

УДК 550.4:551.3(476)

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ (ПОЧВ) УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛАРУСИ В ЦЕЛЯХ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО НОРМИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ В НИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ. I. МЫШЬЯК И РТУТЬ

**О. В. ЛУКАШЁВ¹⁾, Н. В. ЖУКОВСКАЯ¹⁾,
Н. Г. ЛУКАШЁВА¹⁾, И. И. ИЛЬЮКОВА²⁾, В. В. САВЧЕНКО³⁾**

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Научно-практический центр гигиены, ул. Академическая, 8, 220012, г. Минск, Беларусь

³⁾ООО «Проектирование горнорудных предприятий», пр. Независимости, 169, 220114, г. Минск, Беларусь

Приведены результаты эколого-геохимического исследования As и Hg в почвах урбанизированных территорий Беларуси. Всего на содержание указанных элементов было проанализировано 292 почвенных образца (из них на г. Минск приходится 148 проб, на областные и районные центры – 132, на Березинский биосферный заповедник – 12). Валовое содержание As и Hg определялось атомно-абсорбционным методом. За пределами

Образец цитирования:

Лукашёв ОВ, Жуковская НВ, Лукашёва НГ, Ильюкова ИИ, Савченко ВВ. Эколого-геохимическое изучение земель (почв) урбанизированных территорий Беларуси в целях дифференцированного нормирования содержания в них загрязняющих веществ. I. Мышьяк и ртуть. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2018; 2:59–73.

For citation:

Lukashev OV, Zhukovskaya NV, Lukasheva NG, Ilyukova II, Savchenko VV. Ecological and geochemical study of land (soils) within urbanized areas of Belarus for the differentiated norming of pollutant content. I. Arsenic and mercury. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2018;2:59–73. Russian.

Авторы:

Олег Валентинович Лукашёв – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; заведующий кафедрой региональной геологии географического факультета.

Наталья Викторовна Жуковская – кандидат географических наук; доцент кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета.

Наталья Григорьевна Лукашёва – лаборант научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов географического факультета.

Ирина Ивановна Ильюкова – кандидат медицинских наук; заведующий лабораторией профилактической и экологической токсикологии.

Владимир Васильевич Савченко – кандидат геолого-минералогических наук; заместитель директора по научной работе.

Authors:

Oleg V. Lukashev, PhD (geology and mineralogy), docent; head of the department of regional geology, faculty of geography. 240660@mail.ru

Natalia V. Zhukovskaya, PhD (geography); associate professor at the department of soil science and land information systems, faculty of geography. natazhuk@gmail.com

Natalia G. Lukasheva, laboratory assistant at the research and development laboratory of landscape ecology, faculty of geography. 240660@list.ru

Irina I. Ilyukova, PhD (medicine); head of the laboratory of preventive and ecological toxicology. ecoltox@rspch.by

Vladimir V. Savchenko, PhD (geology and mineralogy); deputy director for science. savchenko@tut.by

промплотщадок, хозяйственных дворов предприятий и свалок наблюдается достаточно стабильный средний уровень валового содержания As в гумусированном горизонте почв, обусловленный естественными природными факторами (главным образом минералогическими). Среднее содержание элемента в почвах рекреационной зоны Беларуси в целом – 0,57 мг/кг, селитебной зоны – 0,48 мг/кг, транспортной зоны – 0,64 мг/кг, промышленной зоны – 0,57 мг/кг. В почвах сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника среднее содержание As составляет 0,50 мг/кг. Выявлено незначительное накопление As в почвах транспортной зоны (коэффициент концентрации равен 1,2). Минимальное медианное значение (около 0,01 мг/кг), близкое к мировому кларку, установлено для сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника, земель рекреационной и селитебной (0,013 мг/кг) зон в целом. Медианные значения содержания Hg в почвах транспортной (0,036 мг/кг) и промышленной (0,021 мг/кг) зон в 3,6 и 2,1 раза выше соответственно. Полученные геохимические показатели использовались при разработке нормативов загрязнения почв.

Ключевые слова: геохимия почв; металлы; загрязнение почв; предельно допустимая концентрация (ПДК); урбанизированные территории; функциональные зоны.

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STUDY OF LAND (SOILS) WITHIN URBANIZED AREAS OF BELARUS FOR THE DIFFERENTIATED NORMING OF POLLUTANT CONTENT. I. ARSENIC AND MERCURY

O. V. LUKASHEV^a, N. V. ZHUKOVSKAYA^a,
N. G. LUKASHEVA^a, I. I. ILYUKOVA^b, V. V. SAVCHENKO^c

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bScientific and Practical Center of Hygiene, 8 Akademičnaja Street, Minsk 220012, Belarus

^cDesign of Mining Enterprises, LLC, 169 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220114, Belarus

Corresponding author: O. V. Lukashev (240660@mail.ru)

The article presents the ecological and geochemical research results of As and Hg in soils within urbanized areas of Belarus. 292 soil samples have been analyzed for As and Hg content (of which 148 samples were taken within Minsk, 132 – regional and district centres, and 12 – Berezinsky Biosphere Reserve). Determination of As and Hg total content has been carried out by atomic absorption method. Outside the industrial sites, the territories of enterprises and dumps, a fairly stable average level of As in the humus horizon, determined by natural factors (mainly mineralogical) has been observed. The average content of the element in the soils of the recreational zone for Belarus as a whole is 0.57 mg/kg, in the residential area is 0.48 mg/kg, in the transport zone is 0.64 mg/kg, in the industrial zone is 0.57 mg/kg. The average content of As in the soils of Berezinsky Biosphere Reserve agricultural lands is 0.50 mg/kg. An insignificant accumulation of As in the soils of the transport zone has been revealed (concentration coefficient is 1.2). The minimum median value (about 0.01 mg/kg), close to the world clark, has been established for Berezinsky Biosphere Reserve agricultural lands, the recreational and residential (0.013 mg/kg) zones in general. Median values of Hg content in transport soils (0.036 mg/kg) and industrial zones (0.021 mg/kg), respectively, are 3.6 and 2.1 times higher. The obtained geochemical indicators has been used when developing soil contamination standards.

Key words: soil geochemistry; metals; soil contamination; maximum permissible concentration (MPC); urbanized areas; functional zones.

Введение

В 2006–2011 гг. по инициативе Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (В. В. Савченко) и Республиканского научно-практического центра гигиены (РНПЦ гигиены) (И. И. Ильюкова) в Беларуси при разработке нормативов загрязнения почв использовался принцип дифференциации нормирования содержания химических веществ в землях (почвах) в зависимости от их функционального назначения или категории. Выполненные работы включали в себя следующие основные этапы: 2006 г. – разработка общей методики исследования (РНПЦ гигиены, БГУ, Институт природопользования НАН Беларуси), в дальнейшем принявшей форму Инструкции по определению дифференцированных гигиенических нормативов загрязнения почв [1]; 2007–2009 гг. – опробование почв урбанизированных территорий республики для установления их реального эколого-геохимического состояния по ряду показателей (БГУ); 2007–2011 г. – разработка нормативов загрязнения земель (почв) металлами и нефтепродуктами (РНПЦ гигиены) [2–5]. Новым аспектом выполненных работ являлось использование при нормировании наряду с традиционным валовым содержанием (As, Hg, Pb, нефтепродукты) также подвижных фракций (форм) ряда металлов (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd) [6]. Работа в основной своей

части проводилась в соответствии с Национальным планом действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды Республики Беларусь на 2006–2010 гг. (п. 7), а также с заданием НИР 4.10 «Разработать показатели вредности (токсикологический, воздушно-миграционный, водно-миграционный, фитотоксический, общесанитарный) и исходные данные для обоснования ПДК нефтепродуктов в почвах» (ГНТП «Экологическая безопасность» (2009–2010)) [7].

Наиболее трудоемким был этап эколого-геохимического изучения почв урбанизированных территорий, выполненный в БГУ (научный руководитель – О. В. Лукашёв). В рамках отводимых Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды на проведение работ времени (как правило, 3–7 мес. на 1 проект в год) и финансовых средств, при существующих ценах на выполнение химико-аналитических работ и нормах командировочных расходов практически возможно было осуществить детальное изучение только одного наиболее крупного города (столица) и контрольно-рекогносцировочное – прочих 5 областных центров, а также 6 районных центров республики и пахотных земель одного компактного района (в нашем случае – бывших и существующих коллективных хозяйств Березинского биосферного заповедника). При выборе конкретных районных центров должно было быть учтено возможное влияние на химический состав почв как природных (литогеохимическая провинция), так и антропогенных (уровень развития промышленности и транспорта) факторов.

Полевые работы

Распределение опробованных городских населенных пунктов по территории Беларуси показано на рис. 1. Подобное размещение позволяет включить в изучаемую выборку пробы почв из городов, расположенных в различных литогеохимических провинциях республики: *Северной* – Витебск (рис. 1, I); *Центральной* – Минск, Гродно, Могилёв, Лида, Молодечно, Борисов, Столбцы, Осиповичи, Бобруйск (рис. 1, II) и *Южной* – Брест, Гомель (рис. 1, III), а также дает возможность при необходимости рассматривать исследуемые показатели в системе своеобразных трансрегиональных профилей: *запад – восток* – Гродно, Лида, Молодечно, Минск, Борисов, Могилёв; *северо-восток – юго-запад* – Витебск, Борисов, Минск, Столбцы, Брест; *северо-запад – юго-восток* – Молодечно, Минск, Осиповичи, Бобруйск, Гомель. Кроме того, среди районных центров по степени общего влияния антропогенных факторов могут быть выделены разные группы, например: Бобруйск, Борисов, Молодечно (средняя степень); Столбцы, Осиповичи (слабая степень) и т. д.

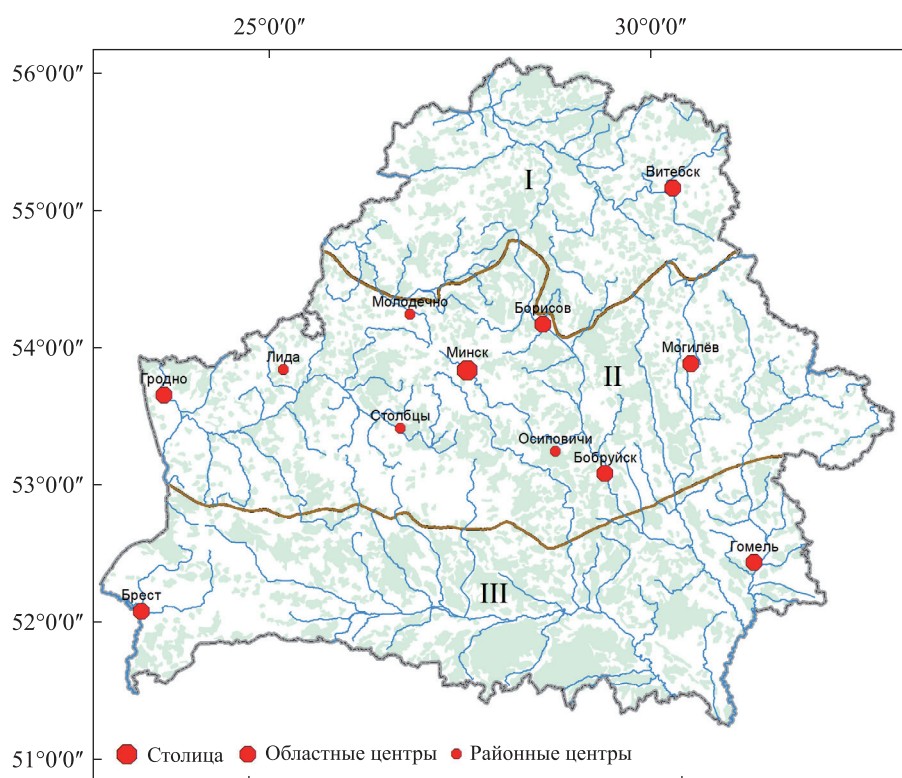


Рис. 1. Опробование урбанизированных территорий Республики Беларусь в 2007–2009 гг.

Fig. 1. Belarus urbanized territories sampling in 2007–2009

При опробовании г. Минска и прочих 5 областных и 6 районных центров использовались различные сценарии. Минск – столица и крупнейший город Беларуси – опробовался детально, с предварительным выбором на карте масштаба 1 : 27 000 расположения пробных площадок (первоначально – не менее 30 площадок на функциональную зону). Непосредственно отбор проб (лето – осень) производился во время пешеходных маршрутов, на которых уточнялся выбор репрезентативных участков для тех или иных конкретных районов города. Последовательно опробовались рекреационная, транспортная (автомобильные дороги), селитебная, транспортная (железные дороги), промышленная зоны столицы. Подобный сценарий позволял с первого же дня полевых работ в соответствующей зоне составить представление о ее репрезентативном участке и далее сохранять однотипность выбора размещения очередной пробной площадки.

Под пробной площадкой для рекреационной, селитебной и промышленной зон понимался участок площадью не менее 100 м² (10 × 10 м), на котором из почвенного горизонта 0–20 см отбиралась смешанная проба, состоявшая не менее чем из 5 точечных проб. Для повышения надежности выполняемых работ в большинстве случаев опробовались более крупные площадки (400 м²), на которых отбиралось по 15–20 точечных проб.

Под пробной площадкой для транспортной зоны в реальных условиях г. Минска понимались обочина (0–3 м от полотна) или газон разделительной полосы дороги протяженностью 30–50 м, на которых также отбиралось 15–20 точечных проб.

Вес одной смешанной пробы для всех функциональных зон на долабораторной стадии составлял не менее 5–6 кг.

Так как параллельно с проведением опробования почв г. Минска осуществлялось определение содержания в них изучавшихся в данный год токсикантов и анализ литературных источников по данной теме, то к началу выполнения полевых работ в областных и районных центрах Беларуси в общих чертах уже были ясны основные закономерности распределения этих веществ в почвах всех изучаемых функциональных зон. По этой причине с учетом указанных выше временных и финансовых факторов в 5 областных и 6 районных центрах Беларуси для подтверждения установленных закономерностей проводилось контрольно-рекогносцировочное опробование, включавшее в себя изучение 12 пробных площадок на каждый город, с методической точки зрения аналогичное таковому для г. Минска. По сравнению с работами 2007–2008 гг. по Cr, Ni, Zn, Cu, Cd, Pb в сеть опробования городов Лиды, Молодечно, Осиповичей применительно к As, Hg и нефтепродуктам в 2009 г. внесены необходимые изменения. В частности, для характеристики загрязнения As, Hg и нефтепродуктами сельскохозяйственных земель были также опробованы 12 площадок, расположенных на пашнях различных хозяйств в пределах Березинского биосферного заповедника.

Лабораторные работы

Подготовка проб почв к химико-аналитическому определению металлов и нефтепродуктов включала перемешивание (гомогенизацию) объемных смешанных образцов по мере их сушки в затененных комнатных условиях (около 1 мес.) и выделение из общей пробы гранулометрической фракции менее 1 мм при помощи алюминиевых сит для дальнейших анализов.

Непосредственно аналитические работы выполнялись в 2007–2009 гг. в центральной лаборатории – филиале РУП «Белгеология» (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, нефтепродукты) и в 2009 г. – в лаборатории массовых анализов Института радиологии (г. Гомель) (As, Hg) по стандартным методикам.

Статистическая обработка полученных данных включала в себя определение закона распределения величин концентраций исследуемых веществ, расчет основных статистических показателей, непараметрический дисперсионный анализ Краскела – Уоллиса.

В настоящей статье приведены результаты эколого-геохимического изучения As и Hg в почвах урбанизированных территорий Беларуси. Соответствующие материалы по подвижным фракциям Cr, Ni, Cu, Zn, Cd и валовому содержанию Pb будут представлены в последующих статьях.

Геохимическая характеристика As и Hg

Согласно классификации В. М. Гольдшмидта, As и Hg принадлежат к группе *халькофильных* элементов, имеют специфическое химическое сродство к S, Se, Te. Кларк As в земной коре по А. П. Виноградову равен 1,7 мг/кг, Hg – 0,083 мг/кг [8].

В различных горных породах кларки As составляют (мг/кг):

хондриты	0,3	средние	2,4
ультраосновные	0,5	кислые	1,5
основные	2,0	осадочные	6,6

Аналогично кларки Hg (мг/кг):

хондриты	3	кислые	0,08
ультраосновные	0,01	осадочные	0,4
основные	0,09		

Приводятся также несколько иные показатели: среднее содержание As и Hg равно соответственно (мг/кг):

в изверженных породах разных типов	1–2	0,0 n –0,09
в осадочных породах	1,0–1,3	0,0 n –0, n

Среднее содержание As составляет (мг/кг):

в почвах мира	5
в зональных почвах бывшего СССР:	
подзолистых	3
серых лесных	4,7
черноземах	5,9
каштановых	5,2
сероземах	2,5

Содержание Hg в почвах мира – 0,01 мг/кг, в дерново-подзолистых почвах Московской области – 0,009 мг/кг [10].

Подробный обзор литературных данных по геохимии As и Hg представлен в работах В. В. Иванова [11; 12].

Многочисленные оригинальные данные, характеризующие техногенную геохимию Hg и As (в существенно меньшей степени), приведены в работе Ю. Е. Саета с соавторами [10].

Отходы и стоки. Коэффициент концентрации (КК) Hg относительно кларка в рассеиваемых пылях промышленных предприятий может составлять 50 000 (изготовление масляных красок, коксохимическое производство), в бытовом мусоре – 15, в золах и шлаках электростанций – 6, в стоках промышленных предприятий – 100 000. КК As в пылях электростанций – 5, в стоках промышленных предприятий – 10, в стоках электростанций – 50.

Содержание Hg в продуктах сжигания твердых бытовых отходов достигает 0,4–0,9 мг/кг (КК = 5–10). Среднее содержание As в золах бурых углей мира составляет 60 мг/кг, каменных – 90 мг/кг.

Концентрация Hg в осадках сточных вод городов с развитым машиностроением, химической и легкой промышленностью может достигать 10 мг/кг (КК = 1110), с развитыми машиностроением и легкой промышленностью – 0,8 мг/кг (КК = 90), с легкой промышленностью – 0,3 мг/кг (КК = 33).

Содержание As в сточных водах гальванических производств может достигать 30 мкг/л (КК = 10), городской канализации – 0,25 мкг/л (КК = 8).

Воздух. Концентрация As в воздухе (мкг/м³):

Южный полюс	$3 \cdot 10^{-6}$
средний пригород	$5 \cdot 10^{-3}$
промышленный город	10^{-1}
около мощных источников загрязнения	60

Фон Hg в условиях пригорода – 0,001 мкг/м³, промышленного города – 0,005 мкг/м³, у источника загрязнения – 3 мкг/м³.

В естественных условиях Hg и As находятся в воздухе, главным образом в виде парогазовой формы; даже в воздухе жилых территорий крупного промышленного города 66 % As и 60 % Hg присутствуют в подобном виде. По этой причине распространение ртутных выбросов, например углеперерабатывающего предприятия, может происходить двумя способами: в виде грубой взвеси (зона загрязнения – до 1,5 км от предприятия) и тонкой взвеси и газовой фазы (от 3 до 5 км).

Hg, как правило, сохраняется в воздушных потоках до 5-километрового удаления от источника выброса. Отмечается линейная зависимость между концентрацией Hg в атмосферном воздухе x и почве y (например, $y = 130x + 1$).

В фоновых пылевых выпадениях содержание Hg составляет 0,01 мг/кг, среднесуточная нагрузка – 0,1–0,2 мг/км². На урбанизированных территориях техногенное давление по Hg формируется за счет собственно аномального типа нагрузки (выпадение пыли с аномальным содержанием элемента).

Воды. Для Hg характерна миграция преимущественно в растворенном состоянии (доля взвешенной составляющей – 0, n %). Содержание Hg в речных водах антропогенных ландшафтов обычно не превышает 0,5 мкг/л.

Почвы. КК Hg в почвах, равный 45, установлен в районе предприятия по производству пластмасс, 21 – в районе коксохимического производства, 3 – у цементного завода.

Донные отложения. В городах с населением 100 тыс. человек КК Hg, равные 317 и 398, установлены на участках влияния стоков тяжелого машиностроения, металлообработки, производства кабелей, аккумуляторов, электронной, строительной, легкой и пищевой промышленности; в городах с населением 30–100 тыс. человек для стоков строительной промышленности и металлообработки КК равен 399, для стоков химической промышленности – 31; в городах с населением до 30 тыс. человек для стоков ткацкой фабрики – 53, для стоков производства грампластинок – 553, для стоков научного центра радиотехнического направления – 43. В поселках городского типа для стоков вторичной переработки цветных металлов КК равен 180, для стоков кирпичных заводов – 35, для стоков керамико-плиточных заводов – 3–10.

Сельскохозяйственная продукция. По имеющимся данным, содержание As в кукурузе составляет 0,20 мг/кг сухого вещества, Hg в пшенице – 0,008–0,010, в кукурузе – 0,003, в фасоли – 0,005 6, в моркови – 0,005 2, в свекле – 0,006 8 мг/кг сухого вещества.

Загрязнение продукции As может происходить за счет внесения фосфорных удобрений (КК удобрений равен 10–25, увеличение подвижности As).

В течение длительного периода в составе ядохимикатов повсеместно использовались токсичные ртутьсодержащие соединения. В результате концентрация Hg в почвах садово-огородных участков ряда районов, по сравнению с природным уровнем, может быть повышена на 200–550 %.

К загрязнению почв и сельскохозяйственной продукции также ведет внесение в качестве удобрений компостов из бытового мусора (содержание Hg составляет 2,0–7,5 мг/кг, КК = 200–750) и осадков городских сточных вод (1,3–1,8 мг/кг, КК = 130–180). При этом наблюдается загрязнение почв полей Hg до КК = 25, почв теплиц – до КК = 125. Для As характерны более низкие показатели загрязнения – до КК = 15.

Биологические субстраты. При воздействии As и Hg на человека диагностическими субстратами являются кровь, моча, волосы и ногти.

Среднее содержание As в волосах детей фоновых районов городов Нечерноземья составляет 0,16 мг/кг, Hg – 0,99 мг/кг сухого вещества, тогда как в волосах взрослого населения – 0,09 мг/кг и 1,81 мг/кг соответственно.

Основной путь поступления неорганической Hg в организм – ингаляционное поглощение. С атмосферным воздухом поступает в среднем около 1 мкг Hg в сутки. Большая часть вдыхаемых паров Hg задерживается в легких. В желудочно-кишечный тракт элемент попадает в основном с питьевой водой и продуктами питания (рыба, рыбные продукты).

В районах с высоким местным загрязнением суточное потребление Hg может достигать 300 мкг, что приводит к массовому отравлению метилртутью (проникает в том числе и в грудное молоко).

При ингаляционном поступлении основным депо Hg являются почки, элемент также накапливается в тканях головного мозга, приводя к нервным поражениям.

Психомоторные поражения начинают проявляться при содержании Hg 1–2 мкг/100 мл крови. По мнению японских ученых, изучавших болезнь Минамата, содержание Hg в волосах, равное 20 мг/кг, является критическим.

Среднее содержание Hg в волосах детей, проживающих у машиностроительных предприятий, составляет 1,19 мг/кг, у предприятий по вторичной переработке цветных металлов – 1,64 мг/кг, у свинцово-кадмиевого комбината – 2,02 мг/кг сухого вещества.

Накопление As отмечено в волосах рабочих, занятых на производстве Cd (КК = 8), выплавке (61) и рафинировании (10) Cu, производстве минеральных красок (8). Допустимое содержание As в волосах детей составляет 2,0 мг/кг сухого вещества.

Hg в почвах Беларуси (предшествующие исследования)

Применительно к условиям Беларуси рекогносцировочные оценки сделаны В. С. Хомичем с соавторами [13] на основе данных, предоставленных Н. П. Петровым. Всего было проанализировано 134 пробы (12 населенных пунктов, Березинский биосферный заповедник, Беловежская пуца), концентрации Hg варьировали от менее 0,03 до 2,31 мг/кг, повышенными значениями выделялся г. Витебск (55 % проб содержало Hg в количествах более 0,4 мг/кг).

Более детально вопрос загрязнения городов Беларуси Hg изучался С. В. Какарекой с соавторами [14] на примере г. Гомеля, опробовавшегося в 1992–1993 гг. с плотностью 4 пробы на 1 км². Всего было проанализировано 692 пробы. Значение содержания элемента варьировало от «не обнаружен» до 3,62 мг/кг, медианное значение составило 0,07 мг/кг. Были выявлены аномалии, приуроченные к почвам огородов в районе индивидуальной застройки в центре города, к почвам в районе заводов «Коралл» и «Гомель-кабель», на территории стихийной свалки и химического завода.

Среднее содержание Hg в почвах разных функциональных зон г. Гомеля составляет (мг/кг): многоэтажной застройки – 0,12; индивидуальной жилой застройки – 0,13; промышленной – 0,15; сельскохозяйственной – 0,12; рекреационной – 0,09; санирующей – 0,23; неиспользуемых территорий – 0,08.

Таким образом, повышенным средним значением характеризовались только санирующие ландшафты (загрязняемые фильтратами со свалок бытовых отходов и отстойников очистных сооружений, о чем свидетельствовали результаты исследования грунтовых вод заложенных шурфов).

В целом авторы обзора [13] констатируют, что диагностировать конкретные источники загрязнения почв городов Беларуси Hg весьма сложно. Данный вывод также подтверждается оценками структуры выбросов Hg и As для территории республики. В частности, в 2006 г. было выброшено в природную среду 0,72 т Hg и 1,20 т As [15]. Из них для Hg на обрабатывающую промышленность и строительство пришлось 86 %, на энергетику общего пользования и производство тепла – 10 %; для As на обрабатывающую промышленность и строительство – 52 %, на производство металлов – 19 %, на энергетику общего пользования и производство тепла – 9 %. Таким образом, техногенные источники Hg и As в регионе мелкие, хотя и распространены повсеместно.

С другой стороны, на территории Беларуси имеется несколько предприятий – потенциальных источников значительного загрязнения Hg, на площадях которых в почвах выявлены высокие концентрации данного элемента (ПРУП «Кричевцементношифер» – до 4,5 мг/кг, Минский автомобильный завод – до 15,2 мг/кг) [16].

As и Hg в почвах урбанизированных территорий Беларуси (по данным опробования 2009 г.)

Объем выполненного опробования характеризуют показатели, представленные в табл. 1. Всего на валовое содержание As и Hg было проанализировано 292 почвенных образца (из них на г. Минск приходится 148 смешанных проб (из 229 отобранных), на областные и районные центры – 132, на Березинский биосферный заповедник – 12). Подобный отбор проб в г. Минске («с запасом») позволил при последующей интерпретации аналитических данных провести (в случае необходимости) дополнительные контрольные измерения и проверки.

Как указывалось выше, аналитические работы выполнялись в лаборатории массовых анализов Института радиологии на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar M-6. При определении Hg использовалась ртутно-гидридная приставка VP-110 (*Termoelectronics*, Великобритания). Извлечение As и Hg производилось в соответствии с методическими указаниями [17].

Таблица 1

**Опробование почв на пробных площадках различных функциональных зон
урбанизированных территорий Беларуси (лето – осень 2009 г.), шт.**

Table 1

**Soil sampling on trial plots within different functional zones
of Belarus urbanized territories (summer – autumn 2009), pcs**

Город	Зона, пробные площадки				Пробные площадки
	Рекреационная	Селитебная	Транспортная	Промышленная	
Минск	51 (26)	75 (37)	73 (55)	30 (30)	229 (148)
Брест	2	3	4	3	12
Витебск	1	6	3	2	12
Гомель	2	3	5	2	12
Гродно	2	4	4	2	12
Могилёв	1	3	6	2	12
Бобруйск	–	2	4	6	12
Борисов	1	3	3	5	12
Лида	2	4	4	2	12
Молодечно	1	2	4	5	12
Осиповичи	2	3	4	3	12
Столбцы	2	2	8	–	12
Всего	67	110	122	62	361

Примечание. Сельскохозяйственная зона представлена 12 пробами, отобранными на территории Березинского биосферного заповедника. Для г. Минска в скобках показано количество проб, проанализированных на содержание As и Hg.

Мышьяк. Статистическая обработка данных показала (табл. 2), что встречаемость As во всех зонах составляет 100 % и величины концентрации элемента в большинстве выборок распределены нормально (исключение – селитебная зона в целом и промышленная зона г. Минска).

За пределами промплощадок, хозяйственных дворов предприятий и свалок наблюдается достаточно стабильный средний уровень валового содержания As в гумусированном горизонте почв, определяемый естественными природными факторами (главным образом минералогическими). По нашим данным, среднее содержание элемента в почвах сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника составляет 0,50 мг/кг, рекреационной зоны для Беларуси в целом – 0,57 мг/кг, селитебной зоны – 0,48, транспортной зоны – 0,64, промышленной зоны – 0,57 мг/кг. Таким образом, в настоящее время, по-видимому, можно говорить только о слабой тенденции накопления As в почвах транспортной зоны ($KK = 1,2$).

Концентрации As, превышающие 1 мг/кг, установлены в г. Витебске (1,37 мг/кг – максимальное отмеченное значение) и г. Могилёве (3 пробы, 1,08–1,19 мг/кг).

По содержанию As в почвах статистически значимых различий между функциональными зонами урбанизированных территорий Беларуси в целом не установлено (Н-критерий Краскела – Уоллиса равен 10,4; $n = 4$, $p = 0,03$) (рис. 2).

Сопоставление средних значений валового содержания As в почвах автотранспортной (0,65 (0,23–1,19) мг/кг; $n = 65$) и железнодорожной (0,62 (0,11–1,37) мг/кг; $n = 39$) подзон транспортной зоны свидетельствует о том, что по данному показателю они статистически достоверно не различаются.

Таблица 2

Статистические характеристики содержания As и Hg в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси, мг/кг

Table 2

Descriptive statistics of As and Hg concentration in lands (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized territories, mg/kg

Функциональная зона, n	Средняя арифметическая или геометрическая (индекс g) либо медиана (индекс m)	Пределы варьирования	Показатель σ , или ϵ , или R
Мышьяк			
Урбанизированные территории в целом			
Рекреационная, 42	0,57	0,15–0,94	0,227
Селитебная, 72	0,48 _g	0,17–1,08	1,59
Транспортная, 104	0,64	0,11–1,37	0,252
Промышленная, 62	0,57	0,24–0,99	0,220
Агроселитебная, 12	0,50	0,13–0,74	0,168
г. Минск			
Рекреационная, 26	0,47	0,15–0,94	0,194
Селитебная, 37	0,38	0,17–0,67	0,115
Транспортная, 55	0,54	0,15–0,98	0,204
Промышленная, 30	0,43 _g	0,24–0,98	1,50
Областные центры			
Рекреационная, 8	0,74	0,35–0,91	0,189
Селитебная, 19	0,75	0,29–1,08	0,233
Транспортная, 21	0,82	0,11–1,37	0,298
Промышленная, 11	0,76	0,47–0,98	0,149
Районные центры			
Рекреационная, 8	0,74	0,49–0,91	0,173
Селитебная, 16	0,62	0,30–0,98	0,223
Транспортная, 27	0,68	0,24–0,96	0,210
Промышленная, 21	0,63	0,24–0,99	0,190

Окончание табл. 2
Ending table 2

Функциональная зона, n	Средняя арифметическая или геометрическая (индекс g) либо медиана (индекс m)	Пределы варьирования	Показатель σ , или ϵ , или R
Ртуть			
Урбанизированные территории в целом			
Рекреационная, 42	0,010 _{m}	Не обн. – 0,500	0,019
Селитебная, 72	0,013 _{m}	Не обн. – 2,03	0,029
Транспортная, 104	0,036 _{m}	Не обн. – 1,620	0,038
Промышленная, 62	0,021 _{m}	Не обн. – 1,410	0,044
Агроселитебная, 12	0,010*	Не обн. – 0,045	–
г. Минск			
Рекреационная, 32	0,0089 _{m}	0,0064–0,056	0,0068
Селитебная, 37	0,0096 _{m}	0,0024–0,041	0,0081
Транспортная, 55	0,038 _{m}	0,0082–0,156	0,027
Промышленная, 30	0,020 _{m}	0,0061–0,086	0,035
Областные центры			
Рекреационная, 8	0,043 _{m}	Не обн. – 0,140	0,078
Селитебная, 19	0,045 _{m}	Не обн. – 2,03	0,082
Транспортная, 22	0,034 _{m}	Не обн. – 1,62	0,048
Промышленная, 11	0,081 _{m}	Не обн. – 0,130	0,077
Районные центры			
Рекреационная, 8	0,017 _{m}	Не обн. – 0,500	0,046
Селитебная, 16	0,038 _{m}	Не обн. – 0,270	0,116
Транспортная, 27	0,016 _{m}	Не обн. – 0,260	0,032
Промышленная, 21	0,015 _{m}	Не обн. – 1,41	0,043

Примечание. σ – стандартное отклонение (при расчете средней арифметической); ϵ – стандартный множитель (при расчете средней геометрической); R – межквартильный размах (при расчете медианы). Не обн. – не обнаружено (содержание элемента ниже предела обнаружения использованного метода определения). * Рассчитано по формуле $\bar{x} = (\bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min})n : N + \bar{x}_{\min}$, где $\bar{x}_{\max}$ – максимально возможное среднее (при исключении из расчетов проб с концентрациями ниже предела обнаружения); $\bar{x}_{\min}$ – минимально возможное среднее (при обнулении проб с концентрациями ниже предела обнаружения); n – число «непустых» проб; N – число всех проб.

При рассмотрении средних показателей, полученных для г. Минска, областных и районных центров, отмечено заметное проявление природного литологического фактора. Так, почвы рекреационной (0,47 мг/кг), селитебной (0,38 мг/кг), транспортной (0,54 мг/кг) и промышленной (0,43 мг/кг) зон г. Минска содержат As примерно в 1,3–2,0 раза меньше, чем соответствующие почвы областных (0,74; 0,75; 0,82; 0,76 мг/кг) и районных (0,74; 0,62; 0,68; 0,63 мг/кг) центров (рис. 3 и 4).

При исследовании средних показателей для г. Минска, областных и районных центров с помощью непараметрического дисперсионного анализа (*Kruskal – Wallis test*) установлены следующие статистически значимые различия (H-критерий Краскела – Уоллиса равен 72,3; $n = 2$, $p < 0,001$): наибольшее среднее содержание As отмечается в почвах областных центров, тогда как наименьшее – в почвах г. Минска (рис. 5).

Ртуть. Статистическая обработка данных (см. табл. 2) показала, что встречаемость Hg во всех зонах, кроме сельскохозяйственной, для республики в целом колеблется в пределах 90–95 %. Минимальное медианное значение (около 0,010 мг/кг), близкое к кларку, установлено для сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника, земель рекреационной и селитебной (0,013 мг/кг) зон в целом. Медианные значения содержания Hg в почвах транспортной (0,036 мг/кг) и промышленной (0,021 мг/кг) зон в 3,6 и 2,1 раза выше соответственно.

Концентрации Hg, превышающие 1 мг/кг, установлены в городах Бресте (2,03 мг/кг, КК = 203), Витебске (1,62 мг/кг, КК = 162), Молодечно (1,41 мг/кг, КК = 141). В последнем случае работником бывшего оборонного завода «Спутник» было подтверждено широкое использование соединений Hg в производственном процессе (приборы аэрокосмического назначения).

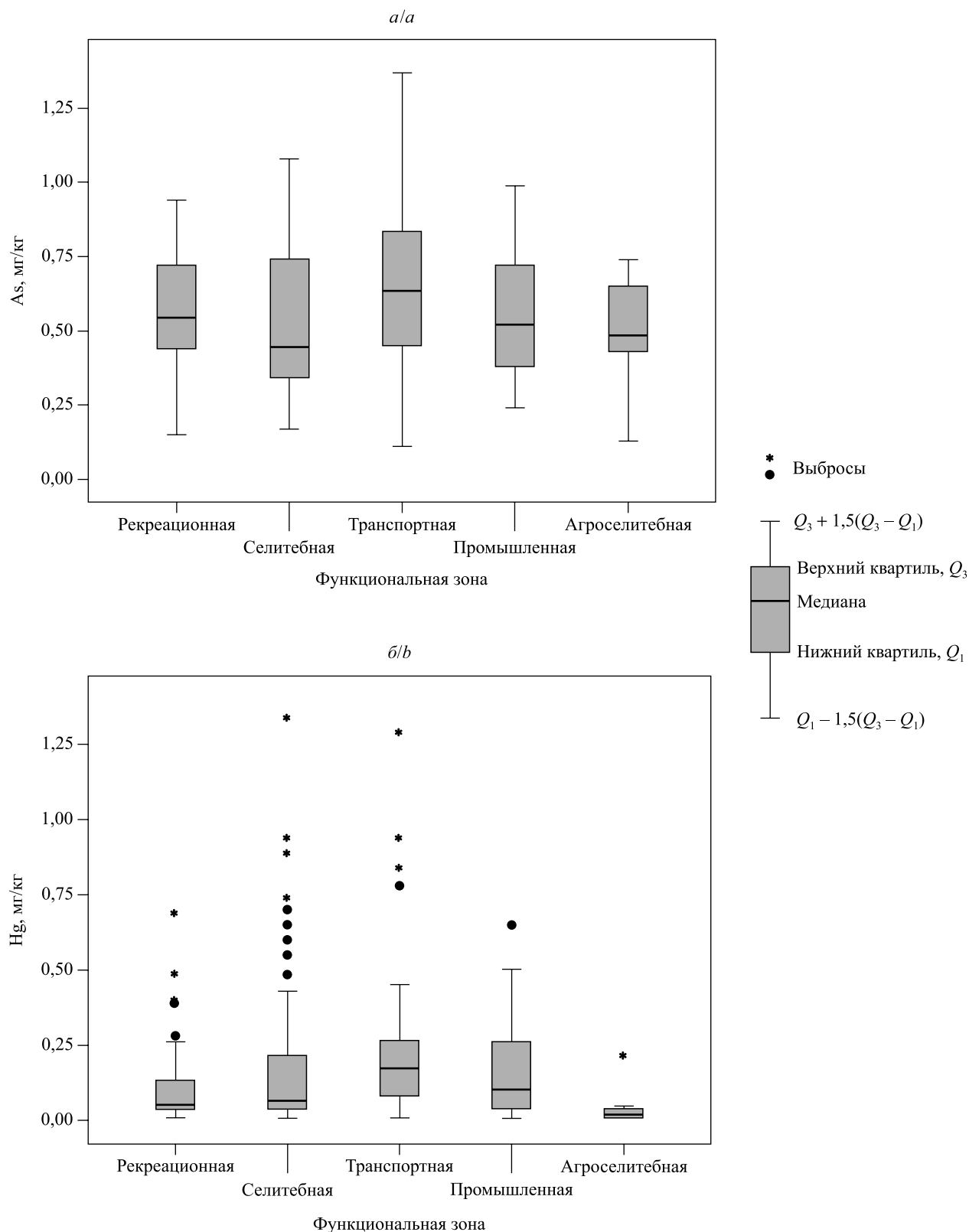


Рис. 2. Параметры варьирования содержания As (*a*) и Hg (*б*) в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси

Fig. 2. Box-plot of As (a) and Hg (b) distributions in lands (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized territories

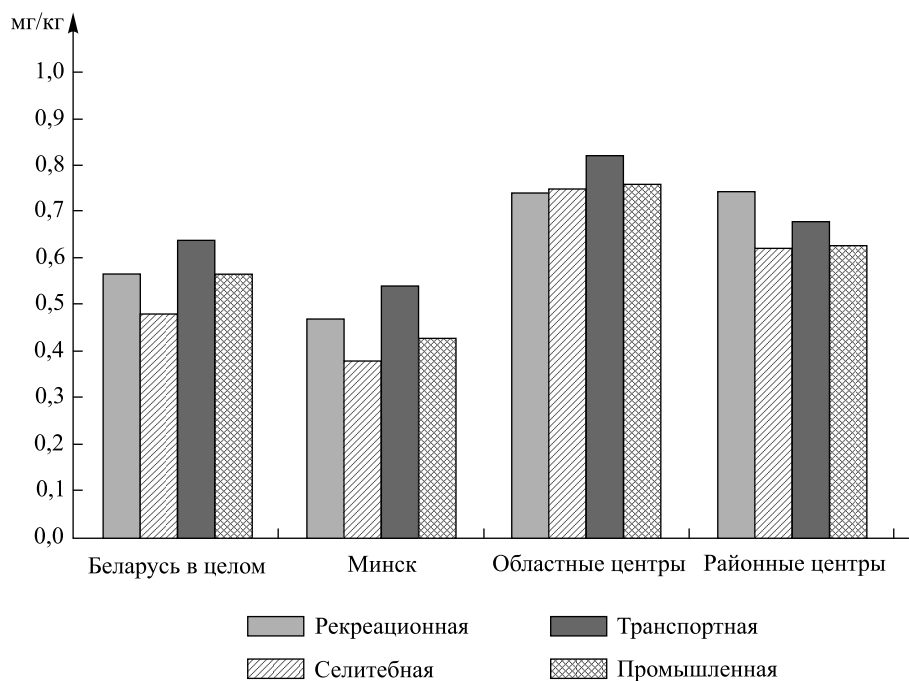


Рис. 3. Валовое содержание As в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси

Fig. 3. As total content in lands (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized territories

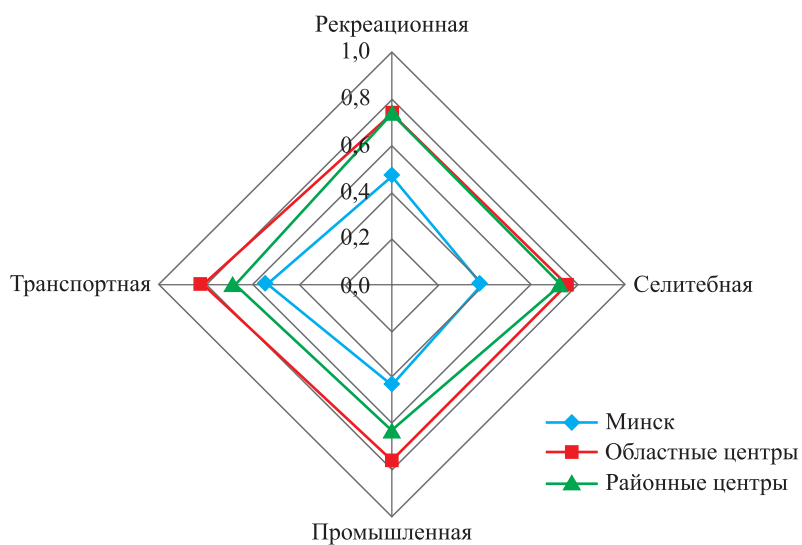


Рис. 4. Диаграмма содержания As (мг/кг) в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси

Fig. 4. Diagram of As content (mg/kg) in lands (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized areas

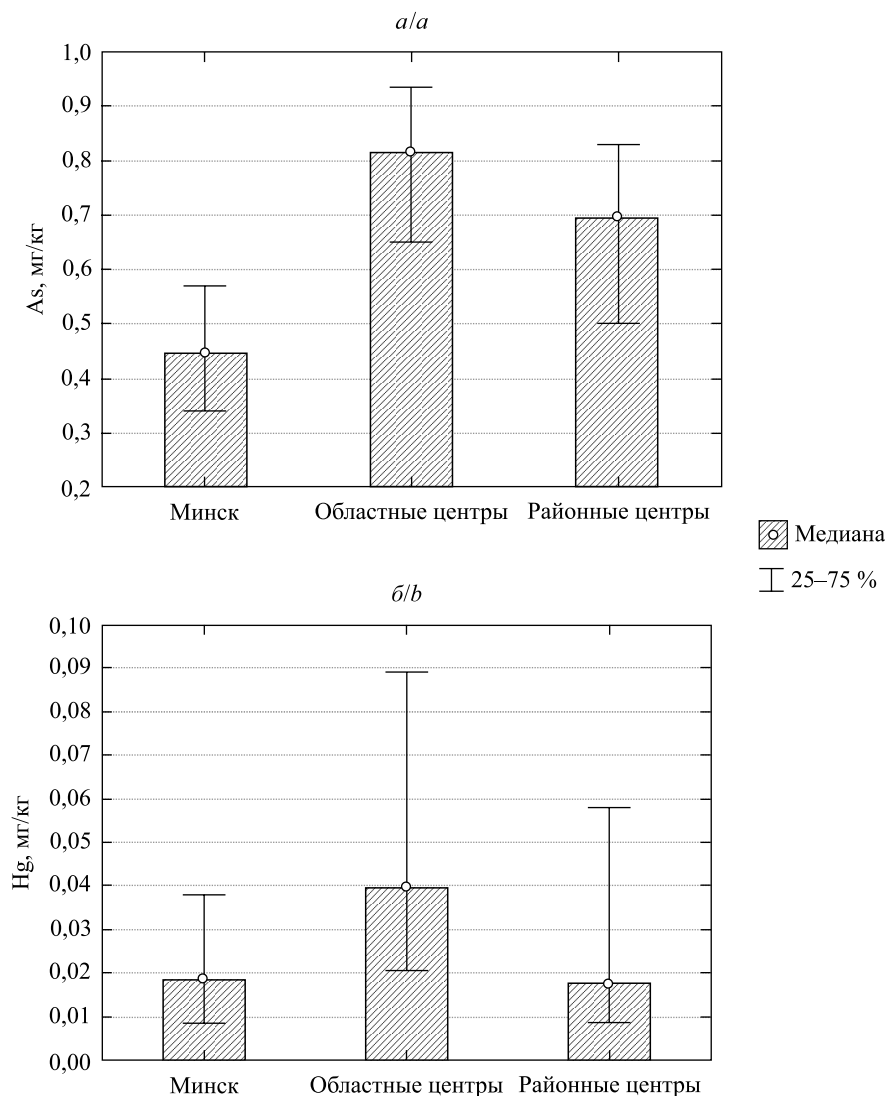


Рис. 5. Диаграмма содержания As (а) и Hg (б) в землях (почвах) (0–20 см) г. Минска, областных и районных центров

Fig. 5. Diagram of As (a) and Hg (b) content in lands (soils) (0–20 cm) within Minsk, regional and district centres

С помощью непараметрического дисперсионного анализа (*Kruskal – Wallis test*) выявлены статистически значимые различия по содержанию в почвах Hg между отдельными функциональными зонами (H-критерий Краскела – Уоллиса равен 32; $n = 4$, $p < 0,001$) (см. рис. 2). Апостериорные сравнения показали, что наиболее контрастны различия между транспортной и рекреационной, агроселитебной и транспортной, агроселитебной и промышленной зонами.

Сопоставление медианных значений валового содержания Hg в почвах автотранспортной (0,036 (от «не обнаружено» до 0,210 мг/кг); $n = 65$) и железнодорожной подзон (0,024 (от «не обнаружено» до 1,620 мг/кг); $n = 39$) свидетельствует о том, что по данному показателю они статистически достоверно не различаются.

При переходе к функциональным зонам г. Минска, областных и районных центров проявляется иная картина загрязнения почв Hg (рис. 5–7). Если в столице по медианным показателям, как и в случае с As, в целом наблюдаются среднереспубликанские значения (рекреационная зона – 0,0089 мг/кг, селитебная – 0,0096, транспортная – 0,038, промышленная – 0,020 мг/кг), то в областных центрах установлено более высокое медианное значение содержания Hg в почвах рекреационной (0,043 мг/кг), селитебной (0,045 мг/кг) и промышленной зон (0,081 мг/кг), тогда как в районных центрах – в почвах селитебной зоны (0,038 мг/кг). Естественно, что данные для отдельных функциональных зон областных и районных центров следует признать ориентировочными (ввиду малого количества проб и содержания Hg в ряде проб ниже предела обнаружения использованного метода определения).

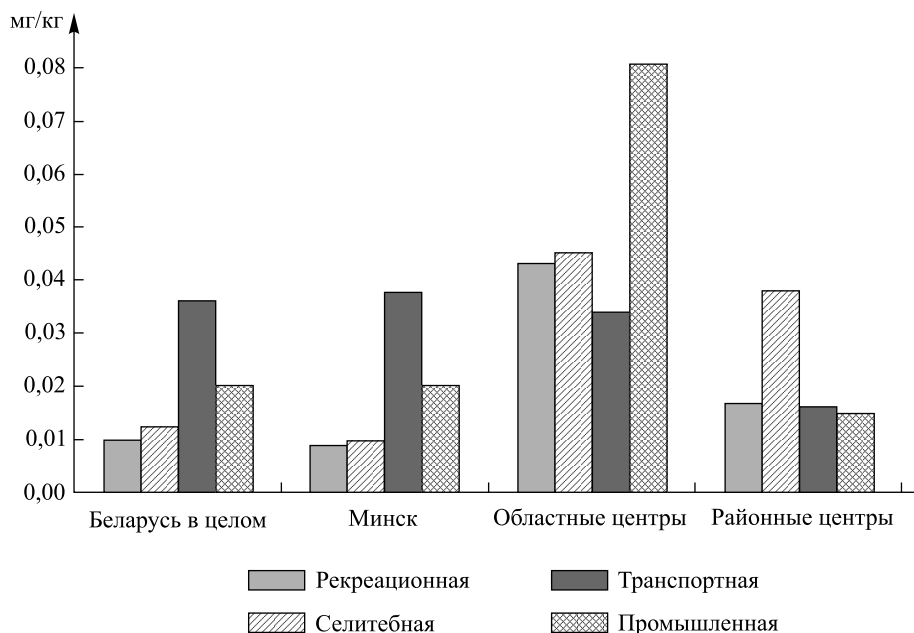


Рис. 6. Валовое содержание Hg в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси

Fig. 6. Hg total content in soils (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized territories

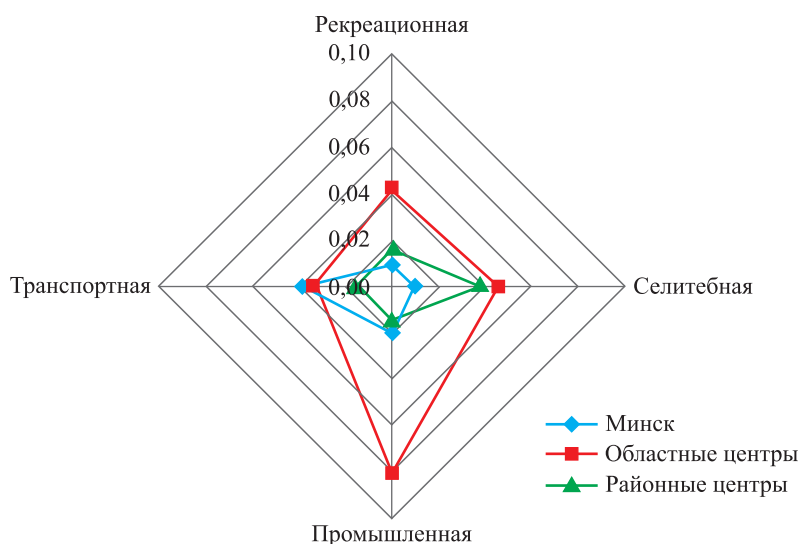


Рис. 7. Диаграмма содержания Hg в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси, мг/кг

Fig. 7. Diagram of Hg content in lands (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized areas, mg/kg

При рассмотрении средних показателей для г. Минска, областных и районных центров с помощью непараметрического дисперсионного анализа (*Kruskal – Wallis test*) установлены следующие статистически значимые различия (H-критерий Краскела – Уоллиса равен 9,7; $n = 2$, $p = 0,008$): наибольшее среднее (медиана) содержание Hg отмечается в почвах областных центров, тогда как наименьшее – в почвах районных центров (см. рис. 5).

Выводы

В 2009 г. в 12 городах Беларуси (Минск, 5 областных и 6 районных центров) и на территории Березинского биосферного заповедника отобраны 373 смешанные почвенные пробы. Из них выделены 292 эталонные пробы для определения валового содержания As и Hg атомно-абсорбционным методом.

Встречаемость As во всех функциональных зонах Беларуси составляет 100 %, и величины концентрации элемента в большинстве выборок распределены нормально (исключение составляют селитебная зона Беларуси в целом и промышленная зона г. Минска).

За пределами промплощадок, хозяйственных дворов предприятий и свалок наблюдается достаточно стабильный средний уровень валового содержания As в гумусированном горизонте почв, определяемый естественными природными факторами (главным образом минералогическими).

Среднее содержание As в почвах сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника, в разное время выведенных из использования, составляет 0,50 мг/кг, в почвах рекреационной зоны для Беларуси в целом – 0,57 мг/кг, селитебной зоны – 0,48, транспортной зоны – 0,64, промышленной зоны – 0,57 мг/кг.

В настоящее время, по-видимому, можно говорить только о весьма слабой тенденции накопления As в почвах транспортной зоны ($KK = 1,2$). Концентрации этого элемента, превышающие 1 мг/кг, установлены только в 1,4 % случаев – в городах Витебске (1 проба) и Могилёве (3 пробы).

При рассмотрении средних показателей, полученных для г. Минска, областных и районных центров, отмечено заметное проявление природного литологического фактора. Почвы рекреационной (0,47 мг/кг), селитебной (0,38 мг/кг), транспортной (0,54 мг/кг) и промышленной (0,43 мг/кг) зон г. Минска содержат As примерно в 1,3–2,0 раза меньше, чем соответствующие почвы областных (0,74; 0,75; 0,82; 0,76 мг/кг) и районных (0,74; 0,62; 0,68; 0,63 мг/кг) центров.

Встречаемость Hg во всех зонах, кроме сельскохозяйственной зоны Березинского биосферного заповедника, для Беларуси в целом колеблется в пределах 90–95 %. Минимальное медианное значение (около 0,01 мг/кг), близкое к мировому кларку, установлено для сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника, земель рекреационной и селитебной (0,013 мг/кг) зон в целом. Медианные значения содержания Hg в почвах транспортной (0,036 мг/кг) и промышленной (0,021 мг/кг) зон в 3,6 и 2,1 раза выше соответственно.

Максимальные концентрации Hg, превышающие 1 мг/кг, установлены в 1 % случаев – в городах Бресте (1 проба), Витебске (1 проба), Молодечно (1 проба).

При переходе от среднереспубликанских показателей к значениям, установленным для функциональных зон г. Минска, областных и районных центров, проявляется иная картина загрязнения почв Hg. Если г. Минск по медианным показателям, как и в случае с As, в целом близок к среднереспубликанскому уровню (рекреационная зона – 0,0089 мг/кг, селитебная – 0,0096, транспортная – 0,038, промышленная – 0,020 мг/кг), то в областных центрах установлено более высокое медианное значение содержания Hg в почвах рекреационной (0,043 мг/кг), селитебной (0,045 мг/кг) и промышленной зон (0,081 мг/кг), тогда как в районных центрах – в почвах селитебной зоны (0,038 мг/кг).

Библиографические ссылки

1. Соколов СМ, Котленец АИ, Ильюкова ИИ, Петрова СЮ, Войтович АМ, Лукашёв ОВ и др. Инструкция по определению дифференцированных гигиенических нормативов загрязнения почв. Утверждена Министерством здравоохранения Республики Беларусь 24 апреля 2007 г. № 021-0407. Минск: РНПЦ гигиены; 2007.
2. Предельно допустимые концентрации подвижных форм цинка, хрома, кадмия в почвах (землях) различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения. Гигиенические нормативы, утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 6 ноября 2008 г. № 187.
3. Нормативы предельно допустимых концентраций подвижных форм никеля, меди и валового содержания свинца в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов, утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 19 ноября 2009 г. № 125.
4. Нормативы предельно допустимых концентраций валового содержания ртути и мышьяка в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов, утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 4 августа 2010 г. № 107.
5. Предельно допустимые концентрации нефтепродуктов в землях (включая почвы) для различных категорий земель, утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 12 марта 2012 г. № 17/1.
6. Ильюкова ИИ, Лукашёв ОВ. Обоснование предельно допустимой концентрации подвижных форм хрома, цинка и кадмия в почвах различных функциональных зон населенных пунктов. *Здоровье и окружающая среда*. 2008;11:113–119.
7. Рубин ВМ, Ильюкова ИИ, Кремко ЛМ, Присмотров ЮА, Самсонова АС, Володько ИК и др. Гигиеническое обоснование нормативов ПДК нефтепродуктов в почвах Республики Беларусь. *Гигиена и санитария*. 2013;2:99–101.
8. Виноградов АП. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры. *Геохимия*. 1962;7:555–571.
9. Войткевич ГВ, Кокин АВ, Мирошников АЕ, Прохоров ВГ. *Справочник по геохимии*. Москва: Недра; 1990.
10. Сает ЮЕ, Ревич БА, Янин ЕП, Смирнова РС, Башаркевич ИЛ, Онищенко ТЛ и др. *Геохимия окружающей среды*. Москва: Недра; 1990.
11. Иванов ВВ. *Экологическая геохимия элементов. Книга 3. Редкие р-элементы*. Москва: Недра; 1996.

12. Иванов ВВ. *Экологическая геохимия элементов. Книга 5. Редкие d-элементы*. Москва: Экология; 1997. с. 497–562.
13. Хомич ВС, Какарека ВС, Кухарчик ТИ. *Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси*. Минск: Минсктиппроект; 2004.
14. Какарека СВ, Кухарчик ТИ, Лысенко АН, Хомич ВС. Ртуть в почвенном покрове городских ландшафтов. *Доклады НАН Беларуси*. 1997;41(6):93–98.
15. Логинов ВФ, редактор. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень: 2007 г. Минск: Минсктиппроект; 2008.
16. Кузьмин СИ, Бобко АВ, Кульбеда НА, Глазачева ГИ. *Оценка воздействия ртути на окружающую среду в Республике Беларусь*. Минск: БелНИЦ «Экология»; 2012.
17. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственной и продукции растениеводства. ЦИ-НАО, 1992. Утверждены заместителем министра сельского хозяйства Российской Федерации 10 марта 1992 г. Москва: ЦИНАО; 1992.

References

1. Sokolov SM, Kotlenets AI, Ilyukova II, Petrova SYu, Voitovich AM, Lukashev OV, et al. *Instruktsiya po opredeleniyu differentsirovannykh gigenicheskikh normativov zagryazneniya pochv. Uтверждена Министерством здравоохранения Республики Беларусь' 24 апреля 2007 г. No. 021-0407* [Instructions for determining the differentiated hygienic soil pollution standards. Approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 2007 April 24. No. 021-0407]. Minsk: RNPTs gigeny; 2007. Russian.
2. [Hygienic standards «Maximum permissible concentrations of Zinc, Chromium, Cadmium mobile forms in soils (lands) within different functional zones of populated areas, industry, transport, communication, energy, defense and other purposes», approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 2008 November 6. No. 187]. Russian.
3. [Standards for the maximum permissible concentrations of Nickel and Copper mobile forms and Lead total content in lands (including soils) located within the boundaries of settlements for different types of territorial zones according to primary functional use of the settlement territories, approved by the Ministry of Health of the Republic Belarus on 2009 November 19. No. 125]. Russian.
4. [The standards for the maximum permissible concentrations of the Mercury and Arsenic total content in lands (including soils) located within the boundaries of settlements for different types of territorial zones according to primary functional use of the settlement territories, approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 2010 August 4. No. 107]. Russian.
5. [Maximum permissible concentrations of petroleum products in land (including soils) for different land categories, approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 2012 March 12. No. 17/1]. Russian.
6. Ilyukova II, Lukashev OV. [Substantiation of the maximum permissible concentration of Chromium, Zinc and Cadmium mobile forms in soils within different functional zones of settlements]. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda*. 2008;11:113–119. Russian.
7. Rubin VM, Ilyukova II, Kremko LM, Prismotrov YuA, Samsonova AS, Volod'ko IK, et al. [Hygienic substantiation MPC of petroleum products in the Republic of Belarus soils]. *Gigiena i sanitariya*. 2013;2:99–101. Russian.
8. Vinogradov AP. [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust]. *Geokhimiya*. 1962;7:555–571. Russian.
9. Vojtkovich GV, Kokin AV, Miroshnikov AE, Prokhorov VG. *Spravochnik po geokhimii* [Handbook on Geochemistry]. Moscow: Nedra; 1990. Russian.
10. Saet YuE, Revich BA, Yanin EP, Smirnova RS, Basharkovich IL, Onishchenko TL, et al. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Environmental Geochemistry]. Moscow: Nedra; 1990. Russian.
11. Ivanov VV. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov. Kniga 3. Redkie p-elementy* [Ecological geochemistry of elements. Book 3. Rare p-elements]. Moscow: Nedra; 1996. Russian.
12. Ivanov VV. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov. Kniga 5. Redkie d-elementy* [Ecological geochemistry of elements. Book 5. Rare d-elements]. Moscow: Ekologiya; 1997. p. 497–562. Russian.
13. Khomich VS, Kakareka VS, Kukharchyk TI. *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi* [Ecogeochemistry of urban landscapes]. Minsk: Minsktippromekt; 2004. Russian.
14. Kakareka SV, Kuxarchik TI, Lysenko AN, Khomich VS. [Mercury in the soil cover of urban landscapes]. *Doklady NAN Belarusi*. 1997;41(6):93–98. Russian.
15. Loginov VF, editor. [The state of the natural environment of Belarus. Ecological Bulletin: 2007]. Minsk: Minsktippromekt; 2008. Russian.
16. Kuz'min SI, Bobko AV, Kul'beda NA, Glazacheva GI. *Otsenka vozdeistviya rtuti na okruzhayushchuyu sredu v Respublike Belarus'* [Assessment of the Mercury impact on the environment in the Republic of Belarus]. Minsk: BelNITs «Ekologiya»; 2012. Russian.
17. [Methodical guidelines for the determination of heavy metals in soils of farmland and crop production. TSINAO, 1992. Approved by the Deputy Minister of Agriculture of the Russian Federation on 1992 March 10]. Moscow: TSINAO; 1992. Russian.

Статья поступила в редакцию 26.03.2018.
Received by editorial board 26.03.2018.