

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА САДОВО-ОГОРОДНЫХ ПОЧВ РЕГИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Р.Ф. Хасанова^{1,2*}, Я.Т. Суюндуков^{1,2}, И.Н. Семенова¹,
Ю.С. Рафикова¹, М.Б. Суюндукова²**

¹ ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»,
Сибайский филиал, г. Сибай, Республика Башкортостан, Россия

² Сибайский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»,
г. Сибай, Республика Башкортостан, Россия

РЕЗЮМЕ. Исследованы особенности распределения валовых и подвижных форм меди, цинка, марганца, кадмия и свинца в садово-огородных почвах г. Сибай Республики Башкортостан. Выявлены высокие концентрации элементов в почвах на территориях, прилегающих к отвалам Сибайского и Камаганского карьеров, и в окрестностях Сибайской обогатительной фабрики. Почвы содержат повышенный уровень меди, цинка, в ряде случаев – кадмия, марганца и свинца. Наибольшему загрязнению подвержены почвы и произрастающие на них клубни картофеля, находящиеся в поселках Золото, Горный, Южный и в коллективном саду № 10. Отмечено относительно высокое содержание цинка (более 10 мг/кг) в клубнях картофеля, выращенного на всех пробных площадках. В клубнях, выращенных на приусадебных участках поселков Золото и Южный, также выявлены высокие концентрации кадмия. Данный факт требует повышенного внимания Роспотребнадзора к продукции, производимой на территории города. Для улучшения микроэлементного состава и повышения качества растительной продукции следует проводить мероприятия, направленные на снижение уровня воздействия источников загрязнения почвы, на уменьшение доступности токсикантов для растений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: городские почвы, тяжелые металлы, уровень загрязнения, Зауралье Республики Башкортостан, горнорудные предприятия.

ВВЕДЕНИЕ

Город Сибай расположен в зоне сухих степей, на стыке Европы и Азии, где восточное предгорье Южного Урала одним из своих хребтов – Ирендыком плавно переходит в Западно-Сибирскую равнину. Почвенный покров представлен преимущественно черноземом обыкновенным, который сформирован на делювиально-элювиально-делювиальных отложениях. Преобладающие ветры – северо-западного и юго-западного направлений.

Полувекковая деятельность горнорудной промышленности в районах Зауралья Республики Башкортостан (РБ) способствовала бурному развитию предприятий, которые работали без должного учета экологических требований. Добыча руды в период с 1940 по 2004 гг. проводилась открытым способом из Сибайского карьера, который по глубине (более 500 м) занимает вто-

рое место в мире. В настоящее время вскрышные отвалы Сибайского месторождения объемом 200 млн м³, складированные без селекционного разделения, ежедневно подвергаются процессам разрушения и являются одним из главных источников загрязнения объектов окружающей среды (Государственный доклад..., 2012). Карьер находится в черте г. Сибай, с восточной и западной стороны граничит с жилыми поселками Горный и Золото. В санитарно-защитной зоне находится примерно 700 жилых домов, построенных в 1950-е гг. (Кусябаев и др., 2011). На сегодняшний день на территории города ведется подземная разработка руды Камаганского карьера и Нижней залежи подземного рудника Ново-Сибайского месторождения. Также в городе функционирует Зауральская ТЭЦ – одна из крупнейших газопоршневых электростанций в России, запущенная в эксплуатацию в марте 2004 г.

* Адрес для переписки:

Хасанова Резеда Фиргатовна
E-mail: rezeda78@mail.ru

В результате на фоновое загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) накладывается загрязнение природных сред техногенными эмиссиями с породных отвалов карьеров колчеданных руд (Суяндукоев и др., 2013). Полиметаллическому загрязнению подвергаются почвы индивидуальных и коллективных садов, соседствующих с карьерами, Сибайской обогатительной фабрикой и хвостохранилищем (Суяндукоев и др., 2014).

Цель работы – изучить содержание ТМ в садово-огородных почвах г. Сибай.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили садово-огородные почвы г. Сибай и прилегающие к городу коллективные сады. Площадки для отбора проб были выбраны с учетом розы ветров на разном удалении от промышленных предприятий, являющихся источником загрязнения почв ТМ. Почвенные образцы садово-огородных почв отбирались как в центре города, так и в пригородных поселках: Золото, Аркаим, Сарматы, Южный, Горный, Дом рыбака. Изучаемые коллективные сады №№ 3, 10, 16, 17 расположены от Сибайской обогатительной фабрики на расстоянии 800, 200, 14000 и 5000 м соответственно.

Образцы почв были отобраны с пробных площадок площадью 1 м² методом конверта из десятисантиметрового слоя почвы в трех повторностях, согласно общепринятой методике проведения почвенного мониторинга (Опекунова, 2004). Растительные образцы (клубни картофеля) выкапывали в 4-кратной повторности в пяти точках, формировали среднюю пробу с последующей отмывкой их в проточной воде, после чего высуши-

вали до воздушно-сухого состояния, размалывали на мельнице до размера частиц 0,1 мм и использовали наряду с почвенными образцами для определения содержания ТМ методом атомной абсорбции в центральной лаборатории СФ (ОАО «УГОК» г. Сибай) (№ РОСС RU. 000155358). В качестве экстрагента применяли 5 М азотную кислоту. Подвижные формы соединений ТМ в почвах извлекали ацетатно-аммонийным буферным раствором (ААБ) с рН 4,8.

Для оценки содержания валовых форм ТМ в почвах были использованы значения предельно допустимых концентраций (ПДК) элементов и значения регионального геохимического фона (Опекунова и др., 2001). Оценку экологического состояния почв проводили по суммарному показателю загрязнения:

$$Z_c = \sum K_{ki} - (n-1),$$

где $K_{ki} = C_{i\text{опр}}/C_{i\text{рф}}$; $C_{i\text{опр}}$ – определяемое содержание i -го токсиканта в почве; $C_{i\text{рф}}$ – значение регионально-фоновое содержания i -го токсиканта; n – общее число токсикантов, используемых в расчете (Саеи и др., 1990).

Критические значения, позволяющие охарактеризовать суммарное загрязнение Z_c по степени опасности, таковы: при $Z_c < 16$ загрязнение считается допустимым; при $16 < Z_c < 32$ – умеренно опасным; при $32 < Z_c < 128$ – высокоопасным; при $Z_c > 128$ – чрезвычайно опасным.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализов показали значительное превышение допустимых значений содержания ряда изученных металлов в садово-огородных почвах г. Сибай (табл. 1).

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в садово-огородных почвах г. Сибай ($n = 17$)

Элемент	ПДК	Среднее арифметическое	Среднее геометрическое	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Валовые формы							
Cu	55	139,6	98,4	32,2	490,5	135,8	97,2
Zn	100	220,1	178,5	35,8	486,5	138,4	62,9
Mn	1500	976,7	811,3	264,0	2760,0	602,3	61,7
Cd	2	1,45	0,95	0,16	4,85	1,32	90,4
Pd	32	20,1	19,1	10,0	36,4	6,9	34,8
Подвижные формы							
Cu	3	29,6	16,7	0,5	85,3	28,1	102,8
Zn	23	63,3	34,7	2,6	186,5	35,1	86,3
Mn	140	124,8	65,7	37,2	230,5	48,6	64,9
Cd	0,22	0,30	0,26	0,04	0,53	0,14	47,1
Pd	6	3,4	2,6	1,0	8,5	2,5	72,0

Данные по содержанию ТМ не подчиняются закону нормального распределения, в связи с чем среднее арифметическое сильно зависит от числа образцов с наибольшими значениями. В таких случаях более надежным и правильным будет использование среднего геометрического для оценки содержания элементов в почве (Kabala et al., 2009; Новиков, 2015). Очевидно, что коэффициент вариации по содержанию всех исследуемых элементов превышает 33% (табл. 1), что подтверждает неоднородность распределения металлов по территории города.

Среднее валовое содержание меди в садово-огородных почвах города составляет 139,6 мг/кг, что превышает ПДК для почв (55 мг/кг) в 2,5 раза. По подвижным формам превышение ПДК (3 мг/кг) составило более 9,8 раз. Среднее геометрическое значение содержания валовой и подвижной меди в почвах г. Сибай в 2 раза выше ПДК. В 80% от общего числа почвенных проб содержание меди превышало допустимую концентрацию. Наиболее высокое загрязнение почв медью выявлено в поселках Горный ($C_{\text{вал}}$ варьирует в интервале 350–490 мг/кг, $C_{\text{подв}}$ – в интервале 31–85 мг/кг), Золото и Южный (содержание подвижных форм более 70 и 80 мг/г соответственно). Эти поселки прилегают к отвалам Сибайского карьера и хвостохранилищу Сибайской обогатительной фабрики. Наименьшие показатели характерны для почв, отдаленных от промышленных узлов и автодорог: поселки Дом рыбака и Сарматы, коллективные сады ($C_{\text{вал}}$ 116–32 мг/кг и $C_{\text{подв}}$ 0,5–3,0 мг/кг). По содержанию меди в почвах города выявлен высокий коэффициент вариации, равный 102% для подвижной формы, что свидетельствует о большом разбросе данных и точечном загрязнении с экстремально высокими значениями.

Содержание цинка в исследуемых почвах также превышает ПДК (100 мг/кг для валовой и 63 мг/кг – подвижной формы), среднее валовое значение составило соответственно 220,1 и 51,3 мг/кг, что выше ПДК более чем в 2 раза. Среднее геометрическое значение содержания подвижных форм равно 34,7 мг/кг. Прослеживается увеличение концентрации цинка на урбанизированной территории с плотной жилой застройкой и снижение – при удалении от центральных районов. Максимальное значение отмечено рядом с карьером в поселке Горный, минимальное значение – в районе коллективного сада № 16 и поселке Сармат.

Среднее содержание валового марганца в садово-огородных почвах города составляет 976,7 мг/кг, что значительно ниже ПДК (1500 мг/кг). Среднее геометрическое для концентрации марганца в почвах города равно 811,3 мг/кг. Содержание марганца превышает ПДК_{вал} (1500 мг/кг) в почвах поселка Южный (1685 мг/кг) и ПДК_{подв} (140 мг/кг) в почвах поселка Горный (230,5 мг/кг).

Средняя концентрация кадмия равна 1,5 мг/кг по валовым формам и 0,5 мг/кг – по подвижным. Максимальные показатели отмечены на территории поселков Южный, Горный и Золото: от 1,0 до 4,85 мг/кг по валовым формам и 0,23–0,53 мг/кг по подвижным. Содержание данного химического элемента в почвах города изменялось в широком диапазоне; коэффициент вариации для валовой формы составил 90%, что подтверждает наличие точечного загрязнения.

Среднее содержание свинца в садово-огородных почвах составляет 20,1 мг/кг (ПДК_{вал} 32 мг/кг) и 8,5 мг/кг – по подвижным формам (ПДК_{подв} 6,0 мг/кг). Проведенные исследования показали, что наиболее высокое содержание свинца в почвах выявлено на территории поселков Южный, Горный, прилегающих к промышленным предприятиям, крупным автодорогам для большегрузных машин. Наименьшие значения характерны для почв поселков Дом рыбака и Сарматы, коллективного сада № 16, наиболее удаленных от центральных районов города и дорог.

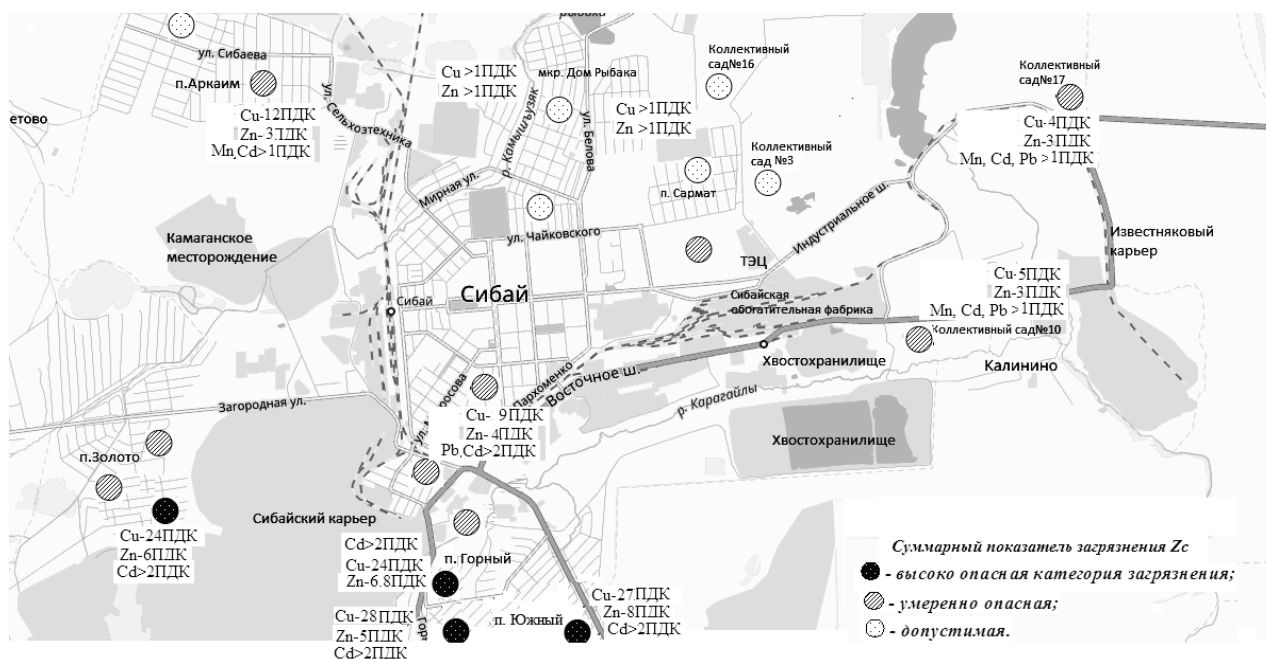
Экотоксикологическая оценка садово-огородных почв показала значительную вариабельность загрязнения ТМ почв г. Сибай (рисунок). Наибольшими показателями характеризовались почвы поселков Золото, Горный и Южный, расположенных вблизи отвалов отработанного карьера ($Z_c > 32$). К категории умеренно опасных следует отнести почвы центральной части города, поселков Аркаим, Горный, Южный и коллективных садов №№ 10 и 17.

Значительная доля ТМ попадает в почву, которая служит мощным их аккумулятором. Особенно прочно фиксируют ТМ верхние гумусосодержащие горизонты, то есть наиболее плодородный слой. В то же время почвы подверженных загрязнению территорий часто служат базой производства сельскохозяйственной продукции. На таких почвах неизбежна транслокация металлов из почвы в растения, что приводит к снижению не только урожаев сельскохозяйственных культур, но и качества получаемой

продукции. В связи с этим были проанализированы клубни картофеля, произрастающие на приусадебных участках г. Сибай. Результаты отражены в табл. 2.

Повышенное содержание ТМ в почве коррелирует с увеличением их содержания в картофеле. Относительно высокое содержание цинка (более 10 мг/кг) отмечено в клубнях картофеля, выращенного на всех пробных площадках. В клубнях, выращенных на приусадебных

участках поселков Золото и Южный, также выявлены высокие концентрации кадмия. Содержание свинца в клубнях картофеля не превышало ПДК (0,5 мг/кг), однако для центральной части города и коллективного сада № 3 показатели выше, чем для других пробных площадей, возможно, определенный вклад в накопление свинца в растениях в этом случае вносит автотранспорт, число которого больше в центре города по сравнению с поселками.



Экотоксикологическая оценка садово-огородных почв г. Сибай по суммарному показателю загрязнения Zc

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в клубнях *Solanum tuberosum* L. на территории г. Сибай (среднее арифметическое ± стандартное отклонение)

Элемент	ПДК	п. Золото	п. Горный	п. Южный	Центр города	Коллективный сад № 3
Cu	10	3,2±0,5	3,1±0,3	5,1±0,2	6,6±1,2	5,1±1,3
Zn	10	11,1±1,1	13,7±0,9	13,5±2,1	15,4±3,6	12,8±2,7
Cd	0,03	0,15±0,09	0,04±0,01	0,25±0,08	0,016±0,02	0,025±0,01
Pb	0,5	0,2±0,1	0,4±0,2	0,3±0,1	0,4±0,1	0,4±0,1

ВЫВОДЫ

1. В результате исследования содержания ТМ в садово-огородных почвах г. Сибай были выявлены их высокие показатели на территориях, прилегающих к отвалам Сибайского и Камаганского карьеров и в окрестностях Сибайской обогатительной фабрики. Исследуемые почвы содержат повышенный уровень меди, цинка, в ряде случаев – кадмия, марганца и свинца. Наибольшему загрязне-

нию подвержены почвы и произрастающие на них клубни картофеля, находящиеся в поселках Золото, Горный, Южный и коллективного сада № 10.
2. Полученные результаты требуют повышенного внимания Роспотребнадзора к продукции, производимой на территории города. На территориях с высокой концентрацией ТМ следует проводить мероприятия, направленные на снижение уровня воздей-

ствия источников загрязнения почвы, на уменьшение доступности токсикантов для растений (известкование, внесение органических удобрений, цеолитов и т.п.).

БЛАГОДАРНОСТИ

Публикация подготовлена в рамках поддержанного РФФИ и Правительством Республики Башкортостан научного проекта №17-16-02002-ОГН ОГН_УРАЛ-А.

ЛИТЕРАТУРА

Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2012 году. Уфа. 2013. 319 с.

Кусябаев З.Р., Валеев С.З., Рафикова Ю.С. Санитарно-защитные зоны на территории г. Сибай. Материалы регионально научно-практической конференции «Уральский регион Республики Башкортостан: человек, природа, общество». Сибай. 2011: 290–292.

Новиков С.Г. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв различных категорий землепользования на терри-

тории города Петрозаводска. Труды Карельского научного центра РАН № 1. 2015. С. 78–85.

Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений: учеб. пособие. СПб: Изд.-во С.-Петербур. ун-та, 2004. 228 с.

Опекунова М.Г., Алексеева-Попова Н.В., Арестова И.Ю. и др. Тяжелые металлы в почвах и растениях Южного Урала: экологическое состояние фоновых территорий. Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2001. Т. 4. № 31. С. 45–53.

Сагит Ю.Е., Ревич Б.А. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра. 1990. 336 с.

Суюндуков Я.Т., Янтурин С.И., Сингизова Г.Ш. Накопление и миграция тяжелых металлов в основных компонентах антропогенных экосистем Башкирского Зауралья в зоне влияния объектов горнорудного комплекса. Уфа: Гилем, 2013. 155 с.

Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н., Зулкарнаев А.Б., Хабиров И.К. Антропогенная трансформация почв города Сибай в зоне влияния предприятий горнорудной промышленности. Уфа: Гилем, 2014. 124 с.

Kabala C., Chodak T., Szerszen L., Karczewska A., Szopka K., Fratzak U. Factors influencing the concentration of heavy metals in soils of allotment gardens in the city of wroclaw, Poland. Fresenius Environmental Bulletin. 2009. Т. 18. № 7. С. 1118–1124.

PECULIARITIES OF MICROELEMENT COMPOSITION OF GARDEN SOILS OF THE REGIONAL CENTER OF MINING INDUSTRY

R.F. Khasanova^{1,2}, *Ya.T. Suyundukov*^{1,2}, *I.N. Semenova*¹,
*Yu.S. Rafikova*¹, *M.B. Suyundukova*²

¹ Institute for Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan, Sibaysky branch, K. Cetkin str. 2, Sibay, 453830, Russia

² Sibaysky Institute (branch) Bashkir State University, Belova str. 21, Sibay, 453830, Russia

ABSTRACT. The activities of the mining industry in the regions of the Trans-Urals of the Republic of Bashkortostan contributed to the rapid development of enterprises. As a result, contamination of natural environments with technogenic emissions from rocky heaps of quarries of pyrite ores is applied to the background contamination of soils with heavy metals. Polymetallic contamination is affected by soils of individual and collective orchards and vegetable gardens adjacent to quarries, the Sibay concentrator and the tailings pond. The features of the distribution of the gross and mobile forms of Cu, Zn, Cd, Mn and Pb in the soils of the gardens and cities of Sibay are investigated. As a result, high concentrations of elements in soils in the areas adjacent to the dumps of the "Sibay" and "Kamagan" quarries and in the vicinity of the Sibay concentrator were identified. Soils contain an elevated level of Cu, Zn, in some cases - Cd, Mn and Pb. The greatest contamination is affected by soils and potato tubers growing in them in the districts of the city of "Zoloto", "Gorny", "Yuzhny" and the collective garden No. 10. The high content of Zn (more than 10 mg/kg) was observed in potato tubers grown on all test sites. Potato tubers grown in the districts of the city "Zoloto" and "Gorny" also showed high concentrations of Cd. This fact requires increased attention to the products produced in the city. To improve the trace element composition and improve the quality of plant products, rational use of zeolites, organic fertilizers, liming is necessary

KEYWORDS: urban soils, heavy metals, total concentration, level of pollution, Trans-Urals of the Republic of Bashkortostan, mining companies.

REFERENCES

State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan in 2012., Ufa, 2013. 319. s. [In Russ.].

Kusyabaev Z.R, Valeev S.Z, Rafikova Yu.S. Sanitary-protective zones in the territory of the city of Sibay. Materials of the regional scientific and practical conference "Ural region of the Republic of Bashkortostan: man, nature, society". Sibay, 2011: 290–292. [In Russ.].

Novikov S.G. Assessment of heavy metal contamination of soils of different land use categories in the city of Petrozavodsk. Proceedings of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences No. 1. 2015: 78–85. [In Russ.].

Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнителей: исследования. allowance. SPb: Izd. of St. Petersburg. University Press, 2004. 228 s. [In Russ.].

Опекунова М.Г., Алексеева-Попова Н.В., Арестова И.Ю. Heavy Metals in soils and plants of the Southern Urals: ecological state of background territories. Herald of St. Petersburg State University. Ser. 7, 2001; 4(31): 45–53. [In Russ.].

Sayet Yu.E., Revich B.A. and others. Geochemistry of the environment. M.: Nedra, 1990. 336 s. [In Russ.].

Suyundukov Ya.T., Yanturin S.I., Singizova G.S. Accumulation and migration of heavy metals in the main components of anthropogenic ecosystems of the Bashkir Trans-Urals in the zone of influence of mining complex objects. Ufa: Guillem, 2013, 155 s. [In Russ.].

Suyundukov Ya.T., Semenova I.N., Zulkarnaev A.B., Habirov I.K. Anthropogenic transformation of the city Sibay soil in the zone of influence of mining enterprises. Ufa: Guillem, 2014. 124 s. [In Russ.].

Kabala C., Chodak T., Szerszen L., Karczewska A., Szopka K., Fraczak U. Factors influencing the concentration of heavy metals in soils of allotment gardens in the city of wroclaw, Poland. Fresenius Environmental Bulletin. 2009; 18(7): 1118–1124.