

Н.С. ШИХОВА

## Анализ функциональной эффективности зеленых насаждений в структуре городского озеленения Владивостока

Обобщены результаты многолетнего мониторинга зеленых насаждений Владивостока. Были обследованы растительность и почвы всех городских парков, большинства скверов, старых садов-скверов, аллеиных и рядовых посадок, 34 насаждений внутриквартального озеленения в разных районах города, 6 внутригородских рекреационных лесов. Дана качественная и количественная характеристика зеленых насаждений и озелененных городских территорий различного функционального назначения по комплексу эколого-биологических показателей. Сравниваются видовой состав арборифлоры, виталитет древостоя, качество почвенного покрова, интенсивность накопления тяжелых металлов почвами и растениями, а также напряженность антропогенно-техногенного пресса. Основной целью работы являлись системный анализ состояния зеленых насаждений и методическое обоснование интегральной оценки их функциональной значимости в системе городского озеленения. Была разработана оригинальная методика, в основу которой положен введенный автором сводный показатель – индекс функционального статуса насаждений. На его основе выполнена сравнительная оценка функциональной эффективности городских зеленых насаждений разного назначения. Установлен высокий функциональный статус рядовых посадок и скверов, обусловленный преимущественно активной трансформацией почвами и растениями тяжелых металлов. В 1,5 раза ниже этот показатель для внутригородских рекреационных лесов как следствие их бедного видового состава и низкого жизненного состояния древостоя, а также слабого накопления тяжелых металлов почвами и растениями. Результаты исследований могут служить научно-методической базой при разработке устойчивой структуры городского озеленения и организации рациональной системы мониторинга урбоэкосистем.

*Ключевые слова:* городское озеленение, типы зеленых насаждений, городская экология, антропогенно-техногенные нагрузки, тяжелые металлы, функциональная эффективность насаждений, квалиметрия.

**The analysis of functional significance of the urban plantings in Vladivostok landscape structure.**  
N.S. SHIKHOVA (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok).

*The article compiles the results of long-term monitoring of green plantings in Vladivostok city. The vegetation and soils of all city parks, most of squares, old gardens, alleys and ordinary plantings, 34 intra-quarter plantings in different parts of the city, 6 urban recreational forests were examined. The qualitative and quantitative characteristics of greenery and urban green areas of various functional purposes are given for a set of ecological and biological indicators. The species composition of arboriflora, the vitality of the stand, the quality of the soil cover, the intensity of accumulation of heavy metals by soils and plants, and the intensity of the anthropogenic-technogenic press are compared. The main purpose of the work was a systematic analysis of the state of green spaces and a methodological substantiation of the integral assessment of their functional significance in the urban greening system. An original methods was developed based on the summary indicator introduced by the author – the “functional status index (IFS) of plantings”. A comparative assessment of the functional effectiveness of urban plantings of various town planning function has been made on the basis of such index. The increased functional status of ordinary plantings and squares, caused mainly by the active transformation of heavy metals by soils and plants, was installed. This index is 1.5 times lower for intra-urban recreational forests and was the result of a few species composition, low vitality of woody species and poor*

ШИХОВА Нина Сергеевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток).  
E-mail: shikhova@biosoil.ru

*accumulation of heavy metals by soils and plants. The results of this research may serve as a scientific-methodological basis to creation of stability town plantings structure and organize the rational monitoring system of urban ecosystems.*

*Key words: urban landscaping, types of green planting, urban ecology, anthropogenic load, heavy metals, functional efficiency of urban plantings, qualimetry.*

## **Введение**

Урбанизация порождает множество экологических и социальных проблем, требующих решений комплексного характера и, как правило, больших капиталовложений. Одним из наиболее действенных и экономически выгодных путей оптимизации городской среды является создание структуры озеленения, эффективность которой определяется средостабилизирующей ролью растений и их способностью к аккумуляции загрязняющих веществ и ремедиации. Важным для городских растений и насаждений является выполнение, помимо санитарно-экологической, также эстетической функции, которая предполагает их высокий бонитет и хороший жизненный статус. Однако далеко не все виды и сообщества растений способны выдерживать повышенные антропогенно-техногенные нагрузки, присущие городским экосистемам, кроме того, зеленые насаждения как часть градостроительной структуры и экологического каркаса города должны в полной мере соответствовать потребностям различающихся по функциональному назначению внутригородских территорий. В связи с этим очень важными научными и практическими задачами ученых и ландшафтных архитекторов являются разработка рациональной системы зеленых насаждений в городе и создание научно обоснованного ассортиментного списка видов и сообществ растений, способных обеспечить комфортные условия проживания населения при устойчивом развитии городской инфраструктуры.

Цель настоящих исследований – обобщающий анализ результатов мониторинга зеленых насаждений Владивостока и разработка методики интегральной оценки эколого-биологического состояния типовых объектов городского зеленого строительства различного функционального назначения.

## **Район исследований**

Современный Владивосток – это крупный административный и промышленный центр Приморья и Дальнего Востока. Его площадь составляет около 56 тыс. га, численность населения – свыше 633 тыс. человек. Площадь зеленых насаждений общего пользования Владивостокского городского округа, куда входят и прилегающие островные территории, насчитывает 2410 га.

Планомерное озеленение Владивостока началось в 40-х годах XX в., когда были организованы новые парки, скверы и частично реконструированы старые, дореволюционные, городские посадки. В последующем были выполнены еще два этапа массовых озеленительных работ – в 50–60-е и 70–80-е годы, которые в основном и сформировали облик и основную композиционную структуру зеленых насаждений сегодняшнего Владивостока. Экологическая и политическая ситуация конца прошлого и начала нынешнего столетия негативно сказалась на решении актуальных проблем городского зеленого строительства: существенно сократилась площадь городских насаждений, ухудшился их эстетический вид и резко снизилось эколого-физиологическое состояние древесно-кустарниковых пород. Последнему особенно способствовал автомобильный бум конца 90-х годов, когда количество автомобилей на городских улицах увеличилось в 1,5–2 раза. К счастью, ситуация с городским озеленением начала изменяться к лучшему в связи с подготовкой к саммиту АТЭС, который прошел во Владивостоке в 2012 г. Была принята целевая программа «Сохранение и развитие зеленых насаждений города Владивостока на 2011–2015 годы»\*, на

---

\* <http://old.vlc.ru/docs/npa/36585/>

реализацию которой выделены значительные денежные средства. В ходе ее осуществления был облагорожен «гостевой маршрут», проведена реконструкция многих скверов и магистральных посадок, создан ряд новых зеленых насаждений.

Первый системный анализ объектов городского озеленения Владивостока был выполнен в начале 80-х годов прошлого столетия сотрудниками Ботанического сада ДВО АН СССР. Был, в частности, проанализирован видовой состав городских насаждений и предложен широкий список видов для внедрения в зеленое строительство [6]. По прошествии около 10 лет, уже сотрудниками лаборатории экологии и биологии леса БПИ ДВО РАН, были начаты экологические исследования зеленых насаждений Владивостока. Они преобразовались со временем в организованный нами комплексный экологический мониторинг озелененных территорий селитебной зоны г. Владивосток, продолжающийся по настоящее время. Наиболее массовые наблюдения относятся к 1995–2005 гг. По их результатам установлены флористический состав и количественное участие видов в структуре городского озеленения, проведена диагностика жизненного и возрастного состояния деревьев и кустарников, изучены особенности их роста и развития в условиях урбанизации [10, 13, 15]. Были также определены основные лесорастительные свойства городских почв, приоритетные металлы-загрязнители почв и растений озелененных территорий Владивостока [12, 14, 16].

### **Материалы и методы**

Основным объектом исследования служила растительность городских озелененных территорий разного функционального назначения – парков, садов, скверов, рядовых насаждений и внутриквартального озеленения, традиционно выделяемых в зеленом строительстве [4, 5]. Изыскательские работы выполнялись на 137 пробных площадях (пп), предназначенных для проведения многолетнего мониторинга состояния городских зеленых насаждений Владивостока. Была обследована растительность 3 городских парков, 16 типичных скверов, 8 старых садов-скверов, 34 насаждений внутриквартального озеленения, 44 рядовых насаждений улиц, включая посадки вдоль основных транспортных магистралей города. Старые сады-скверы, в отличие от типичных скверов, сформированы древесными растениями, частично сохранившимися от насаждений, заложенных в конце XIX в., а также высаженными в процессе ряда последующих реконструкций. Кроме того, были дополнительно выделены и обследованы 6 городских озелененных территорий, типизированных нами как внутригородские рекреационные леса (ВРЛ). Они представляют собою небольшие по площади «островные» участки сохранившихся по окраинам селитебной зоны природных лесов, основные массивы которых в настоящее время освоены под строительство. Выполненные работы позволили охватить исследованиями растительность всех городских парков, большинства скверов, старых садов-скверов, аллейных и рядовых посадок вдоль и вблизи основных транспортных магистралей города и в разной степени детальности – внутриквартальное озеленение практически всех жилых микрорайонов города. Следует заметить, что комплекс озелененных городских территорий, сформированный в связи с их различным функциональным назначением, являет собой для растений широкий экологический спектр местообитаний.

На каждой пробной площадке выполнялись комплексные эколого-биологические исследования в соответствии с методикой, разработанной нами для многокомпонентной (интегральной) оценки состояния растительности и почв в условиях антропогенно-техногенного пресса [9, 10]. Она включает: изучение флористического состава растительности, возрастного и жизненного состояния и габитуса деревьев и кустарников; учет видового состава и фитомассы травостоя; исследование физико-химических свойств почв; отбор проб растений и почв для последующего химического анализа; оценку антропогенно-техногенных нагрузок.

Жизненное и возрастное состояние видов и насаждений оценивалось визуальным методом, детально изложенным в монографии [10]. Пригодность почвенных условий к выращиванию на них древесно-кустарниковых насаждений определялась по сумме физико-химических параметров, включая кислотность, плотность сложения, воздухосодержание, естественную влажность и задерненность почвы [12, 16].

Интенсивность антропогенно-техногенных нагрузок, действующих на озелененные территории, оценивалась по густоте дорожно-тропиночной сети (процент встречаемости троп при пошаговом учете), степени задерненности и захламленности почвы (глазомерно, в процентах), количеству пешеходов и единиц транспорта (за 1 ч), перемещающихся по пробной площади или в непосредственной близости от нее. Учет автотранспортного и пешеходного потока выполнен в середине дня. Все полученные фактические данные были переведены в относительные балльные единицы, за 1 балл принимали средние для городских озелененных территорий показатели [16].

Для эколого-геохимического анализа в конце вегетационного сезона (до начала пожелтения листьев) отбирали ассимиляционные органы растений – листья и хвою деревьев и кустарников и надземную (укусную) массу трав для оценки ежегодного накопления химических элементов. Параллельно с растительным материалом отбирали смешанную (из 10 точек) пробу поверхностного горизонта почв (0–20 см). На содержание тяжелых металлов были взяты образцы листьев (хвои) 81 вида деревянистых растений (48 – деревья, 32 – кустарники, 1 – деревянистая лиана), что составляет 70 % общего установленного состава городской арборифлоры. В итоге было проанализировано около 1 тыс. фитопроб и 130 почвенных образцов, представляющих собой репрезентативный фактический материал для последующих научных исследований и обобщений.

Химический анализ проб выполнен в сертифицированных лабораториях ДВГИ и ТИГ ДВО РАН методом атомной абсорбционной спектроскопии (AAS) на спектрофотометре Shimadzu AA 6800 в кислотных вытяжках золы растений (после сухого озоления и растворения в 20%-й HCl) и сухого остатка почв, полученного методом разложения в смеси плавиковой и соляной кислот. Концентрацию металлов в растениях и почвах выражали в миллиграммах на килограмм сухого вещества.

Техногенное влияние урбанизированной среды на растительность и интенсивность загрязнения основного видового состава городских зеленых насаждений тяжелыми металлами оценивались с помощью коэффициента концентрации (Кк) загрязняющих веществ. Он рассчитан как отношение содержания металлов в растениях антропогенно-преобразованной среды к локально-фоновым уровням. В качестве локального экологического фона (ЛЭФ) выборочно были обследованы также природные насаждения лесопарковой зоны Владивостока (30 пп) – преимущественно вторичные дубовые леса из дуба монгольского (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), наиболее распространенные на лесной территории п-ова Муравьев-Амурский [11].

Расчет общего накопления основных металлов-загрязнителей городской растительности и почв выполнен с использованием суммарного показателя загрязнения (Zc):  $Zc = (\sum Kk) - (n - 1)$ , где Kk – коэффициенты концентрации  $>1$ , n – число накапливаемых элементов [7]. При расчете суммарного накопления учитывались лишь те металлы, у которых  $Kk \geq 1,2$ .

Для сравнительной количественной оценки интенсивности накопления металлов почвами и растениями рассматриваемых типов насаждений использовался коэффициент относительной интенсивности накопления металлов – ОИН. Он представляет собой отношение содержания металла в том или ином объекте исследований к его среднему содержанию в выборке.

Интенсивность накопления металлов почвами оценивалась по величине коэффициента биологического накопления (КБН), который показывает, во сколько раз содержание химического элемента в растении выше или ниже его содержания в почве.

Статистическая обработка аналитических данных осуществлена с использованием стандартных программ Microsoft Excel и Statistica 13.3.

### Результаты исследований

Выполненные нами ранее мониторинговые наблюдения позволили установить, что урбофитоценозы Владивостока формируются 115 видами деревьев и кустарников (аборигенные, интродуцированные и культурные сортовые растения). Доля аллохтонных видов в городском озеленении составляет 28,7 % [10]. Наибольшее видовое разнообразие установлено для внутриквартального озеленения – 93 вида, что составляет 81 % от общего состава городской арборифлоры. Более чем в 2 раза беднее состав древесно-кустарниковых видов во внутригородских лесах – 40 видов, или 35 % их общего списка. Интересно отметить, что во внутриквартальном озеленении доминируют редко встречающиеся виды (59 % состава; абсолютная встречаемость на пробных площадях менее 5 %) и средне-насыщенные насаждения, образованные преимущественно 9 видами (30 % насаждений). В противоположность этому во ВРЛ преобладают виды широкого в городе распространения (35 % состава, абсолютная встречаемость более 25 %), и более половины их насаждений характеризуются большим видовым разнообразием (свыше 10 видов в насаждении). Повсеместное распространение в городских насаждениях, но с разным участием, имеют 19 видов. Это в основном древесные породы-доминанты и эдификаторы зональных типов леса: ясени маньчжурский и носолистный (*Fraxinus mandshurica* Rupr., *F. rhynchophylla* Hance), липа амурская (*Tilia amurensis* Rupr.), дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), ильм японский (*Ulmus japonica* (Rehd.) Mayr), клен моно (*Acer mono* Maxim.) и др. Большинство из этих деревьев, хотя и встречаются во всех типах насаждений, но преимущественно формируют уличные рядовые и аллеи насаждения. Повсеместно же распространены красивоцветущие кустарники – лигустрина (*Ligustrina amurensis* Rupr.), чубушник (*Philadelphus tenuifolius* Ropr. et Maxim.) и свидина (*Swida alba* (L.) Opiz), максимально представленные во внутриквартальном озеленении. Невысоким видовым разнообразием характеризуются и самые значимые городские объекты озеленения – парки: в них произрастает 73 вида деревьев и кустарников, или 63,5 % общего состава городской дендрофлоры.

Наиболее близкий видовой состав установлен для рядовых насаждений, внутриквартального озеленения и скверов, которые представляют собою типичные искусственные городские посадки. Достаточно близки по видовому составу также парки и ВРЛ, растительность которых сформирована на основе природных лесных фитоценозов.

Городские насаждения в порядке убывания видового разнообразия располагаются следующим образом: внутриквартальное озеленение (93 вида) → рядовые насаждения улиц (84) → скверы (74) → парки (73) → старые сады-скверы (51) → внутригородские рекреационные леса (40 видов). Из приведенных данных следует, что видовое разнообразие от внутриквартальных посадок до ВРЛ снижается более чем вдвое.

Древесные и кустарниковые виды проявляют неодинаковую устойчивость к комплексному воздействию факторов городской среды, что нашло отражение в существенном размахе варьирования показателя их жизненного состояния: от 23 до 70 % у деревьев и от 33 до 100 % у кустарников [10]. Установлено, что отрицательное влияние городской среды в той или иной мере испытывают все городские популяции древесных видов, о чем свидетельствует отсутствие у них категории здоровых растений. Согласно полученным данным, проанализированные древесные породы (58 видов) относятся к двум категориям жизненного состояния (КС), отражающим разную степень ослабленности растений: 71 % – III КС (сильно поврежденные, сильно ослабленные) и 29 % – II КС (слабо поврежденные, умеренно ослабленные). У кустарников размах варьирования жизненного состояния почти в полтора раза больше по сравнению с древесными породами, а виталитет растений

несколько выше. У них (57 видов) зафиксировано три категории жизненного состояния: здоровые (I КС), умеренно (II КС) и сильно (III КС) ослабленные – 5, 60 и 35 % видового состава соответственно.

Сравнительный анализ жизнеспособности древесных пород с различной степенью встречаемости в городских посадках показал, что редко встречаемым видам, как правило, свойствен высокий статус жизненности, в то время как у пород с умеренной и частой встречаемостью наблюдается во многих случаях сильное повреждение. Это, на наш взгляд, объясняется тем, что редкие в городе древесные породы произрастают преимущественно во внутриквартальном озеленении и парках, где условия для роста растений относительно благоприятные. К тому же в их составе много интродуцентов, для которых нет специализированных вредителей и болезней как в районах происхождения. Среди кустарников здоровые виды и насаждения присутствуют лишь в насаждениях улиц и старых садов, причем в последних весьма значимо – 27 % видового состава. Слабо поврежденные виды доминируют в насаждениях улиц, скверов и парков. Более чем на половину состава образованы ими также ВРЛ и внутриквартальное озеленение. Для сравнения заметим, что в условиях ЛЭФ (природные фитоценозы) виды, представленные слабо поврежденными растениями, составляют абсолютное большинство – 89 % состава.

Интересно также, что рассчитанные средние арифметические показатели виталитета для сравниваемых типов насаждений наиболее стабильны по сравнению с остальными параметрами, используемыми при расчете индекса функционального статуса (ИФС) насаждений. Жизненное состояние насаждений незначительно снижается (примерно в 1,4 раза) от умеренно до сильно ослабленного в ряду: скверы (индекс состояния = 54,0 %) → внутриквартальное озеленение (50,2) → парки (46,6) → сады-скверы (46,0) → рядовые насаждения улиц (43,1) → ВРЛ (39,5 %).

Относительные значения показателей антропогенно-техногенных нагрузок, испытываемых городскими озелененными территориями, приведены в табл. 1. Они свидетельствуют о 4-кратном возрастании экологической напряженности и рекреационного пресса на зеленые насаждения и почву в следующем прогрессирующем ряду: городские парки → внутриквартальное озеленение → внутригородские рекреационные леса → 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.

Таблица 1

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

Тип насаждений	Пешеходный поток	Транспортный поток	Густота дорожно-тропиночной сети	Обнаженность 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
В среднем по городу	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0

Полученные в работе данные вполне совпадают с результатами выполненных нами ранее исследований по физико-химическим особенностям почв озелененных территорий Владивостока [12]. Ими, 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 существенное ухудшение (более чем в 2,5 раза) лесорастительных свойств почв озелененных городских территорий в ряду: городские парки → ВРЛ → старые сады → скверы → внутриквартальное озеленение → рядовые насаждения.

Негативное воздействие процессов урбанизации на городскую растительность наиболее ярко отражается в накоплении растениями тяжелых металлов – объективных маркеров техногенного загрязнения среды (табл. 2, 3).

Таблица 2

**Среднее содержание тяжелых металлов (мг/кг сухого вещества) в листьях древесно-кустарниковых растений типовой структуры городского озеленения Владивостока**

Тип насаждений	Число видов/проб	Pb	Ni	Co	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe
Рядовые	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	81/603	11,45	2,61	1,37	0,95	64,02	8,56	137	565
ЛЭФ [11]	78/294	6,08	2,07	1,42	0,91	30,40	6,20	149	138

Таблица 3

**Среднее содержание тяжелых металлов (мг/кг сухого вещества) в укосном травостое типовой структуры городского озеленения Владивостока**

Тип насаждений	Число проб	Pb	Ni	Co	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe
Рядовые	26	8,30	2,95	1,35	0,48	56,11	7,95	52,4	499
Внутриквартальное озеленение	26	8,44	2,67	1,51	0,46	62,49	7,21	54,1	487
Скверы	12	12,37	2,74	1,65	0,55	96,34	8,37	60,4	518
Старые сады-скверы	10	9,25	3,22	1,54	0,78	62,81	8,51	55,9	556
Городские парки	15	13,36	3,35	1,26	0,65	56,66	8,87	74,7	782
ВРЛ	4	9,31	3,53	1,03	0,64	45,01	8,78	77,7	520
В целом	93	9,66	2,96	1,43	0,54	62,16	8,04	59,0	538
ЛЭФ [11]	14	6,13	3,19	1,04	1,03	36,01	6,37	101,9	208

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. Низкие содержания большинства металлов (за исключением Mn) установлены в растениях внутригородских рекреационных лесов и парков. Анализ рассчитанных значений ОИН металлов показал повышенную (в 1,3–1,5 раза) относительно городских фоновых содержаний аккумуляцию листьями древесно-кустарниковых растений Fe и Zn в рядовых посадках, а также Pb, Mn и Fe в скверах. Травянистые же растения отличаются более высокой концентрацией Zn в скверах, Cd – в садах, Fe и Pb – в парках, Mn – во внутригородских рекреационных лесах.

На основе показателя коэффициента концентрации (Кк) металлов, количественно характеризующего интенсивность накопления тяжелых металлов относительно ЛЭФ, были

установлены ассоциации основных металлов-загрязнителей зеленых насаждений Владивостока:  $\{Fe_{4,1} Zn_{2,1} Pb_{1,9} Cu_{1,4} Ni_{1,3}\}$  – для древесно-кустарниковых видов и  $\{Fe_{2,6} Zn_{1,8} Pb_{1,6} Co_{1,4} Cu_{1,3}\}$  – для травостоя. Их суммарное накопление ( $Zc$ ) в среднем по городским насаждениям составляет для древесно-кустарниковых растений 6,7 относительных единиц, для травянистых – почти в 1,5 раза ниже, т.е. 4,6 отн. ед. Это объясняется в основном разным периодом накопления химических элементов: травостой во многих насаждениях (особенно в типичных городских посадках) периодически выкашивается, а листья деревьев и кустарников накапливают элементы в течение всего вегетационного сезона. Как показали наши исследования, накопление металлов-загрязнителей зависит также от местообитаний растений в урбанизированной среде. Оно возрастает у древесно-кустарниковых насаждений в 3 раза в ряду: ВРЛ ( $Zc = 3,0$ ) → парки (4,2) → сады-скверы (4,4) → внутриквартальное озеленение (6,6) → скверы (8,9) → рядовые насаждения (9,3). У травянистых растений предельные значения  $Zc$  менее контрастны (1,7 раза), а насаждения в зависимости от интенсивности накопления металлов образуют следующий ранжированный ряд: ВРЛ ( $Zc = 3,2$ ) → рядовые насаждения (3,4) → внутриквартальное озеленение (3,5) → сады-скверы (4,2) → скверы (5,4) → парки (5,5).

Для почв, судя по полученным ранее данным [16], накопление приоритетных металлов-загрязнителей среды также возрастает в 3,4 раза от парковых растительных сообществ к рядовым насаждениям: парки ( $Zc = 4,0$ ) → сады-скверы (6,0) → ВРЛ (6,2) → скверы (8,2) → внутриквартальное озеленение (10,1) → рядовые насаждения (13,4).

Важным показателем миграции элементов, характеризующим баланс элементов в системе почва–растение, является коэффициент биологического накопления. Судя по полученным данным, городская растительность весьма слабо накапливает металлы из почвы. Среднестатистические значения КБН изменяются от 0,02 (Fe) до 0,30 (Zn, Cd) у древесно-кустарниковых видов, формирующих городские насаждения Владивостока, и от 0,01 (Fe) до 0,29 (Zn) – у травостоя. Его повышенные значения (до 0,22) отмечены также для Cu у обеих сравниваемых жизненных форм растений, а также для Mn у древесных видов. У древесно-кустарниковых и травянистых растений оказались сходными как суммарное накопление 8 протестированных металлов по величинам КБН, так и характер этого накопления по типам насаждений. КБН суммы металлов возрастает у древесно-кустарниковых насаждений в ряду: рядовые посадки (КБН = 1,13) → внутриквартальное озеленение (1,21) → сады-скверы (1,29) → ВРЛ (1,30) → скверы (1,60) → городские парки (1,87), а у травостоя в ряду: рядовые посадки (КБН = 0,81) → внутриквартальное озеленение (0,90) → скверы (1,34) → ВРЛ (1,36) → сады-скверы (1,42) → парки (1,74).

Обобщение полученных результатов свидетельствует о достаточно высокой специфичности экологических и функциональных составляющих жизнедеятельности сравниваемых типов насаждений. Так, озелененные городские территории, занятые рядовыми насаждениями (преимущественно магистральные рядовые посадки), подвержены повышенным антропогенно-техногенным нагрузкам, что в значительной степени обуславливает высокое загрязнение металлами почв и древесно-кустарниковых растений, пониженное жизненное состояние травостоя и значительное ухудшение лесорастительных качеств почвы. Самые высокие антропогенно-техногенные нагрузки испытывают скверы. Для них также отмечена высокая концентрация металлов в растениях, в том числе основных загрязнителей городской среды, и повышенное накопление металлов древесно-кустарниковыми видами из почвы. На городских территориях, занятых внутриквартальным озеленением, зафиксировано существенное снижение качества почв по сравнению с ЛЭФ. В то же время для них характерен самый богатый видовой состав деревьев и кустарников, умеренно ослабленный виталитет травостоя, невысокое содержание металлов в травянистой растительности, низкие значения КБН металлов как у древесно-кустарниковых, так и травянистых растений. Парковые растительные сообщества отличаются хорошим соответствием почв природным аналогам по основным физико-химическим свойствам, низким содержанием в почвах комплекса основных металлов-загрязнителей, но в то же время



высокой аккумуляцией металлов травянистой растительностью и повышенным накоплением растениями металлов из почвенного покрова. Для внутригородских рекреационных лесов установлено минимальное среди сравниваемых насаждений содержание основных металлов-загрязнителей в растительности и невысокие относительные содержания металлов в древесно-кустарниковых растениях и почвах. В то же время для них характерны самый бедный среди сравниваемых насаждений видовой состав арборифлоры и низкий жизненный статус древостоя. Насаждения старых садов занимают по всем сравниваемым эколого-биологическим параметрам среднее положение.

Интересно отметить, что самыми контрастными являются ранжированные ряды, отражающие воздействие антропогенно-техногенного пресса на озелененные территории (разница между крайними значениями составляет 3,9 раз), а также характеризующие концентрацию основных металлов-загрязнителей в почвах (3,4) и древесно-кустарниковых растениях (3,1). Наиболее стабильные значения показателей присущи рядам, отражающим лесорастительные качества почв (1,4), виталитет древостоя (1,4) и суммарное относительное накопление металлов травянистой растительностью (1,3).

### Обсуждение

Анализ и осмысление полученного большого фактического материала, выполненные с использованием методов математической статистики, позволили установить ряд закономерностей в экологическом состоянии и функциональной эффективности объектов наших исследований.

Несмотря на то что малая статистическая выборка (6 сравниваемых типов насаждений) не позволила обнаружить значимых ( $P = 0,95$ ) корреляционных зависимостей между озелененными городскими территориями различного назначения, выполненный анализ показал тесные связи между суммарным накоплением металлов-загрязнителей городской среды в древесно-кустарниковых растениях, с одной стороны, и накоплением металлов в почвах ( $r = 0,80$ ), напряженностью антропогенно-техногенного пресса ( $r = 0,76$ ), видовым разнообразием насаждений ( $r = 0,72$ ) – с другой (табл. 4). Установлены высокие отрицательные взаимозависимости также между лесорастительными свойствами почв и суммой накапливаемых арборифлорой металлов ( $r = -0,71$ ) и уровнем антропогенно-техногенных нагрузок ( $r = -0,79$ ).

Таблица 4

**Корреляционная матрица парных взаимосвязей параметров эколого-биологического состояния зеленых насаждений Владивостока**

Параметры		1	2	3	4	5	6	7
1	Zс древесно-кустарниковых видов	1						
2	Zс травянистых растений	0,08	1					
3	Zс почвы	0,80	-0,52	1				
4	Антропогенно-техногенные нагрузки	0,76	0,26	0,44	1			
5	Видовое разнообразие	0,72	0,12	0,60	0,15	1		
6	Жизненное состояние	0,51	0,63	0,05	0,41	0,56	1	
7	Лесорастительные свойства почв	-0,71	0,20	-0,65	-0,79	-0,17	-0,37	1

По итогам анализа компонент были выделены две главные, описывающие совокупно 80 % дисперсии (табл. 5). В первую компоненту входят суммарное накопление металлов-загрязнителей почвами и древесно-кустарниковыми видами, видовое разнообразие арборифлоры, формирующей городские насаждения, а также лесорастительные качества почв, причем с отрицательным знаком. Выделенные переменные характеризуют преимущественно экологическое состояние городских озелененных территорий в целом и в первую

очередь условия существования арборифлоры. Вторая компонента включает две значимые переменные – накопление металлов-загрязнителей травянистыми растениями и жизненное состояние древесно-кустарниковых насаждений. Это позволяет интерпретировать первый фактор как определяющий в большей степени эколого-биологический статус древесно-кустарниковых, а второй – травянистых растений в городских насаждениях.

Таблица 5  
**Результаты факторного анализа показателей экологического состояния городских озелененных территорий Владивостока**

Переменные	Факторные нагрузки*	
	Фактор 1	Фактор 2
Zс древесно-кустарниковых растений	<b>0,911</b>	0,333
Zс травянистых растений	-0,281	<b>0,956</b>
Zс почвы	<b>0,938</b>	-0,281
Антропогенно-техногенные нагрузки	0,580	0,432
Видовое разнообразие	<b>0,703</b>	0,322
Жизненное состояние насаждений	0,382	<b>0,805</b>
Лесорастительные свойства почв	<b>-0,815</b>	0,360
Общая дисперсия	3,430	2,172
Доля общей дисперсии	0,490	0,310

\*Применено varimax-вращение.

Сходство 6 различных по функциональному назначению городских насаждений было установлено с использованием кластерного анализа (метод одиночной связи, евклидово расстояние). Дендрограмма сходства приведена на рис. 1. Она свидетельствует о наиболее тесной связи между внутригородскими рекреационными лесами и старыми садами. Близкими по комплексу рассматриваемых эколого-биологических характеристик оказались также рядовые насаждения и внутриквартальное озеленение, скверы и городские парки, объединившиеся в кластер типичных городских насаждений.

Итоговое обобщение полученных качественных и количественных характеристик объектов исследований потребовало поиска новых подходов и методов комплексной оценки уровня их качества. В результате была разработана оригинальная методика для

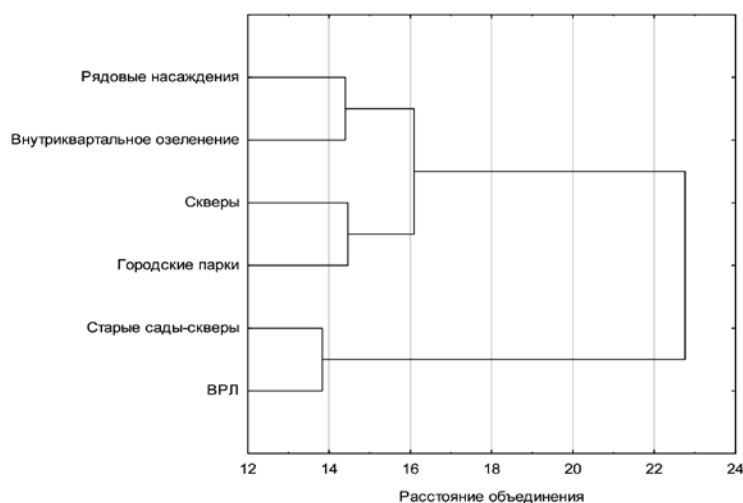


Рис. 1. Дендрограмма сходства городских зеленых насаждений по показателям эколого-биологического состояния (метод одиночной связи, евклидово расстояние)

интегральной оценки и сравнения функциональной эффективности городских зеленых насаждений разного назначения. В ее основу был положен введенный нами сводный показатель – индекс функционального статуса (ИФС) насаждений. Он представляет собой интегральный относительно-количественный показатель экологического состояния и эффективности выполнения средостабилизирующих и средообразующих (экологических, декоративных, санитарно-гигиенических и др.) функций зеленых насаждений. Функциональное состояние насаждений оценивалось по сумме следующих базовых эколого-биологических показателей: богатству видового состава насаждений и жизненному статусу древостоя [10]; способности растений накапливать и вовлекать в биогенную миграцию металлы-загрязнители городской среды (ОИН металлов, Zc основных металлов-загрязнителей городской растительности, КБН); физико-химическим свойствам почв, характеризующим почвенные лесорастительные условия, и интенсивности накопления почвами комплекса металлов-загрязнителей городской среды [12, 16]. Условно было принято положение о примерно одинаковой биологической значимости всех показателей, формирующих «дерево свойств» (в данном случае – величину ИФС насаждений). Параллельно с базовыми показателями учитывался уровень антропогенно-техногенного пресса, воздействующего на озелененные территории.

При разработке ИФС насаждений были использованы некоторые подходы и методы прикладной квалиметрии [2, 3]. Примеры их успешного применения в биологических и экологических исследованиях имеются в научной литературе [1, 8].

Согласно принятой методике все показатели, характеризующие качественное состояние насаждений, выраженные в абсолютных единицах, были переведены в относительные безразмерные единицы, или коэффициенты качества ( $K_i$ ), следующей нормирующей функцией:  $K_i = (Q_i - Q_i^{min}) / (Q_i^{opt} - Q_i^{min})$ , где  $Q_i$  – качественный показатель насаждения в абсолютных единицах,  $Q_i^{min}$  и  $Q_i^{opt}$  – его минимальные и оптимальные значения.

Для большинства сравниваемых показателей в качестве эталонных значений были приняты оптимальные и минимальные для города содержания. Исключением являлись оценочные показатели лесорастительных свойств почв и накопления почвами и растениями приоритетных металлов-загрязнителей городской среды, при расчете которых в качестве эталонных были использованы их локально-фоновые уровни. В дальнейшем на основе полученных качественных характеристик была выполнена количественная оценка качества городских зеленых насаждений, соответствующая индексу функционального статуса насаждений, по формуле:  $ИФС = \sum_{i=1}^n K_i$ .

Результаты интегрального метода оценки качества городских озелененных территорий представлены на рис. 2. Они отражают величины ИФС сравниваемых городских насаждений и формирующие их весовые вклады базовых эколого-биологических показателей, а также относительные значения антропогенно-техногенного пресса, воздействующего на городские озелененные территории.

Наиболее высокие значения ИФС отмечены у скверовых и рядовых насаждений. В первых они во многом обусловлены интенсивной аккумуляцией тяжелых металлов растительностью, во вторых – повышенным содержанием металлов-загрязнителей в почвах. Для внутриквартального озеленения наибольший вес в интегральном показателе имеют качество почв, в том числе содержание в них тяжелых металлов, содержание металлов в древесно-кустарниковых видах, а также богатый видовой состав этих насаждений. Для городских парков и старых садов наиболее весомыми параметрами являются содержание металлов в травостое, для ВРЛ – содержание металлов в травостое и лесорастительные качества почвенного покрова.

Минимальное значение ИФС установлено для ВРЛ, которое почти в 1,5 раза ниже функциональной значимости скверовых и рядовых посадок. Для этого типа насаждений характерны наименьшее среди сравниваемых посадок разнообразие арборифлоры и самый низкий ее виталитет, соответствующий сильно ослабленным насаждениям, а также слабая аккумуляция металлов растительностью и почвами. Причинами этого являются

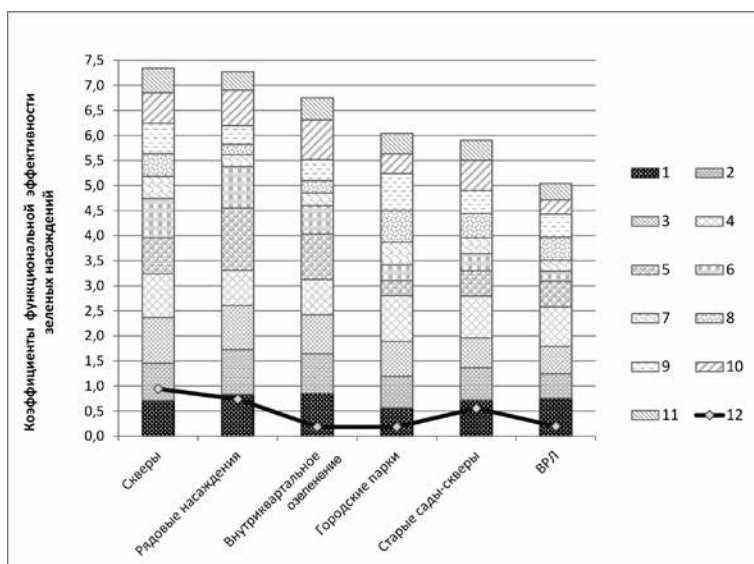


Рис. 2. Сравнительная оценка эколого-функционального состояния городских зеленых насаждений Владивостока

1 – лесорастительные свойства почв; 2 – ОИН металлов в почве; 3 – ОИН металлов в древесно-кустарниковых растениях; 4 – ОИН металлов в травянистых растениях; 5 – Zс металлов-загрязнителей в городских почвах; 6 – Zс металлов-загрязнителей в древесно-кустарниковых растениях; 7 – Zс металлов-загрязнителей в укосном травостое; 8 – КБН металлов древесно-кустарниковыми растениями; 9 – КБН накопления металлов травянистыми растениями; 10 – богатство видового состава арборифлоры; 11 – средний жизненный статус древостоя; 12 – интенсивность антропогенно-техногенного пресса

практически полное отсутствие мер ухода за этими растительными сообществами и слабое естественное возобновление древостоя и кустарников. В то же время, располагаясь по окраинам городской черты, они в меньшей степени подвержены техногенному химическому загрязнению, характерному для урбоэкосистем.

Графические данные рис. 2 наглядно свидетельствуют также о том, что прямой зависимости между функциональным состоянием насаждений и уровнем воздействующих на них антропогенно-техногенных нагрузок не наблюдается. Повышенный антропогенно-техногенный пресс испытывают озелененные территории, занятые скверами, магистральными рядовыми насаждениями и старыми садами. Соотношение между комплексным показателем функционального состояния этих насаждений и уровнем воздействующего на них антропогенно-техногенного пресса, характеризующее в той или иной мере степень экологического неблагополучия озелененных городских территорий, составляет в данном случае 0,10–0,13, что примерно в 3–4 раза выше соответствующей величины для ВРЛ, парков и внутриквартального озеленения.

## Выводы

Проведенные исследования позволили качественно и количественно оценить состояние городских озелененных территорий различного функционального назначения во Владивостоке и выявить наиболее значимые эколого-биологические факторы, определяющие в итоге функциональную эффективность городских насаждений.

Разработанная методика дает возможность проводить интегральную оценку качества объектов городского озеленения на основе комплекса базовых эколого-биологических

показателей (коэффициентов качества) и определять наиболее значимые из них для каждого типового насаждения.

Полученные результаты могут успешно использоваться при организации длительного мониторинга городских экосистем и динамических наблюдений за экологическим состоянием их биотических компонентов. Они также убедительно доказывают необходимость научно обоснованного подхода при создании устойчивой системы городских зеленых насаждений и внедрении дифференцированных и адекватных мер ухода за озелененными городскими территориями различного функционального назначения.

Особое внимание необходимо обратить на внутригородские рекреационные леса. В последнее время именно эти городские зеленые «острова» интенсивно отводятся под жилищное строительство. Рекомендуем соответствующим органам включить их в реестр городских озелененных территорий, выполнить на этих территориях необходимые лесохозяйственные мероприятия, провести реконструкцию насаждений и создать на их основе городские парки районного значения, которых так не хватает Владивостоку.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеева Е.В., Полетайкин В.Ф., Авдеева Е.А. Оценка уровня качества объектов городского озеленения методами прикладной квалитметрии // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 1/2. С. 93–98.
2. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалитметрии. М.: Изд-во стандартов, 1973. 172 с.
3. Гличев А.В., Панов В.П., Азгальдов Г.Г. Что такое качество? М.: Экономика, 1968. 135 с.
4. 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 г.].
5. Озеленение городов. Термины и определения. М.: Прима-Пресс, 1998. 26 с.
6. Озеленение городов Приморского края. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. 516 с.
7. Саев Ю.Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. С. 84–100.
8. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука, 2005. 339 с.
9. Шихова Н.С. Биогеохимическая оценка состояния городской среды // Экология. 1997. № 2. С. 146–149.
10. Шихова Н.С., Полякова Е.В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 236 с.
11. Шихова Н.С. Комплексная оценка состояния лесов зеленой зоны Владивостока // Лесоведение. 2015. № 6. С. 436–446.
12. Шихова Н.С. Мониторинг физического состояния городских почв в связи с проблемами озеленения // Сибир. экол. журн. 2005. № 5. С. 899–907.
13. Шихова Н.С. Мониторинг экологического состояния придорожных насаждений г. Владивостока // Вестн. ИрГСХА. 2011. № 44-2. С. 158–165.
14. Шихова Н.С. Трансформация дальневосточной арборифлорой техногенных загрязнений среды // Аграр. вестн. Приморья. 2016. № 1. С. 29–32.
15. Шихова Н.С. Экологическое состояние парковых фитоценозов г. Владивостока: опыт комплексной оценки // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 4. С. 97–106.
16. Шихова Н.С. Экологическое состояние почв и зеленых насаждений Владивостока // Экология урбанизированных территорий. 2013. № 1. С. 97–102.