

Научная статья
УДК 504.064.96:574+712.4(571.63)
DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_2

Биогеохимические критерии оценки экологической эффективности видов в городском озеленении

Н.С. Шихова

Нина Сергеевна Шихова

кандидат географических наук, старший научный сотрудник
Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия
shikhova@biosoil.ru

Аннотация. Дано методическое обоснование эколого-геохимической оценки видового состава городской арборифлоры. Сравниваются городские популяции 81 вида деревьев и кустарников, формирующие зеленые насаждения г. Владивосток, по способности к оптимизации городской среды. Определены приоритетные загрязнители городской растительности – Fe, Zn, Pb, Cu, Ni. Установлены виды с высоким, средним (фоновым) и слабым накоплением тяжелых металлов. Выявлены виды-концентраторы металлов: *Crataegus pinnatifida* (Fe), *Sorbus pochuanensis* и *Picea sp.* (Mn), *Populus maximowiczii* и *P. nigra* (Zn). Даны рекомендации по дифференцированному и рациональному использованию видов в структуре городского озеленения.

Ключевые слова: городские зеленые насаждения, арборифлора, биогеохимия растений, тяжелые металлы, аккумуляция тяжелых металлов растениями, растения-концентраторы металлов

Для цитирования: Шихова Н.С. Биогеохимические критерии оценки экологической эффективности видов в городском озеленении // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 17–36. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_2.

The biogeochemical criteria for assessing the ecological efficiency of species in urban green spaces

N.S. Shikhova

Nina S. Shikhova

Candidate of Sciences in Geography, Senior Researcher
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS,
Vladivostok, Russia
shikhova@biosoil.ru

Abstract. The methodological substantiation of the ecological and geochemical assessment of the urban arboriflora species composition is given. The urban populations of the 81 trees and shrubs species forming the Vladivostok green spaces are compared in terms of their ability to optimize the urban environment. The priority pollutants of urban vegetation have been identified – Fe, Zn, Pb, Cu, Ni. The species of high, medium (background) and weak accumulation of heavy metals have been established. The plants-metal concentrators have been identified: *Crataegus pinnatifida* (Fe), *Sorbus pochuanensis* and *Picea* sp. (Mn), *Populus maximowiczii* and *P. nigra* (Zn). The recommendations for the differentiated and rational using the species in urban landscaping structure are given.

Keywords: urban green planting, arboriflora, biogeochemistry of plants, heavy metals, accumulation of heavy metals by plants, plants-metal concentrators

For citation: Shikhova N.S. The biogeochemical criteria for assessing the ecological efficiency of species in urban green spaces. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(2):17–36. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_2.

Возрастающая численность мегаполисов и урбанизированных территорий, рост городского населения на планете и связанные с этими процессами экологические проблемы приобретают со временем все большую актуальность. Россия с долей городского населения 74,4 % занимает в мировом рейтинге урбанизации по состоянию на 2018 г. 77-е место среди 218 сравниваемых стран и территорий¹. Численность городского населения в Приморском крае, столицей которого является Владивосток, по данным Приморскстата на 1 января 2021 г. составила 77,4 %².

Вся деятельность ведомственных и отраслевых организаций, а также местных органов и предприятий, связанных с городским жилищным и зеленым строительством согласно Градостроительному кодексу РФ, призвана обеспечивать оптимальные условия проживания населения. Актуальность и своевременность

¹ Рейтинг урбанизации стран мира. Гуманитарная энциклопедия: Исследования // Центр гуманитарных технологий, 2006–2020 (последняя редакция: 26.05.2020). – <https://gtmarket.ru/ratings/urbanization-index/info> (дата обращения: 11.06.2020).

² Приморскстат. – <https://primstat.gks.ru/folder/27118> (дата обращения: 29.03.2021).

решения проблем экологической оптимизации урбанизированных территорий России подтверждает принятый правительством РФ в 2019 г. долгосрочный федеральный проект «Жилье и городская среда» (сроки реализации – 2019–2024 гг.)³. В нем одной из приоритетных задач является создание механизмов развития комфортной городской среды, комплексного развития городов и других населенных пунктов с учетом индекса качества городской среды. Успешной реализации этого проекта, на наш взгляд, в значительной степени могут содействовать комплексная качественная и количественная оценка имеющегося городского зеленого фонда, а также разработка и внедрение рациональной научно обоснованной системы городского озеленения и управления качеством объектов озеленения и озелененных территорий в целом. Эта система, в свою очередь, должна опираться не только на оптимальный, возможно широкий для региона ассортимент видов, но и строго дифференцированное их использование на городских территориях разного функционального назначения и с разным техногенным фоном. Важную роль при этом играет учет видовой эколого-биологической функциональности и биогеохимической специализации растений, а также степени их устойчивости в урбанизированной среде.

Урбанизированная среда существенно, и в наибольшей степени по своим экологическим и геохимическим критериям, отличается от природной, в которой были сформированы основные эколого-биологические характеристики растительного мира. Городские растения вынуждены приспосабливаться к необычным условиям среды, включая выработанные за период многовековой эволюции механизмы адаптации и толерантные способности к выживанию в условиях стресс-факторов. Видовая устойчивость и способность растений к трансформации загрязняющих веществ в зонах экологического риска, к каким по многим параметрам можно отнести урбанизированную среду, преимущественно определяет качество выполнения растительностью средообразующих и средостабилизирующих функций. Индикатором же уровня техногенной нагрузки на растительный покров служит химический состав растений, и в первую очередь – содержание в них тяжелых металлов (ТМ).

Цель исследований – оценка эколого-геохимической дифференциации видового состава городской арборифлоры, выявление видов-концентраторов тяжелых металлов и маркеров уровня техногенного пресса на растения в условиях урбоэкосистем.

Объекты и методика

Основным объектом проведенных научных изысканий служил видовой состав арборифлоры, формирующей зеленые насаждения г. Владивосток. Согласно выполненным нами ранее исследованиям в городском озеленении в разной степени представлено 115 видов деревьев и кустарников [1]. Для оценки уровня техногенной нагрузки на городские зеленые насаждения обследована растительность на 135 ранее заложенных пробных площадях (п.п.), входящих в систему многолетнего мониторинга озелененных территорий г. Владивосток (с 1996 г. по настоящее время). Полученный фактический материал послужил основой для изучения

³ Жилье и городская среда – Национальный проект. – <https://futurerussia.gov.ru/formirovanie-komfortnoj-gorodskoj-sredy> (дата обращения: 11.06.2020).

аккумулятивных способностей по отношению к тяжелым металлам у 81 вида городских популяций деревьев и кустарников. На основе полученных фактических данных также были определены городской эколого-геохимический фон (ГЭГФ) тяжелых металлов и приоритетные элементы-загрязнители растительности сели-тебной зоны г. Владивосток.

Для химического анализа отбирались ассимиляционные органы растений – листья и хвоя деревьев и кустарников как показатель ежегодного накопления элементов. На каждой пробной площади брали смешанный образец листьев (хвои) растений с 5–10 особей каждого вида в нижней части кроны деревьев и средней части кроны кустарников, а также укосный травостой с 10 площадок размером 1 м², из которых после высушивания составлялась смешанная проба. Для более детального эколого-геохимического изучения доминантов, а также редких в озеленении видов дополнительно был выполнен отбор проб методом маршрутного обследования насаждений. Опробование проводилось в конце вегетационного сезона (до начала пожелтения листьев), соответствующего времени максимального накопления элементов. Аналитическая подготовка проб и определение в них содержания тяжелых металлов выполнены с использованием известных приемов и методов [2–4] в сертифицированной лаборатории методом атомной абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре Shimadzu AA 6800 в солянокислом растворе золы растений. Пробы растений предварительно готовили методом сухого озоления при 450 °С. Контроль аналитического качества работ проводили с использованием холостых проб и четырех градуировочных растворов. Определяли содержание 8 металлов: Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni, Co и Cd. Выбор металлов определяется техническими возможностями использованного нами метода анализа. Концентрацию металлов в растениях пересчитывали на сухую массу и выражали в миллиграммах на килограмм сухого вещества (мг/кг сух. в-ва).

Для сравнительной количественной оценки интенсивности накопления металлов разными систематическими группами растений использовался коэффициент относительной интенсивности накопления металлов (ОИН), представляющий собой отношение содержания металла в том или ином виде или семействе растений к их среднему содержанию в выборке и выражающийся в относительных единицах (отн. ед.). В зависимости от величины ОИН были выделены группы растений слабого (ОИН = 1,2–1,4), среднего (ОИН = 1,5–2,0), высокого (ОИН = 2,1–5,0) накопления металлов и виды-концентраторы ТМ (ОИН > 5). Кроме того, были установлены виды со средним (фоновым) для городской растительности содержанием ТМ ($0,9 \geq \text{ОИН} \geq 1,1$), а также группы видов со средним (ОИН = 0,7–0,5) и высоким (ОИН < 0,5) рассеянием металлов.

Оценка техногенного влияния урбанизированной среды на растительность и интенсивность загрязнения основного видового состава городских зеленых насаждений тяжелыми металлами выполнена с помощью коэффициента концентрации (K_k) загрязняющих веществ. Он рассчитывался как отношение содержания металла в растениях в техногенных условиях к их локально-фоновым уровням; в данном случае – в растениях урбанизированной среды Владивостока и природных лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский (ЛЭФ). Суммарная концентрация (Z_c) приоритетных загрязнителей растений определена по формуле Ю.Е. Саета [5]: $Z_c = \sum K_k - (n - 1)$, где K_k – коэффициенты концентрации >1, n – число накапливаемых элементов. При вычислении Z_c учитывались лишь те металлы, у которых $K_k \geq 1,2$.

Статистическая обработка аналитических данных выполнена с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10.

Результаты и обсуждение

Среднестатистические показатели содержания металлов в зеленых насаждениях Владивостока представлены в табл. 1. Там же приведены обобщенные данные по величине накопления металлов ассимиляционными органами деревьев и кустарников, формирующих озеленение городских территорий других регионов для оценки эколого-геохимической специфики растительности г. Владивосток. Они рассчитаны нами на основе литературных источников, в той или иной мере характеризующих аккумулятивные способности к металлам растений 28 городов России и ближнего зарубежья (преимущественно) [6–41].

Таблица 1

Средние содержания металлов в зеленых насаждениях г. Владивосток, других городов России и сопредельных территорий

Химический состав	Содержание в растениях г. Владивосток, мг/кг сух. в-ва			V, %	ЛЭФ [42], мг/кг	Среднее содержание для городов других территорий по обобщенным данным [6–41], М ± m, мг/кг
	М ± m	min	max			
Зольность, %	10,0 ± 0,3	4,2	14,9	23	9,7	9,9 ± 0,7
Cd	0,95 ± 0,07	0,23	2,77	64	0,91	0,43 ± 0,10
Co	1,37 ± 0,06	0,27	3,08	39	1,43	1,34 ± 0,36
Ni	2,61 ± 0,09	0,50	4,56	31	2,07	2,65 ± 0,35
Cu	8,6 ± 0,2	4,3	13,9	22	6,2	11,7 ± 1,5
Pb	11,4 ± 0,6	1,2	25,7	44	6,1	8,5 ± 1,4
Zn	64 ± 5	19	205	70	30	72 ± 13
Mn	148 ± 15	31	662	87	149	131 ± 18
Fe	565 ± 32	146	1430	50	138	403 ± 49

Примечание. М ± m – среднее значение и ошибка среднего; min и max – минимальное и максимальное значения; V – коэффициент вариации; ЛЭФ – локальный экологический фон.

Судя по приведенным данным, элементный состав арборифлоры Владивостока по сравнению с зелеными насаждениями других регионов отличается повышенной концентрацией Cd (в 2,2 раза), в меньшей степени – Fe и Pb (в 1,4 раза), но несколько уступает по содержанию Cu (в 1,4 раза).

С использованием полученных нами ранее данных о содержании тяжелых металлов в лесной растительности локально-фоновых условий [42] была определена геохимическая ассоциация приоритетных загрязнителей древесно-кустарниковой растительности Владивостока. Она включает 5 металлов: Fe_{4,1}, Zn_{2,0}, Pb_{1,9}, Cu_{1,4}, Ni_{1,3}. Экологический показатель суммарного загрязнения городской растительности (Zс) составляет 6,7.

Наибольший эффект в техногенное загрязнение городских зеленых насаждений вносит железо – 4-кратное обогащение по сравнению с природными лесными фитоценозами. В городской среде высокое его накопление, в 1,5 раза и более превышающее ГЭФ, отмечено у *Padus maackii* (Rupr.) Kom. (1430 мг/кг), *Corylus*

heterophylla Fisch. et Trautv. (1355 мг/кг), *Ulmus japonica* (Rehd.) Mayr (1087 мг/кг), *Betula ermanii* Cham. (1012 мг/кг), *Abies holophylla* Maxim. (991 мг/кг), *Philadelphus tenuifolius* Ropr. et Maxim. (934 мг/кг), *Ulmus pumila* L. (898 мг/кг) и *Syringa wolfii* С.К. Schneid. (847 мг/кг). Лидирует же по аккумуляции Fe *Crataegus pinnatifida* Bunge – 2975 мг/кг сух. в-ва листьев. Согласно принятой нами градации содержания металлов, боярышник перистонадрезанный является видом-концентратором железа. Абсолютный же максимум Fe зафиксирован в единичной пробе листьев черемухи Маака в придорожной аллее вдоль пр. Столетия Владивостока (пп. 46), находящейся в зоне влияния интенсивного транспортного потока, – 6163 мг/кг. Такое содержание металла превышает городской фон в 11 раз и соответствует сверхконцентрации Fe в данной пробе. В то же время самые низкие его содержания (146–220 мг/кг), отвечающие уровню высокого рассеяния металла, зафиксированы в листьях *Populus maximowiczii* A. Henry и *P. nigra* L., *Salix caprea* L., *Amorpha fruticosa* L., *Aralia elata* (Miq.) Seem. Судя по литературным данным [12], максимальное содержание Fe обнаружено в зеленых насаждениях санитарно-защитных зон металлургических предприятий г. Тула – 1050–7260 мг/кг в листьях деревьев и кустарников и 9763 мг/кг в хвое *Picea pungens* Engelm. f. *Glauca*.

Среди ассоциации основных металлов-загрязнителей городской растительности Zn выделяется повышенной межвидовой вариабельностью – 70 %. Видами-концентраторами цинка являются тополя *Populus nigra* (414 мг/кг) и *P. maximowiczii* (440 мг/кг). Его активно накапливают также *Crataegus pinnatifida* (146 мг/кг), *Salix alba* L. (135 мг/кг), *S. caprea* (147 мг/кг) и *S. schwerinii* E. Wolf (190 мг/кг); *Populus koreana* Rehd. (172 мг/кг) и *P. tremula* L. (197 мг/кг); *Betula davurica* Pall. (167 мг/кг), *B. ermanii* (181 мг/кг) и *B. platyphylla* Sukacz. (205 мг/кг). Эти виды составляют группу высокого накопления цинка. Максимальная же концентрация Zn, в 8 раз превышающая ГЭГФ, зафиксирована в листьях березы плосколистной в Покровском парке (пп. 77–2) – 512 мг/кг. Низкие содержания Zn (19–29 мг/кг), соответствующие уровню высокого рассеяния металла, отмечены в листьях редко представленных в озеленении *Corylus mandshurica* Maxim., *Spiraea salicifolia* L., *S. ussuriensis* Pojark., *Lonicera praeflorens* Batal., *Phellodendron amurense* Rupr., *Malus mandshurica* (Maxim.) Kom., *Acer tegmentosum* Maxim., *Aesculus hyppocastanum* L. и др. Если сравнить полученные нами данные с содержанием Zn в зеленых насаждениях других городов, то его максимальные концентрации оказываются весьма близкими с полученными нами. Они варьируют от 156 мг/кг у *Populus balsamifera* L. на территориях малых городов восточного Забайкалья [19] до 650 мг/кг у *Betula pendula* Roth. в городских парках Иркутска [36]. Абсолютный же максимум отмечен в листьях опробованных видов тополя в озеленении городов Казахстана – до 3093 мг/кг [37].

Близким к цинку по степени загрязнения городских насаждений Владивостока является Pb. Его высокая аккумуляция зафиксирована в листьях *Crataegus pinnatifida* (25,7 мг/кг), *Corylus heterophylla* (24,4 мг/кг), *Microcerasus tomentosa* (Trunb.) Eremim et Jushev (24,3 мг/кг), *Cerasus sargentii* (Rehd.) Pojark. (21,7 мг/кг). Абсолютный же максимум концентрации металла установлен в листьях *Padus maackii*. (пп. 46) и *Robinia pseudoacacia* L. (пп. 45) – 89,7 и 74,5 мг/кг соответственно, что в 7–8 раз превышает ГЭГФ. Оба вида произрастают в рядовых насаждениях пр. Столетия Владивостока – центральной транспортной магистрали города. Средняя интенсивность накопления Pb отмечена у *Euonymus maackii* Rupr. (20,8 мг/кг), *Padus maackii* (Rupr.) Kom. (20,0 мг/кг), *Deutzia amurensis* (Regel) Airy

Shaw (19,9 мг/кг) *Philadelphus tenuifolius* (19,2 мг/кг) и др. Слабо накапливают Pb (1,2–5,1 мг/кг) *Acer tegmentosum*, *A. pseudosieboldianum* (Pax) Kom., *Salix caprea* L., *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim., *Aralia elata*, *Amorpha fruticosa*. Большинство этих видов слабо представлены в озеленении, встречаются преимущественно в парках, внутригородских рекреационных лесах и единично – в озеленении жилых кварталов. Лишь клен ложнозибольдов и аморфа кустарниковая относятся к группе видов умеренного распространения в насаждениях. При этом клен чаще можно встретить в парках и старых городских садах, аморфу – во внутриквартальном озеленении и скверах. Судя по литературным данным, высокие концентрации Pb наиболее характерны для зеленых насаждений столичных городов – Москва и Санкт-Петербург – 22–53 мг/кг [33, 35, 38], а также для озеленения промышленного украинского Приазовья – до 41–48 мг/кг [34].

В содержании меди отмечена минимальная вариабельность среди опробованного видового состава растений – 28 %. Группа высокого накопления Cu представлена *Syringa oblata* Lindl. (20 мг/кг) и *Crataegus pinnatifida* (18 мг/кг), среднего накопления – *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. (14 мг/кг), *Euonymus maackii* (12 мг/кг) и *Amorpha fruticosa* (12 мг/кг). Лишь у *Lonicera maackii* (Rupr.) Herd. (городской сад, пп. 83-1) и *Philadelphus tenuifolius* (городской парк, пп.78) содержание Cu в листьях достигало 26 мг/кг и 29 мг/кг – у *U. japonica* (придорожная рядовая посадка, пп. 37), что в 2 раза превышает городской фон. В то же время в 1,5–2 раза меньше по сравнению с городским фоном (4–6 мг/кг) накапливали медь *Euonymus macroptera* Rupr., *Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz., *Aesculus hippocastanum*, *Acer pseudosieboldianum*, *Micromeles alnifolia* (Siebold et Zucc.) Koehne. Слабой аккумуляцией Cu отличаются также хвойные породы. Анализ литературных источников свидетельствует о некотором обеднении арборифлоры г. Владивосток медью по сравнению с древесно-кустарниковыми видами других городов России. Особенно значимо отличаются насаждения Владивостока по максимальным показателям металла. Так, в листьях *Tilia cordata* Mill. в аллеиных посадках Москвы содержания Cu достигают 36 мг/кг [22], *T. cordata* и *Populus berolinensis* (C. Koch) Dipp. в озеленении Санкт-Петербурга – 80 и 90 мг/кг соответственно [35], в листьях ильмов (*Ulmus pumila*, *U. laevis* Pall.) зеленых насаждений городов Среднего и Нижнего Поволжья – 102–114 мг/кг [23].

Для содержания Ni в ассимиляционных органах сравниваемых видов характерна, подобно Cu, невысокая межвидовая вариабельность – 31 %. Крайние значения содержания никеля отмечены в листьях редко встречающегося в городском озеленении *Acer tegmentosum* (0,5 мг/кг) и умеренно распространенного, но с малым обилием на пробных площадях *Populus nigra* (4,6 мг/кг). Наиболее высокие показатели Ni (4,0–4,4 мг/кг), соответствующие средней интенсивности накопления, обнаружены кроме листьев тополя черного также в ассимиляционных органах *Syringa wolfii*, *Pinus koraiensis*, *Euonymus maackii*, *Crataegus pinnatifida*, *Picea* sp. и др. В отдельных случаях величина содержания металла в пробах растений превышала ГЭГФ в 3–5 раз. Такие концентрации зафиксированы в листьях *Betula platyphylla* (внутриквартальное озеленение, пп. 24) и *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. (внутригородской рекреационный лес, пп. 20) – 8,4 и 14,1 мг/кг соответственно. Самые низкие значения содержания Ni (1,3–1,7 мг/кг), отвечающие уровням высокого и среднего рассеяния ТМ, отмечены, кроме указанного выше клена зеленокорого, также у *Aesculus hippocastanum*, *Spiraea ussuriensis*, *Catalpa bignonioides* Walt., *Micromeles alnifolia*, *Abies holophylla*,

Amorpha fruticosa, *Aralia elata*, *Spiraea salicifolia*. Среднестатистические показатели концентрации Ni в растениях Владивостока и других городов оказались равновеликими, но в инорайонных насаждениях гораздо чаще наблюдаются более существенные «пики» в содержании металла. Так, в листьях вяза в условиях старинного парка им. А.В. Суворова в Кобрине (Белоруссия) зафиксировано содержание никеля 16,8 мг/кг [41], в листьях клена (*Acer negundo* L.) санитарно-защитной зоны промышленных предприятий Ижевска – 15 мг/кг [7], в хвое деревьев городской автомагистрали и в листьях боярышника (*Crataegus sanguinea* Pall.) в озеленении санитарно-защитной зоны промышленных предприятий Тулы – 14,5 и 15–345 мг/кг соответственно [13].

Остальные металлы, хотя и не являются приоритетными загрязнителями городской растительности, в ряде случаев весьма активно аккумулируются в зеленых насаждениях, особенно Cd, относящийся вместе с Pb и Zn к 1-му классу опасности – к чрезвычайно опасным по воздействию на живые организмы веществам.

Среднее содержание Cd в проанализированной выборке растений Владивостока составило 0,95 мг/кг, но у отдельных видов было отмечено 2–3-кратное его превышение. Максимальное значение содержания кадмия зафиксировано в листьях бересклета Маака (*Euonymus maackii*) – 2,77 мг/кг, что соответствует, согласно принятой нами градации, уровню высокого накопления металла. К видам высокого накопления Cd (1,78–2,30 мг/кг) относятся и остальные представленные в городском озеленении виды бересклета – *E. pauciflora* Maxim., *E. macroptera*, *E. sacrosancta* Koidz. Активно накапливали металл также *Eleutherococcus sessiliflorus* (Rupr. et Maxim.) S.Y. Hu (2,53 мг/кг), *Crataegus pinnatifida* и *C. maximowiczii* C.K. Schneid. (1,80–2,20 мг/кг), *Philadelphus tenuifolius* и *Deutzia amurensis* (2,08 мг/кг). В единичных пробах растений городских парков концентрация Cd достигала 3,02 мг/кг (*E. macroptera*, пп. 78–2) и 3,24 мг/кг (*Ulmus pumila*, пп. 77–3). Низкие значения Cd (0,23–0,50 мг/кг) отмечены в листьях *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim., *Micromeles alnifolia*, *Carpinus cordata* Blume, *Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr., *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., *Quercus mongolica*, *Acer pseudosieboldianum*, *Tilia mandshurica* Rupr., *T. amurensis* Rupr. и у всех хвойных пород. Эти виды относятся к видам высокого рассеяния кадмия. Согласно полученным данным, среднее содержание Cd в насаждениях Владивостока в 2,2 раза превосходит средний показатель для растительных сообществ других городских территорий. Справедливости ради следует заметить, что у некоторых видов этих сообществ также отмечены высокие концентрации кадмия: 2,09 мг/кг – в листьях осины в парке г. Кобрин [41]; 2,0–4,0 мг/кг – в хвое сосны (*Pinus sylvestris*) в дорожной зоне г. Благовещенск [6]; 4,9 мг/кг – в листьях каштана (*Aesculus hippocastanum*) в студенческом парке г. Белград [42]; 4,5–74,6 мг/кг – в зеленых насаждениях г. Усть-Каменогорск (Казахстан) [39].

Среднее содержание Co в городских насаждениях составляет 1,37 мг/кг, но у ряда видов отмечено его превышение в 1,5–2 раза, что соответствует уровню среднего накопления металла. К таким видам относятся *Crataegus pinnatifida*, *C. maximowiczii*, *Betula davurica*, *Populus maximowiczii*, *P. koreana*, *Philadelphus tenuifolius*, *Euonymus maackii*, аккумулирующие в листьях от 2,13 до 2,58 мг/кг кобальта. Хорошие способности к накоплению Co установлены также у тополя черного (*P. nigra*) – 3,08 мг/кг. Максимальные же его значения, в 3 раза превышающие городской фон, зафиксированы в единичных пробах листьев тополя корейского (аллейная посадка вдоль тротуара, пп. 49/132) и ильма низкого

(придорожное рядовое насаждение, пп. 50) – 4,47 и 3,80 мг/кг соответственно. Минимальные значения кобальта (0,27–0,66 мг/кг), отвечающие уровню высокого рассеяния, отмечены в пробах листьев *Spiraea ussuriensis*, *Sambucus racemosa* L., *Salix caprea*, *Lespedeza bicolor* Turcz., *Acer tegmentosum*, *Pinus sylvestris*, *Abies holophylla*, *Forsythia suspensa* Vahl. Городские фоновые содержания Co в условиях Владивостока близки к среднему показателю по сравниваемой выборке городов, а максимальные концентрации даже несколько уступают им. Так, в литературе указаны следующие максимумы содержания Co: 1,9–7,4 мг/кг – лиственные породы в озеленении городов Среднего и Нижнего Поволжья [23]; 7,7 мг/кг – насаждения *Populus nigra*, (г. Усть-Каменогорск) [39]; 5,8–27,4 мг/кг – посадки *Populus balsamifera* L., *P. nigra* (города Казахстана, Западной Сибири и Забайкалья, Благовещенск) [37].

Для Mn характерна самая высокая межвидовая вариабельность среди сравниваемого состава арборифлоры – 87 %. Пределы его значений находятся в границах 31 мг/кг (*Micromeles alnifolia*) – 946 мг/кг (*Sorbus pochuashanensis* (Hance) Hedl.), что соответствует уровням высокого рассеяния и концентрации ТМ соответственно. Среднее же содержание Mn в зеленых насаждениях составило 149 мг/кг. К видам-концентраторам марганца кроме рябины похушаньской (амурской) относится также *Picea* sp. (888 мг/кг), а к видам высокого накопления – *Forsythia suspensa* (662 мг/кг), *Padus avium* Mill. (575 мг/кг), *Corylus heterophylla* (519 мг/кг), *Acer tegmentosum* (518 мг/кг), *Pinus koraiensis* (461 мг/кг), *Aralia elata* (428 мг/кг), *Betula platyphylla* (385 мг/кг), *Syringa wolfii* (313 мг/кг) и *Salix alba* (296 мг/кг). Содержание марганца у этих видов превышает ГЭГФ в 2–6 раз. Абсолютный же максимум в накоплении Mn, в 9 раз превосходящий городской фон, зафиксирован в пробе листьев лещины разнолистной (*Corylus heterophylla*) в сквере на ул. Суханова (пп. 126) – 1370 мг/кг. В то же время очень слабо накапливали металл (до 50 мг/кг) кроме указанного выше мелкоплодника ольхолистного также *Alnus hirsuta*, *Catalpa bignonioides*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Euonymus pauciflora*, *Sambucus racemosa*. Перечисленные виды относятся к группе видов высокого рассеяния Mn. Установленные фоновые городские показатели марганца близки к обобщенному среднему для других регионов, а также мало отличаются от указанных в литературных источниках максимумов. Они колеблются от 484 мг/кг в листьях *Betula pubescens* Ehrh. (насаждения г. Кондопога в Карелии) [21] и 581 мг/кг у *Tilia cordata* Mill. (скверы и парки Перовского района Москвы) [30] до 796 в листьях *Acer platanoides* L. и 1120 мг/кг у *Quercus robur* L. (растительные сообщества загородного парка Санкт-Петербурга) [33].

Оценку уровня токсичности и степени химического загрязнения веществ, продуктов питания, растений, почв обычно определяют, сравнивая фактические содержания с разработанными гигиеническими нормативами. Для природной флоры подобных нормативов не существует. Для этих целей обычно используют стандартные показатели, полученные для больших территорий или больших выборок данных. Наиболее приемлемыми для этих целей являются региональные кларки растительности. Для Приморского края такие показатели, к сожалению, еще не разработаны. Судя по научным обобщениям ряда иностранных ученых, приведенным в литературных источниках [43–46], критические значения Pb в растениях могут варьировать в пределах от 10 до 300 мг/кг, Cd – от 3 до 100, Zn – от 100 до 400, Cu – от 15 до 150 мг/кг. Но нелишне заметить, что эти данные, как правило, получены авторами на основе выборок для кормовых и сельскохозяйственных

растений, которые по многим показателям существенно отличаются от древесных и кустарниковых видов, а также травянистых растений природных местообитаний. Однако сравнение, хотя и не совсем корректное, полученных нами результатов с приведенными в литературе данными о критических концентрациях металлов в целом свидетельствует об относительно нормальном санитарно-гигиеническом состоянии городской арборифлоры Владивостока. Так, содержания металлов в ассимиляционных органах основного видового состава деревьев и кустарников значительно ниже их фитотоксичных концентраций. Даже максимальные в выборке содержания Ni, Co и Cd ниже критических, а содержания Pb и Cu близки к их нижним пределам. Лишь содержание Zn в видах-концентраторах достигает верхней границы критических значений, а у отдельных концентраторов Mn даже незначительно превосходит ее.

Итоговое обобщение полученных данных по эколого-геохимическим особенностям арборифлоры г. Владивосток показало, что 68 видов (83 % состава) способны в разной степени накапливать ТМ. При этом половина этого списка видов накапливают по 1–2 ТМ. Высоким накоплением, более чем вдвое превышающим ГЭГФ, отличаются среди них следующие: *Euonymus macroptera*, *E. sacrosancta*, *Eleutherococcus sessiliflorus* – к Cd; *Salix caprea*, *Populus tremula*, *P. maximowiczii* – к Zn; *Acer tegmentosum*, *Picea* sp., *Aralia elata* – к Mn; *Padus maackii*, *Tilia amurensis* – к Fe. Еще 8 видов показали способность к высокой аккумуляции 3 ТМ, 12 видов – 4 ТМ. По 5 ТМ накапливают 2 вида: *Microcerasus tomentosa* (Fe, Pb, Cu, Co, Mn) и *Salix alba* (Zn, Mn, Fe, Cd, Ni); по 6 ТМ – 5 видов: *Syringa vulgaris* L. (Cd, Mn, Zn, Ni, Co, Cu), *S. wolfii* (Mn, Zn, Ni, Fe, Cu, Pb), *Philadelphus tenuifolius* (Cd, Pb, Fe, Co, Ni, Cu), *Ulmus pumila* (Fe, Cd, Co, Pb, Ni, Zn), *Salix schwerinii* E. Wolf (Zn, Pb, Cd, Co, Fe, Mn). Аккумулятивные способности к 7 металлам установлены лишь у 4 видов: *Corylus heterophylla* – ко всем ТМ, кроме Zn; *Crataegus pinnatifida*, *C. maximowiczii*, *Euonymus maackii* – ко всем ТМ, за исключением Mn. Все перечисленные виды оптимально подходят для экологической оптимизации городских зеленых территорий с высокими антропогенно-техногенными нагрузками.

В табл. 2 представлены данные по 47 видам – наиболее активным аккумуляторам ТМ. Возглавляет список боярышник перистонадрезанный. Из семи накапливаемых им металлов пять относятся к приоритетным загрязнителям городской растительности. При этом боярышник является видом-концентратором Fe, содержание которого в листьях превышает ГЭГФ в 5,3 раза. Этот вид слабо представлен в озеленении, встречается с малым обилием на пробных площадях в скверах, парках и во внутриквартальных насаждениях.

Интересными с практической точки зрения являются также виды с фоновыми уровнями ТМ. Как показали полученные данные, некоторые из них могут характеризовать фоновое содержание целого комплекса тяжелых металлов. Так, среди проанализированного состава виды *Prunus salicina*, *Populus tremula*, *Tilia amurensis* выделяются фоновым содержанием пяти металлов. При этом они близки по содержанию Fe и Ni, но отличаются по другим ТМ. Для сливы иволистной кроме указанных металлов отмечены также фоновые уровни Pb, Co, Cd; для тополя дрожащего – Co, Cd, Cu; для липы амурской – Pb, Cu, Mn. Группа видов с фоновым содержанием 4 ТМ представлена *Acer negundo*, *Morus alba* L., *Armeniaca mandshurica* и *Tilia mandshurica*. Общими для этой группы видов являются фоновые уровни Pb и Cu, а индивидуальными для клена ясенелистного и шелковицы белой – Ni и Co, абрикоса маньчжурского – Ni и Fe, липы

**Список видов арборифлоры с высокими способностями к накоплению тяжелых металлов
в условиях городской среды г. Владивосток**

Виды растений	Содержание металлов в листьях (хвое), мг/кг сух. в-ва							
	Fe	Zn	Pb	Cu	Ni	Cd	Co	Mn
<i>Crataegus pinnatifida</i>	2975	146	25,7	18,0	4,25	1,80	2,58	–
<i>Euonymus maackii</i>	–	–	20,8	12,4	4,17	2,77	2,13	–
<i>Corylus heterophylla</i>	1355	–	24,4	–	–	1,39	–	519
<i>Philadelphus tenuifolius</i>	934	–	19,2	–	–	2,08	2,16	–
<i>Syringa oblata</i>	–	94	–	19,7	–	1,53	–	230
<i>Syringa wolfii</i>	847	111	–	–	3,99	–	–	313
<i>Pinus koraiensis</i>	–	99	18,3	–	4,10	–	–	461
<i>Betula ermanii</i>	1012	181	19,8	–	–	–	–	–
<i>Betula davurica</i>	–	167	–	–	–	–	2,28	254
<i>Crataegus maximowiczii</i>	–	–	19,2	–	–	2,20	2,50	–
<i>Populus nigra</i>	–	414	–	–	4,56	–	3,08	–
<i>Salix schwerinii</i>	–	190	19,0	–	–	1,63	–	–
<i>Syringa vulgaris</i>	–	104	–	–	–	2,13	–	240
<i>Ulmus pumila</i>	898	–	–	–	–	1,42	–	–
<i>Cerasus sargentii</i>	916	–	21,7	–	–	–	–	–
<i>Tilia amurensis</i>	1187	–	17,8	–	–	–	–	–
<i>Microcerasus tomentosa</i>	1366	–	24,3	–	–	–	–	–
<i>Padus maackii</i>	1430	–	20,0	–	–	–	–	–
<i>Aralia elata</i>	–	127	–	–	–	–	–	428
<i>Betula platyphylla</i>	–	205	–	–	–	–	–	385
<i>Deutzia amurensis</i>	–	–	19,9	–	–	2,08	–	–
<i>Euonymus pauciflora</i>	–	–	16,6	–	–	1,76	–	–
<i>Forsythia suspensa</i>	–	96	–	–	–	–	–	662
<i>Lonicera maackii</i>	–	–	18,2	–	–	1,52	–	–
<i>Picea sp.</i>	–	–	–	–	4,34	–	–	888
<i>Populus koreana</i>	–	172	–	–	–	–	2,17	–
<i>Populus maximowiczii</i>	–	440	–	–	–	–	2,20	–
<i>Salix alba</i>	–	134	–	–	–	–	–	296
<i>Larix sp.</i>	865	–	–	–	–	–	–	–
<i>Weigela praecox</i>	936	–	–	–	–	–	–	–
<i>Abies holophylla</i>	991	–	–	–	–	–	–	–
<i>Ulmus japonica</i>	1087	–	–	–	–	–	–	–
<i>Acer mono</i>	–	–	–	–	–	–	–	251
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	–	–	–	–	–	–	–	227
<i>Acer tegmentosum</i>	–	–	–	–	–	–	–	518
<i>Eleutherococcus sessiliflorus</i>	–	–	–	–	–	2,53	–	–
<i>Euonymus macroptera</i>	–	–	–	–	–	2,10	–	–
<i>Euonymus sacrosancta</i>	–	–	–	–	–	2,30	–	–
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	–	–	–	–	4,23	–	–	–
<i>Padus avium</i>	–	–	–	–	–	–	–	575
<i>Pinus sylvestris</i>	–	–	–	–	–	–	–	216
<i>Populus tremula</i>	–	197	–	–	–	–	–	–
<i>Salix caprea</i>	–	147	–	–	–	–	–	–
<i>Schisandra chinensis</i>	–	–	–	13,9	–	–	–	–
<i>Sorbus pochuaashanensis</i>	–	–	–	–	–	–	–	946
<i>Swida alba</i>	–	–	–	–	–	1,53	–	–
<i>Viburnum sargentii</i>	–	–	–	–	–	1,60	–	–

Примечание. Контуром отмечены показатели видов-концентраторов (накопление металлов более чем в 5 раз превышает ГЭГФ), полужирным шрифтом – видов с высоким накоплением (в 2,1–5,0 раза выше ГЭГФ), обычным шрифтом – видов со средней интенсивностью накопления (в 1,5–2,0 раза выше ГЭГФ).

маньчжурской (подобно липе амурской) – Mn и Fe. Все эти виды могут служить фитоиндикаторами фоновых условий городской среды.

В ходе исследований были отмечены также виды со слабым накоплением ТМ. При этом у двух из них – *Micromeles alnifolia* и *Spiraea ussuriensis* – содержание всех рассматриваемых металлов в 2–5 раз ниже ГЭГФ, особенно по уровням Mn, Zn, Co и Cd. Эти виды слабо представлены в озеленении, встречаются преимущественно в парках. Еще у 10 представителей городской арборифлоры зафиксированы низкие содержания по 7 и 6 ТМ. Так, содержания по 7 ТМ ниже городского фона и 1 ТМ металлу на уровне фона отмечены у *Carpinus cordata*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Aesculus hippocastanum*, *Lespedeza bicolor*. По 6 ТМ ниже городского фона и 1 ТМ на уровне фона содержатся в листьях *Acer tegmentosum*, *Alnus hirsuta*, *Catalpa bignonioides*, *Maackia amurensis*, *Corylus mandshurica*. Среди этих видов минимальные показатели зафиксированы у *Acer tegmentosum* в содержании Pb (в 9 раз ниже ГЭГФ) и Ni (в 5 раз ниже ГЭГФ), а также у *Spiraea ussuriensis* – Co (в 5 раз ниже ГЭГФ). С некоторой долей вероятности список видов, индифферентных к ТМ, можно дополнить еще 14 видами. Для них характерно низкое содержание 5 ТМ. Следует заметить, что большинство этих видов имеют малое распространение в озеленении, и для окончательных выводов по их способности к трансформации ТМ в городской среде они нуждаются в дальнейшем исследовании.

Также интересно, что из 6 видов группы широкого распространения в озеленении в список видов-аккумуляторов металлов вошли только 3 вида: *Ulmus japonica* (Fe), *Betula platyphylla* (Zn, Mn) и *Fraxinus rhynchophylla* Hance (Ni). В листьях же самого типичного доминанта древесных насаждений – ясеня маньчжурского (*Fraxinus mandshurica* Rupr.), из которого на 2/3 сформированы рядовые насаждения улиц и тротуаров, в наибольшей степени подверженные антропогенно-техногенному воздействию городской среды, содержание Fe, Pb, Ni, Co соответствует фоновому, а Mn, Cd, Zn – среднего рассеяния. Лишь в содержании Cu у него отмечено слабое накопление (ОИН = 1,2). Этот вид, кроме рядовых посадок, встречается и в других городских насаждениях, но с более высоким обилием – лишь в садах, парках и внутриквартальном озеленении [1].

Несколько иные эколого-геохимические закономерности получены для городских популяций доминанта кустарниковых насаждений – пузыреплодника калинолистного (*Physocarpus opulifolia* (L.) Maxim.). По содержанию Co, Cd и Cu он относится к видам слабого накопления (ОИН = 1,2–1,3); Pb, Ni и Fe – среднего содержания; Zn и Mn – среднего рассеяния металлов (ОИН = 0,6–0,7). Пузыреплодник, подобно ясеню, чаще всего с высокой долей участия представлен в рядовых насаждениях улиц (преимущественно вдоль тротуаров). Реже его можно встретить в скверах и внутриквартальном озеленении, изредка – в городских садах, единично – в парках [1].

Сравниваемые виды-доминанты различаются и по интенсивности накопления металлов в разных типах городских насаждений. Максимальные суммарные запасы металлов у ясеня отмечены в рядовых насаждениях (7,8 отн. ед.), 70 % которых приходится на приоритетные металлы-загрязнители городской растительности (рис. 1). При этом самая высокая интенсивность аккумуляции металлов установлена для Co в городских парках (ОИН = 1,5), а также для Cu в рядовых насаждениях и Ni во внутриквартальном озеленении (ОИН = 1,4). У пузыреплодника максимальное обогащение металлами наблюдается в скверах:

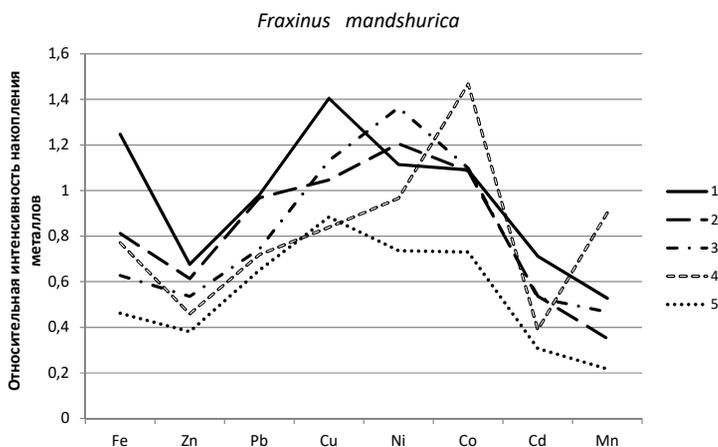


Рис. 1. Интенсивность накопления тяжелых металлов листьями ясеня маньчжурского в разных типах зеленых насаждений г. Владивосток: 1 – рядовые посадки, 2 – скверы, 3 – внутриквартальное озеленение, 4 – городские парки, 5 – старые городские сады

сумма показателя относительного накопления металлов составляет 9,6 отн. ед., 60 % которых также составляют основные загрязнители (рис. 2). В скверах видовой состав растений накапливает в разной степени все ТМ, но наиболее значимо – Mn (ОИН = 1,7) и Zn (ОИН = 1,3). Для пузыреплодника, кроме того, характерно повышенное содержание Cd в листьях. Оно зафиксировано во всех типах насаждений, но более значимо – в городских парках (ОИН = 1,8) и садах (ОИН = 1,7). Однако этот факт является скорее исключением, чем правилом, поскольку именно в растительных сообществах городских парков (в меньшей степени – старых городских садов) отмечены самые низкие показатели содержания большинства ТМ.

Полученная эколого-геохимическая характеристика *Fraxinus mandshurica* позволяет отнести его к металлоустойчивым видам в условиях городского

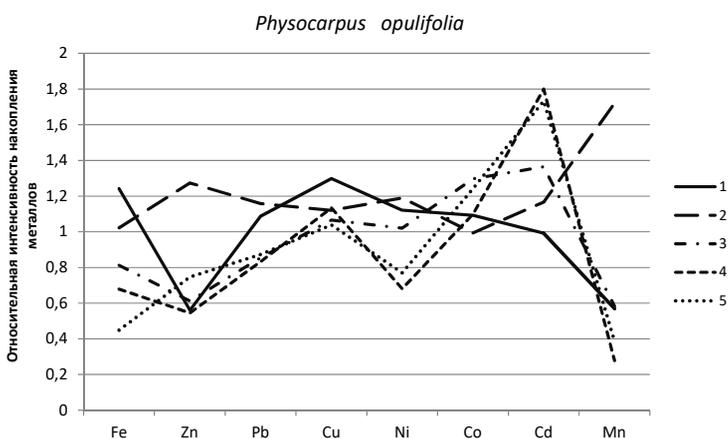


Рис. 2. Интенсивность накопления тяжелых металлов листьями пузыреплодника калинолистного в разных типах зеленых насаждений г. Владивосток. Условные обозначения см. рис. 1

техногенного пресса. Вероятнее всего, это обусловлено наличием у ясеня физиологических барьеров на пути транспорта металлов в органы жизнедеятельности растения. *Physocarpus opulifolia* же, судя по результатам исследования, является видом, толерантным по отношению к тяжелым металлам, и в некоторых условиях способен проявлять к ним высокие аккумулятивные способности.

Эколого-геохимическая специфика в накоплении металлов прослеживается не только по «сквозным» в структуре озеленения видам деревьев и кустарников, но и в целом по городским насаждениям (табл. 3).

Таблица 3

Интенсивность техногенного влияния тяжелых металлов на зеленые насаждения разного функционального назначения

Тип насаждений	Кол-во видов	Z _c	Геохимическая ассоциация основных металлов-загрязнителей зеленых насаждений
Рядовые городские посадки	45	7,4	Fe _{6,2} Zn _{2,2} Pb _{2,1} Cu _{1,5} Ni _{1,4}
Скверы	47	7,0	Fe _{5,1} Zn _{2,5} Pb _{2,5} Cu _{1,5} Ni _{1,4}
Внутриквартальное озеленение	37	4,7	Fe _{4,1} Zn _{2,1} Pb _{1,9} Cu _{1,3} Ni _{1,3}
Старые сады-скверы	18	2,5	Fe _{3,1} Pb _{1,8} Zn _{1,3} Cu _{1,3}
Городские парки	31	2,3	Fe _{2,8} Zn _{1,9} Pb _{1,4} Cu _{1,2}
Внутригородские рекреационные леса	36	1,9	Fe _{2,4} Zn _{1,3} Cu _{1,2}

Примечание. Z_c – суммарный показатель загрязнения растений.

Судя по данным табл. 3, суммарная нагрузка загрязнения металлами городских озелененных территорий снижается в 4 раза от рядовых посадок, находящихся преимущественно в зоне влияния автотранспортного потока, до внутригородских рекреационных лесов, представляющих собой остаточные лесные массивы, уцелевшие от городской застройки и расположенные по окраинам селитебной зоны города. Зеленые насаждения рядовых посадок и скверов максимально подвержены городскому антропогенно-техногенному прессу. Суммарный показатель загрязнения этих насаждений выше среднего по городу. В таких местообитаниях растения накапливают многие металлы, но наиболее существенно – Fe, Pb и Zn, содержание которых в 2–6 раз больше относительно локального экологического фона и до 1,5 раз – по сравнению с городским фоном.

Заключение

Проведенные исследования позволили установить высокую дифференциацию видового состава городской арборифлоры по аккумулятивным способностям к ТМ. Максимальные отличия (до 87 % по коэффициенту вариации) отмечены в накоплении Mn (31–662 мг/кг), Zn (19–205 мг/кг) и Cd (0,2–2,8 мг/кг). Самые стабильные показатели – в содержании Cu (4,3–13,9 мг/кг) и Ni (0,5–4,6 мг/кг) – 22 и 31 % по величине коэффициента вариабельности соответственно.

Установлено, что 68 видов (83 % состава) способны в разной степени накапливать ТМ. Половина видов этого списка накапливают по 1–2 ТМ. Аккумулятивные способности к 7 металлам установлены лишь у 4 видов: *Corylus heterophylla* – ко всем ТМ, кроме Zn; *Crataegus pinnatifida*, *C. maximowiczii*, *Euonymus maackii* – ко всем ТМ, исключая Mn.

Определена геохимическая ассоциация приоритетных загрязнителей древесно-кустарниковой растительности г. Владивосток: Fe_{4,1}Zn_{2,0}Pb_{1,9}Cu_{1,4}Ni_{1,3}. Лучшие

способности к их поглощению показали *Padus maackii* и *Corylus heterophylla* (к Fe), *Populus maximowiczii* и *P. nigra* (Zn), *Crataegus pinnatifida*, *Corylus heterophylla* и *Microcerasus tomentosa* (Pb), *Syringa oblata* и *C. pinnatifida* (Cu), *P. nigra* и *Picea* sp. (Ni).

Выявлены виды-концентраторы металлов в условиях городской среды: *Crataegus pinnatifida* (Fe), *Populus maximowiczii* и *P. nigra* (Zn), *Sorbus pochuanensis* и *Picea* sp. (Mn). Содержание металлов у них превышает среднегородские показатели более чем в 5 раз.

Установлены виды с фоновыми уровнями металлов, в том числе целого комплекса ТМ: *Prunus salicina*, *Populus tremula*, *Tilia amurensis* – 5 ТМ (Fe, Ni и др.); *Acer negundo*, *Morus alba*, *Armeniaca mandshurica* и *Tilia mandshurica* – 4 ТМ (Pb, Cu и др.).

Отмечены виды, слабо накапливающие ТМ. В листьях *Micromeles alnifolia* и *Spiraea ussuriensis* содержание всех рассматриваемых металлов, особенно Mn, Zn, Co и Cd, в 2–5 раз ниже ГЭГФ. У ряда видов зафиксированы низкие содержания семи (*Carpinus cordata*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Aesculus hippocastanum*, *Lespedeza bicolor*) и шести ТМ (*Acer tegmentosum*, *Alnus hirsuta*, *Catalpa bignonioides*, *Maackia amurensis*, *Corylus mandshurica*). Самые низкие уровни содержания металлов отмечены у *Acer tegmentosum* в содержании Pb и Ni (в 9 и 5 раз ниже ГЭГФ соответственно) и у *Spiraea ussuriensis* в содержании Co (в 5 раз ниже ГЭГФ).

Эколого-геохимическая характеристика доминантов городского озеленения *Fraxinus mandshurica* и *Physocarpus opulifolia* позволила отнести ясень к видам металлоустойчивым в условиях городского техногенного пресса, пузыреплодник – толерантным по отношению к ТМ, способным в некоторых условиях проявить к ним высокие аккумулятивные свойства. Эти виды желателно и далее использовать при озеленении новых территорий с высокими антропогенно-техногенными нагрузками и реконструкции старых городских насаждений. Посадки ясени, прошедшие декоративную обрезку, оказались также достаточно устойчивыми и к «ледяному дождю», обрушившемуся на г. Владивосток осенью 2020 г.

В целом проведенные исследования позволяют сделать ряд практических выводов и рекомендаций. Во-первых, необходимо весьма дифференцированно подходить к использованию в зеленом строительстве существующего списка видов для озеленения городских территорий разного функционального назначения и техногенного фона, а также к внедрению новых видов в структуру городского озеленения. Виды, способные к высокому накоплению ТМ, необходимо более активно внедрять для экологической оптимизации зеленых городских территорий с высокими антропогенно-техногенными нагрузками. Виды деревьев и кустарников, отличающиеся высокими декоративными качествами, но слабо накапливающие ТМ, рационально использовать в озеленении жилых кварталов и общественных зданий, а также при реконструкции парков, старых городских садов и скверов с невысоким и умеренным антропогенным прессом. Во-вторых, ряд редких в современном городском озеленении видов, показавших высокие аккумулятивные способности к ТМ, следует включить в перечень объектов, требующих более глубокого исследования на предмет способности к поглощению ТМ и устойчивости к ним. В-третьих, виды фоновых содержаний можно рекомендовать в качестве фитоиндикаторов фоновых условий городской среды при мониторинге состояния городской среды и зеленых насаждений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шихова Н.С., Полякова Е.В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 236 с.
2. Прайс В.Дж. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. М.: Мир, 1976. 355 с.
3. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
4. Цыпленков В.П., Банкина Т.А., Федоров А.С. Определение зольного состава растительных материалов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. 160 с.
5. Сает Ю.Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. С. 84–100.
6. Бородина Н.А. Аккумуляция тяжелых металлов хвоей сосны в урбоэкосистемах города Благовещенска // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2012. Т. 14, № 1. С. 1958–1962.
7. Бухарина И.Л., Двоглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2010. 184 с.
8. Вадковская И.К., Гурч Е.П. Геохимические особенности древесно-кустарниковой растительности «Беловежской Пущи» // Природопользование: сб. науч. тр. Минск, 1999. Вып. 5. С. 46–48.
9. Вельц Н.Ю., Турлибекова Д.М. Аккумуляция тяжелых металлов в надземной части высших растений, произрастающих в г. Орске и его окрестностях // Вестн. ОГУ. 2011. № 12 (131). С. 378–379.
10. Ветчинникова Л.В., Кузнецова Т.Ю., Титов А.Ф. Особенности накопления металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях севера // Тр. Карельского науч. центра РАН. 2013. № 3. С. 68–73.
11. Войтюк Е.А. Аккумуляция тяжелых металлов в почве и растениях в условиях городской среды (на примере г. Читы): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Чита, 2011. 21 с.
12. Горелова С.В., Горбунов А.В., Ляпунов С.М., Окина О.И., Фронтасьева М.В. Возможности использования древесных растений для биоремедиации загрязненных тяжелыми металлами почв в урбоэкосистемах // Экологические проблемы промышленных городов: материалы научно-практ. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Саратов, 2013. С. 117–120.
13. Горелова С.В., Фронтасьева М.В., Горбунов А.В., Ляпунов С.М., Мочалова Е.Г., Окина О.И. Биогеохимическая активность голосеменных интродуцентов в условиях промышленно развитых урбанизированных экосистем // Вестн. Балтийского федерал. ун-та им. И. Канта. 2015. Вып. 1. С. 92–106.
14. Григорьева И.Я. Изучение биоаккумуляционных свойств древесных растений на тяжелые металлы // Инновац. наука, 2015. Т. 3, № 4/3. С. 26–28.
15. Дергунова А.Б., Рахимова Х.Х. Особенности аккумуляции тяжелых металлов листьями древесных растений // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы II Всероссийской конф. (Барнаул, 21–22 апреля 2005 г.). Барнаул, 2005. Кн. 2. С. 713–716.
16. Жадко С.В., Дайнеко Н.М. Накопление тяжелых металлов древесными породами улиц г. Гомеля // Изв. Гомельского гос. ун-та. 2003. № 5. С. 77–80.
17. Колбас А.П., Волосюк С.Н., Зеркаль С.В., Сидорович Е.А. Содержание микроэлементов и структурные изменения хвои *Picea abies* (L.) Karst. в условиях городской среды // Весн. Брэсцакага ўн-та. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. 2010. № 2. С. 33–42.
18. Копылова Л.В. Накопление тяжелых металлов в древесных растениях на урбанизированных территориях Восточного Забайкалья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Чита, 2012. 24 с.
19. Копылова Л.В. Фолиарное поступление тяжелых металлов в древесные растения // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 12. С. 126–133.
20. Корельская Т.А., Попова Л.Ф. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска // Арктика и Север. 2012. № 7. С. 136–152.
21. Кузнецова Т.Ю., Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Аккумуляция тяжелых металлов в различных органах и тканях березы в зависимости от условий произрастания // Тр. Карельского науч. центра РАН. 2015. № 1. С. 86–94.
22. Ларина Г.Е., Обухов А.И. Тяжелые металлы в растительности с газонов вдоль автомагистралей // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 1995. № 3. С. 41–48.
23. Ларионов М.В. Содержание тяжелых металлов в листьях городских древесных насаждений // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 10. С. 71–75.
24. Ларионов М.В., Ларионов Н.В. Динамика сезонного накопления свинца в листьях древесных насаждений в городской среде // Вестн. ВГУ. Сер.: Биология, Фармация. 2015. № 2. С. 51–54.

25. Лукашев О.В., Жуковская Н.В. Ретроспективная оценка загрязнения почв и растительности г. Витебска тяжелыми металлами // *Природ. ресурсы*. 2006. № 4. С. 52–58.
26. Лукашев О.В., Жуковская Н.В. Ретроспективная оценка загрязнения почв и растительности г. Кобрина металлами // *Природ. ресурсы*. 2009. № 1. С. 15–21.
27. Маслеников П.В., Дедков В.П., Куркина М.В., Ващейкин А.С., Журавлев И.О., Бавтрук Н.В. Аккумуляция металлов в растениях урбозкосистем // *Вестн. Балтийского федерал. ун-та им. И. Канта*. 2015. Вып. 7. С. 57–69.
28. Морозова Н.А. Эколого-геохимические особенности промышленных и рекреационных зон г. Самары: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2011. 19 с.
29. Никитенко М.А. Видовая специфика поглощения тяжелых металлов (Сг, Zn, Mn и Fe) древесными растениями г. Камбарки Удмуртской Республики // *Вестн. ИжГТУ*. 2007. Вып 2 (34). С 158–159.
30. Никифорова Е.Н., Лазукова Г.Г. Геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв и растений городских экосистем Перовского района Москвы // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 1991. № 3. С. 44–53.
31. Новикова О.В., Макарова М.Г., Кошелева Н.Е. Ассоциации микроэлементов в древесной растительности г. Москвы и Кито // *Вестн. РУДН. Сер.: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2004. № 1. С. 178–186.
32. Обухов А.И., Лепнева О.М. Биогеохимия тяжелых металлов в городской среде // *Почвоведение*. 1989. № 3. С. 65–73.
33. Парибок Т.А., Сазыкина Н.А., Тэмп Г.А., Троицкая Е.А., Леина Г.Д., Червякова Э.Г. Содержание металлов в листьях деревьев в городе // *Ботан. журн*. 1982. Т. 67, № 11. С. 1533–1539.
34. Промышленная ботаника. Киев: Наук. думка, 1980. 260 с.
35. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбозкосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука, 2005. 339 с.
36. Шергина О.В., Михайлова Т.А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2007. 200 с.
37. Юсупов Д.В., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Ялалтдинова А.Р. Геохимические особенности элементного состава листьев тополя урбанизированных территорий // *Изв. Том. политех. ун-та. Инжиниринг георесурсов*. 2016. Т. 327, № 6. С. 25–36.
38. Якубов Х.Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений Москвы. М.: Стагирит-Н, 2005. 264 с.
39. Ялалтдинова А.Р. Элементный состав растительности как индикатор техногенного воздействия на территории г. Усть-Каменогорска: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск, 2015. 21 с.
40. Tomašvić M., Rajšić S., Đorđević D., Tašić M., Rrštić J., Novacović V. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas // *Environmental Chemistry Letters*. 2004. Vol. 2 (3). P. 151–154.
41. Роукач А.И. Парфенау В.В. Ацэнка стану прыроднага асяроддзя у парках Беларусі з тэхнагенным забруджаннем // *Вестн. АН БССР. Сер. биол. наук*. 1990. № 2. С. 53–56.
42. Шихова Н.С. Эколого-геохимические особенности растительности Южного Приморья и видовая специализация арборифлоры в накоплении тяжелых металлов // *Сиб. лес. журн*. 2017. № 6. С. 76–88.
43. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
44. Melsted S.W. Soil-plant relationships // *Recycling municipal sludges and effluents on land*, National Association of State Universities and Land Grant Colleges. Wash. D.C., 1973. P. 121–128.
45. Sauerbeck D. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? // *Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband*. 1982. S.-H. 16. P. 59–72.
46. Verloo M., Cottenie F., Landschoot G. Van. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution // *Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband*. 1982. S.-H. 39. P. 394–403.

REFERENCES

1. Shikhova N.S., Polyakova E.V. *Derev'ya i kustarniki v ozelenenii goroda Vladivostoka* = [Trees and Bushes of Vladivostok streets]. Vladivostok: Dal'nauka; 2006. 236 p. (In Russ.).

2. Prais V. Dzh. Analiticheskaya atomno-absorbtsionnaya spektroskopiya = [Analytical atomic absorption spectrometry]. Per. s angl. V.I. Mosicheva; ed. by B.V. L'vov Moscow: Mir; 1976. 355 p. (In Russ.).
3. Mineeva V.G. (ed.). Praktikum po agrokhimii = [Workshop on agricultural chemistry]. Moscow: Moscovskii universitet; 1989. 304 p. (In Russ.).
4. Cyplenkov V.P., Bankina T.A., Fedorov A.S. Opredelenie zol'nogo sostava rastitel'nykh materialov = [The ash composition of plant materials determination]. Leningrad: Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta; 1981. 160 p. (In Russ.).
5. Saet Yu.E. Geokhimicheskaya ocenka tekhnogennoj nagruzki na okruzhayushchuyu sredu. *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv* = [Geochemical assessment of the technogenic load on the environment. In: *Geochemistry of landscapes and geography of soils*]. Moscow: Moscovskii universitet; 1982. P. 84-100. (In Russ.).
6. Borodina N.A. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov khvoej sosny v urboehkosistemakh goroda Blagoveshchenska = [Accumulation of heavy metals by pine needles in urban ecosystem of Blagoveshchensk city]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN* = [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2000;14(1):1958-1962. (In Russ.).
7. Bukharina I.L., Dvoeglazova A.A. Bioekologicheskie osobennosti travyanistykh i drevesnykh rastenii v gorodskikh nasazhdeniyakh. Izhevsk: Udmurtskii universitet; 2010. 184 p. (In Russ.).
8. Vadkovskaya I.K., Gurch E.P. Geokhimicheskie osobennosti drevesno-kustarnikovoii rastitel'nosti «Belovezhskoi Pushchi». In: *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov*. Minsk; 1999. Iss. 5. P. 46-48. (In Russ.).
9. Vel'ts N.Yu., Turlibekova D.M. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v nadzemnoi chasti vysshikh rastenii, proizrastayushchikh v g. Orske i ego okrestnostyakh = [Accumulation of heavy metals in the elevated part of the higher plants growing in Orsk and its vicinities]. *Vestnik Orenburgskogo Universiteta*. 2011;12(131):378-379. (In Russ.).
10. Vetchinnikova L.V., Kuznetsova T.YU., Titov A.F. Osobennosti nakopleniya metallov v list'yakh drevesnykh rastenii na urbanizirovannykh territoriyakh v usloviyakh severa = [Patterns of heavy metal accumulation in leaves of trees in urban areas in the North Trudy]. In: *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN*. 2013;(3):68-73. (In Russ.).
11. Voityuk E.A. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v pochve i rasteniyakh v usloviyakh gorodskoi sredy (na primere g. Chity). Avtoreferat dissertatsii kandidata biologicheskikh nauk. Chita. 2011. 21 p. (In Russ.).
12. Gorelova S.V., Gorbunov A.V., Lyapunov S.M., Okina O.I., Frontas'eva M.V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya drevesnykh rastenii dlya bioremediatsii zagryaznennykh tyazhelymi metallami pochv v urboehkosistemakh. *Ekologicheskie problemy promyshlennykh gorodov*. P. 2. Saratov; 2013. P.117-120. (In Russ.).
13. Gorelova S.V., Frontas'eva M.V., Gorbunov A.V., Lyapunov S.M., Mochalova E.G., Okina O.I. Biogeokhimicheskaya aktivnost' golosemennykh introdutsentov v usloviyakh promyshlenno razvitykh urbanizirovannykh ehkosistem. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta imeni I. Kanta*. 2015;1:92-106. (In Russ.).
14. Grigor'eva I.Ya. Izuchenie bioakkumulyatsionnykh svoystv drevesnykh rastenii na tyazhelye metally = [Study of bioaccumulative properties of woody plants for heavy metals]. *Innovatsionnaya nauka*. 2015;3(4/3):26-28. (In Russ.).
15. Dergunova A.B., Rakhimova Kh.Kh. Osobennosti akumulatsii tyazhelykh metallov list'yami drevesnykh rastenij = [Features of accumulation of heavy metals by leaves of woody plants]. In: *Novye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya: materialy II Vserossijskoy konferentsii* (g. Barnaul. 21–22 aprelya 2005 g.). Barnaul; 2005. Pt. 2. P. 713-716. (In Russ.).
16. Zhad'ko S.V., Dajneko N.M. Nakoplenie tyazhelykh metallov drevesnymi porodami ulic g. Gome-lya = [Accumulation of metals by tree species of the streets of Gomel city]. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta* = [Proceedings of Francisk Scorina Gomel State University]. 2003;(5):77-80. (In Russ.).
17. Kolbas A.P., Volosyuk S.N., Zerkal' S.V., Sidorovich E.A. Soderzhanie mikroelementov i strukturnye izmeneniya khvoi *Picea abies* (L.) Karst. v usloviyakh gorodskoi sredy = [Trace Element Contents and Structural Changes in Needles of *Picea Abies* (L.) Karst. in Urban Environmental Conditions]. *Vestnik Brestskogo universiteta*. Seriya 5. Khimiya. Biyalogiya. Navuki ab zyamli.. 2010;(2):33-42. (In Russ.).
18. Kopylova L.V. Nakoplenie tyazhelykh metallov v drevesnykh rasteniyakh na urbanizirovannykh territoriyakh Vostochnogo Zabajkal'ya. Avtorefrat dissertatsii kandidata biologicheskikh nauk = [Accumulation of metals in woody plants in urban areas of Eastern Sabaikalia. Abstract master's thesis biol. sci. diss.].

GOU VPO «Zabajkal'skij gosudarstvennyj gumanitarno-pedagogicheskij univesitet». Chita; 2012. 24 p. (In Russ.).

19. Kopylova L.V. Foliarnoe postuplenie tyazhelykh metallov v drevesnye rasteniya = [Foliar inflow of heavy metals into arboreous plants]. *Vestnik KrasGAU*. 2013;(12):126-133. (In Russ.).

20. Korel'skaya T.A., Popova L.F. Tyazhelye metally v pochvenno-rastitel'nom pokrove selitebnogo landshafta goroda Arkhangel'ska = [Heavy metals in the soil-vegetation cover of the selitebnii landscape of the city Arkhangel'sk]. *Arktika i Sever*. 2012;(7):136-151. (In Russ.).

21. Kuznecova T.Yu., Vetchinnikova L.V., Titov A.F. Akkumulyaciya tyazhelykh metallov v razlichnykh organakh i tkanyakh berezy v zavisimosti ot uslovij proizrastaniya = [The heavy metals accumulation in various organs and tissues of birch trees depending on the growing conditions]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*. 2015;(1):86-94. (In Russ.).

22. Larina G.E., Obuhov A.I. Tyazhelye metally v rastitel'nosti s gazonov vdol' avtomagistralej = [Heavy metals in vegetation from lawns situated along highways] *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*. 1995;(3):41-48. (In Russ.).

23. Larionov M.V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v list'yakh gorodskikh drevesnykh nasazhdenij = [Heavy metals content in urban trees plantation leaves]. *Vestnik Krasnoarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012;(10):71-75. (In Russ.).

24. Larionov M.V., Larionov N.V. Dinamika sezonnogo nakopleniya svinca v list'yakh drevesnykh nasazhdenij v gorodskoj srede = [Dynamics of seasonal accumulation of lead in the leaves of tree plantations in the urban environment]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo Universita. Ser. Biologiya, Farmaciya*. 2015;(2):51-54. (In Russ.).

25. Lukashyov O.V., Zhukovskaya N.V. Retrospektivnaya ocenka zagryazneniya pochv i rastitel'nosti g. Vitebska tyazhyolymi metallami = [Retrospective assessment of pollution of soils and vegetation in Vitebsk with heavy metals]. *Prirodnye resursy*. 2006;(4):52-58. (In Russ.).

26. Lukashyov O.V., Zhukovskaya N.V. Retrospektivnaya ocenka zagryazneniya pochv i rastitel'nosti g. Kobrina metallami = [Retrospective estimation of metal pollution of soil and plants in Kobrin city] *Prirodnye resursy*. 2009;(1):15-21. (In Russ.).

27. Maslenikov P.V., Dedkov V.P., Kurkina M.V., Vashchejkin A.S., Zhuravlev I.O., Bavtruk N.V. Akkumulyaciya metallov v rasteniyakh urboehkosistem = [Accumulation of metals in plants of urban ecosystems]. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*. 2015;7:57-69. (In Russ.).

28. Morozova N.A. Ekologo-geokhimicheskie osobennosti promyshlennykh i rekreacionnykh zon g. Samary. Avtoref. diss. kand. biol.nauk = [Ecological and geochemical features of industrial and recreational zones of Samara. Abstract master's thesis biol. sci. diss.]. Tolyatti, IEVRB RAS. 2011. 19 p. (In Russ.).

29. Nikitenko M.A. Vidovaya specifika pogloshcheniya tyazhelykh metallov (Si, Zn, Mn i Fe) drevesnymi rasteniyami g. Kambarki Udmurtskoj Respubliki = [Species specificity of absorption of heavy metals (Cu, Zn, Mn, and Fe) by woody plants in the Kambarka city of Udmurt Republic]. *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta imeni M.T. Kalashnikova*. 2007;2(34):158-159. (In Russ.).

30. Nikiforova E.N., Lazukova G.G. Geokhimicheskaya ocenka zagryazneniya tyazhelymi metallami pochv i rastenij gorodskikh ehkosisistem Perovskogo rajona Moskvy = [Geochemical assessment of heavy metal pollution of soils and plants in urban ecosystems of the Perovsky district of Moscow]. *Vestnik Moskovskogo universitetata. Seriya 5. Geografiya*. 1991;(3):44-53. (In Russ.).

31. Novikova O.V., Makarova M.G., Kosheleva N.E. Associacii mikroelementov v drevesnoj rastitel'nosti gg. Moskvy i Kito = [Association of microelements in tree vegetation of Moscow and Quito]. *Vestnik Rossii'skogo universiteta družby narodov. Ser. Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti..* 2004;1(10):178-186. (In Russ.).

32. Obukhov A.I., Lepneva O.M. Biogeokhimiya tyazhelykh metallov v gorodskoj srede = [Biogeochemistry of heavy metals in urban environments]. *Pochvovedenie*. 1989;(3):65-73. (In Russ.).

33. Paribok T.A., Sazykina N.A., Tehmp G.A., Troitskaya E.A., Leina G.D., Chervyakova Eh.G. Soderzhanie metallov v list'yakh derev'ev v gorode = [The metals content in the cities trees leaves]. *Botanicheskii Zhurnal*. 1982;67(11):1533-1539. (In Russ.).

34. Promyshlennaya botanika = [The industrial Botany]. Kiev: Naukova dumka; 1980. 260 p. (In Russ.).

35. Ufimceva M.D., Terekhina N.V. Fitoindikaciya ehkologicheskogo sostoyaniya urboehkosistem Sankt-Peterburga = [Phytoindication of ecological state of urban geosystems in Saint Petersburg]. St.Peterburg: Nauka; 2005. 339 p. (In Russ.).

36. Shergina O.V., Mikhajlova T.A. Sostoyanie drevesnykh rastenij i pochvennogo pokrova parkovykh i lesoparkovykh zon g. Irkutsk = [The woody plants and soil cover of park and forest park areas state of Irkutsk city]. Irkutsk: Izdatel'stvo Instituta geografii SO RAN; 2007. 200 p. (In Russ.).
37. Yusupov D.V., Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V., Yalaltdinova A.R. Geokhimicheskie osobennosti ehlementnogo sostava list'ev topolya urbanizirovannykh territorij = [Geochemical features of poplar leaf elemental composition in urban areas]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2016;327(6):25-36. (In Russ.).
38. Yakubov Kh.G. Ehkologicheskij monitoring zelenykh nasazhdenij Moskvy = [Ecological monitoring of green spaces in Moscow]. Moscow: Stagirit-N; 2005. 264 p. (In Russ.).
39. Yalaltdinova A.R. Ehlementnyj sostav rastitel'nosti kak indikator tekhnogenogo vozdejstviya na territorii g. Ust'-Kamenogorska. Avtoreferat dissertacii kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk = [Elemental composition of vegetation as an indicator of technogenic impact on the territory of Ust-Kamenogorsk city: Abstract master's thesis geol.-mineral. sci. diss.]. Tomsk; 2015. 21 p. (In Russ.).
40. Tomašvić M., Rajšić S., Đorđević D., Tašić M., Rršić J., Novacović V. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas. *Environmental Chemistry Letters*. 2004;2(3):151-154.
41. Roukach A.I. Parfenau V.V. Ačehnka stanu pryrodnaga asyaroddzja u parkakh Belarusi z tekhnagennym zabrudzhvannem = [Assessment of the state of the natural environment in the parks of Belarus with man-made pollution]. *Vesci AN BSSR. Ser. Biol. nauk. = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Biological Series*. 1990(2):53-56. (In Beloruss.).
42. Shihova N.S. Ehkologo-geokhimicheskie osobennosti rastitel'nosti Juzhnogo Primor'ya i vidovaya specializaciya arboriflory v nakoplenii tyazhelykh metallov = [Ecological and geochemical peculiarities of the south Primorye vegetation and arboriflora species specificity in the heavy metal accumulations]. *Sibirskij lesnoj zhurnal*. 2017;(6):76-88. (In Russ.).
43. Kabata-Pendias A., Pendias KH. Mikroehlementy v pochvakh i rasteniyakh (Per. s ang.) = [Trace elements in soils and plants]. Moscow: Mir; 1989. 439 p.
44. Melsted S.W. Soil-plant relationships. In: *Recycling Municipal Sludges and Effluents on Land*, National Association of State Universities and Land Grant Colleges, Wash. D.C.; 1973. P. 121-128.
45. Sauerbeck D. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? *Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband*. 1982;16: 59-72.
46. Verloo M., Cottenie F., Landschoot G. Van. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution. *Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband*. 1982;39:394-403.