

РИСК ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ УРБАНОЗЕМОВ Г. ГОРКИ

О. Н. ЛЕВШУК

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: levshuk-2011@mail.ru

(Поступила в редакцию 30.06.2020)

Оценка уровней и риска загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова представляет собой актуальную научную задачу, поскольку именно в почве замыкаются большой и малый круговороты химических веществ и происходит миграция в системах «почва – вода» и «почва – растение». На основании собственных экспериментальных исследований выполнена комплексная оценка загрязнения тяжелыми металлами (Cu, Zn, Pb, Cd) урбаноземов в пределах территории с индивидуальной жилой застройкой г. Горки (Могилевская область, Республика Беларусь) с использованием ряда индикаторных показателей: величины фактора контаминации; индекса потенциального экологического риска; уровня контаминации, комплексного индекса загрязнения; индекса потенциального экологического риска. Определение содержания тяжелых металлов выполнялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии, а их экстрагирование производилось в $1\text{M H}_2\text{SO}_4$. Медианное значение содержания в почве меди, цинка и свинца превышает значения ПДК, тогда как медианное значение содержания кадмия составляет 0,34 ПДК, а процент проб с превышением ПДК составляет только 7 % от общего количества. Установлено, что приоритетным загрязнителем урбаноземов является кислоторастворимый цинк, величина фактора контаминации которого варьирует от 2,29 до 437,35. Характер распределения поллютантов в почве имеет неравномерный мозаичный характер, свидетельствующий о наличии значительного количества локальных источников загрязнения техногенного происхождения. Урбаноземы на территории г. Горки имеют умеренную степень загрязнения свинцом и кадмием и высокую степень загрязнения медью, а элементы-загрязнители располагаются в следующий убывающий ряд: $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$. Относительно низким уровнем загрязнения тяжелыми металлами характеризуется южная часть города, а максимальные концентрации поллютантов фиксируются в урбаноземех юго-западной и центральной его части.

Ключевые слова: тяжелые металлы, урбаноземы, загрязнение, оценка, риск.

Assessment of the levels and risk of contamination by heavy metals of the soil cover is an urgent scientific problem, since it is in the soil that the large and small cycles of chemicals are locked and migration occurs in the «soil – water» and «soil – plant» systems. On the basis of our own experimental studies, a comprehensive assessment of the contamination by heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd) of urban soils within the territory with individual residential buildings in the city of Gorki (Mogilev region, Republic of Belarus) was carried out using a number of indicator values: the value of contamination factor; potential environmental risk index; contamination level, integrated pollution index; index of potential environmental risk. Determination of the content of heavy metals was carried out by atomic absorption spectrometry, and their extraction was carried out with 1M H₂SO₄. The median value of the content of copper, zinc and lead in the soil exceeds the MPC values, while the median value of the cadmium content is 0.34 MPC, and the percentage of samples exceeding the MPC is only 7 % of the total amount. It has been established that the priority pollutant of urban soils is acid-soluble zinc, the value of contamination factor of which varies from 2.29 to 437.35. The distribution of pollutants in the soil has an uneven mosaic character, indicating the presence of a significant number of local sources of pollution of technogenic origin. Urban soils on the territory of Gorki have a moderate degree of lead and cadmium contamination and a high degree of copper contamination, and the pollutant elements are arranged in the following decreasing order: Zn > Cu > Pb > Cd. The southern part of the city is characterized by a relatively low level of pollution by heavy metals, and the maximum concentrations of pollutants are recorded in the urban soils of the southwestern and central parts of it.

Key words: heavy metals, urban soils, pollution, assessment, risk.

Введение

Согласно задачи 2.4 цели 2 – ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства Повестки дня в области устойчивого развития, одобренной на 70 сессии Генеральной Ассамблеи ООН, к 2030 году Беларусь должна обеспечить создание устойчивых систем производства продуктов питания и внедрить методы ведения сельского хозяйства, которые позволяют повысить жизнестойкость и продуктивность и увеличить объемы производства, способствуют сохранению экосистем, укрепляют способность адаптироваться к изменению климата, экстремальным погодным явлениям, засухам, наводнениям и другим бедствиям и постепенно улучшают качество земель и почв [22]. Стратегической целью развития сельского хозяйства Беларуси является формирование конкурентоспособного на мировом рынке и экологически безопасного производства продуктов питания и сырья, необходимых для поддержания достигнутого уровня продовольственной безопасности, а также для обеспечения полноценного питания и здорового образа жизни населения при сохранении и воспроизводстве плодородия почв [13]. Современная социально-экономическая ситуация и сложившийся традиционный уклад жизни поддерживают высокий интерес населения страны к пополнению пищевого рациона за счет сельскохозяйственной продукции, выращиваемой в личных подсобных хозяйствах. Валовой сбор картофеля, выращенного в таких хозяйствах в 2019 году в Могилевской области, составил 656,3 тыс. т, овощей – 156,0 тыс. т [18]. Качество сельскохозяйственной продукции, получаемой в личных подсобных хозяйствах, напрямую зависит от качества почвы, поскольку она является наиболее чувствительным индикатором эколого-геохимической обстановки территории и локалитетом для депонирования и пересечения путей миграции химических элементов, в частности токсикантов [12]. Однако монито-

ринг загрязнения почвы в личных подсобных хозяйствах граждан не проводится, поскольку традиционно контроль со стороны государства осуществляется исключительно над землями сельскохозяйственного назначения, находящимися в пользовании сельскохозяйственных организаций. В то же время неконтролируемое применение пестицидов, органических и минеральных удобрений, средств химической мелиорации в частном секторе, довольно часто научно необоснованное, приводит к загрязнению почвы тяжелыми металлами и остатками агрохимикатов и депонированию в ней поллютантов, что неминуемо влечет за собой и загрязнение выращиваемой на этих почвах сельскохозяйственной продукции, прежде всего картофеля и овощей.

Вопросам оценки уровней и характера пространственного распределения тяжелых металлов в почвах посвящен довольно широкий ряд исследований. В частности, анализу пространственного распределения химических загрязнителей в почвах в зонах воздействия эмиссии поллютантов промышленными предприятиями посвящены работы [4, 5]; оценке уровня контаминации почв сельскохозяйственных угодий, непосредственно прилегающих к регионам с высокой степенью концентрации промышленного производства, – работы [3, 6]. Ряд научных работ посвящен загрязнению тяжелыми металлами почв г. Могилев [7], г. Бобруйск [21], г. Жодино [8], а вопросы содержания химических элементов, в том числе элементов-загрязнителей, в почвах аграрных ландшафтов и лесных экосистем освещены в работах [16, 20].

Однако подавляющее большинство выполненных в Беларуси исследований касается оценки уровня загрязнения тяжелыми металлами урбаноземов в областных центрах и городах с высокой степенью концентрации промышленного производства, тогда как исследований по оценке экологического состояния почвенного покрова агроселитебных ландшафтов малых городов, в частности в Могилевской области, проведено недостаточно. Учитывая вышесказанное, выполнение исследований, направленных на оценку уровней и риска загрязнения тяжелыми металлами (медь, цинк, свинец, кадмий) почвенного покрова в пределах индивидуальной жилой застройки г. Горки (Могилевская область, Республика Беларусь) представляет собой актуальную научную задачу, решению которой и посвящена данная работа.

Основная часть

Исследования выполнялись в 2017–2020 гг. на территории микрорайонов «Заречье», «Центр», «Слобода» и «Академия», а также садовых товариществ «Труд», «Иваново» и «Садовод», находящихся в пределах территории г. Горки (Могилевская область, Республика Беларусь) (рис. 1).

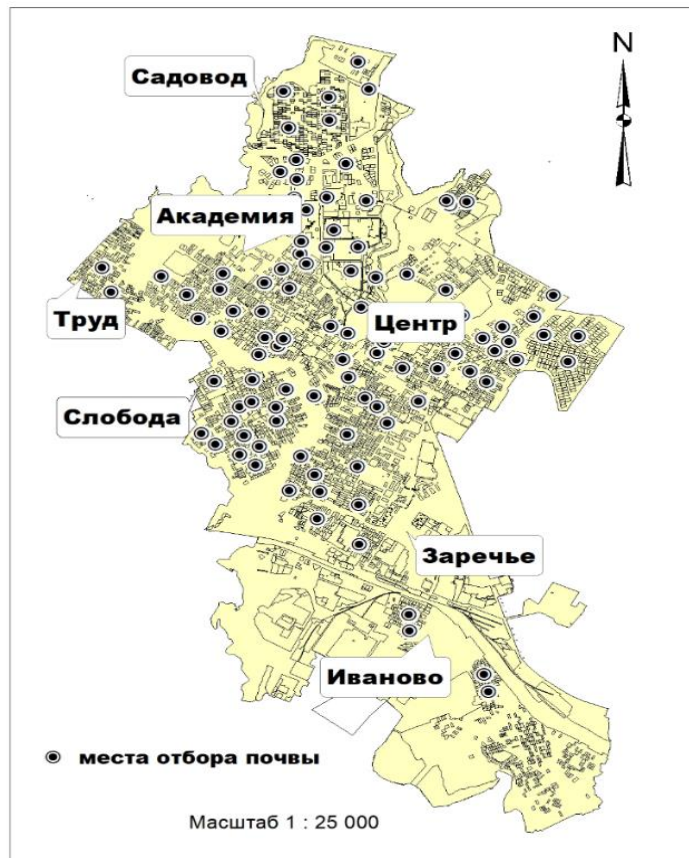


Рис. 1. Схема отбора репрезентативных образцов почвы на территории г. Горки

Отбор образцов почвы проводился в соответствии с требованиями, указанными в ТКП 17.03–02–2013 «Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами» [14]. Размер пробной площадки составлял 10×10 м, почва отбиралась методом «конверта» из слоя 0–20 см. Один репрезентативный почвенный образец формировался из 20 точечных проб.

Аналитические исследования выполнялись на базе химико-экологической лаборатории УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», аккредитованной в Системе аккредитации Республики Беларусь в соответствии с СТБ ИСО/МЭК 1 7025-2007 (аттестат аккредитации номер ВУ/112 02.2.0.4043 от 05.07.2015 г.). Определение содержания тяжелых металлов выполнялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе SOLAAR S Series AA фирмы Thermo Scientific (США). Экстрагирование кислоторастворимых форм тяжелых металлов из почвы производилось 1н HNO₃.

Для оценки риска загрязнения урбаноземов тяжелыми металлами рассчитывались следующие показатели [25]:

1) фактор контаминации C_f^i (1):

$$C_f^i = \frac{C_i}{C_n^i} \quad (1)$$

где C_i – фактическое содержание элемента в почве, мг/кг; C_n^i – фоновое содержание элемента в почве;

2) индекс потенциального экологического риска E_r^i (2):

$$E_r^i = C_f^i * T_r^i \quad (2)$$

где T_r^i – коэффициент токсичности элемента, равный для Cd, Cu, Pb и Zn 2, 5, 30 и 40 соответственно;

3) уровень контаминации mC_d (3):

$$mC_d = \sum_{i=1}^N C_f^i / N, \quad (3)$$

где N – количество проанализированных образцов, шт.;

4) комплексный индекс загрязнения P_i (4):

$$P_i = \sqrt{\frac{(mC_d)^2 + (C_{f \max}^i)^2}{2}}, \quad (4)$$

где $C_{f \max}^i$ – максимальное значение фактора контаминации;

5) индекс потенциального экологического риска RI (5):

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i. \quad (5)$$

Геопространственный анализ данных о содержании тяжелых металлов в почве выполнялся с помощью набора графиков для исследовательского анализа пространственных данных (ESDA) модуля «Geostatistical Analyst» программного продукта ArcGIS версии 10.3.

Тяжелые металлы и их соединения занимают приоритетное положение среди многочисленных загрязнителей окружающей среды антропогенного и техногенного происхождения и характеризуются сильной стабильностью, высокой токсичностью, выраженными кумулятивными свойствами и значительным негативным воздействием на состояние биосферы и здоровье человека. В агроселитебных ландшафтах основной средой депонирования поллютантов, в частности тяжелых металлов, является почва, в которой пересекаются пути миграции химических элементов, происходят явления синергизма и антагонизма, аккумуляции и диссипации вещества и энергии. Почвы селитебных комплексов постоянно испытывают все возрастающее антропогенное воздействие в силу того, что они находятся в условиях неблагоприятной среды, характерной для урбанизированных территорий, в пределах которых четко прослеживаются два вида техногенного и антропогенного влияния: загрязнение почвы и преобразование ее профиля.

Инструменты геостатистики, в частности исследовательский анализ (ESDA) позволяют изучить пространственную структуру данных и получить их общие статистические характеристики. В ходе выполнения исследовательского анализа было установлено, что характер распределения данных о содержании в урбаноземках тяжелых металлов не соответствует нормальному, а в выборке присутствует значительное количество выбросов, исключение которых из нее невозможно, поскольку именно выбросы высоких и низких значений важны для идентификации участков с максимальным и ми-

нимальными уровнями загрязнения почвенного покрова в пределах города. По этой причине для оценки меры изменчивости данных о содержании тяжелых металлов в почве были использованы размах варьирования, значение медианы и межквартильный размах, являющийся робастным и не зависящим от наличия в данных выбросов высоких и низких значений, а не среднее арифметическое значение (табл. 1).

Таблица 1. Основные статистические характеристики и pH 0-20 см слоя урбанизированных г. Горки, n = 100

Наименование показателя	Название элемента				pH _{ксл}
	медь	цинк	свинец	кадмий	
Размах варьирования (min – max)	3,17–305,35	7,36–1408,3	3,21–1414,7	0,0001–1,0	5,35–7,48
Медиана	7,59	47,7	8,77	0,16	6,50
Межквартильный размах	4,94	83,77	7,75	0,17	0,51
% проб с превышением ПДК	100	80	79	7	–
% проб с превышением фонового содержания	100	100	100	74	–
ПДК [20, 21]	3,0	23,0	6,0	0,5	–
Фоновое содержание [23, 24]	2,26	3,22	3,0	0,1	–

Медианное значение содержания в почве меди, цинка и свинца превышает значения ПДК, тогда как медианное значение содержания кадмия составляет 0,34 ПДК, находится очень близко к значению фонового содержания данного элемента, а число проб с превышением ПДК составляет всего 7 % от общего количества отобранных образцов. Медианное значение pH почвенного раствора соответствует близкому к нейтральному, что может рассматриваться как фактор, снижающий миграционную способность тяжелых металлов и способствующий уменьшению поступления их в продукцию растениеводства.

Традиционно как в Беларуси, так и в странах ближнего зарубежья для оценки геохимического состояния территории и установления уровня техногенного загрязнения почвы тяжелыми металлами используют: 1) предельно допустимую концентрацию (ПДК) того или иного элемента; 2) ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК) элементов, для которых не установлена ПДК; 3) кларк элемента по А. П. Виноградову для почв бывшего СССР. Однако оценка экологического состояния почвы посредством простого сравнения фактического содержания в ней тяжелых металлов с величиной ПДК или ее аналогом имеет целый ряд существенных недостатков. Прежде всего, предельно допустимая концентрация позволяет оценить степень опасности поллютантов только по простой сумме адаптивных эффектов, без учета явлений синергизма и антагонизма, всегда присутствующих в таких сложных гетерогенных и полифункциональных системах, как почва. Кроме того, предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в почве при установлении нормативов ПДК определялись с учетом преимущественно гигиенических (антропоцентрических) позиций, без учета воздействия на почвенную биоту, физико-химических свойств почв, а также особенностей поведения тяжелых металлов при полиэлементном загрязнении в конкретных почвенно-климатических условиях [10]. Более приемлемым методом оценки комплексного экологического состояния территории по степени загрязнения ее почвенного покрова тяжелыми металлами является расчет различных интегрированных показателей (индексов), учитывающих как токсичность элементов, так и степень их миграционной способности. В табл. 2 представлены статистические характеристики фактора контаминации урбанизированных C_f^i и индекса потенциального экологического риска загрязнения территории E_r^i , учитывающего как величину фактора контаминации, так и степень токсичности того, либо иного элемента. С учетом медианных значений величины фактора контаминации элементы-загрязнители урбанизированных г. Горки располагаются в следующий убывающий ряд: Zn>Cu>Pb>Cd не смотря на то, что 100%-ное содержание проб с превышением ПДК было установлено для меди, а не для цинка. Согласно градации, приведенной в работе [25], при $C_f^i < 1$ уровень загрязнения почвы считается низким, при $1 < C_f^i < 3$ – умеренным, при $3 < C_f^i < 6$ – высоким, при $C_f^i > 6$ – очень высоким. Таким образом, исходя из медианных значений величины фактора контаминации урбанизированной территории г. Горки имеют умеренную степень загрязнения свинцом и кадмием, высокую степень загрязнения медью и очень высокую – цинком. На наличие существенного загрязнения кислоторастворимым цинком почвенного покрова в пределах урбанизированных территорий Беларуси указывается и в работе [2].

Таблица 2. Статистические характеристики фактора контаминации и индекса потенциального экологического риска урбаноземов г. Горки, n = 100

Название элемента	Статистическая характеристика показателя						
	min	max	mid	S _a	med	Асимметрия	Экссесс
Фактор контаминации C_f^i							
Медь	1,40	135,11	6,69	15,65	3,36	6,38	48,61
Цинк	2,29	437,35	42,05	66,84	14,81	2,95	14,65
Свинец	1,07	471,56	10,18	47,76	2,92	9,20	88,94
Кадмий	0,001	10,03	2,11	2,02	1,62	2,09	8,09
Индекс потенциального экологического риска E_r^i							
Медь	7,01	675,55	33,46	78,27	16,80	6,38	48,61
Цинк	91,46	17494,0	1682,0	2673,7	592,55	2,95	14,65
Свинец	32,05	14147,0	305,42	1432,9	87,66	9,20	88,94
Кадмий	0,002	20,07	4,22	4,04	3,24	2,09	8,09

Исходя из медианных значений величины индекса потенциального экологического риска элементы-загрязнители урбаноземов г. Горки располагаются в следующий убывающий ряд: Zn>Pb>Cu>Cd. Свинец, занимающий вторую позицию в представленном убывающем ряду, является канцерогеном и по классификациям U.S. EPA и IARC относится к веществам с доказанной канцерогенной активностью для человека.

Использование функциональных возможностей геоинформационных систем (ГИС) позволило спрогнозировать и визуализировать пространственное распределение величины фактора контаминации урбаноземов в пределах исследуемой территории (рис. 2).

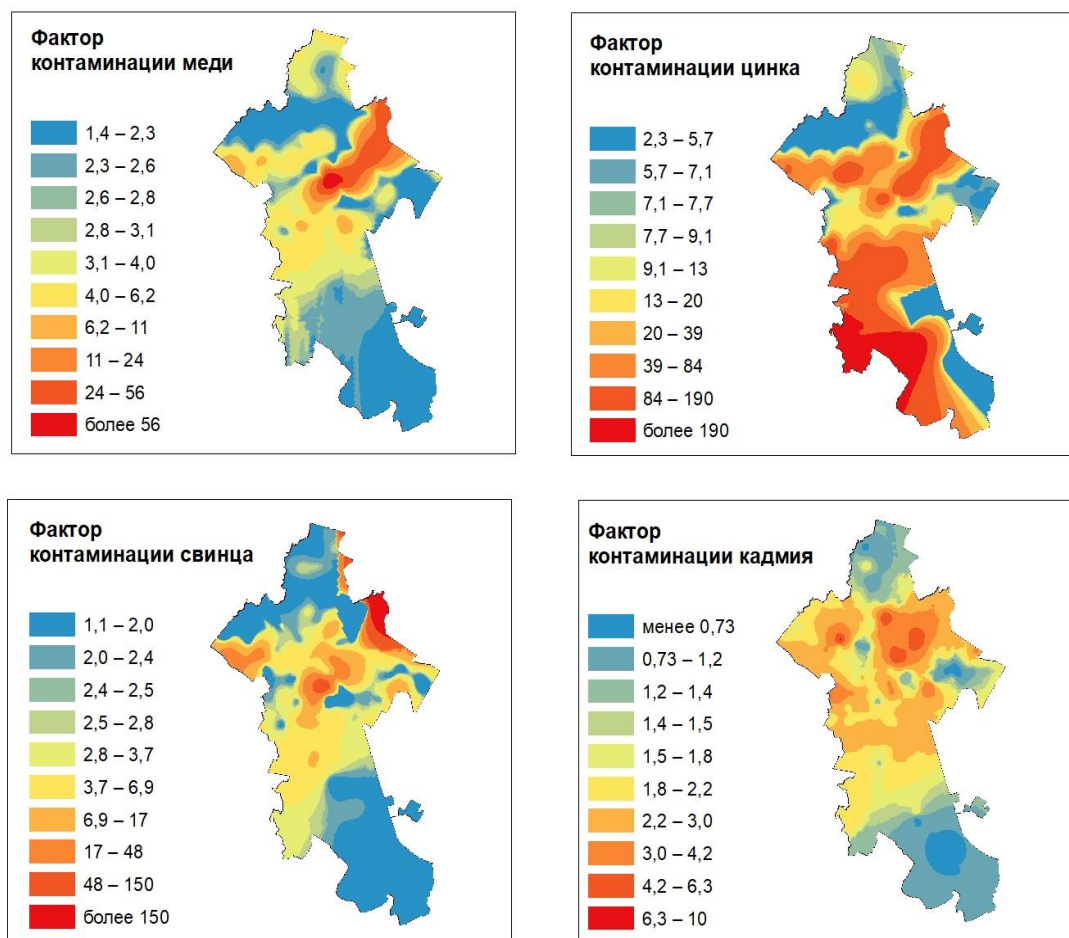


Рис. 2. Пространственное распределение фактора контаминации урбаноземов г. Горки

Прогнозирование было выполнено посредством применения интерполяции по методу радиальных базисных функций, относящихся к умеренно быстрым и точным интерполяторам, позволяющим прогнозировать значения выше и ниже максимального и минимального соответственно (функция ядра – мультиквадрики, количество секторов – 1 без смещения). Установлено, что очаг загрязнения почвы медью сконцентрирован в центральной части города, а также в районе дендропарка и питомника, где в частных приусадебных хозяйствах граждан зафиксированы максимальные уровни содержания данного элемента. Загрязнение урбаноземов медью вызвано как техногенными факторами, так и дополнительным привнесением этого элемента с удобрениями и пестицидами в результате не контролируемого их применения населением при ведении индивидуального огородничества и садоводства [11]. В частности, в органических удобрениях может содержаться от 2 до 60 мг/кг меди и от 15 до 250 мг/кг цинка, азотные удобрения содержат до 27 мг/кг свинца и до 42 мг/кг цинка, фосфорные – до 170 мг/кг кадмия, до 300 мг/кг меди и свыше 1400 мг/кг цинка, а пестициды – от 20 до 85 % кадмия (инсектициды) и до 50 % меди (фунгициды) [23].

Относительно умеренное загрязнение цинком имеют почвы в районе ул. Янки Купалы – ул. Калиновского, в пределах частного сектора в районе улиц Северная, Дружная, Соловьиная и на территории садового товарищества «Садовод». Данный факт можно объяснить тем, что население в пределах указанной территории вместо традиционных минеральных удобрений довольно интенсивно использует органические удобрения и сидеральные культуры. Остальная часть территории подвержена сильному и очень сильному загрязнению цинком, максимум содержания которого приурочен к земельным участкам в частном секторе в районе ст. Погодино и на территории садового товарищества «Иваново». Именно близость к железнодорожной станции, поверхностный сток с территории которой и является источником привнесения цинка в почву, предопределяет высокое содержание его в урбаноземах привокзальной части города, кратное 40–100 ПДК этого элемента. На загрязненность почвенного покрова цинком в полосах отчуждения железнодорожных путей указывается и в работах [11, 19].

Локализация максимального загрязнения почвы свинцом приурочена к тем же участкам города, что и загрязнение медью, кроме того, высокие содержания данного поллютанта отмечены в почвах в пределах территории садового товарищества «Труд». Достаточно высокое содержание свинца в урбаноземах садового товарищества «Труд» и в районе левого берега р. Поросица имеет техногенную природу и обусловлено боковым поступлением загрязненного ливневого стока от автотранспортных ландшафтов вследствие того, что данная территория находится на относительно пониженных элементах рельефа.

Кадмий оказался наименее широко представленным в почвах поллютантом, максимальный уровень загрязнения которым не превышал 10 ПДК. Одним из источников поступления Cd в окружающую среду является сжигание сухих растительных остатков, что очевидно и является причиной повышенного содержания данного загрязнителя в урбаноземах в районе дендропарка и ботанического сада, где сконцентрированы и основные парково-рекреационные зоны города. В южной части города, а также в пределах садового товарищества «Садовод» отмечено минимальное загрязнение почв свинцом и кадмием.

Экологический риск является количественной мерой угрозы возникновения нежелательных изменений в окружающей среде или отдалённых неблагоприятных последствий этих изменений, возникающих вследствие негативного воздействия на биосферу, в частности посредством загрязнения основных ее компонентов – воды, воздуха, почвенного и растительного покрова. Как уже отмечалось ранее, индекс потенциального экологического риска учитывает степень токсичности элементов-загрязнителей, а его величина ранжируется следующим образом [25]: $E_r^i < 40$ – низкий риск; $40 < E_r^i < 80$ – умеренный риск; $80 < E_r^i < 160$ – допустимый риск; $160 < E_r^i < 320$ – высокий риск; $E_r^i > 320$ – очень высокий риск. Исходя из медианных значений индекса потенциального экологического риска, урбаноземы г. Горки характеризуются низким потенциальным экологическим риском загрязнения кадмием и медью, преимущественно умеренным и допустимым риском загрязнения свинцом, величина которого имеет значительную пестроту в пределах исследуемой территории, и высоким и очень высоким риском загрязнения цинком. Низкий потенциальный экологический риск соответствует ситуации, когда загрязнение отдельных компонентов ландшафта и негативное воздействие поллютанта, находящегося в почве, на смежные среды будет минимальным. Пространственная локализация территорий с максимальным и минимальным экологическим риском загрязнения тяжелыми металлами в пределах г. Горки представлена на рис. 3.

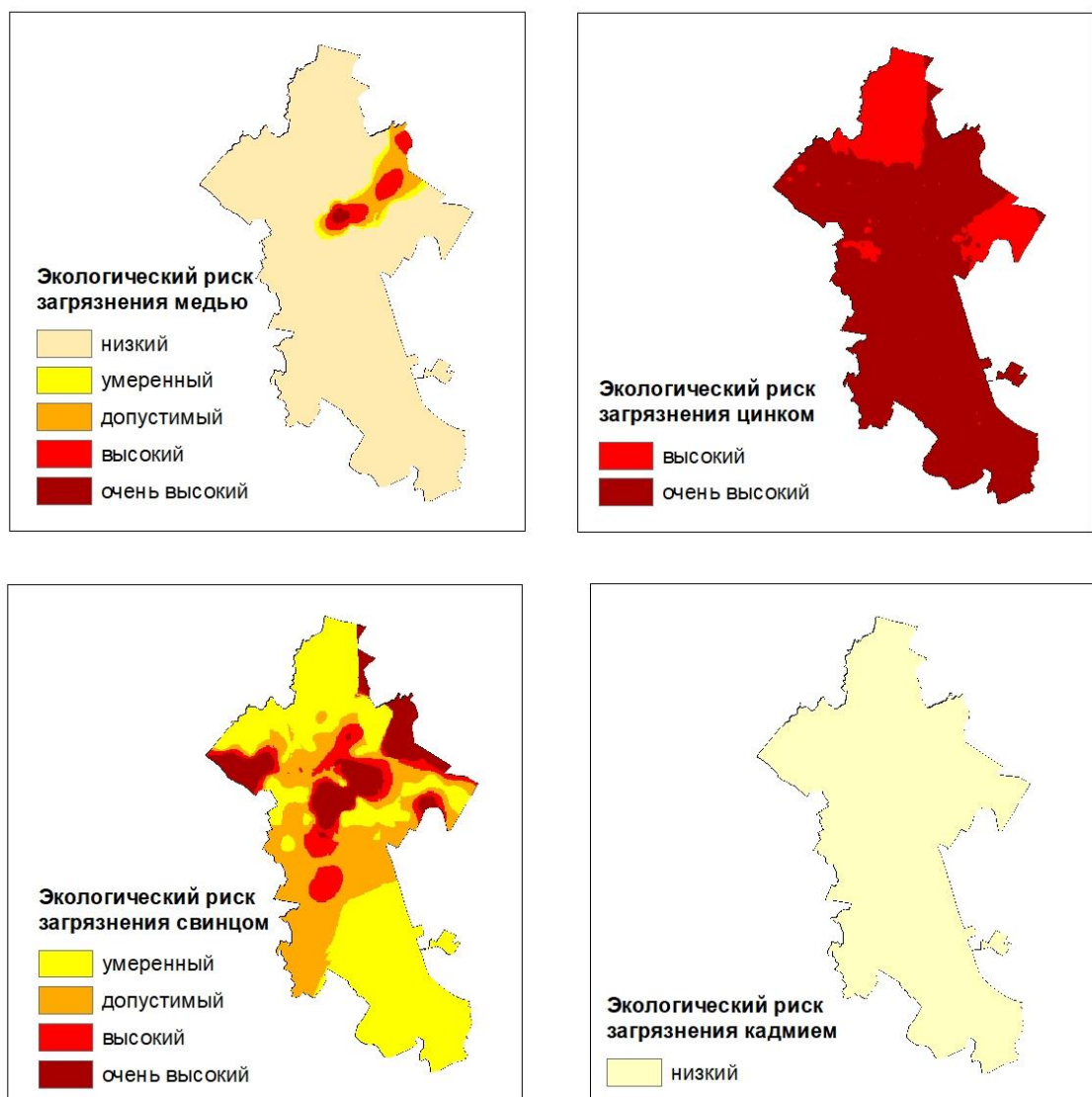


Рис. 3. Пространственное распределение индекса потенциального экологического риска загрязнения тяжелыми металлами урбанизированных территорий г. Горки

Уровень контаминации (mCd) представляет собой обобщенную форму степени комплексного загрязнения почвы, является аналогом суммарного показателя кратности превышения норматива ПДК/ОДК химических веществ Z_c , однако в отличие от него учитывает не количество химических веществ, превышающих нормативы ПДК/ОДК, а общее количество проанализированных образцов. Данный показатель классифицируется на семь уровней [25]: $mCd < 1,5$ – территория не загрязнена; $1,5 < mCd < 2$ – легкая степень загрязнения; $2 < mCd < 4$ – средняя степень загрязнения; $4 < mCd < 8$ – допустимая степень загрязнения; $8 < mCd < 16$ – повышенная степень загрязнения; $16 < mCd < 32$ – высокая степень загрязнения; $mCd > 32$ – очень высокая степень загрязнения (табл. 3).

Таблица 3. Уровень контаминации, комплексный индекс загрязнения и индекс потенциального экологического риска загрязнения урбанизированных территорий г. Горки, $n = 100$

Название элемента	Наименование показателя			
	уровень контаминации, mCd	максимальное значение фактора контаминации, $C_{f \max}^i$	комплексный индекс загрязнения P_i	индекс потенциального экологического риска RI
Медь	6,69	135,11	95,65	700,25
Цинк	42,05	437,35	310,68	
Свинец	10,18	471,56	333,52	
Кадмий	2,11	10,03	7,25	

Исходя из величины уровня контаминации, загрязнение урбанизированных территорий в пределах г. Горки кадмием имеет легкую степень, медью – допустимую степень, свинцом – повышенную степень, цинком – очень высокую степень загрязнения. Суммарный индекс потенциального экологического риска является величиной, характеризующей общий риск загрязнения территории, и классифицируется на сле-

дующие уровни [24, 26, 27]: $RI < 105$ – низкий; $105 < RI < 210$ – допустимый; $210 < RI < 420$ – высокий; $RI > 420$ – очень высокий. Величина данного показателя для исследуемой территории соответствует очень высокому общему потенциальному риску загрязнения и превышает 700 единиц.

Поскольку не было установлено достоверной тесной корреляционной связи между содержанием в почве элементов, которые взаимосвязаны в геохимических аномалиях, можно предположить, что высокие уровни загрязнения урбаноземов вызваны преимущественно техногенными факторами, а не повышенным природным геохимическим фоном.

Заключение

Результаты выполненных исследований дают основания для следующих выводов: 1) урбаноземы в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки характеризуются относительно низким потенциальным экологическим риском загрязнения кадмием и медью, умеренным и допустимым риском загрязнения свинцом и высоким и очень высоким риском загрязнения цинком, имея при этом очень высокий суммарный индекс потенциального экологического риска, превышающий 700 единиц; 2) распределение поллютантов в почве имеет неравномерный мозаичный характер, свидетельствующий о наличии значительного количества локальных источников загрязнения антропогенного и техногенного происхождения; 3) приоритетным загрязнителем почвенного покрова выступает цинк, величина фактора контаминации которого варьирует от 2,29 до 437,35 и соответствует очень высокому уровню загрязнения; 4) урбаноземы на территории г. Горки имеют умеренную степень загрязнения свинцом и кадмием и высокую степень загрязнения медью, а элементы-загрязнители с учетом степени их токсичности располагаются в следующий убывающий ряд: $Zn > Pb > Cu > Cd$.

Дальнейшие исследования следует сосредоточить в направлении прогнозирования пространственного распределения тяжелых металлов в пределах агроселитебных ландшафтов и определения канцерогенного и неканцерогенного риска для здоровья населения, а также установления величины суммарный индекс потенциального экологического риска для отдельных микрорайонов города.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 275 с.
2. Васильева, Л. И. Техногенная составляющая тяжелых металлов в почвах Беларуси / Л. И. Васильева, Н. И. Тановицкая // Литосфера. – 2001. – №2(15). – С. 137–143.
3. Воздействие производственной деятельности РУП «БелАЗ» на загрязнение почвенного покрова территории завода и прилегающих сельскохозяйственных угодий / А. С. Калинович [и др.] // Экологический вестник. – 2009. – № 1. – С. 36–46.
4. Головатый, С. Е. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». Сообщение 3. Тяжелые металлы. / С. Е. Головатый, З. С. Ковалевич, Н. К. Лукашенко // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 1. – С. 268–281.
5. Головатый, С. Е. Формирование педогеохимических аномалий в зонах воздействия промышленных предприятий / С. Е. Головатый, С. В. Савченко, Е. А. Самусик // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2018. – № 3. – С. 94–103.
6. Ересько, М. А. Изменение почвенного покрова в зонах размещения промышленных объектов Беларуси / М. А. Ересько // Экологический вестник. – 2012. – №3 (21). – С. 32–39.
7. Загрязнение почвенного покрова г. Могилева тяжелыми металлами / В. М. Феденя [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2006. – № 4 (13). – С. 243–250.
8. Карпиченко, А. А. Особенности накопления титана, марганца и хрома в поверхностных горизонтах почв г. Жодино (Беларусь) / А. А. Карпиченко, Н. А. Чертко // Доклады Всероссийской научной конференции «Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана)» (Москва, 18–20 октября 2016 г.). – М.: Географический факультет МГУ – С. 247–250.
9. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2006. – 63 с.
10. Мислива, Т. М. Проблеми нормування важких металів в ґрунті / Т. М. Мислива // Вісник ХНАУ. – Сер. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів. – 2008. – № 4. – С. 155–161.
11. Мислива, Т. М. Важкі метали в урбаноземах агроселітебних ландшафтів південно-західної частини м. Житомира / Т. М. Мислива, Л. О. Герасимчук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – Сер. Агрономія. – 2011. – Вип. 162. – Ч. 1. – С. 155–165.
12. Мысльва, Т. Н. Тяжелые металлы в урбаноземах парково-рекреационных ландшафтов г. Житомир / Т. Н. Мысльва // Агрохимия. – 2011. – №1. – С. 67–74.
13. Мысльва, Т. Н. Тяжелые металлы в агроселитебных ландшафтах г. Горки / Т. Н. Мысльва, О. Н. Левшук // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 211–216.
14. Охрана окружающей среды и природопользование Земли. Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами ТКП 17.13-02-2013 (02120) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vik.by>. (Дата доступа: 01.06.2020 г.).
15. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. ГН 2.1.7.12–1–2004 (GN 2.1.7.12–1–2004) Постановление Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь №28 от 25.02.2004 г.
16. Позняк, С. С. Загрязнение тяжелыми металлами дерново-подзолистой и торфяной почв сельскохозяйственных угодий в районе г. Жодино / С. С. Позняк // Экологический вестник – 2010. – № 1 (11). – С. 100–108.

17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. ГН 2.1.7.2041–06 (GN 1.7.2041–06) Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 1 от 23.01. 2006 г.
18. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Минск. – 2019. – 212 с.
19. Семенов, Д. О. Рухомі форми кадмію у ґрунтах Лісостепу та Степу України / Д.О. Семенов // Вісник ХНАУ. – 2008. – №2. – С. 126–129.
20. Толкач, Г. В. К вопросу применимости показателей содержания тяжелых металлов в почвах лесных экосистем Брестского района для оценки степени загрязненности / Г. В. Толкач, С. С. Позняк // Экологический вестник, 2016. – №4(38). – С. 26–32.
21. Химическое загрязнение почвенного покрова г. Бобруйска / Голденков А. А., Залыгина И. А., Марчук С. П., Матвеева В. И. // Экологический вестник. – 2010. – № 2. – С. 31–39.
22. Цели устойчивого развития в Беларуси [Электронный ресурс]. – Министерство иностранных дел Республики Беларусь: официальный сайт. – Режим доступа: <http://mfa.gov.by/multilateral/sdg>. (Дата доступа: 01.06.2020 г.).
23. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення / за ред. Д. Мельничука, Дж. Хофман, М. Городнього. – К.: Арістей, 2004. – 488 с.
24. Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals / Q. Wu, J. Y. S. Leung, X. Geng [et al] // Science of the Total Environment. – 2015. – Vol. 506–507. – P. 217–225.
25. Pollution assessment of trace elements in agricultural soils around copper mining area / Xianfeng Cheng, Drozdova Jarmila, Danek Tomas [et al] // Sustainability/ – 2018.– Vol. 10. – P. 2–18.
26. Spatial distribution, contamination and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of Erhai Lake, a large eutrophic plateau lake in southwest China / Q. Lin, E. Liu, E. Zhang [et al] // Catena. – 2016. – Vol. 145. – P. 193–203.
27. Toxic heavy metal contamination and risk assessment of street dust in small towns of Shanghai suburban area, China / J. Zhang, H. Deng, D.Wang [et al] // Environmental Science and Pollution Research. – 2013. – Vol. 20. – P. 323–332.