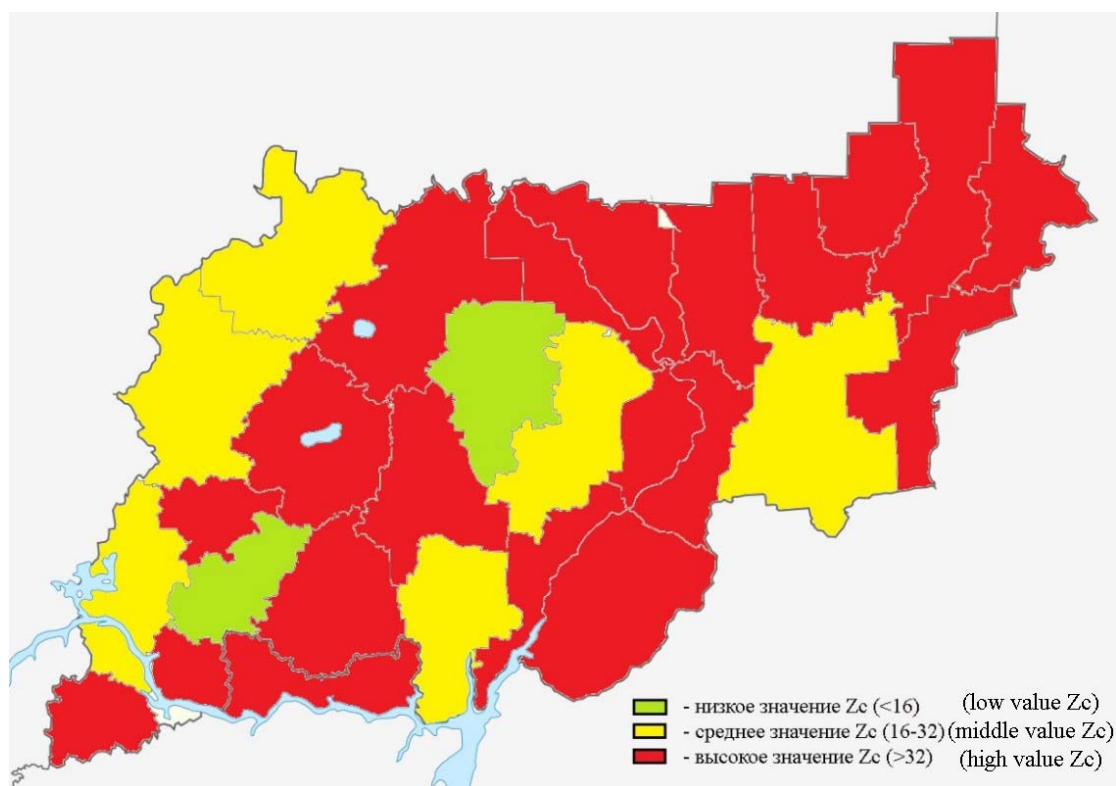


Рисунок 2. Общая величина загрязнённости (Z_c) для Костромской области в 2014 году
Figure 2. Total amount of pollution (Z_c) for the Kostroma region in 2014

Проведённый анализ рисков для населения при поступлении тяжёлых металлов в организм ингаляционным или пероральным путём из почвы показал, что имеются опасения насчёт отдельных элементов. В Ивановской области поступление меди ($1,1 \cdot 10^{-5}$), марганца ($1,8 \cdot 10^{-5}$), кадмия ($2,9 \cdot 10^{-5}$) и железа ($7,6 \cdot 10^{-6}$) соответствует второму диапазону риска HQ, что говорит о содержании этих металлов на границе предельно допустимой концентрации. Поступление же свинца ($1,4 \cdot 10^{-4}$) и кобальта ($1,4 \cdot 10^{-3}$) находятся в пределах третьего диапазона риска, что неприемлемо для населения. Для Костромской области поступление в организм человека меди ($7,7 \cdot 10^{-6}$), марганца ($1,2 \cdot 10^{-6}$), кадмия ($2,5 \cdot 10^{-6}$), никеля ($9,8 \cdot 10^{-7}$) и железа ($2,2 \cdot 10^{-5}$) соответствует второму диапазону риска. Свинца ($6,8 \cdot 10^{-4}$) и кобальта ($8,6 \cdot 10^{-4}$) – третьему диапазону. Значительных превышений ПДК для свинца, кадмия и кобальта не обнаружено (табл. 1), что может свидетельствовать о внесении значительного количества тяжёлых металлов за летний период в виде взвешенных частиц с атмосферной пылью, поскольку в пробах, взятых осенью, концентрация изучаемых металлов была гораздо выше [5]. Они накапливаются в течение лета и осени, а весной уходят в глубинные слои почвы вместе с растаявшим снегом. В качестве постоянного источника загрязнения тяжёлыми металлами могут выступать свалки ТБО. Достаточно высокие, хоть и не превышающие ПДК значения концентрации тяжёлых металлов были обнаружены в районе рекультивированной ШПУ УР-100 (табл. 1). Это можно объяснить тем, что при рекультивации в неё было сброшено несколько тонн деноминированных советских банкнот [13], краски для которых содержали свинец и некоторые другие тяжёлые элементы. Постоянное омывание содержимого шахты водами атмосферных осадков может поддерживать стабильный уровень тяжёлых металлов в окрестных почвах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнивая данные осенних и весенних пробоотборов, можно предположить, что основное количество тяжёлых металлов в верхнем слое почвы появляется в течение лета, предположительно из аэрозольной фракции атмосферы. Средняя величина загрязнённости Zс для Ивановской области составила 20 единиц (значительный уровень загрязнения), для Костромской – 38 (высокий уровень загрязнения). Коэффициент опасности для содержания тяжёлых металлов в почвенном покрове Ивановской области входит во второй диапазон (значительный риск), в почвенном покрове Костромской области – в третий диапазон (высокий риск). Необходимо продолжать мониторинг состояния почвенного покрова, поиск новых закономерностей распределения тяжёлых металлов, а также способов снижения рисков для населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сивухин А.Н., Марков Д.С. Оценка содержания тяжёлых металлов в почвенном покрове средней полосы Российской Федерации // Научная жизнь. 2016. N 12. С. 87-100.

2. Naggar Ya.A., Naiem E., Mona M., Giesy J.P., Seif A. Metals in agricultural soils and plants in Egypt // Toxicological & Environmental Chemistry. 2014. V. 96. Iss. 5. P. 730-742. DOI: 10.1080/02772248.2014.984496
3. Михальчук Н.В. Тяжёлые металлы и микроэлементы в фоновых почвах и агроландшафтах юго-запада Беларуси // Агроекологічний журнал. 2017. N 3. С. 27-31.
4. Дунаев А.М., Латухина К.С., Абдалла А.А., Никифоров А.Ю. Уровни присутствия свинца, кадмия и 3D-элементов в почвенном слое Ивановской области // Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология. 2011. Т. 54. N 6. С. 109-111.
5. Румянцев И.В., Дунаев А.М., Сивухин А.Н., Марков Д.С., Гриневич В.И. Эколого-гигиеническая оценка качества почв Ивановской области // Безопасность в техносфере. 2017. Т. 6. N 1. С. 31-37. DOI: 10.12737/article_5901972b9ab545.73573107
6. Elliott H.A., Liberati M.R., Huang C.P. Competitive adsorption of heavy metals by soils // Journal of Environmental Quality. 1986. V. 15. Iss. 3. P. 214-219. DOI: 10.2134/jeq1986.00472425001500030002x
7. Ветрова О.А., Леоничева Е.В. Влияние минерального питания на барьерные функции растений земляники по отношению к тяжёлым металлам // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 52. С. 100-107.
8. Трифонова Т.А., Подолец А.А., Селиванов О.Г., Марцев А.А. Оценка загрязнения почв рекреационных территорий промышленного города соединениями тяжёлых металлов и мышьяка // Теоретическая и прикладная экология. 2018. N 2. С. 94-101. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-2-094-101/1
9. Ревич Б.А., Саёт Ю.Е., Смирнова Р.С. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (Утв. 15 мая 1990 г. N 5174-90). М.: ИМГРЭ, 1990. С. 8-15.
10. Саёт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
11. Новиков С.М. Алгоритмы расчета доз при оценке риска, обусловленного многофакторным воздействием химических веществ. М.: Консультационный центр по оценке риска, 1999. С. 12-20.
12. Оценка рисков для организма человека, создаваемых химическими веществами: обоснование ориентировочных величин для установления предельно допустимых уровней экспозиции по показателям влияния на состояние здоровья. Гигиенические критерии качества окружающей среды 170. МПХБ /ВОЗ. Женева, 1995. С. 38-42.
13. Котляр А. Прокуратура начала расследование, связанное с ракетными шахтами // Правда. 2003. URL: <https://www.pravda.ru/accidents/36251-ivanovo>. (дата обращения: 26.08.2019)

REFERENCES

1. Sivukhin A.N., Markov D.S. Evaluation of heavy metals content in soil landscape of the midland of Russian Federation. Nauchnaya zhizn' [Scientific Life]. 2016, no. 12, pp. 87-100. (In Russian)
2. Naggar Ya.A., Naiem E., Mona M., Giesy J.P., Seif A. Metals in agricultural soils and plants in Egypt //

- Toxicological & Environmental Chemistry. 2014. V. 96. Iss. 5. P. 730-742. DOI: 10.1080/02772248.2014.984496
3. Mikhalechuk N.V. Heavy metals and trace elements in the background soils and agrolandscapes of the south-west of Belarus. *Agroekologicheskiy zhurnal* [Agroecology magazine]. 2017, no. 3, pp. 27-31. (In Russian)
4. Dunaev A.M., Latukhina K.S., Abdalla A.A., Nikiforov A.Yu. Levels of the presence of lead, cadmium and 3D elements in the soil layer of the Ivanovo region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii, Seriya Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya]. 2011, vol. 54, no. 6, pp. 109-111 (In Russian)
5. Rumyantsev I.V., Dunaev A.M., Sivuhin A.N., Markov D.S., Grinevich V.I. Ecological and Hygienic Assessment of Ivanovo Region's Soils Quality. *Safety in technosphere*, 2017, vol. 6, no. 1, pp. 31-37. (In Russian) DOI: 10.12737/article_5901972b9ab545.73573107
6. Elliott H.A., Liberati M.R., Huang C.P. Competitive adsorption of heavy metals by soils. *Journal of Environmental Quality*, 1986, vol. 15, iss. 3, pp. 214-219. DOI: 10.2134/jeq1986.00472425001500030002x
7. Vetrova O.A., Leonicheva E.V. The impact of mineral nutrition on barrier functions of strawberry plants relative to heavy metals. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* [Fruit growing and berry growing in Russia]. 2017, vol. 52, pp. 100-107. (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. *Theoretical and Applied Ecology*, 2018, no. 2, pp. 94-101. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2018-2-094-101/1
9. Revich B.A., Saet Yu.E., Smirnova R.S. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke stepeni zagryazneniya atmosfernogo vozdukha naselennykh punktov metallami po ikh sodержaniyu v snezhnom pokrove i pochve* [Guidelines for assessing the degree of pollution of atmospheric air of settlements with metals according to their content in the snow cover and soil]. Moscow, IMGRE Publ., 1990, pp. 8-15 (In Russian)
10. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. and other. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow, Nedra Publ., 1990, 335 p. (In Russian)
11. Novikov S.M. *Algoritmy rascheta doz pri otsenke riska, obuslovlennogo mnogoresredovym vozdeistviem khimicheskikh veshchestv* [Algorithms for calculating doses in assessing the risk arising from the multi-media exposure to chemicals]. Moscow, Risk Assessment Advisory Center Publ., 1999, pp. 12-20. (In Russian)
12. *Otsenka riskov dlya organizma cheloveka, sozdavaemykh khimicheskimi veshchestvami: obosnovanie orientirovochnykh velichin dlya ustanovleniya predel'no dopustimyykh urovnei ekspozitsii po pokazatelyam vliyaniya na sostoyanie zdorov'ya. Gigienicheskie kriterii kachestva okruzhayushchei sredy 170* [Assessment of risks to the human body created by chemicals: substantiation of indicative values for establishing maximum permissible exposure levels according to indicators of influence on the state of health. Hygienic criteria for environmental quality 170]. IPCS. WHO. Geneva, 1995, pp. 38-42. (In Russian)
13. Kotlyar A. The prosecutor's office began an investigation related to missile mines. *Pravda* [True]. 2003. (In Russian) Available at: <https://www.pravda.ru/accidents/36251-ivanovo> (accessed 08.26.2019)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Алексей Н. Сивухин осуществил сбор и анализ образцов, статистическую обработку данных, написал рукопись. Дмитрий С. Марков составил картографические материалы, провёл консультативную работу. Ирина Б. Нода осуществила корректировку статьи, провела консультативную работу. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexey N. Sivukhin collected and analyzed samples, processed the data statistically and wrote the manuscript. Dmitry S. Markov compiled cartographic materials and undertook consultative work. Irina B. Noda corrected the article and undertook advisory work. All authors equally bear responsibility for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors state that there is no conflict of interest.

ORCID

Алексей Н. Сивухин / Alexey N. Sivukhin <https://orcid.org/0000-0002-5157-0500>

Дмитрий С. Марков / Dmitry S. Markov <https://orcid.org/0000-0002-1983-6428>

Ирина Б. Нода / Irina B. Noda <https://orcid.org/0000-0001-9572-3225>