

Оценка функционального состояния зеленых насаждений и аккумуляции ими тяжелых металлов на городских озелененных территориях различного назначения

Н. С. ШИХОВА

ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН
690022, Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159
E-mail: shikhova@biosoil.ru

Статья поступила 28.12.2018

После доработки 07.02.2019

Принята к печати 22.02.2019

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена экологической проблеме эффективного городского озеленения и повышения средо-стабилизирующей роли зеленых насаждений. Обобщен материал по комплексной биоэкологической оценке функционально отличающихся городских озелененных территорий Владивостока. Они соответствуют шести типам городских насаждений: рядовые насаждения, скверы, внутриквартальное озеленение, старые городские сады-скверы, парки, внутригородские рекреационные леса. Рассмотрены вопросы специфики их видового состава, условий произрастания и интенсивности воздействующего антропогенно-техногенного пресса. Отмечено почти 4-кратное возрастание экологической напряженности в ряду: городские парки → внутриквартальное озеленение → внутригородские рекреационные леса → старые сады-скверы → рядовые насаждения → скверы. Наибольшее внимание уделено сравнительному анализу накопления древесно-кустарниковыми видами и насаждениями тяжелых металлов – основных маркеров техногенного загрязнения городской среды. Выявлены корреляционные закономерности в накоплении растениями тяжелых металлов в условиях урбозкосистем и установлена геохимическая ассоциация основных металлов-загрязнителей городской растительности Владивостока: $Fe_{4,1} Zn_{2,0} Pb_{1,9} Cu_{1,4} Ni_{1,3}$. Показано, что интенсивность их трансформации зелеными насаждениями возрастает в 3 раза в ранжированном ряду: внутригородские рекреационные леса → парки → старые сады → внутриквартальное озеленение → скверы → рядовые насаждения. На основании проведенных исследований и привлечения полученных ранее результатов выполнена комплексная оценка функционального состояния городских зеленых насаждений. Для ее практического решения предложен индекс функционального статуса насаждений как интегральный показатель экологического состояния растительности и почв зеленых насаждений, их способности к аккумуляции тяжелых металлов в условиях урбанизированной среды. Отмечен высокий функциональный статус рядовых посадок и скверов, обусловленный преимущественно активной трансформацией почвами и растениями тяжелых металлов. В 1,5 раза ниже этот показатель для насаждений старых городских садов и внутригородских рекреационных лесов. Полученные результаты можно использовать при организации рациональной системы городского озеленения и дифференцированных мер ухода за насаждениями различного функционального назначения.

Ключевые слова: городское озеленение, зеленые насаждения, арборифлора, тяжелые металлы, аккумуляция тяжелых металлов растениями, функциональное состояние зеленых насаждений.

Интенсивные процессы урбанизации породили целый комплекс экологических проблем, основными из которых являются изменение природных биогеохимических циклов и загрязнение техногенными химическими элементами всех компонентов урбоэкосистем и в значительной степени – биотических. Результат этих процессов – значительное снижение комфортности и качества урбанизированной среды как основного пространства жизни городского населения. Одним из наиболее эффективных и экономичных средств решения этой проблемы является городская растительность. Зеленые насаждения выполняют важнейшие средообразующие и средостабилизирующие функции экосистем, способны нивелировать и оптимизировать неблагоприятные условия для проживания человека на урбанизированных территориях. Они способствуют созданию на озелененных городских территориях особого микроклимата, ионизируют воздушную среду и очищают ее от пыли и вредных газов, обеспечивают противозвучный барьер и выполняют целый ряд других санитарно-гигиенических и социально-стабилизирующих функций. Особенно велика их роль в трансформации техногенных загрязнителей городской среды, в том числе таких опасных, как тяжелые металлы. Эффективность этих процессов во многом зависит от существующей системы озеленения и формирующего ее видового состава растений, степени экологической напряженности на озелененных территориях различного функционального назначения.

В научной литературе накоплен большой фактический материал о содержании и трансформации химических загрязнителей городской среды зелеными насаждениями [Промышленная ботаника, 1980; Парибок и др., 1982; Роукач, Парфенау, 1990; Никифорова, Лазукова, 1991; Ларина, Обухов, 1995; Новикова и др., 2004; Жадько, Дайнеко, 2003; Tomašvić et al., 2004; Уфимцева, Терехина, 2005; Якубов, 2005; Шергина, Михайлова, 2007; Бухарина, Двоглазова, 2010; Вельц, Турлибекова, 2011; Ветчинникова и др., 2013; Горелова и др., 2015; и др.]. Однако в большинстве работ сравниваются, как правило, крайние городские местообитания растений – парковые и рекреационные зоны как фоновые или слабозагрязненные территории и маги-

стральные уличные насаждения и городские промышленные зоны как территории интенсивного техногенного воздействия. При этом объектами исследований чаще всего являются 1–3(4) вида растений.

Целью настоящих исследований являлись комплексная эколого-биологическая оценка городских озелененных территорий разного функционального назначения и сравнительный анализ аккумулятивных способностей зеленых насаждений к тяжелым металлам в зависимости от условий произрастания (на примере структуры городского озеленения Владивостока).

Владивосток – крупный административный центр Российского Дальнего Востока с населением свыше 633 тыс. человек и площадью около 56 тыс. га., расположен на южной оконечности п-ова Муравьев-Амурский, омываемого водами Амурского и Уссурийского заливов. По последним данным (официальный сайт Администрации Приморского края) площадь зеленых насаждений общего пользования Владивостокского городского округа, куда входят и прилегающие островные территории, составляет 2410 га.

На территории городской агломерации Владивостока с конца 90-х годов прошлого века проводятся мониторинговые наблюдения за состоянием растительности. Установлен основной видовой состав арборифлоры зеленых насаждений, насчитывающий 115 видов деревьев и кустарников, и выполнено экологическое зонирование селитебной зоны города по градиенту жизненности древесных насаждений [Шихова, Полякова, 2006]. Судя по результатам фитоэкологического зонирования, 60 % обследованной территории характеризуются удовлетворительными, 25 % – неудовлетворительными и 15 % – неблагоприятными условиями для жизнедеятельности древесных растений. Для почв озелененной городской территории установлено высокое содержание целого ряда тяжелых металлов, в том числе Pb, Cd, Cu, Zn, As, Sn и др. [Старов и др., 1990; Шихова, 2015]. Их содержание существенно варьирует в зависимости от функционального назначения территории, особенно в содержании Cd (в 3,2 раза между крайними значениями), Cu и Pb (2,6 раза), Ni и Zn (2 раза) [Шихова, 2015].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основным объектом выполненных исследований служила растительность городских озелененных территорий, традиционно выделяемых в зеленом строительстве [Озеленение..., 1998; ГОСТ 28329-89]. Работы выполнены на 137 пробных площадях (п. п.), заложенных ранее и предназначенных для проведения многолетнего мониторинга состояния городских зеленых насаждений Владивостока [Шихова, Полякова, 2006]. На содержание тяжелых металлов была обследована растительность трех городских парков, 16 скверов, 8 старых садов-скверов, 34 насаждений внутриквартального озеленения, а также 44 аллей, тротуаров, бульваров и рядовых посадок вдоль основных транспортных магистралей города. Выполненные работы позволили охватить исследованиями все городские парки, большинство скверов, садов, рядовых насаждений и в разной степени детальности – внутриквартальное озеленение основного состава жилых микрорайонов города. Кроме того, дополнительно выделены и обследованы шесть городских озелененных территорий, типизированных нами как внутригородские рекреационные леса (ВРЛ). Они представляют собой небольшие по площади «островные» участки сохранившихся по окраинам селитебной зоны природных лесов, основные массивы которых в настоящее время освоены под строительство.

Пробоотбор проводился после 4–5-дневного бездождевого периода, в конце вегетационного сезона (до начала пожелтения листьев), соответствующего времени максимального накопления химических элементов. В пробу отбирали ассимиляционные органы растений – листья и хвою деревьев и кустарников как показатели ежегодного накопления элементов. Смешанные образцы листьев (хвои) брали, по возможности, с 5–10 особей каждого вида с четырех сторон нижней части кроны у деревьев и в средней части – у кустарников. Всего проанализировано на содержание тяжелых металлов листьев (хвои) 81 вида деревьев и кустарников (603 пробы), что составляет 70 % общего установленного состава городской арборифлоры.

Аналитическая подготовка проб и определение в них содержания тяжелых металлов

проведены с использованием известных приемов и методов [Прайс, 1976; Методические рекомендации..., 1981; Цыпленков и др., 1981]. Анализ проб выполнен в сертифицированной лаборатории методом атомной абсорбционной спектроскопии (ААС) на спектрофотометре Shimadzu AA 6800 в соляно-кислом растворе золы растений. Предварительная подготовка проб растений к анализу проведена методом сухого озоления при 450 °С. Точность определения, а также возможное загрязнение проб в процессе анализа контролировали по 4–5 градуировочным растворам, включая нулевой. Контроль загрязнения реактивов осуществляли с помощью холостых проб. Ошибка определения металлов не превышала 15 %. Концентрацию металлов в растениях выражали в миллиграммах на килограмм сухого вещества (мг/кг сух. в-ва).

Интенсивность антропогенно-техногенных нагрузок на озелененные территории и растительность оценивалась по количеству пешеходов и транспорта (ед./ч), проходящих по учетной площади или в непосредственной близости от нее, густоте дорожно-тропиночной сети (процент встречаемости троп и дорог в 100 точках их пересечения с четырьмя визирными линиями, перпендикулярно заложенными на пробной площади, при пошаговом учете через 1 м), степени задерненности и захламленности почвы (глазомерно в процентах). Учет автотранспортного и пешеходного потоков выполнен в середине дня, между утренними и вечерними «часами пик». Все полученные фактические данные были переведены в относительные балльные единицы. За 1 балл приняты средние для городских озелененных территорий показатели.

Сходство проанализированного флористического состава городских насаждений определяли по коэффициентам Жаккара (K_j) и Сёренсена – Чекановского (K_{sc}) [Шмидт, 1984]. Коэффициент сходства по Жаккару рассчитывался по формуле $K_j = \frac{c}{a + b - c}$; Сёренсена – Чекановского – по формуле $K_{sc} = \frac{2c}{d + b}$, где a – число видов в одном насаждении; b – число видов в другом насаждении; c – число общих видов для двух насаждений.

Показатели сходства видового состава могут изменяться в пределах от 0 (флоры

не имеют ни одного общего вида) до 1 (полное совпадение флор).

Концентрационные способности растений к тяжелым металлам в условиях городских антропогенно-техногенных нагрузок оценивали по коэффициенту концентрации (Кк) тяжелых металлов, который представляет собой кратность превышения содержания загрязняющих веществ в растениях урбанизированной среды над их фоновыми уровнями. В качестве локального экологического фона (ЛЭФ) использованы полученные нами ранее материалы по эколого-геохимическим особенностям растительности и почв природных лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский [Шихова, 2015]. Общее накопление основных металлов-загрязнителей городской растительности рассчитывалось с использованием коэффициента суммарного накопления $Z_c = \sum K_k - (n - 1)$, где K_k – коэффициенты концентрации >1 ; n – число накапливаемых элементов [Саэт, 1982]. При расчете суммарного накопления учитывались лишь те металлы, у которых $K_k \geq 1,2$.

Статистическую обработку аналитических данных выполняли с использованием стандартных программ Microsoft Excel и Statistica 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Статистический анализ антропогенно-техногенных нагрузок на городские озелененные территории показал максимальную вариабельность показателей интенсивности автотранспортного и пешеходного потоков

между сравниваемыми типами зеленых насаждений: коэффициенты вариации составляли 124 и 157 % соответственно. При этом транспортный поток изменялся от 5 ед./ч в парках до 1791 единицы вблизи скверов, достигая в одном из них, расположенном в центральной части города, 4300 ед./ч. Пешеходный поток варьировал от 10 чел./ч во ВРЛ до 377 чел./ч в скверах, но абсолютный его максимум зафиксирован на одной из наиболее «оживленных» магистральных аллей города – 924 чел./ч. Захламленность территории в среднем по озелененным территориям составляла 45,0 % и варьировала от 34 % во внутриквартальном озеленении до 64 % в парках. Среднее значение показателя густоты дорожно-тропиночной сети, включающей как официально благоустроенные, так и стихийно проложенные дорожки и тропы, соответствовало 49,2 % при вариабельности по типам насаждений от 42 % во ВРЛ и внутриквартальном озеленении до 55 % в рядовых посадках. Тесно связанный с уровнем рекреационных нагрузок показатель задерненности почвы составлял в среднем по насаждениям 67,0 % и изменялся от 59 % во ВРЛ до 76 % в парках.

Обобщенные относительные значения показателей антропогенно-техногенных нагрузок, испытываемых городскими озелененными территориями, приведены в табл. 1. Они свидетельствуют о 4-кратном возрастании суммарного пресса на зеленые насаждения и почву в следующем прогрессирующем ряду: городские парки < внутриквартальное озеленение <

Т а б л и ц а 1

Сравнительная балльная оценка антропогенно-техногенных нагрузок для разных типов озелененных городских территорий Владивостока

Тип насаждений	Интенсивность антропогенно-техногенных нагрузок, баллы					
	Пешеходный поток	Автотранспортный поток	Густота дорожно-тропиночной сети	Обнаженные почвы	Захламленность территории	Сумма нагрузок
Скверы	5,2	6,0	1,3	1,0	0,7	14,2
Рядовые насаждения	3,3	4,8	1,2	1,2	0,9	11,3
Старые сады-скверы	4,2	1,1	1,1	1,0	1,3	8,8
ВРЛ	0,2	0,3	1,0	1,3	1,0	3,8
Внутриквартальное озеленение	0,6	0,3	0,9	1,2	0,8	3,7
Городские парки	0,4	0,0	1,0	0,8	1,3	3,6
Городские насаждения (в среднем по городу)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0

внутригородские рекреационные леса < старые сады-скверы < рядовые насаждения < скверы. Наибольший вклад в суммарную величину нагрузок на наиболее «напряженных» озелененных территориях вносят автотранспортный и пешеходный потоки. Негативное влияние рекреационных нагрузок сильнее выражено в рядовых насаждениях, скверах и ВРЛ, а захламленность территории – в парках и старых садах.

Полученные данные вполне совпадают с результатами выполненных нами ранее исследований по физико-химическим особенностям почв озелененных территорий г. Владивостока [Шихова, 2005]. В частности, установлено негативное влияние процессов урбанизации на физические свойства почв – преимущественно на плотность сложения и аэрацию. Наиболее значимые последствия проявились в уплотнении поверхностных горизонтов почв, превышающем фоновые показатели в среднем в 1,4 раза. Проведенные исследования констатировали также существенное ухудшение (свыше 2,5 раза) лесорастительных свойств почв озелененных городских территорий в ряду: городские парки < ВРЛ < старые сады < скверы < внутриквартальное озеленение < рядовые насаждения.

Ответная реакция городской растительности на негативные процессы урбанизации наиболее ярко отражается в накоплении тяжелых металлов – объективных маркеров техногенного загрязнения среды. При этом большое значение имеет видовая специализация растений в накоплении химических элементов.

Анализ сходства видового состава арборифлоры шести типов городских зеленых насаждений показал, что из 81 проанализированного вида к повсеместно распространенным относятся лишь 4: ясени маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) и носолистный (*F. rhynchophylla* Hance), ильм японский (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.), чубушник тонколистный (*Philadelphus tenuifolius* Rupr. et Maxim.). Наиболее близкий видовой состав (по коэффициенту Жаккара – 0,47–0,55, Сёренсена – Чекановского – 0,64–0,71) установлен для рядовых насаждений, внутриквартального озеленения и скверов, которые представляют собой типичные искусственные городские посадки. Кроме четырех видов-доминантов общими для этой группы

насаждений являются еще 19 видов, наибольшее распространение среди которых имеют следующие: *Robinia pseudoacacia* L., *Betula platyphylla* Sukacz., *Padus maackii* (Rupr.) Kom., *Acer negundo* L., *Ulmus pumila* L., *Pinus sylvestris* L., *Physocarpus opulifolia* (L.) Maxim., *Swida alba* (L.) Opiz.

Достаточно близки по видовому составу также парки и ВРЛ, растительность которых сформирована на основе природных лесных фитоценозов. Общими для этих насаждений также являются 19 видов, включая 4 вида-доминанта. Среди них наиболее широко представлены *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb., *Acer mono* Maxim., *A. pseudosieboldianum* (Pax) Kom., *Tilia amurensis* Rupr., *Ligustrina amurensis* Rupr., *Robinia pseudoacacia* L., *Viburnum sargentii* Koehne.

Содержание металлов в растительности городских озелененных территорий Владивостока приведено в табл. 2. Наиболее значимая изменчивость в содержании металлов среди насаждений отмечается в аккумуляции растениями Fe (коэффициент вариации – 37 %), Pb (31 %) и Zn (26 %). Самое стабильное содержание характерно для Cu (10 %) и Cd (12 %).

Арборифлора типичных искусственных городских насаждений Владивостока, т. е. рядовых посадок, скверов и внутриквартального озеленения, отличается максимальными содержаниями Fe, Zn и Ni. Для растений рядовых посадок и скверов характерно, кроме того, высокое содержание Pb и Cu. Содержание Zn у отдельных видов в рядовых посадках превышает городской фон в 6 раз, Fe – в 4 раза, Pb в скверах – до 4 раз, Ni и Cu в рядовых и скверовых насаждениях – в 2 раза и более. Низкие содержания большинства сравниваемых металлов (за исключением Mn) установлены в растениях внутригородских рекреационных лесов и парков. Исключением является повышенная аккумуляция парковой арборифлорой Cd – до 3 раз и выше относительно среднего для городской растительности содержания. Так, например, содержание Cd в листьях ильма низкого (*Ulmus pumila*) на одной из пробных площадей в Покровском парке достигает 3,24 мг/кг, бересклета большекрылова (*Euonymus macroptera* Rupr.) в парке Минного городка – 3,02 мг/кг.

Максимальные концентрации Fe в растениях рядовых насаждений зафиксирова-

Среднее содержание тяжелых металлов в древесно-кустарниковых растениях типовой структуры городского озеленения Владивостока

Тип насаждений	Количество видов (проб)	Содержание металлов, мг/кг сух. в-ва							
		Pb	Ni	Co	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe
Рядовые насаждения	45 (198)	12,52	2,95	1,39	0,84	67,86	9,74	125	849
Внутриквартальное озеленение	37 (136)	11,49	2,76	1,48	0,88	64,05	8,30	121	566
Скверы	47 (121)	15,37	2,86	1,44	0,92	75,10	9,41	151	709
Старые сады-скверы	18 (26)	10,68	1,97	1,50	0,71	40,00	8,59	67	425
Городские парки	31 (66)	8,30	2,05	1,41	1,02	58,45	7,53	125	387
ВРЛ	36 (56)	5,94	2,28	0,89	0,80	38,94	7,70	120	338
В целом по насаждениям	81 (603)	11,45	2,61	1,37	0,95	64,02	8,56	137	565
ЛЭФ по [Шихова, 2015]	78 (294)	6,08	2,07	1,42	0,91	30,40	6,20	149	138

ны в листьях боярышника перистонадрезного (*Crataegus pinnatifida* Bunge – 2213 мг/кг) на разделительной полосе между двумя городскими магистралями с интенсивным транспортным потоком (п. п. 46В), а также клена моно (*Acer mono* – 2255 мг/кг) и лиственницы (*Larix* sp. – 2063 мг/кг) на бульваре вблизи городского автовокзала (п. п. 35В). На том же бульваре отмечены и самые высокие для городских растений содержания Ni у кленов *A. mono* (5,16 мг/кг) и *A. pseudosieboldianum* (5,76 мг/кг).

Гипераккумуляция Zn отмечена в листьях тополей в скверах, примыкающих к оживленным городским автомагистралям: *Populus taximowiczii* A. Henry – 441 мг/кг и *P. nigra* L. – 414 мг/кг. Высокое содержание этого металла зафиксировано и у тополей внутриквартального озеленения – *P. tremula* L. (276 мг/кг) и *P. koreana* Rehd. (220 мг/кг), а также у берез *Betula platyphylla* (147–327 мг/кг) и *B. davurica* Pall. (191 мг/кг), произрастающих в скверах и во внутриквартальном озеленении.

Самые высокие концентрации Pb обнаружены в листьях кустарниковых насаждений в скверах: 24,9–44,5 мг/кг по средним для разных видов содержаниям. В зависимости от местоположения сквера они варьировали у отдельных видов в широком диапазоне значений, мг/кг: *Microcerasus tomentosa* (Trunb.) Eremín et Jushev – 39–50, *Corylus heterophylla* Fisch. ex Frautv. – 20–38, *Lonicera maackii* (Rupr.) Herd. – 13–48, *Deutzia amurensis* (Regel) Airy Shaw – 15–35. Высокие содержания свинца обнаружены также в ли-

стьях боярышника перистонадрезного и черемухи Маака (*Padus maackii*) в рядовых посадках придорожной полосы: 25,7 и 23,6 мг/кг соответственно. Содержание Pb в листьях черемухи к тому же подвержено весьма существенному колебанию в зависимости от местоположения насаждения и мощности проходящего вблизи него транспортного потока, варьируя от 9,8 мг/кг (п. п. 51В) до 89,7 мг/кг (п. п. 46В).

Медь весьма активно накапливают *Syringa oblata* Lindl. (19,66 мг/кг), *Acer ginnala* Maxim. (14,75), *Microcerasus tomentosa* (14,27), *Betula davurica* (13,77 мг/кг) в скверах, а также *Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr. (16,08 мг/кг), *Ulmus japonica* (14,20) и *Phellodendron amurense* Rupr. (13,31 мг/кг) в рядовых посадках разного функционального назначения.

Корреляционный анализ химического состава городской растительности Владивостока позволил установить ряд закономерностей в накоплении насаждениями тяжелых металлов. Обнаружены достоверные положительные связи между содержанием Pb и Fe в арборифлоре всех типов городских насаждений (табл. 3), Pb и Cd (кроме рядовых насаждений), а также Pb и Co, Co и Cd (исключая сады). Для растений рядовых посадок, внутриквартального озеленения, скверов и парков отмечены значимые корреляционные зависимости в содержании Co и Ni, для внутриквартального озеленения, скверов, парков, ВРЛ – Cu и Fe. В то же время меньше всего достоверных взаимных связей установлено в содержании в растениях Zn, который положительно связан лишь с Co в рядовых насаждениях и с Mn – в пар-

ковых фитоценозах. Больше всего значимых парных коэффициентов корреляции в содержании металлов выявлено в выборке арбо-

рифлоры парков, скверов и ВРЛ. В растениях парков оно обусловлено преимущественно связями с другими металлами – Pb, Ni и Co,

Т а б л и ц а 3

Значимые коэффициенты корреляции ($p < 0,05$) в содержании тяжелых металлов в листьях (хвое) городских зеленых насаждений

Тип насаждений	n*	Коэффициент корреляции металлов в растениях							
		Pb	Ni	Co	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe
Рядовые насаждения	45	$\frac{0,31}{Co}$	$\frac{0,39}{Co}$	$\frac{0,31}{Pb}$	$\frac{0,42}{Co}$	$\frac{0,44}{Co}$	$\frac{-0,33}{Mn}$	$\frac{-0,33}{Cu}$	$\frac{0,76}{Pb}$
		$\frac{0,76}{Fe}$		$\frac{0,39}{Ni}$					
				$\frac{0,42}{Cd}$					
				$\frac{0,44}{Zn}$					
Внутриквартальное озеленение	36	$\frac{0,48}{Co}$	$\frac{0,36}{Co}$	$\frac{0,48}{Pb}$	$\frac{0,56}{Pb}$	–	$\frac{0,41}{Fe}$	$\frac{0,60}{Ni}$	$\frac{0,54}{Pb}$
		$\frac{0,56}{Cd}$	$\frac{0,60}{Mn}$	$\frac{0,36}{Ni}$	$\frac{0,68}{Co}$			$\frac{-0,34}{Cd}$	$\frac{0,41}{Cu}$
		$\frac{0,54}{Fe}$		$\frac{0,68}{Cd}$	$\frac{-0,34}{Mn}$				
Скверы	46	$\frac{0,47}{Co}$	$\frac{0,61}{Co}$	$\frac{0,74}{Pb}$	$\frac{0,37}{Pb}$	–	$\frac{0,30}{Co}$	$\frac{0,29}{Ni}$	$\frac{0,91}{Pb}$
		$\frac{0,37}{Cd}$	$\frac{0,39}{Cd}$	$\frac{0,61}{Ni}$	$\frac{0,39}{Ni}$		$\frac{0,42}{Cd}$		$\frac{0,33}{Co}$
		$\frac{0,91}{Fe}$	$\frac{0,29}{Mn}$	$\frac{0,48}{Cd}$	$\frac{0,48}{Co}$		$\frac{0,29}{Fe}$		$\frac{0,29}{Cu}$
				$\frac{0,30}{Cu}$	$\frac{0,42}{Cu}$				
				$\frac{0,33}{Fe}$					
Сады	12	$\frac{0,69}{Cd}$	$\frac{0,89}{Mn}$	–	$\frac{0,69}{Pb}$	–	–	$\frac{0,89}{Ni}$	$\frac{0,90}{Pb}$
		$\frac{0,90}{Fe}$							
Городские парки	31	$\frac{0,55}{Ni}$	$\frac{0,55}{Pb}$	$\frac{0,76}{Pb}$	$\frac{0,73}{Pb}$	$\frac{0,67}{Mn}$	$\frac{0,64}{Pb}$	$\frac{0,67}{Zn}$	$\frac{0,78}{Pb}$
		$\frac{0,76}{Co}$	$\frac{0,59}{Co}$	$\frac{0,59}{Ni}$	$\frac{0,58}{Ni}$		$\frac{0,38}{Ni}$		$\frac{0,37}{Co}$
		$\frac{0,73}{Cd}$	$\frac{0,58}{Cd}$	$\frac{0,82}{Cd}$	$\frac{0,82}{Co}$		$\frac{0,66}{Fe}$		$\frac{0,66}{Cu}$
		$\frac{0,64}{Cu}$	$\frac{0,38}{Cu}$	$\frac{0,37}{Fe}$					
		$\frac{0,78}{Fe}$							
Внутригородские рекреационные леса	36	$\frac{0,42}{Ni}$	$\frac{0,42}{Pb}$	$\frac{0,47}{Pb}$	$\frac{0,62}{Pb}$	–	$\frac{0,33}{Pb}$	–	$\frac{0,70}{Pb}$
		$\frac{0,47}{Co}$	$\frac{0,59}{Fe}$	$\frac{0,43}{Cd}$	$\frac{0,43}{Co}$		$\frac{0,35}{Co}$		$\frac{0,59}{Ni}$
		$\frac{0,62}{Cd}$		$\frac{0,35}{Cu}$			$\frac{0,49}{Fe}$		$\frac{0,42}{Co}$
		$\frac{0,33}{Cu}$		$\frac{0,42}{Fe}$					$\frac{0,49}{Cu}$
		$\frac{0,70}{Fe}$							

*n – величина выборки.

Интенсивность накопления металлов-загрязнителей древесными растениями в зависимости от типа насаждений

Тип насаждений	Коэффициент концентрации (Кк)					
	Fe	Zn	Pb	Cu	Ni	Zc
Рядовые городские посадки	6,2	2,2	2,1	1,6	1,4	9,4
Скверы	5,1	2,5	2,5	1,5	1,4	9,0
Внутриквартальное озеленение	4,1	2,1	1,9	1,3	1,3	6,8
Старые сады-скверы	3,1	1,3	1,8	1,4	0,9	4,5
Городские парки	2,8	1,9	1,4	1,2	1,0	4,3
Внутригородские рекреационные леса	2,4	1,3	1,0	1,2	1,1	3,0
В целом по городским насаждениям	4,1	2,1	1,9	1,4	1,3	6,7

в скверах – Co и Cd, во ВРЛ – Pb, Co и Fe (см. табл. 3).

Оценка интенсивности накопления тяжелых металлов растениями городских озелененных территорий, выполненная на основе показателя Кк металлов, позволила установить ассоциацию основных металлов-загрязнителей зеленых насаждений г. Владивостока. В нее вошли пять металлов: Fe_{4,1} Zn_{2,1} Pb_{1,9} Cu_{1,4} Ni_{1,3}. Сравнительная характеристика Кк этих металлов для растительности городских зеленых насаждений приведена в табл. 4.

Самые высокие аккумулятивные способности к металлам установлены у растений рядовых насаждений, скверов и внутриквартального озеленения. Эти насаждения, как показано выше, в наибольшей степени подвержены антропогенно-техногенному прессу, а также наиболее близки по видовому составу.

Интересно проследить закономерности накопления металлов доминантом городского озеленения Владивостока – ясенем маньчжурским. Он произрастает во всех типах насажде-

ний, но с разной встречаемостью и долей участия. Наиболее массово вид представлен в рядовых насаждениях улиц: встречается на 61 % пробных площадей. Далее следуют старые сады (76 % по абсолютной встречаемости), парки (66 %), внутриквартальное озеленение (54 %), скверы (47 %) и ВРЛ (36 %). Согласно выполненным нами ранее исследованиям [Шихова, Полякова, 2006], ясеня в условиях урбанизации относятся к среднеустойчивым видам, способным к значительному накоплению тяжелых металлов, в том числе приоритетных загрязнителей городской среды Владивостока. Данные по содержанию в листьях ясеня тяжелых металлов и сравнительная интенсивность их накопления для разных городских насаждений представлены в табл. 5 и 6. Несмотря на то что содержание большинства металлов в листьях ясеня в городском озеленении ниже их среднего значения, установленного для общего состава городской арборифлоры, относительно природно-фоновых показателей вид активно аккумулирует весь

Среднее содержание тяжелых металлов в листьях ясеня маньчжурского в городском озеленении Владивостока

Тип насаждений	Количество проб	Содержание металлов, мг/кг сух. в-ва							
		Pb	Ni	Co	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe
Рядовые насаждения	26	11,15	2,91	1,49	0,68	43,26	12,02	78,3	705
Внутриквартальное озеленение	13	8,54	3,56	1,52	0,49	34,88	9,65	69,5	358
Скверы	12	11,00	3,15	1,48	0,51	39,30	8,96	52,1	459
Старые сады-скверы	5	7,39	1,92	1,00	0,29	24,37	7,56	32,3	261
Городские парки	3	8,18	2,52	2,01	0,37	29,37	7,18	93,5	436
ВРЛ	3	4,26	1,38	0,47	0,20	20,41	5,84	35,3	151
В целом по насаждениям	62	9,87	2,95	1,44	0,55	37,85	10,16	67,8	516
ЛЭФ, по [Шихова, 2015]	5	2,61	1,17	0,88	0,43	18,53	7,66	54,1	153

Интенсивность накопления металлов-загрязнителей листьями ясеня маньчжурского в зависимости от типа насаждений

Тип насаждений	Коэффициент концентрации (Кк)					
	Pb	Fe	Ni	Zn	Cu	Zc
Рядовые городские посадки	4,3	4,6	2,5	2,3	1,6	11,3
Скверы	4,2	3,0	2,7	2,1	1,2	9,2
Внутриквартальное озеленение	3,3	2,3	3,0	1,9	1,3	7,8
Городские парки	3,1	2,9	2,2	1,6	0,9	6,7
Старые сады-скверы	2,8	1,7	1,6	1,3	1,0	4,5
Внутригородские рекреационные леса	1,6	1,0	1,2	1,1	0,8	1,7
В целом по городским насаждениям	3,8	3,4	2,5	2,0	1,3	9,1

Коэффициенты биологического накопления металлов для растительности функционально различных городских озелененных территорий

Тип насаждений	Коэффициент биологического накопления							
	Pb	Ni	Co	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe
Рядовые городские посадки	0,10	0,08	0,05	0,18	0,31	0,20	0,18	0,02
Внутриквартальное озеленение	0,11	0,07	0,05	0,30	0,28	0,21	0,17	0,01
Скверы	0,17	0,06	0,04	0,40	0,40	0,27	0,23	0,02
Старые сады-скверы	0,16	0,04	0,05	0,43	0,18	0,29	0,13	0,01
Городские парки	0,16	0,04	0,03	0,70	0,32	0,41	0,19	0,01
Внутригородские рекреационные леса	0,08	0,08	0,03	0,31	0,32	0,29	0,17	0,01
В среднем по городским насаждениям	0,11	0,06	0,04	0,30	0,30	0,22	0,21	0,02
Локальный экологический фон	0,28	0,05	0,05	0,91	0,31	0,45	0,21	0,005

спектр рассматриваемых металлов и особенно интенсивно – Pb, Fe, Ni, Zn и Co (см. табл. 6). Отмечены повышенные концентрации Fe (1736–2825 мг/кг), Zn (78–93 мг/кг), Cu (19,5–21,4 мг/кг), Cd (1,55–1,64 мг/кг) у особей ясеня, произрастающих в рядовых насаждениях; Co (1,58–2,43 мг/кг) и Mn (до 217 мг/кг) – в парках; Ni (4,79–6,02 мг/кг) – во внутриквартальном озеленении.

С привлечением полученных нами ранее данных по содержанию ТМ в почвах городских озелененных территорий Владивостока [Шихова, 2013] были рассчитаны коэффициенты биологического накопления (КБН) металлов (табл. 7). Табличные данные свидетельствуют о невысокой интенсивности накопления растениями рассматриваемой выборки металлов как в локально-фоновых, так и в городских условиях: КБН везде меньше единицы. Сравнение КБН для растительно-

сти локально-фоновых и городских условий позволяет говорить о более интенсивном накоплении городской арборифлорой почвенного Fe (свыше 3 раз по сравнению с природной флорой), но низкой поглотительной способности к Cd (в 3 раза ниже), Pb (2,5 раза) и Cu (2 раза). Скорее всего, это связано со слабой доступностью этих металлов растениям в условиях городских местообитаний. Интересно отметить также близкий к фоновым условиям характер накопления всеми городскими насаждениями таких биофильных элементов, как Zn и Mn, а также Cd и Cu растительностью парков.

ОБСУЖДЕНИЕ

Судя по имеющимся литературным источникам [Промышленная ботаника, 1980; Парибок и др., 1982; Обухов, Лепнева, 1989; Ро-

укач, Парфенау, 1990; Жадько, Дайнеко, 2003; Tomašvić, 2004; Дергунова, Рахимова, 2005; Шергина, Михайлова, 2007; Ветчинникова и др., 2013; Горелова и др., 2015; Масленников и др., 2016; и др.], содержание металлов в древесно-кустарниковой растительности примагистральных, парковых и рекреационных зон различных городов варьирует в широком диапазоне значений. Сравнение приведенных в литературе фактических данных с полученными нами свидетельствует о том, что средние содержания металлов в рядовых насаждениях Владивостока в основном близки литературным, отличаясь лишь более высокой концентрацией Fe (в 2,5 раза), Co (1,4 раза) и Pb (1,3 раза). В то же время геохимические особенности арборифлоры парков Владивостока более специфичны. Она, в частности, превосходит флору других городов по аккумуляции Cd в 2,5 раза, Fe и Pb – в 1,4 раза, Zn – в 1,3 раза, но уступает по накоплению Cu, Ni и Mn в 1,4 раза.

Ряд общих закономерностей в накоплении тяжелых металлов растительностью озелененных городских территорий разного функционального назначения в зависимости от уровня воздействующего антропогенно-техногенного пресса, физико-химических особенностей почв, в том числе концентрации в них металлов, был установлен по результатам корреляционного анализа. Наибольшее количество достоверных связей ($p < 0,05$) обнаружено для растений скверов, внутриквартального озеленения и парков, а из металлов – в содержании Zn, Pb и Cu (табл. 8). При этом на накопление металлов растениями скверов большее влияние оказывают антропогенно-техногенные нагрузки и содержание в почвах Cu и Co, а для насаждений внутриквартального озеленения – плотность сложения и аэрация почв, содержание в них Cu и Fe. У растительности парков, наиболее близкой к природным фитоценозам, значимые связи установлены лишь в накоплении типичных биофильных элементов Cu и Zn, причем отрицательные по отношению к густоте дорожно-тропиночной сети и влажности почвы и положительные относительно содержания в почвах Cu, Zn, Mn и Co. В то же время содержание металлов в растениях и почвах достоверно связано лишь с накоплением Zn ($r = 0,69$) в парковых растительных сообществах и Fe ($r = 0,85$) во вну-

тригородских рекреационных лесах. Интересно отметить, что ни в одном из сравниваемых насаждений корреляционный анализ не показал тесных связей между содержанием в растениях и почвах основных металлов-загрязнителей почвенного покрова г. Владивостока – Pb и Cd. Этот факт, вероятнее всего, можно объяснить действием в растениях физиологических барьеров по отношению к этим металлам при их высоком содержании в почве, а также невысокой концентрацией в почве их подвижных форм и малой доступностью для растений.

Для сравнительной комплексной оценки состояния городских насаждений введено понятие – «индекс функционального статуса (ИФС) насаждений». Он представляет собой интегральный относительно-количественный показатель экологического состояния зеленых насаждений и эффективности выполнения ими основных средостабилизирующих и средообразующих функций (экологических, декоративных, санитарно-гигиенических и др.).

При разработке ИФС насаждений использованы некоторые подходы и методы прикладной квалиметрии [Азгальдов и др., 1968; Азгальдов, Райхман, 1973]. Согласно принятой методике все показатели, характеризующие качественное состояние насаждений, выраженные в соответствующих абсолютных единицах измерения, переведены в относительные безразмерные единицы или коэффициенты качества (K_i), рассчитанные относительно средних по городу содержаний, принятых за 1:

$$K_i = \frac{Q_i}{Q_i^{cp}},$$

где Q_i – качественный показатель насаждения в абсолютных единицах измерения; Q_i^{cp} – соответствующее среднегородское значение показателя состояния. На основе полученных качественных характеристик насаждений рассчитывались их индексы функционального статуса (ИФС) по формуле

$$\text{ИФС} = \sum_{i=1}^n K_i.$$

Состояние насаждений оценивалось по сумме следующих эколого-биологических показателей: богатство видового состава и жизненного статуса древостоя [Шихова, Полякова,

Значимые ($p < 0,05$) корреляционные связи между содержанием тяжелых металлов в городской растительности и экологическими факторами среды

Воздействующий фактор	Тип насаждений (число пробных площадей)							
	Рядовые посадки ($n = 6$)	Скверы ($n = 13$)	Сады ($n = 8$)	Внутриквартальное озеленение ($n = 12$)	Городские парки ($n = 10$)	ВРЛ ($n = 6$; $n = 3^*$)		
Факторы антропогенно-техногенного воздействия	Пешеходный поток	<u>0,90</u>	<u>0,59</u>	-	-	-	<u>0,99*</u>	
		Zn	Zn				Pb	
	Автотранспортный поток	<u>-0,85</u>	<u>0,74</u>	-	-	-	<u>0,99*</u>	
			Cu					Co
			<u>0,64</u>					
	Густота дорожно-тропиночной сети	-	Mn	-	-	-0,73	-	
						Zn		
Задерненность почвы	-		-0,74	-0,81	-	-	-	
			Cu	Fe				
Захламленность территории	-	-	-	-0,59	-	-		
				Pb				
Физико-химические особенности почв, по [Шихова, 2005]	Естественная влажность	-	-	-	-	-0,65	-	
						Zn		
	Плотность	-		-0,78	-0,60	-	-0,66	0,99*
				Zn	Pb		Cu	Cu
								Cd
Плотность твердой фазы	-		-	-	-		0,99*	
							Co	
Порозность общая	-	-	0,91	0,65	-	-0,99*		
			Zn	Pb		Co		
				0,67				
				Ni				
				0,65				
				Co				
Содержание металлов в почвах, по [Шихова, 2013]	Ni	<u>0,92</u>	-	-	-	-	-	
		Co						
	Co	<u>0,90</u>	-0,72	-	-	0,64	-0,83	
		Mn	Ni			Zn	Mn	
	Zn	<u>0,89</u>	-	-	-	0,69	-	
		Pb				Zn		
Cu	-	-0,58	0,68	0,78	0,73	-		
		Pb	Ni	Pb	Zn			
Mn	-	-0,56	-	0,58	-	-		
		Cd		Fe				
Fe	-	-	-	-0,64	-	0,85		
				Zn		Fe		

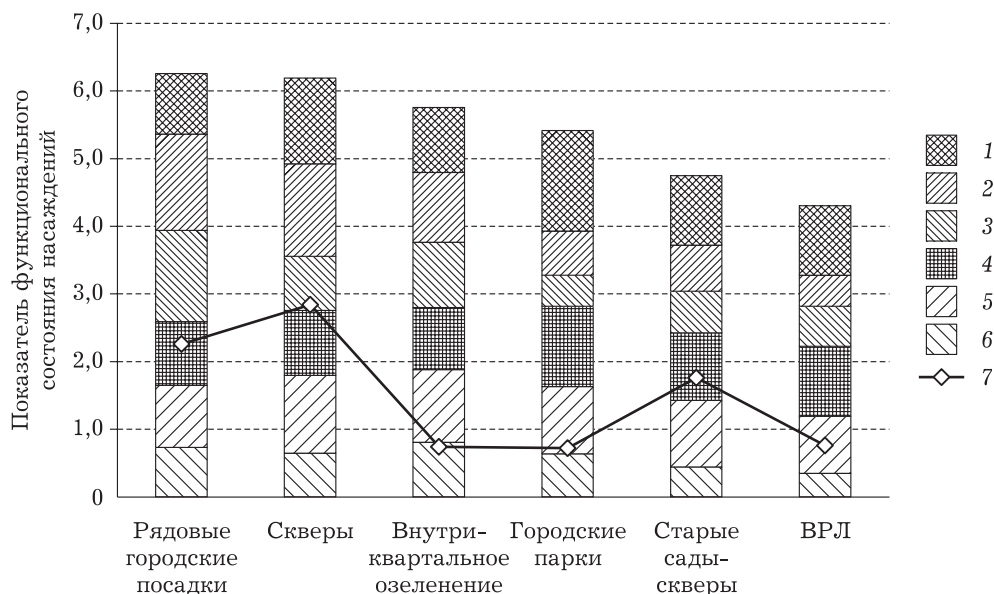
П р и м е ч а н и е. Под чертой – металлы, содержащиеся в растениях; над чертой – значение соответствующего им коэффициента корреляции (r).

2006]; способность растений накапливать и вовлекать в биогенную миграцию металлы-загрязнители городской среды (Z_c основных металлов-загрязнителей городской растительности; КБН); физико-химические свойства почв, характеризующих почвенные лесорастительные условия [Шихова, 2005]; интенсивность накопления почвами комплекса металлов-загрязнителей городской среды [Шихова, 2013]; напряженность антропогенно-техногенного пресса, воздействующего на озелененные городские территории. ИФС сравниваемых насаждений, а также показатели воздействующего на них антропогенно-техногенного пресса представлены на рисунке.

Судя по полученным результатам, наиболее высокие значения ИФС характерны для скверовых и рядовых насаждений. В скверах они во многом обусловлены интенсивной аккумуляцией арборифлорой тяжелых металлов и достаточно разнообразным видовым составом насаждений, в рядовых уличных посадках – повышенным содержанием в растениях и почвах металлов-загрязнителей городской среды. Для внутриквартального озеленения наибольший вес в интегральном показателе имеют богатый видовой состав и лучшее среди сравниваемых насаждений жизненное

состояние. Наиболее оптимальные для городских озелененных территорий лесорастительные почвенные условия и высокие показатели почвенной аккумуляции многих металлов отмечены для растительных сообществ парков и ВРЛ. В то же время самое низкое значение ИФС, в 1,5 раза отличающееся от максимального, присущего скверам и рядовым посадкам, установлено для внутригородских рекреационных лесов. Для этих насаждений характерно наименьшее из сравниваемых насаждений разнообразие арборифлоры, низкий виталитет, соответствующий сильно ослабленным насаждениям, слабая аккумуляция основных металлов-загрязнителей растительностью и почвами.

Прямой зависимости между функциональным состоянием насаждений и уровнем воздействующих на них антропогенно-техногенных нагрузок, как следует из рисунка, не наблюдается. Однако видно, что повышенный антропогенно-техногенный пресс испытывают озелененные территории, занятые скверами, магистральными рядовыми насаждениями и старыми садами. Соотношение между уровнем воздействующего на насаждения антропогенно-техногенного пресса и комплексным показателем их функционального состояния,



Сравнительная оценка функционального состояния зеленых насаждений и интенсивности воздействующего на них антропогенно-техногенного пресса.

1 – КБН; 2 – Z_c тяжелых металлов в древесно-кустарниковой растительности; 3 – Z_c тяжелых металлов в городских почвах; 4 – физико-химические особенности почв; 5 – средний жизненный статус древостоя; 6 – богатство видового состава; 7 – интенсивность антропогенно-техногенного пресса, воздействующего на насаждения

характеризующее в той или иной степени уровень экологического неблагополучия насаждений, составляет для этих насаждений 0,36–0,46, что примерно в 3–3,5 раза выше соответствующей величины для ВРЛ, парков и внутриквартального озеленения.

В целом, выполненные исследования свидетельствуют о большом разнообразии воздействующих на городские озелененные территории факторов и специфичной ответной реакции на них функционально различающихся городских насаждений. Полученные результаты убедительно доказывают необходимость научно обоснованного подхода при организации городского зеленого строительства и дифференцированных и адекватных мер ухода за озелененными территориями различного функционального назначения.

ВЫВОДЫ

По результатам комплексной эколого-биологической оценки озелененных городских территорий Владивостока и разработанного на ее основе ИФС насаждений выполнен сравнительный анализ функциональной эффективности городских зеленых насаждений различного назначения в городском зеленом строительстве.

Анализ сходства видового состава арборифлоры позволил выделить две группы зеленых насаждений: типичные искусственные городские посадки и насаждения, сформированные на основе природных фитоценозов. Первые включают рядовые посадки, внутриквартальное озеленение и скверы, вторые – парки и внутригородские рекреационные леса.

Установлено, что самый высокий техногенный пресс, обусловленный преимущественно транспортным и пешеходным потоками, испытывают скверовые и рядовые городские насаждения. В 3 раза и более снижается интенсивность антропогенно-техногенных нагрузок на озелененные городские территории, занятые парками, внутриквартальным озеленением и ВРЛ. Они в большей степени подвержены рекреационным нагрузкам, при этом насаждения внутриквартального озеленения и ВРЛ – еще и вытоптанности напочвенного покрова, а парков – захламленности территории.

Определена ассоциативная группа основных металлов-загрязнителей городской древесно-кустарниковой растительности, вклю-

чающая следующие элементы: $Fe_{4,1}$ $Zn_{2,0}$ $Pb_{1,9}$ $Cu_{1,4}$ $Ni_{1,3}$. Интенсивность аккумуляции этих металлов зелеными насаждениями возрастает в 3 раза в ранжированном ряду: внутригородские рекреационные леса → парки → старые сады → внутриквартальное озеленение → скверы → рядовые насаждения.

По результатам корреляционного анализа самые тесные связи обнаружены между содержанием Pb и Fe в листьях (хвое) древесно-кустарниковых растений всех городских озелененных территорий, а также Pb и Cd, Pb и Co, Co и Cd – большинства сравниваемых типов насаждений. Содержание же металлов в растениях и почвах достоверно связано лишь в накоплении Zn ($r = 0,69$) в парковых растительных сообществах и Fe ($r = 0,85$) во ВРЛ.

Полученные результаты служат научно обоснованной базой при создании устойчивой и рациональной системы городского озеленения, а показатель ИФС насаждений – при оценке эффективности выполнения городских насаждениями основных санитарно-гигиенических и средостабилизирующих функций.

ЛИТЕРАТУРА

- Азгальдов Г. Г., Гличев А. В., Панов В. П. Что такое качество? М.: Экономика, 1968. 135 с.
- Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалитетрии. М.: Изд-во стандартов, 1973. 172 с.
- Бухарина И. Л., Двоглазова А. А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2010. 184 с.
- Вельц Н. Ю., Турлибекова Д. М. Аккумуляция тяжелых металлов в надземной части высших растений, произрастающих в г. Орске и его окрестностях // Вестник ОГУ. 2011. № 12 (131). С. 378–379.
- Ветчинникова Л. В., Кузнецова Т. Ю., Титов А. Ф. Особенности накопления металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях севера // Тр. Карел. науч. центра РАН. 2013. № 3. С. 68–73.
- 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 федерального ун-та им. И. Канта. 2015. Вып. 1. С. 92–106.
- Государственный стандарт Союза ССР. Озеленение городов. Термины и определения. ГОСТ 28329–89. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 10.11.89 № 3336. Дата введения 01.01.1991.
- Дергунова А. Б., Рахимова Х. Х. Особенности аккумуляции тяжелых металлов листьями древесных рас-

- тений // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы II Всерос. конф. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2005. Кн. 2. С. 713–716.
- Жадко С. В., Дайнеко Н. М. Накопление тяжелых металлов древесными породами улиц г. Гомеля // Изв. Гомел. гос. ун-та. 2003. № 5. С. 77–80.
- Ларина Г. Е., Обухов А. И. Тяжелые металлы в растительности с газонов вдоль автомагистралей // Вестн. МГУ. Сер. 17, Почвоведение. 1995. № 3. С. 41–48.
- Масленников П. В., Скрыпник Л. Н., Куркина М. В., Федурев П. В., Тюрганова А. В., Бабайцева Е. В., Устинова К. Ю. Аккумуляция железа в растениях урбоэкосистем г. Калининграда // Соврем. пробл. науки и образования. 2016. № 3. С. 392. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24507> (дата обращения: 17.12.2018).
- Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / под ред. Н. Г. Зырина, С. Г. Малахова. М.: Гидрометеиздат, 1981. 108 с.
- Никифорова Е. Н., Лазукова Г. Г. Геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв и растений городских экосистем Перовского района Москвы // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1991. № 3. С. 44–53.
- Новикова О. В., Макарова М. Г., Кошелева Н. Е. Ассоциации микроэлементов в древесной растительности гг. Москвы и Киото // Вестн. РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2004. № 1 (10). С. 178–186.
- Обухов А. И., Лепнева О. М. Биогеохимия тяжелых металлов в городской среде // Почвоведение. 1989. № 3. С. 65–73.
- Озеленение городов. Термины и определения. М.: Прима-Пресс, 1998. 26 с.
- 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.
- Прайс В. Дж. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. М.: Мир, 1976. 355.
- Промышленная ботаника. Киев: Наук. думка, 1980. 260 с.
- Роукач А. И., Парфенау В. В. Ацэнка стану прыроднага асяроддзя у парках Беларусі з тэхнагенным забруджаннем // Весці АН БССР. Сер. Біол. навук. 1990. № 2. С. 53–56.
- Саєт Ю. Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. С. 84–100.
- Старов О. Г., Цой Б. В., Бурого А. И. Загрязнение металлами окружающей среды Владивостока // Вестн. ДВО АН СССР. 1990. № 1. С. 71–74.
- Уфимцева М. Д., Терехина Н. В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем. СПб.: Наука, 2005. 339 с.
- Цыпленков В. П., Банкина Т. А., Федоров А. С. Определение зольного состава растительных материалов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. 160 с.
- Шергина О. В., Михайлова Т. А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. 200 с.
- Шихова Н. С. Комплексная оценка состояния лесов зеленой зоны Владивостока // Лесоведение. 2015. № 6. С. 436–446.
- Шихова Н. С. Мониторинг физического состояния городских почв в связи с процессами озеленения // Сиб. экол. журн. 2005. № 5. С. 899–907 [Shikhova N. S. Monitoring of the Physical State of Urban Soils in the Context of Landscaping Problems // Contemporary Problems of Ecology. 2005. N 5. P. 899–907].
- Шихова Н. С. Экологическое состояние почв и зеленых насаждений Владивостока // Экол. урбанизированных территорий. 2013. № 1. С. 97–102.
- Шихова Н. С., Полякова Е. В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 236 с.
- Шмидт В. М. Математические методы в ботанике: учеб. пособие. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. 288 с.
- Якубов Х. Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений Москвы. М.: ООО «Стагирит-Н», 2005. 264 с.
- Tomašvič M., Rajšič S., Đorđević D., Tašič M., Rrštić J., Novacović V. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas // Environ. Chem. Lett. 2004. N 2(3). P. 151–154.

Assessment of the functional state of green plantings and the accumulation of heavy metals by vegetation in urban green areas for various purposes

N. S. SHIKHOVA

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS
690022, Vladivostok, Stoletiya av., 159
E-mail: shikhova@biosoil.ru*

The article is devoted to the ecological problem of effective urban landscaping and increasing the role of green plantings in environment stabilizing. The paper summarizes the material on the complex bio-ecological assessment of functionally different urban green areas of Vladivostok. There are six types of urban plantings: ordinary plantings, squares, intra-quarter gardening, old city public gardens, city parks, intra-urban

recreational forests. The questions of specificity of their species composition, conditions of growth and the intensity of influencing anthropogenic press are considered. It is noted almost fourfold increase of environmental stress in following series: city parks → intra-quarter gardening → intra-urban recreational forests → old city public gardens → ordinary plantings → squares. The greatest attention is paid to the comparative analysis of tree-shrub species and plantations accumulation of heavy metals – the main markers of technogenic pollution of the urban environment. The correlation regularities in the accumulation of heavy metals by plants in the conditions of Vladivostok urban ecosystems were found out and the geochemical association of the main metal-pollutants was established: $Fe_{4.1} Zn_{2.0} Pb_{1.9} Cu_{1.4} Ni_{1.3}$. It is shown that the intensity of heavy metals transformation by green plantings increases 3 times in a ranked series: intra-urban recreational forest → city parks → old city public gardens → intra-quarter gardening → squares → ordinary plantings. On the basis of the conducted researches and attraction of the received earlier results the complex assessment of a functional condition of city green plantings is performed. For its practical solution the author offers the functional status index (IFS) of plantings as an integral indicator of ecological condition of vegetation and soils of green plantings, their ability of heavy metals transformation in the conditions of the urbanized environment. The high functional status of ordinary plantings and squares, caused mainly by the active accumulation of heavy metals by soils and plants, is noted. This index is one and a half times lower for old city gardens and intra-urban recreational forests. In conclusion, the author recommends using the obtained results in the organization of a rational system of urban landscaping and differentiated measures of care for plantations of various functional purposes.

Key words: urban greenery, green planting, arboriflora, heavy metals, accumulation of heavy metals by plants, functional state of green planting.