

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ
И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ГОРОДА МОЛОДЕЧНОА. А. КАРПИЧЕНКО¹⁾, Н. К. ЧЕРТКО¹⁾, А. С. СЕМЕНИЮК¹⁾¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Рассмотрено влияние техногенных факторов на почвенный и растительный покров г. Молодечно. Исследование проводилось путем отбора образцов почв и растительности. Определение валового содержания химических элементов (Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr) выполнялось эмиссионно-спектральным методом. Среднее содержание Cu в верхних горизонтах почв г. Молодечно составляет 17,5 мг/кг; Pb – 18,7; Mn – 460,0; Ni – 11,0; Sn – 3,6; Ti – 1986; Cr – 36,5 мг/кг. Содержание исследуемых элементов отличается высокой вариабельностью (коэффициенты вариации достигают 36,4–59,7 %). Исключение составляет Ni (вариабельность – 87,6 %). Превышения предельно допустимых концентраций отмечены для Cu, Pb, Ni и Cr, наибольшее загрязнение – в производственно-складской зоне и на прилегающих территориях вблизи железнодорожного вокзала на западе города, а также вблизи завода металлоизделий в северной части г. Молодечно. В растительности города содержание исследуемых элементов отличалось высокой вариабельностью для Sn и Cu ($V = 39,8\%$ и $V = 54,3\%$ соответственно), очень высокой – для Ni (75,0 %), Cr (85,3 %) и Pb (87,5 %), аномальной – для Ti (101,6 %) и Mn (182,1 %). Среднее геометрическое содержание элементов в золе растений: Cu – 19,6 мг/кг; Pb – 2,63; Mn – 303,0; Ni – 3,70; Sn – 0,71; Ti – 232,0; Cr – 9,5 мг/кг. Максимальное накопление Pb и Ni отмечено на загрязненных выше предельно допустимых концентраций почвах.

Ключевые слова: геохимия почв; геохимия растительности; геохимическая оценка; тяжелые металлы; загрязнение почв; загрязнение растительности.

GEOCHEMICAL ESTIMATION OF SOILS
AND VEGETATION OF MALADZIEČNAA. A. KARPICHENKA^a, M. K. CHARTKO^a, A. S. SEMIANIUK^a^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: A. A. Karpichenka (karpi@bsu.by)

The article considers the influence of technogenic conditions on the soil and vegetation cover of Maladziečna city. The study was carried out by sampling soil and vegetation. The total content of chemical elements (Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr)

Образец цитирования:

Карпиченко А. А., Чертко Н. К., Семенюк А. С. Геохимическая оценка почв и растительности г. Молодечно // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2018. № 1. С. 21–29.

For citation:

Karpichenka A. A., Chartko M. K., Semianiuk A. S. Geochemical estimation of soils and vegetation of Maladziečna. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2018. No. 1. P. 21–29 (in Russ.).

Авторы:

Александр Александрович Карпиченко – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета.

Николай Константинович Чертко – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета.

Александр Сергеевич Семенюк – преподаватель кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета.

Authors:

Aliaksandr A. Karpichenka, PhD (geography), docent; associate professor at the department of soil science and land information systems, faculty of geography.

karpi@bsu.by

Mikalai K. Chartko, doctor of science (geography), full professor; professor at the department of soil science and land information systems, faculty of geography.

chartko@bsu.by

Aliaksandr S. Semianiuk, lecturer at the department of soil science and land information systems, faculty of geography.

geo-semenuk@yandex.ru

was determined by atomic emission spectrometry. The average content of Cu in the upper soil horizons of Maladziečna is 17.5 mg/kg; Pb – 18.7; Mn – 460.0; Ni – 11.0; Sn – 3.6; Ti – 1986; Cr – 36.5 mg/kg. The content of almost all investigated elements is highly variable (coefficients of variation from 36.4 to 59.7 %), with the exception of Ni with a very high variability (87.6 %). The maximum permissible concentrations were registered for Cu, Pb, Ni and Cr, mostly contaminated is production and storage area and adjacent areas near the railway station in the west of the city, as well as near the metalware factory in the northern part of Maladziečna. In the vegetation of Maladziečna the content of the investigated elements was characterized by high variability for Sn and Cu ($V = 39.8\%$ and $V = 54.3\%$, respectively), very high for Ni (75.0 %), Cr (85.3 %) and Pb (87.5 %), anomalous for Ti (101.6 %) and Mn (182.1 %). The average geometric content of elements in plant ash: Cu is 19.6 mg/kg; Pb – 2.63; Mn – 303.0; Ni – 3.70; Sn – 0.71; Ti – 232.0; Cr – 9.5 mg/kg. The maximum accumulation of Pb and Ni was observed in soils contaminated above the maximum permissible concentrations.

Key words: soil geochemistry; vegetation geochemistry; geochemical estimation; heavy metals; soil contamination; vegetation contamination.

Введение

Геохимия городов в значительной степени является продуктом наложения воздействия различных производств и других видов хозяйственной деятельности на природную ландшафтно-химическую основу, сопровождающегося формированием полиэлементных техногенных геохимических аномалий в различных компонентах городского ландшафта [1]. Большое число и неравномерность размещения техногенных источников в сочетании с неоднородностью природных условий создают сложную структуру геохимических аномалий на территории городов. Накопление тяжелых металлов в почвах городов происходит в результате замедления техногенных потоков миграции, источниками которых могут служить выбросы промышленных предприятий и транспорта, бытовые и промышленные отходы, сточные воды и т. д. [2]. Особое значение при этом имеют формирующиеся геохимические барьеры различного генезиса, являющиеся ограничителями миграции химических элементов и формирующие места их вторичного накопления. Почвенный и растительный покровы в таких условиях также выступают в качестве барьеров, способных накапливать и сохранять тяжелые металлы.

Немалая доля тяжелых металлов попадает в урболандшафты атмотехногенным путем с пылью и атмосферными осадками, поскольку аэрозольные частицы дымовых газов при остывании адсорбируют свинец, кадмий, ртуть и другие элементы, которые впоследствии осаждаются на растительности и почве. Запыленность также вносит заметный вклад в этот процесс, поскольку вместе с пылью могут переноситься марганец, хром, ванадий и другие химические элементы [3].

Объект и методика исследования

Объектом исследования являлись почвенный и растительный покровы г. Молодечно, в которых определялось содержание ряда химических элементов (Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti). Исследование производилось в конце июня 2016 г. путем отбора проб почв и растительности во всех функциональных зонах города по схеме, показанной на рис. 1. Всего отобрано 44 смешанных образца почв с глубины 5–10 см. Образцы почв просушивались до воздушно-сухого состояния, просеивались через сито с диаметром ячеек 1 мм, взвешивались, после чего проводилось сухое озоление пробы в муфельной печи при температуре 440–450 °С. Полученная проба охлаждалась в эксикаторе, взвешивалась для определения потерь при прокаливании и растиралась до пудрообразного состояния. Потери при озолении почв (в основном за счет органического вещества и почвенной влаги) составили в среднем 5,7 % для минеральных почв (варьировали в пределах 1,7–26,7 %), для осушенного торфяника – 56,0 %, для неосушенного – 73,8 %.

Растительность отбиралась в тех же точках, что и почвы, всего было отобрано 44 образца, из них 13 – березы повислой (*Betula pendula*), 10 – липы мелколистной (*Tilia cordata*), 9 – клена остролистного (*Acer platanoides*), 3 – осины обыкновенной (*Populus tremula*), 2 – тополя белого (*Populus alba*), по одному образцу тополя черного (*Populus nigra*), яблони (*Malus domestica*), пшеницы (*Triticum*), ржи (*Secale cereale*), кукурузы (*Zea mays*), клевера красного (*Trifolium pratense*) и пырея ползучего (*Elytrigia repens*). Пробы растительности высушивались до воздушно-сухого состояния, измельчались, после чего озолялись при температуре 440–450 °С с определением зольности (для отобранных образцов растительности г. Молодечно показатели колебались в пределах от 5,2 до 26,3 %, при этом наименьшее и наибольшее значение установлено для листьев березы).

Анализ валового содержания Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr в почвах и растительности производился эмиссионно-спектральным методом на многоканальном атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200ДДМ в дуге переменного тока в научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов Белорусского государственного университета. Статистическая обработка результатов анализов про-



Рис. 1. Схема отбора образцов почв и растительности

Fig. 1. Sampling scheme of soil and vegetation

водилась в пакетах *Microsoft Excel 2010* и *Statsoft Statistica 6.0*. Построение моноэлементных карт распределения валового содержания исследуемых элементов в верхнем горизонте почв г. Молодечно производилось с использованием модуля *Spatial Analyst* в среде *ArcGIS for Desktop 9.3*.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам эмиссионно-спектрального анализа проб почв было установлено валовое содержание Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr в воздушно-сухой почве, представленное в табл. 1. Геохимическая оценка загрязнения производилась путем сравнения валового содержания исследуемых элементов с их фоновым содержанием в почвах Беларуси и с установленными санитарно-гигиеническими нормативами ориентировочно допустимых количеств и предельно допустимых концентраций (ОДК и ПДК соответственно) [2; 4–6].

Таблица 1

Содержание валовых форм Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr в почвах г. Молодечно

Table 1

Total concentrations of Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr in Maladziečna city soils

Показатели	Химические элементы, мг/кг воздушно-сухой почвы						
	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Минимум	6,6	3,1	149	2,3	0,6	479	9,9
Максимум	46,4	72,9	843	63,3	11,1	3580	108,2
Среднее	17,5	18,7	460	11,0	3,6	1986	36,5
Медиана	14,3	15,6	445	8,4	3,2	2028	33,9
Коэффициент вариации	51,3	59,7	36,4	87,6	51,3	41,4	43,0
Фон	13	12	247	20	–	1562	36
ПДК	33	32	1000	20	–	–	100

Среднее содержание меди в верхнем горизонте почв г. Молодечно (17,5 мг/кг) превышает фоновое содержание для почв республики в 57 % проб. При этом из-за положительной асимметричности распределения медиана (14,3 мг/кг) заметно ближе к фону (13 мг/кг), поэтому разница между средним арифметическим и медианой может показывать влияние техногенных факторов на накопление этого элемента в почвах города. Для трех проб отмечено превышение ПДК, еще две пробы имеют близкое к ней значение.

Максимальные значения содержания меди, как видно на рис. 2, отмечены в жилой усадебной застройке (46,4 мг/кг) и производственно-складской зоне вблизи железнодорожного вокзала на западе города. Вторая зона существенного накопления (37,4–41,0 мг/кг) с превышением ПДК сформировалась на восточной окраине, недалеко от завода порошковой металлургии, который в силу специфики продукции и сырья (бронзовый и медный порошки) потенциально мог служить источником эмиссии металла. Концентрации, более чем в два раза превышающие фоновую, но не достигающие ПДК, отмечены среди усадебной застройки на северо-восточной окраине, севернее военной части, а также в центральной части города, севернее железной дороги. Более чистые территории расположены в южной части города, где находится многоэтажная застройка и парки.

Для свинца, как и для меди, характерно заметное превышение среднего содержания (18,7 мг/кг при фоновом 12 мг/кг), которое наблюдается в 77 % отобранных образцов, а также существенная положительная асимметрия распределения, указывающая на заметную роль хозяйственной деятельности человека в формировании данной геохимической аномалии. Однако превышение ПДК (в 1,2–2,2 раза) отмечено лишь для двух смешанных проб, еще у семи были зафиксированы значения, в два раза превышающие фоновые и близкие к ПДК (см. рис. 2). Зоны с наибольшим содержанием свинца и меди территориально близки – район железнодорожного и автовокзала с прилегающими территориями близ ул. Либаво-Роменской, загруженной автотранспортом. Второе превышение ПДК отмечено на ул. Михалёнка, к юго-востоку от завода металлоизделий. Высокое содержание свинца также наблюдалось в жилой зоне на севере города: севернее ДРСУ № 195. Зафиксированы локальные повышения концентрации близ парковок и гаражей (западная и юго-западная части города), в промзонах центра города. Более низкие значения накопления свинца характерны для жилых функциональных зон и периферии.

Содержание марганца в почвах г. Молодечно заметно выделяется в исследуемой группе химических элементов как по абсолютным величинам, так и по характеру распределения, незначительно отклоняющегося от нормального. При этом превышения ПДК не наблюдалось (следует отметить высокие пороговые значения ПДК/ОДК для этого элемента), однако в большей части отобранных проб валовая концентрация была выше фоновой, только для четырех из них зафиксированы более низкие значения. Само по себе превышение уровня фона не является достаточным доказательством техногенного загрязнения, но если концентрация элемента выше фоновой в два раза и более, то его вероятность заметно повышается. Подобные значения выявлены для 43 % отобранных образцов, поэтому средняя концентрация Mn (460 мг/кг) для почв г. Молодечно в 1,9 раза выше регионального кларка.

Пространственное распределение марганца в пределах города отличается неоднородностью, что может быть обусловлено геохимическими особенностями накопления и рассеивания данного элемента. Интенсивное накопление марганца может указывать на существование локальных геохимических барьеров, чаще всего окислительного, нейтрального или их сочетания [7]. Наибольшие концентрации отмечаются в западной части города, где расположен ряд промышленных предприятий как функционирующих (Молодечненский завод металлоконструкций и Молодечненский трубопрокатный завод), так и закрытых (радиозавод «Спутник»); схожие концентрации зафиксированы на севере города.

Содержание никеля для большинства отобранных проб (66 %) ниже 10 мг/кг, однако из-за ярко выраженной положительной асимметрии и большой амплитуды колебаний средняя концентрация составила 11 мг/кг, что указывает на не совсем типичное ее положение, в то время как медиана (8,4 мг/кг) более адекватно отображает общую картину. К юго-востоку от Молодечненского завода металлоизделий обнаружено более чем трехкратное превышение фона, где также отмечены повышенные концентрации свинца, олова и хрома. На расстоянии около километра на северо-восток от места отбора этого образца, восточнее воинской части и КУП «Коммунальник», наблюдается еще одно незначительное превышение ПДК (20,1 мг/кг), при этом содержание хрома также остается повышенным. Третий случай превышения фона отмечен для осушенного торфяника с заметными признаками деградации, расположенного на северо-западной окраине города в зоне влияния ГУП «Молодечненское ППТК» (поставки металлопродукции, конструкционных и строительных материалов) и филиала ОАО «Белвторчермет». Распределение никеля в почвах г. Молодечно неоднородно, помимо упомянутых выше участков накопления, отмечаются пятна с концентрацией Ni, близкой к величине ПДК, в районе ПРУП «Молодечненский

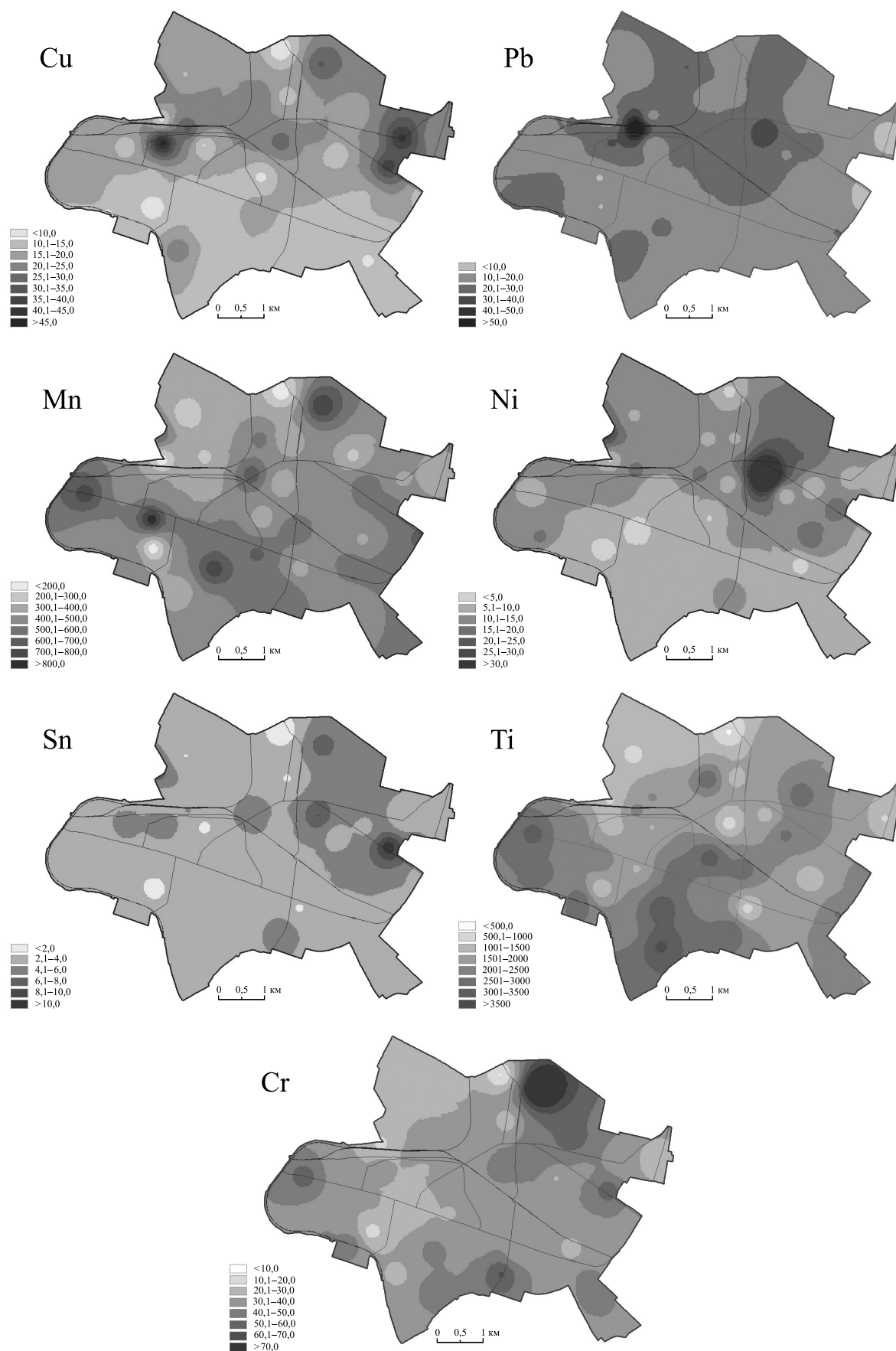


Рис. 2. Распределение Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr в почвах г. Молодечно, мг/кг
Fig. 2. Spatial distribution of Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr in Maladziečna city soils, mg/kg

завод порошковой металлургии» (в восточной части города), а также недалеко от железнодорожного вокзала и в промзоне по ул. Металлистов (в западной части). Содержание никеля на юге населенного пункта более низкое.

Среднее содержание олова в почвах г. Молодечно составило 3,6 мг/кг (пределы колебаний – от 0,6 до 11,1 мг/кг), сравнения с ПДК не проводилось из-за дискуссионности его величины для данного элемента, однако резкие отклонения от средних значений в данном случае могут иметь техногенную природу из-за наличия потенциальных источников загрязнения. Наибольшие концентрации Sn обнаружены на востоке, вблизи ПРУП «Молодечненский завод порошковой металлургии», где порошок олова применяют при производстве изделий из бронзы, а также в северо-восточной части территории населенного пункта. На большей части города отмечается близкая к средней концентрация с локальными точками накопления или рассеяния элемента.

Заметной контрастностью отличается содержание титана в верхних горизонтах почв города (среднее значение – 1986 мг/кг, что выше фонового), при этом его распределение имеет заметный отрицательный эксцесс. Повышенное содержание данного элемента в почвах не вызывает особых опасений, поскольку там он отличается достаточно низкой миграционной активностью и слабой токсичностью, ПДК для Ti не установлены. Превышение фонового значения отмечается для 66 % проб, при этом для четырех образцов оно достигает двукратной разницы. Картина распространения титана заметно отличается от показателей для других элементов, повышенные концентрации зафиксированы в жилых зонах на юге города и в промышленных – на западе и юго-западе. Подобная картина может быть связана как с генезисом почвообразующих пород (в южной части преобладают моренные породы), так и с подсыпкой грунта при строительстве.

Для хрома отмечен единственный случай превышения ПДК в частном секторе на севере города (для этой точки также установлены повышенные концентрации Cu, Mn, Ni и Sn), превышение фона установлено для 43 % образцов, а среднее содержание элемента (36,5 мг/кг) близко к фоновому. Распределение характеризуется заметной положительной асимметрией и эксцессом. География распространения хрома имеет ряд схожих черт с аналогичными параметрами для марганца, низкие концентрации характерны для центральной и северо-западной частей города, повышенные наблюдаются на северо-востоке, южной и западной периферии.

По результатам лабораторных анализов проб растительности (листья и трава) было установлено содержание Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr в золе растений г. Молодечно, приведенное в табл. 2.

Зольность для отобранных образцов растительности города колебалась в пределах 5,2–26,3 % при достаточно высоком коэффициенте вариации ($V = 36,8 \%$), при этом наименьшее и наибольшее значение установлено для листьев березы. Содержание исследуемых элементов отличалось высокими показателями коэффициента вариации для Sn (39,8 %) и Cu (54,3 %), очень высокими – для Ni (75,0 %), Cr (85,3 %) и Pb (87,5 %), аномальными – для Ti (101,6 %) и Mn (182,1 %). Разница между минимальными и максимальными значениями составляет 3,7–75,8 раза, поэтому для усреднения значений содержания большинства этих элементов более корректно использовать среднюю геометрическую величину или медиану [8]. Распределение большинства элементов в золе имеет значительную положительную асимметрию.

Наибольшие значения накопления меди в золе отмечены для листьев клена (в городском парке) и березы (в микрорайоне № 6), минимальные – для листьев липы в жилой зоне по ул. Шаранговича на северо-западе города, для пшеницы – на восточной окраине и для листьев березы – в пригородном лесу на севере. В пяти образцах содержание свинца было ниже предела чувствительности методики. Максимальное содержание Pb отмечено для листьев яблони рядом с перекрестком в жилой зоне по ул. Мариганова к западу от автовокзала (там же отмечалась близкая к ПДК концентрация этого элемента в почве). Близкие к этому – предельные значения – были зафиксированы для листьев липы в промзоне около остановки автобуса по ул. Металлистов и в жилой зоне по ул. Парковой, содержание свинца в почвах для этих точек также превышало фоновое. Марганец отличается крайне широким интервалом концентрации, максимальные значения отмечаются для золы листьев березы и клена, произрастающих на достаточно чистых почвах в парках и пригородных лесах. Это может быть связано с особенностями подвижности элемента в данных почвах и физиологическими особенностями названных растений, а не с техногенным влиянием, за исключением точки максимального накопления близ пересечения железной дороги и ул. Великий Гостинец на восточной окраине города, где подобная аномалия может иметь и техногенную составляющую. Наибольшее накопление никеля отмечалось для листьев березы, при этом максимальное содержание элемента наблюдалось в точке наибольшей концентрации Ni в почве – на ул. Михалёнка к юго-востоку от завода металлоизделий. Значительное содержание олова в золе растений было зафиксировано только для 21 образца, в остальных случаях его содержание было

ниже чувствительности метода. Отличительной особенностью растительности г. Молодечно является высокое накопление титана, отмеченное в первую очередь в листьях клена в жилой зоне по ул. Черняховского и в городском парке. Наибольшее накопление хрома – в золе листьев березы в зеленой полосе на перекрестке железной дороги и ул. Великий Гостинец (там же, где и для марганца), что может быть связано с загрязнением.

Таблица 2

Содержание Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr в золе растений г. Молодечно

Table 2

Concentrations of Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr in Maladziečna city plants ash

Показатели	Зольность, %	Химические элементы, мг/кг золы						
		Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Минимум	5,2	6,6	Н. о.	82	1,7	Н. о.	63	4,7
Максимум	26,3	61,3	14,65	6197	20,8	1,76	1776	62,9
Среднее арифметическое	11,9	22,8	3,60	598	4,39	0,75	317	11,2
Среднее геометрическое	11,1	19,6	2,63	303	3,70	0,71	232	9,5
Медиана	11,6	17,9	2,45	267	3,28	0,66	203	8,7
Коэффициент вариации	36,8	54,3	87,5	182,1	75,0	39,8	101,6	85,3

Примечание. Здесь и далее н. о. – ниже предела чувствительности метода определения.

Данные о содержании исследуемых элементов в растениях г. Молодечно (в пересчете на воздушно-сухое состояние) приведены в табл. 3. В данном случае среднее содержание исследуемых элементов практически на порядок меньше, чем в золе, но характер распределения в целом схожий. Данные средних концентраций и величин разброса согласуются с данными по растительности Беларуси [9].

Таблица 3

Содержание Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr в растениях г. Молодечно

Table 3

Concentrations of Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr in Maladziečna city plants

Показатели	Химические элементы, мг/кг сухого вещества						
	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Минимум	0,63	Н. о.	6,4	0,12	Н. о.	5,7	0,46
Максимум	6,25	1,05	713,7	3,64	0,297	255,2	7,24
Среднее арифметическое	2,42	0,35	68,8	0,54	0,099	39,9	1,32
Среднее геометрическое	2,18	0,29	33,7	0,41	0,087	25,8	1,05
Медиана	2,14	0,28	24,0	0,37	0,084	21,3	0,92
Коэффициент вариации	48,5	67,2	181,2	110,0	61,0	116,6	98,4

Коэффициенты вариации содержания элементов при расчете для сухого вещества несколько изменились. Так, высокое варьирование отмечено для Cu, очень высокое – для Sn, Pb, Cr, аномальное – для Mn, Ni и Ti.

Для оценки накопления исследуемых элементов в растительности были рассчитаны коэффициенты биологического поглощения (КБП), представляющие собой отношение концентрации элемента в золе растения к его концентрации в почве [1]. Полученные значения представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Коэффициенты биологического поглощения
Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr для растений г. Молодечно**

Table 4

**Biological absorption coefficients
of Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr for Maladziečna city plants**

Показатели	Химические элементы						
	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Минимум	0,33	Н. п.	0,14	0,07	Н. п.	0,02	0,08
Максимум	4,59	0,92	23,96	3,22	0,93	1,31	2,53
Среднее арифметическое	1,59	0,23	1,63	0,53	0,24	0,19	0,38
Среднее геометрическое	1,25	0,16	0,71	0,42	0,20	0,13	0,28
Коэффициент вариации	70,5	92,4	236,5	93,3	73,6	119,7	115,2

Примечание. Н. п. – не рассчитывался из-за содержания в растении ниже предела чувствительности метода определения.

Отмечается широкий интервал варьирования для данных коэффициентов. В среднем для растительности г. Молодечно медь отличается слабым биологическим накоплением, средний биологический захват отмечен в 36 % случаев. Свинец характеризуется средним биологическим захватом растительностью, в 13 случаях – слабым, наибольшая величина коэффициента (0,92) отмечена для пшеницы в пригородной зоне. Наиболее энергичное накопление в растительности характерно для марганца, максимальные значения КБП которого достигают 23,96, однако значительное его накопление характерно только для двух образцов, для одного из них – сильное, а в среднем по городу – слабое, при учете среднего геометрического или медианного значения – средний биологический захват, наблюдающийся для 68 % образцов. Никель отличается средним биологическим захватом растительностью, только для одного образца березы и клена зафиксировано слабое биологическое поглощение, тогда как для пырея отмечен слабый биологический захват. Олово в основном умеренно захватывается растениями, в ряде случаев его концентрации ниже предела обнаружения. Титан также отличается средним биологическим захватом, в 43 % случаев – слабым, лишь для одной пробы клена отмечено слабое биологическое накопление. Подобный характер накопления выявлен и для хрома, у которого слабый биологический захват зафиксирован для двух образцов растительности, а слабое накопление – для трех.

Выводы

Установлено среднее содержание валовых форм Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr в верхних горизонтах почв г. Молодечно, составляющее для Cu 17,5 мг/кг (пределы колебаний – от 6,6 до 46,4 мг/кг), для Pb – 18,7 мг/кг (3,1–72,9 мг/кг), для Mn – 460 мг/кг (149–843 мг/кг), для Ni – 11,0 мг/кг (2,3–63,3 мг/кг), для Sn – 3,6 мг/кг (0,6–11,1 мг/кг), для Ti – 1986 мг/кг (479–3580 мг/кг), для Cr – 36,5 мг/кг (9,9–108,2 мг/кг). Содержание практически всех исследуемых элементов отличается высокой вариабельностью ($V = 36,4\text{--}59,7\%$), за исключением никеля, для которого характерна очень высокая вариабельность (87,6 %). Распределение Cu, Pb, Ni, Sn, Cr отличается достоверной положительной асимметрией, указывающей на техногенный характер загрязнения. Отмечено, что северная часть города загрязнена в большей степени, чем южная. Превышения до 3,2 значений ПДК зафиксированы для Cu, Pb, Ni и Cr, наибольшее загрязнение – для производственно-складской зоны и прилегающих территорий вблизи железнодорожного вокзала на западе города, а также недалеко от завода металлоизделий в северной части г. Молодечно.

В растительности города содержание исследуемых элементов отличалось высокой вариабельностью для олова и меди ($V = 39,8\%$ и $V = 54,3\%$ соответственно), очень высокой – для никеля (75,0 %), хрома (85,3 %) и свинца (87,5 %), аномальной – для титана (101,6 %) и марганца (182,1 %). Среднее геометрическое содержание элементов в золе растений: Cu – 19,6 мг/кг; Pb – 2,63; Mn – 303,0; Ni – 3,70; Sn – 0,71; Ti – 232,0; Cr – 9,5 мг/кг. Зафиксированы максимальные накопления Pb и Ni на загрязненных выше ПДК почвах. В пересчете на воздушно-сухое состояние отмечено заметное уменьшение коэффициентов вариации: слабое варьирование наблюдается для Sn и Cu, среднее – для Cr, Pb и Ni, высокое – для Ti, аномальное – для Mn.

Библиографические ссылки

1. *Чертко Н. К., Ковальчик Н. В., Хомич В. С. и др.* Геохимия ландшафта. Минск : БГУ, 2011.
2. *Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И.* Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск : Минсктиппроект, 2004.
3. Городская среда: геоэкологические аспекты : монография / В. С. Хомич [и др.]. Минск : Беларус. навука, 2013.
4. *Петухова Н. Н.* Геохимия почв Белорусской ССР. Минск : Наука и техника, 1987.
5. *Петухова Н. Н., Кузнецов В. А.* К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси // Докл. АН Беларуси. 1992. Т. 26, № 5. С. 461–465.
6. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1–2004. Минск, 2004.
7. *Чертко Н. К., Карпиченко А. А., Жумарь П. В.* Латеральные геохимические барьеры Беларуси // Почвоведение и агрохимия. 2005. № 1 (34). С. 147–149.
8. *Чертко Н. К., Карпиченко А. А.* Математические методы в географии. Минск : БГУ, 2009.
9. *Юркевич И. Д., Голод Д. С., Адерихо В. С.* Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование. Минск : Наука и техника, 1979.

References

1. Chartko M. K., Kavalchik N. V., Khomich V. S., et al. Geokhimiya landshafta [Landscape geochemistry]. Minsk : BSU, 2011 (in Russ.).
2. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchik T. I. Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi [Ecogeochimistry of urban landscapes]. Minsk : Minsktippprojekt, 2004 (in Russ.).
3. Khomich V. S., Kakareko S. V., Kukharchik T. I. (eds). Gorodskaya sreda: geokologicheskie aspekty [Urban environment: geoeological aspects] : monographia. Minsk : Belarus. navuka, 2013 (in Russ.).
4. Petukhova N. N. Geokhimiya pochv Belorusskoi SSR [Soil geochemistry of Byelorussian SSR]. Minsk : Nauka i tekhnika, 1987 (in Russ.).
5. Petukhova N. N., Kuznetsov V. A. [To the clarkes of microelements in the soil cover of Belarus]. *Dokl. AN Belarusi*. 1992. Vol. 26, No. 5. P. 461–465 (in Russ.).
6. The list of maximum permissible concentrations (MPC) and approximately permissible concentrations (APC) of chemical substances in the soil. Hygienic standards 2.1.7.12-1–2004. Minsk, 2004 (in Russ.).
7. Chartko M. K., Karpichenka A. A., Zhoomar P. V. [Lateral geochemical barriers of Belarus]. *Pochvovedenie i agrokhimia*. 2005. No. 1 (34). P. 147–149 (in Russ.).
8. Chartko M. K., Karpichenka A. A. Matematicheskie metody v geografii [Mathematical methods in geography]. Minsk : BSU, 2009 (in Russ.).
9. Yurkevich I. D., Golod D. S., Aderiho V. S. Rastitel'nost' Belorussii, ee kartografirovaniye, okhrana i ispol'zovaniye [Vegetation of Byelorussia, its cartography, protection and utilization]. Minsk : Nauka i tekhnika, 1979 (in Russ.).

*Статья поступила в редколлегию 23.01.2018.
Received by editorial board 23.01.2018.*