

УДК 581.5:[630*135.8+712.4](571.63)

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ ВИДОВ В ГОРОДСКОМ ОЗЕЛЕНЕНИИ НА ПРИМЕРЕ ВЛАДИВОСТОКА

© 2023 г. Н. С. Шихова*

ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
проспект 100-летия Владивостока, д. 159, Владивосток, 690022 Россия

*E-mail: shikhova@biosoil.ru

Поступила в редакцию 23.04.2021 г.

После доработки 01.03.2022 г.

Принята к публикации 07.06.2022 г.

В статье обсуждаются результаты комплексного анализа экологического состояния и средостабилизирующих функций видового состава арборифлоры в структуре городского озеленения. В основу работы положен большой фактический материал, полученный в ходе многолетнего мониторинга зеленых насаждений г. Владивостока. Разработано методическое обеспечение качественно-количественной оценки видов с использованием методов прикладной квалитметрии. В качестве единицы оценки предложен интегральный показатель — коэффициент функциональной эффективности вида (КФЭВ) в озеленении. Он представляет собой относительно-количественный показатель качества, определяемый по совокупности ряда эколого-биологических и санитарно-гигиенических свойств растений: распространенности в озеленении, жизненного статуса, способности к аккумуляции приоритетных металлов-загрязнителей в городской среде, их концентрации относительно локального экологического фона, интенсивности накопления металлов из почвы. На основе предложенного коэффициента выполнен сравнительный анализ функциональной эффективности 80 видов деревьев и кустарников, формирующих городские насаждения Владивостока. В сравнимой выборке растений КФЭВ снижается от 3.70 у боярышника перистонадрезанного (*Crataegus pinnatifida*) до 1.13 у яблони маньчжурской (*Malus mandshurica*). Эти показатели соответствуют 74 и 23% принятого стандарта качества (СК) видов. Выделены группы видов разной функциональной значимости в городском озеленении. Наибольшую эффективность в создании комфортных для проживания горожан условий среды показали виды широкого распространения в зеленых насаждениях: ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica*), вяз японский (*Ulmus japonica*), берёза плосколистная (*Betula platyphylla*), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolia*) и др. Для них характерно как максимальное участие в формировании структуры городского озеленения, так и высокая способность к поглощению основных металлов-загрязнителей городской среды. КФЭВ этих видов находится в пределах 3.26–2.61, что соответствует 65–52% СК. В заключении даны предложения по рациональному использованию видов в формировании комфортной городской среды и внедрению полученных результатов в практику управления городским зеленым фондом.

Ключевые слова: городское озеленение, городские зеленые насаждения, арборифлора, комплексная оценка, экологические функции растений, функциональная эффективность растений, качество объектов озеленения, методы прикладной квалитметрии.

DOI: 10.31857/S0024114823030105, EDN: PXCGHW

Возрастающая численность мегаполисов и урбанизированных территорий, рост городского населения стимулирует научный и практический интерес к вопросам рациональной организации городского пространства, в том числе городского жилищного строительства и общественного озеленения, призванного обеспечивать оптимальные условия проживания населения. Это вполне закономерно, так как зеленые насаждения городов являются основным средостабилизирующим фактором, формирующим оптимальные каче-

ственные условия городской среды, эстетичные и комфортные для проживания человека. Со временем изменяются и приоритеты подобных исследований. В конце 20–начале 21 столетий максимальное внимание ученых-урбанистов было обращено на количественную и качественную оценку биоты и почв городских территорий, способность биогенных компонентов к трансформации загрязняющих веществ, их устойчивость в условиях экологического неблагополучия, а также поиск адекватных индикаторов состояния го-

родской среды. В настоящее время отмечается возрастающий научный интерес к комплексному анализу городских зеленых территорий или “открытых зеленых пространств” по терминологии ряда зарубежных ученых, поиску путей повышения социально-экологической ценности зеленых насаждений (Jankevica, 2012; Niemelä, 2014; Aliman et al., 2017). Возникла необходимость многомерной оценки зеленых насаждений и междисциплинарных исследований общих проблем городских озелененных территорий (James et al., 2009; Daniels et al., 2018). Наблюдается постоянное совершенствование методов экономической оценки экосистемных функций и услуг зеленых насаждений для городских территорий, а также планирования городского пространства и управления им на основе комплексного экологического, эстетического и социального подхода (Ridder et al., 2004; Ives et al., 2014; Dennis, James, 2016). В то же время база доступных литературных источников свидетельствует об отсутствии в настоящее время единых методических подходов при комплексной оценке объектов городского озеленения. В работах отечественных (Уфимцева, Терехина, 2005; Авдеева с соавт., 2008, 2015а, 2015б; Федорова, 2011; Скачкова, Копалина, 2018; Шихова, 2019) и ряда зарубежных (Jankevica, 2012; Ives et al., 2014; и др.) авторов представлен широкий спектр экспертных оценок качества, комфортности, ценности объектов городского озеленения и авторских методических обеспечений этих исследований. Обращает на себя внимание также тот факт, что в большинстве случаев объектами экспертиз являются либо целостные структурные единицы городского озеленения (парки, скверы, сады и др.) (Daniels et al., 2018), либо “открытые зеленые пространства” (Jankevica, 2012; Aliman et al., 2017; Ives et al., 2014; и др.). Гораздо реже методики качественной оценки объектов озеленения основываются на показателях состояния основных структурных единиц зеленых насаждений и озелененных территорий — деревьев, кустарников, травяного покрова, почвы или включают их (Уфимцева, Терехина, 2005; Федорова, 2011; Шихова, 2019).

Выполненные нами ранее исследования по оценке состояния растительности и почв г. Владивостока показали высокую значимость и актуальность проблем рационализации его городского зеленого хозяйства и строительства, а также совершенствования системы территориальной планировки для более комфортного проживания населения. Так, проведенное экологическое зонирование городских зеленых насаждений показало, что 65% их площади соответствуют удовлетворительным, 10% — плохим и лишь 25% — хорошим условиям для роста и развития древесных насаждений. К тому же при достаточно высоком разнообразии арборифлоры (115 видов деревьев, кустарников и деревянистых лиан), формирую-

щей городские насаждения, широкое распространение и высокое обилие в озеленении имеют лишь 6–7 видов. Диагностика жизненного состояния растений позволила установить разной степени ослабление жизненности у большинства ассортимента списка видов (Шихова, Полякова, 2006). Это, по нашему мнению, во многом обусловлено тем, что городская растительность сильно подвержена загрязнению тяжелыми металлами, преимущественно Pb, Ni, Zn, Cu, Fe, содержание которых от 1.5 (Ni) до 4 (Fe) раз превышает фоновые уровни (Шихова, 2015). Исследования лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский позволили установить высокую эколого-геохимическую специализацию дальневосточной арборифлоры и выполнить её межвидовую дифференциацию по интенсивности накопления тяжелых металлов в природных локально-фоновых условиях (Шихова, 2015, 2017).

Целью настоящей работы являлись комплексный анализ функциональной и экологической эффективности арборифлоры, формирующей городские зеленые насаждения, и методическое обеспечение интегральной оценки качества её видового состава для повышения комфортности городской среды.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

В основу работы положен имеющийся фактический материал, полученный нами ранее в результате многолетнего мониторинга растительности и почв озелененных территорий г. Владивостока (Шихова, Полякова, 2006; Шихова, 2013 и др.). Он включает результаты обследования растительности всех городских парков и садов, большинства скверов, 44 аллей, бульваров и рядовых посадок вдоль основных транспортных магистралей города. Исследованиями разной степени детальности были охвачены также объекты внутриквартального озеленения во всех жилых микрорайонах города и 6 внутригородских рекреационных лесов. В ходе мониторинга было заложено 175 пробных площадей (500 м²) и 650 маршрутных учетных площадок для дополнительного ленточного обследования насаждений, выполнена диагностика возрастного и жизненного состояния более 20 тысяч особей деревьев и кустарников, отобрано и проанализировано на содержание тяжелых металлов около 650 проб растений и 300 проб почв. Были использованы также результаты комплексных исследований лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский, как локального экологического фона (ЛЭФ) для городских зеленых насаждений (Шихова, 2015, 2017). Непосредственным объектом настоящей работы служил видовой состав арборифлоры, формирующей озеленение г. Владивостока. Сравнимая выборка включает 80 видов деревьев и кустарников, в том числе 66 аборигенных видов и 14 адвен-

тивных видов, введенных в культуру. Для оценки их качественного состояния и функциональной значимости в городских насаждениях нами был введен “коэффициент функциональной эффективности вида” (КФЭВ) в озеленении. Он представляет собой интегральный относительно-количественный показатель качества, определяемый по совокупности эколого-биологических и санитарно-гигиенических функциональных свойств растений. Расчет КФЭВ был выполнен с использованием некоторых приемов и методов прикладной квалитрии (Азгальдов и др., 1968; Азгальдов, Райхман, 1973). Судя по доступным литературным источникам, квалитрия, разрабатывающая теоретические основы и методологию комплексной оценки качества объектов, постепенно внедряется и в биологические исследования. Так, отдельные приемы и методы квалитрии были успешно использованы рядом ученых при оценке состояния и качества городских зеленых насаждений (Уфимцева, Терехина, 2005; Авдеева и др., 2008, 2015; Федорова, 2011; Скачкова, Копалина, 2018; Шихова, 2019).

Квалитрический подход предполагает все оцениваемые свойства объекта (в данном случае — вида), измеряемые в разных по размаху и размерности абсолютных величинах, переводить в относительные безразмерные показатели (K_i), отражающие степень приближения абсолютного показателя свойства Q_i к эталонному, в наших исследованиях — к оптимальному, высоко функционально эффективному для городских условий $Q_i^{\text{эф}}$.

$$K_i = \frac{Q_i}{Q_i^{\text{эф}}},$$

где Q_i — качественный показатель, выраженный в абсолютных единицах измерения; $Q_i^{\text{эф}}$ — соответствующее эффективное значение показателя вида.

На основе полученных качественных свойств видов рассчитывались их коэффициенты функциональной эффективности по формуле:

$$\text{КФЭВ} = \sum_{i=1}^n K_i,$$

где K_i — качественные показатели ($i = 1, n$; n — количество учитываемых показателей).

Количество учитываемых показателей (свойств) объектов качественной оценки может быть различным. В наших исследованиях функциональная эффективность видов в городских насаждениях оценивалась по совокупности 5-ти следующих показателей качества: распространенности в озеленении (K_1), жизненному статусу (K_2), способности к аккумуляции приоритетных металлов-загрязнителей в городской среде (K_3) и их концентрации относительно ЛЭФ (K_4), накоплению метал-

лов из почвы (K_5). Весомость учитываемых показателей при интегральной оценке качества видов была принята условно равнозначной. Качественно-количественный “эталон функциональной эффективности” (ЭФЭ) каждого показателя соответствовал 1 условной единице (100% качества).

Распространенность, или количественное участие видов в озеленении, оценивалась по величине абсолютной встречаемости. Она рассчитывается как отношение учетных площадей с присутствием вида к общему количеству обследованных площадей, выраженное в процентах. Согласно выполненным ранее исследованиям (Шихова, Полякова, 2006), абсолютная встречаемость видов в городских насаждениях Владивостока варьирует от 58.6% до 0.3%. В зависимости от участия в насаждениях были выделены 3 группы видов: широкого распространения (абсолютная встречаемость $>25\%$) — 6 видов, умеренного распространения (5–25%) — 33 вида, редко встречающиеся ($<5\%$) — 41 вид. За эталон функциональной эффективности показателя распространенности видов в озеленении (K_1) была принята средняя встречаемость в группе видов широкого распространения — 35%.

Оценка показателя качества K_2 выполнена на основе полученных ранее данных диагностики виталитетного статуса городской арборифлоры Владивостока (Шихова, Полякова, 2003, 2006). При этом жизненное состояние видов, отражающее ответную реакцию растений на комплексное воздействие факторов среды, определяли в соответствии с методическими разработками В.А. Алексеева (1989), согласно которым выделяются 5 категорий состояния (КС) древесных пород и кустарников: виды здоровые (КС I — жизненное состояние 80–100%), слабо (КС II — 50–79%) и сильно поврежденные (КС III — 20–49%), усыхающие (КС IV — $<20\%$), сухостой (КС V — 0%). Средний индекс жизненного состояния для каждого вида рассчитывался по формуле:

$$L_n = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 10n_4 + 5n_5}{N},$$

где L_n — относительное жизненное состояние городской популяции вида, n_1 — число здоровых, n_2 — незначительно поврежденных, n_3 — сильно поврежденных, n_4 — отмирающих особей, n_5 — сухостой; N — общее число особей вида.

Количественное значение жизненного статуса 80%, отвечающее нижнему пределу жизненности для категории здоровых растений, было принято в работе за эталонный стандарт показателя качества K_2 . Он соответствует 1.00 (100% качества).

Для расчета показателя качества K_3 , характеризующего аккумулятивные способности сравниваемых видов растений к приоритетным металлам-загрязнителям городской среды, использовал-

ся коэффициент относительной интенсивности накопления металлов — ОИН. Он представляет собой отношение содержания металла в опытном растении к принятому в исследованиях стандарту, в данном случае — в том или ином виде к их высокоэффективному содержанию в общей выборке городской арборифлоры, и выражается в относительных единицах (отн. ед.). Определение показателя K_3 было выполнено на основе полученных ранее аналитических данных по содержанию тяжелых металлов в листьях проанализированной выборки растений (Шихова, 2013, 2015). При его расчете сначала были определены статистически достоверные максимально высокие концентрации металлов-загрязнителей городской растительности в абсолютных единицах, которые составили для Fe — 1430 мг/кг, Zn — 204 мг/кг, Pb — 25.7 мг/кг, Cu — 13.9 мг/кг, Ni — 4.6 мг/кг. Затем, в соответствии с этими значениями, были рассчитаны коэффициенты ОИН металлов и их суммарные величины для каждого вида сравниваемой выборки арборифлоры в относительных единицах. Суммарное значение коэффициента ОИН основных металлов-загрязнителей городской растительности Владивостока служило качественной оценкой свойства видов к аккумуляции тяжелых металлов в условиях урбоэкосистем. При этом, если допустить, что существует некий идеальный вид, способный максимально накопить все 5 металлов-загрязнителей, то суммарное значение ОИН у него должно составить 5.00 отн. ед. Эта величина принята за ЭФЭ показателя K_3 и соответствует 1.00 (100% качества).

Способность растений к экологической оптимизации городской среды оценивалась также по коэффициенту концентрации (Кк). Он характеризует превышение содержания загрязняющих веществ в растениях, подверженных техногенному прессу, над экологическим фоновым уровнем. В данном случае — в городской арборифлоре Владивостока относительно природной лесной растительности полуострова Муравьев-Амурский. Общее накопление металлов-загрязнителей рассчитывается при этом с использованием коэффициента суммарного накопления металлов (Z_c) по формуле:

$Z_c = \sum K_k - (n - 1)$ (Сает, 1982), где K_k — коэффициенты концентрации элементов >1 , n — число накапливаемых элементов.

При расчете Z_c учитывались лишь те металлы, у которых $K_k \geq 1.2$. В исследованиях этому условию соответствовали 5 основных металлов-загрязнителей городской растительности — Fe, Zn, Pb, Cu, Ni. Справедливости ради следует заметить, что для его расчета идеальным условием было бы сравнить популяции одноименных видов в городских и природных фоновых местообитаниях. Однако из 66 видов аборигенной флоры, фор-

мирующей городские насаждения Владивостока, такое сравнение оказалось возможным лишь для 50 видов, к тому же выборки некоторых из них были весьма малочисленны и статистически недостоверны. Следует учитывать и тот факт, что в составе городской арборифлоры насчитывается 14 инорайонных видов. В связи с этим вычисление коэффициента концентрации (Кк) сравниваемого списка видов было выполнено на основе установленных нами ранее локально-фоновых содержаний металлов в древесно-кустарниковой растительности природных лесных экосистем (Шихова, 2015, 2017). После статистической обработки полученных данных и исключения артефактов было установлено эталонное значение четвертого показателя качества видов (K_4) — 25.3. Оно соответствует 1.00 или 100% ЭФЭ данного показателя.

Оценка интенсивности накопления растениями металлов из почвы (показатель качества K_5) выполнена с помощью коэффициента биологического накопления (КБН), который представляет собой отношение содержания химического элемента в растении к его содержанию в почве. Он был рассчитан на основе полученных нами ранее данных по содержанию металлов в почвах и растениях городских озелененных территорий (Шихова, 2013). В наших исследованиях сумма максимальных значений КБН пяти металлов, включая артефакты, составила 2.55. Эта относительная количественная величина принята за ЭФЭ показателя качества K_5 и соответствует 1.00 (100% качества).

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Количественное участие видового состава деревьев и кустарников в городском озеленении варьирует от 0.3% (ель (*Picea* sp.)) до 58.6% (ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.)) абсолютной встречаемости. Группа наибольшего распространения представлена следующими видами: ясенем маньчжурским, ясенем носолистным (*F. rhynchophylla* Hance), вязом японским (*Ulmus japonica* (Rehd.) Mayr), березой плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.), робинией псевдоакацией (*Robinia pseudoacacia* L.) и пузыреплодником калинолистным (*Physocarpus opulifolia* (L.) Maxim.). К этой группе был отнесен нами дополнительно еще один вид — черемуха Маака (*Padus maackii* (Rupr.) Kom.). Черемуха Маака занимает по встречаемости в озеленении пограничное положение между 3 и 2 группами распространенности растений, но по остальным качественным по-

казателям более тяготеет к группе широкого распространения.

Показатель качества K_1 изменяется в сравняваемой выборке растений от 0.01 до 1.67, что соответствует 1 и 167% принятого ЭФЭ. Среднее статистическое значение составляет 0.23 ± 0.03 , коэффициент вариации максимальный среди учитываемых показателей качества — 126%. По мере снижения количественного участия видов в озеленении показатель K_1 постепенно убывает в группе широкого распространения от 1.67 у ясеня маньчжурского до 0.66 у черемухи Маака, в группе умеренного распространения — от 0.54 у тополя корейского (*Populus koreana* Rehd.) до 0.14 у бересклета Маака (*Euonymus maackii* Rupr.), в группе редко встречающихся видов — от 0.10 у сирени Вольфа (*Syringa wolfii* C.K.Schneid.) до 0.01 у ели.

Согласно проведенной ранее диагностике жизненного состояния растений (Шихова, Полякова, 2003, 2006), виталитетный статус абсолютного большинства сравниваемой выборки видов отвечал категориям слабо (27 видов) и сильно (51 вид) поврежденных растений и снижался от 65% у бересклета большекрылого (*Euonymus macroptera* Rupr.) до 23% у ели. Более устойчивыми к городскому антропогенно-техногенному прессу показали себя ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.), ясень носолистный, ясень маньчжурский, робиния псевдоакация, сирень широколистная (*Syringa oblata* Lindl.), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolia*), свидина белая (*Swida alba* (L.) Opiz). Виталитет доминанта городских древесных пород ясеня маньчжурского составлял 49%, кустарниковых насаждений пузыреплодника калинолистного — 61%. Лишь два редко встречающиеся в озеленении вида — бузина кистевидная (*Sambucus racemosa* L.) и бересклет малочетковый (*Euonymus pauciflora* Maxim.) отличались хорошим жизненным состоянием (80%) и соответствовали категории здоровых растений.

Показатель качества K_2 , согласно выполненным расчетам, варьирует в сравниваемой выборке видов от 0.29 до 1.00, что равнозначно 29 и 100% качества. Его среднестатистическое значение составляет 0.58 ± 0.01 , коэффициент вариации — 20%. В группе видов, отвечающих категории здоровых растений, K_2 соответствует 1.00. У видов со средним жизненным статусом он постепенно снижается от 0.81 у бересклета большекрылого до 0.63 у липы маньчжурской (*Tilia mandshurica* Rupr.), сильного ослабления виталитета — от 0.60 у ясеня маньчжурского до 0.29 у ели.

Показатель K_3 , с одной стороны, позволяет оценить эффективность видов в экологической оптимизации городской среды, с другой — определить их видовую специализацию в способности аккумулировать металлы-загрязнители среды в условиях техногенеза. Среди сравнивае-

мой выборки видов K_3 варьируют от 0.23 у клена зеленокорого (*Acer tegmentosum* Maxim.) до 1.20 у боярышника перистонадрезанного. Среднее содержание показателя — 0.49 ± 0.02 , коэффициент вариации — 31%. Максимальная величина показателя K_3 , зафиксированная у боярышника перистонадрезанного, формируется за счет гипераккумуляции им Fe (ОИН = 2.08), Cu (ОИН = 1.29) и высокого накопления Pb (ОИН = 1.00). Хорошие аккумулятивные способности к приоритетным загрязнителям городской среды отмечены также у тополя черного (*Populus nigra* L.) ($K_3 = 0.85$), тополя Максимовича (*P. maximowiczii* A. Henry) ($K_3 = 0.73$), лещины разнолистной (*Corylus heterophylla* Fisch. et Trautv.) ($K_3 = 0.74$), бересклета Маака (*Euonymus maackii*) ($K_3 = 0.71$). Обращает на себя внимание тот факт, что все виды тополя (*Populus* L.) гиперактивно накапливают Zn (ОИН = 0.97–2.15), тополь черный к тому же — Ni (ОИН = 1.00). Лещина разнолистная отличается высоким содержанием Pb и Fe (ОИН = 0.95), в меньшей степени — Cu (ОИН = 0.79), а бересклет Маака — Cu, Ni и Pb (ОИН = 0.81–0.91). Слабое накопление металлов, в 1.5–2.0 раза ниже среднего для общей выборки видов, наряду с кленом зеленокорым, отмечено также у мелкоплодника ольхолистного (*Micromeles alnifolia* (Siebold et Zucc.) Koehne), спиреи иволистной (*Spiraea salicifolia* L.), ясеня пенсильванского, конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.), граба сердцелистного (*Carpinus cordata* Blume). Показатель K_3 у них не превышает 0.33.

Качественный показатель K_4 , характеризующий способность растений концентрировать металлы в урбанизированной среде относительно фоновых уровней, весьма наглядно иллюстрирует санитарно-гигиеническую функцию растений по созданию комфортных городских условий для проживания населения. Его среднее содержание в сравниваемой выборке видов составляет 0.34 ± 0.02 и варьирует в пределах от 0.10 у ясеня пенсильванского до 1.47 у боярышника перистонадрезанного. Коэффициент вариации равен 61%. Низкая функциональная эффективность ясеня пенсильванского по концентрационным способностям к приоритетным загрязнителям городской растительности объясняется его слабым накоплением большинства металлов. Содержание Zn в листьях ясеня близко, а Pb и Ni — несколько ниже фоновых уровней. Боярышник же, в отличие от ясеня, существенно обогащен относительно лесной растительности всеми рассматриваемыми металлами: Fe — в 22 раза, Zn и Pb — до 4.5 раз, Ni и Cu — в 2–3 раза. Интересно также отметить, что доминант городского озеленения ясень маньчжурский занимает в ранжированном ряду по степени уменьшения показателя K_4 почти медианное 43 место, а доминант фоновых лесных фитоце-

нозов дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.) — 53 место из общей выборки 80 видов. Показатель K_4 ясеня маньчжурского составляет 0.26, дуба — 0.23. При сравнении содержаний металлов в городских и природных популяциях этих видов оказывается, что в городских условиях ясень в 1.6 раза интенсивнее дуба концентрирует ассоциацию основных металлов-загрязнителей. Листья ясеня маньчжурского в городских местобитаниях обогащены по сравнению с природными фоновыми условиями Pb и Fe почти в 5 раз, Zn — в 3 раза, Ni — в 2 раза. Растения дуба монгольского в городских популяциях относительно природных накапливают Fe в 3 раза больше, Pb — в 1.7 раз, Zn и Ni — примерно в 1.3 раза. Повышенное содержание металлов в листьях ясеня маньчжурского объясняется особенностями его городских местобитаний. Этим видом на 2/3 сформированы рядовые насаждения вдоль центральных транспортных магистралей, а также придорожные аллеи, подверженные интенсивному антропогенно-техногенному прессу. Дуб же доминирует в городских парках и старых садах, растительность которых во многом близка природным фитоценозам и менее подвержена негативному влиянию урбанизации.

Важным качественным показателем при оценке функциональной эффективности видов в городском озеленении является также способность растений поглощать металлы из почвы (K_5). Этот процесс содействует оптимизации экологического состояния и санации городских почв и земель. Эффективность его реализации разными видами растений оценивалась с помощью коэффициента биологического накопления (КБН) металлов. Судя по полученным ранее данным, в почвах городских озелененных территорий Владивостока концентрация Pb превышает локальный экологический фон в 4 раза, Cu — в 3 раза, Zn — в 2 раза, Fe — 1.3 раза (Шихова, 2013). При этом среднестатистические значения КБН для городской растительности Владивостока свидетельствуют о закономерном снижении интенсивности поглощения металлов в системе почва-растение в ряду: Zn (КБН = 0.35) → Cu (0.32) → Pb (0.15) → Ni (0.07) → Fe (0.02). Следуя построенным известным геохимиком А.И. Перельманом (1979) рядам биологического поглощения элементов, Zn и Cu в регионе исследований соответствуют группе элементов сильно-го, Pb, Ni и Fe — среднего биологического захвата. В зависимости от видовой принадлежности растений показатель K_5 варьирует от 0.15 у яблони маньчжурской до 1.00 у ивы Шверина (*Salix schwerinii* E. Wolf) при среднестатистическом значении 0.37 ± 0.02 . Коэффициент вариации составляет 33%. Ранжированный ряд видов по этому показателю иллюстрирует высокие его величины (0.56–0.96) у большинства аборигенных видов сем. ивовых (*Salicaceae* Mirb.), многих пред-

ставителей сем. березовых (*Betulaceae* S.F. Gray) и отдельных видов сем. розоцветных (*Rosaceae* Juss.). Общим для них является активное поглощение из почвы Zn, Cu и Pb. В накоплении Zn доминируют тополь Максимовича (*Populus maximowiczii*) (КБН = 2.2), ива Шверина (*Salix schwerinii*) (КБН = 1.6), ива козья (*S. caprea* L.) (КБН = 1.3), береза плосколистная (*Betula platyphylla*) и тополь корейский (*Populus koreana*) (КБН = 1.2). Высоким накоплением почвенной Cu отличаются сирень широколистная и клен зеленокорый (КБН = 0.7), лещина маньчжурская (*Corylus mandshurica* Maxim.), свободнаягодник колючий (*Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.)), маакия амурская (*Maackia amurensis* Rupr. et Maxim.) и ива козья (КБН = 0.6). Поглощение растениями Pb из почвы уступает накоплению биогенных элементов Zn и Cu. Наиболее высокие значения КБН Pb зафиксированы у бересклета малоцветкового (*Euronymus pauciflora* Maxim.) (КБН = 0.5) и ивы Шверина (КБН = 0.4). Интересно также отметить, что у типичных доминантов зеленых насаждений г. Владивостока: ясеня маньчжурского, пузыреплодника калинолистного — отмечено весьма слабое поглощение металлов из почвы. Такая закономерность сохраняется не только для доминирующих, но и для всех видов ясеней, встречающихся в городском озеленении. Показатель K_5 этих видов не превышает значений 0.25–0.28, что свидетельствует о том, что растения лишь на четверть от принятого качественного максимума выполняют экологическую функцию по санации городских почв от техногенного загрязнения металлами. Для 14 видов данный показатель ещё ниже. И лишь 20 видов, т.е. 1/4 часть их общей выборки, выполняют эту экологическую функцию на 50% и выше относительно ЭФЭ. К ним относятся все перечисленные выше виды, активно поглощающие из почвы Zn, Cu и Pb. Повышенное накопление Ni, Cu и Fe из почвы отмечено также у лещины маньчжурской и лещины разнолистной (*Corylus heterophylla*), Fe и Pb — у вишни войлочной (*Microcerasus tomentosa*).

Выполненный корреляционный анализ показал высокую положительную связь ($r = 0.96$) между показателями K_3 и K_4 , характеризующими межвидовую дифференциацию растений по способности аккумулировать тяжелые металлы в условиях городских антропогенно-техногенных нагрузок и относительно экологического фона. Менее значимые связи установлены между показателями, отражающими в той или иной мере пути поступления металлов в растения, — K_5 и K_3 ($r = 0.37$), а также K_5 и K_4 ($r = 0.35$). Согласно основам квалиметрии, при оценке качества следует избегать зависимых свойств. В связи с этим при итоговом вычислении КФЭВ из двух показателей с высокой корреляционной зависимостью (K_3 и K_4) был оставлен показатель K_3 , как более объективно отражающий внутри-

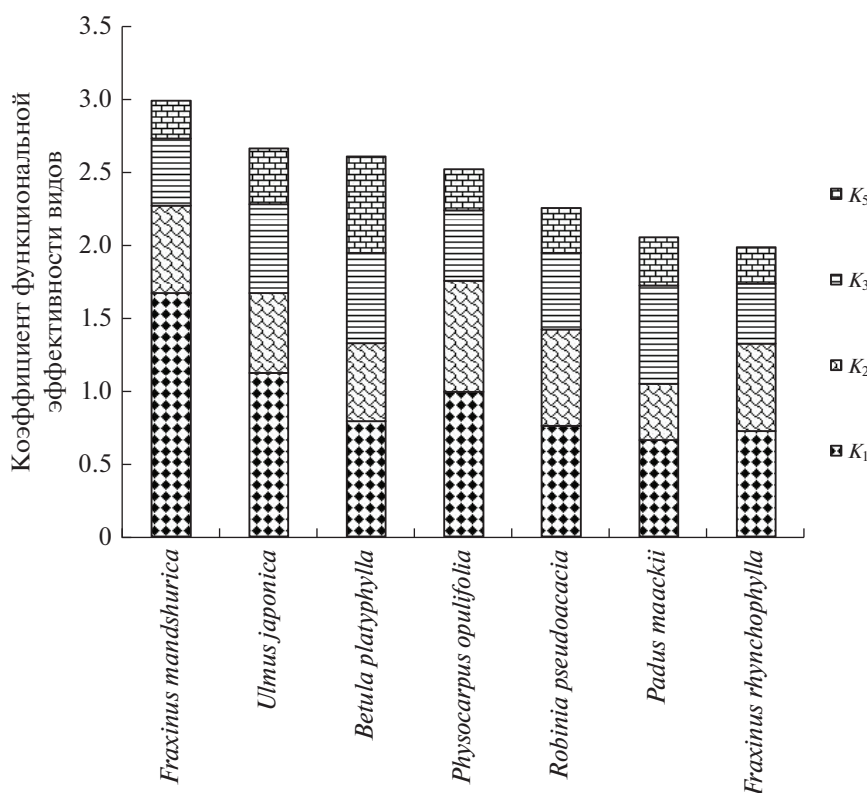


Рис. 1. Функциональная эффективность видов широкого распространения в городском озеленении Владивостока. K_1 – K_5 – показатели функционального качества видов в озеленении.

видовую дифференциацию сравниваемого списка дендрофлоры в накоплении тяжелых металлов.

Следуя принятым в работе методическим принципам, стандартом качества эффективного выполнения биолого-экологических и санитарно-гигиенических функций растений в городской среде может служить некий “идеальный вид”. Он отвечает функционально эффективным эталонным значениям всех учитываемых показателей качества. Коэффициент функциональной эффективности такого вида должен составлять 4.00 отн. ед. (по числу показателей качества), а “стандарт качества” (СК) – 100%.

По результатам проведенного анализа и определенных КФЭВ был построен ранжированный ряд для 80 видов по мере снижения их функциональной значимости в структуре городского озеленения Владивостока. Его возглавляет доминант зеленых насаждений г. Владивостока ясень маньчжурский (КФЭВ = 2.99), а завершает редкий в насаждениях вид – яблоня маньчжурская (КФЭВ = 0.97). По сравнению с “идеальным видом” ясень выполняет экологические функции в городской среде на 75%, яблоня – на 24%. Ясень маньчжурский лидирует по функциональной значимости, главным образом, за счет широкого распространения в озеленении и достаточно вы-

сокого виталитетного статуса (показатели K_1 и K_2). Для яблони маньчжурской, наоборот, характерна минимальная аккумуляция металлов из почвы (K_5), ослабленный виталитет (K_2) и совершенно недостаточная количественная представленность в озеленении (K_1). В целом же сравнительный анализ видового состава городских насаждений свидетельствует о значительном разнообразии функциональных способностей и потенциальных возможностей дендрофлоры по стабилизации урбоэкосистем и оптимизации городской среды для проживания населения. Судя по полученным данным, функциональная активность одних видов в большей степени обусловлена широтой распространения, т.е. количественным участием в структуре городских насаждений, других – высокой декоративностью и хорошими способностями к трансформации приоритетных загрязнителей городской среды, т.е. экологическими возможностями по ее оптимизации. Однако для большинства сравниваемых видов более характерны средние показатели встречаемости, жизненного состояния и аккумуляции загрязнителей среды.

Структуру качественных показателей функциональной эффективности видов-доминантов зеленых насаждений (3 группа по широте распространения в озеленении) иллюстрирует рис. 1.

Эти виды преимущественно формируют структуру городского озеленения и обеспечены репрезентативными выборками фактических данных. У основного состава доминантов городских насаждений (ясень маньчжурский, ясень носолистный, вяз японский, пузыреплодник калинолистный) КФЭВ формируется преимущественно за счет высокого участия в насаждениях (K_1), что вполне закономерно, и хороших аккумулятивных способностей к основным загрязнителям среды (K_3). При этом у большинства видового состава группы доля показателя K_1 достигает 1/3 и даже 1/2 величины КФЭВ (рис. 1). Повышенное же накопление металлов этими видами обусловлено, главным образом, особенностями их местобитаний — примагистральные рядовые насаждения, а также скверы и аллеи, подверженные высоким антропогенно-техногенным нагрузкам. Пузыреплодник калинолистный, являясь абсолютным доминантом кустарниковых насаждений, отличается к тому же наилучшим в составе группы жизненным состоянием ($K_2 = 0.76$). Черемуха Маака, уступая перечисленным видам по встречаемости в озеленении и виталитету, значительно превосходит их в поглощении металлов-загрязнителей городской среды ($K_3 = 0.68$), а береза плосколистная весьма активно очищает от них городские почвы ($K_5 = 0.66$). В целом же КФЭВ у растений 3 группы варьирует от 1.99 (ясень носолистный) до 2.99 (ясень маньчжурский), т.е. эта группа видов выполняет свои средостабилизирующие “обязанности” в городской среде на 50–75% принятого стандарта качества, отвечающего требованиям “идеального вида”.

Для менее распространенных в озеленении пород деревьев и кустарников наблюдаются несколько иные закономерности. Показатели функциональной эффективности 48 видов, умеренно (2 группа) и редко (1 группа) представленных в зеленых насаждениях, имеющих статистически достоверные фактические данные, приведены в табл. 1. Они свидетельствуют о том, что виды 2 группы имеют, как правило, неплохой жизненный статус (K_2), близкие к средним для городской территории показатели по накоплению металлов ассимиляционными органами растений (K_3) и слабое накопление металлов-загрязнителей из почвы (K_5). В эту группу входят такие высоко декоративные виды дальневосточной дендрофлоры, как граб сердцелистный, бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.), мелкоплодник ольхолистный, орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.), клен ложнозибольдов (*Acer pseudosieboldianum* (Pax) Kom.), доминант пригородных лесов дуб монгольский, а также красиво цветущие абрикос маньчжурский (*Armeniaca mandshurica* (Maxim.) B. Skvortz.), груша уссурийская (*Pyrus ussuriensis* Maxim.), трескун амурский (*Ligustrina amurensis*), чубушник тонко-

лиственный (*Philadelphus tenuifolius* Ropr. et Maxim.), вейгела ранняя (*Weigela praecox* (Lemoine) Bailey). В городских насаждениях они формируют преимущественно древостой и кустарниковые ярусы растительности парков, внутригородских рекреационных лесов, старых городских садов, т.е. городские местообитания с более благоприятными экологическими условиями, в меньшей степени подверженные антропогенно-техногенному прессу. Значения КФЭВ у представителей этой группы варьируют в пределах от 1.27 (ольха волосистая (*Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr)) до 2.44 (ива Шверина), что соответствует 32 и 61% СК. Следует отметить, что оба вида характеризуются слабой представленностью в озеленении ($K_1 = 0.17$), но существенно отличаются (до 4–5 раз) по остальным показателям качества, особенно — K_5 . Лидируют же в группе по функциональной значимости виды сем. ивовых (ива Шверина, тополь корейский, тополь черный), у которых КФЭВ достаточно высокий — 2.02–2.44.

Представителям самой многочисленной 1 группы присуща не только низкая встречаемость, но и низкая доля участия в насаждениях, т.е. малое количественное участие в структуре древесно-кустарниковых ярусов городской растительности. В эту группу вошли большинство декоративных интродуцентов и сортовых растений, плодовых и ягодных культур, а также хвойных пород. Эти виды преобладают в озеленении жилых кварталов, административных территорий, пришкольных зон, а также в насаждениях улиц и тротуаров, реже — в скверах. Экологическая функциональность представителей группы может изменяться весьма существенно в зависимости от условий произрастания. Состав группы отличается от более распространенных в озеленении видов высокой вариабельностью всех качественных показателей, но особенно по накоплению металлов (K_3) и встречаемости в озеленении (K_1): коэффициенты вариации — 36 и 56% соответственно. Для представителей группы характерно неплохое жизненное состояние (K_2) и повышенное накопление металлов из почвы (K_5). Предельные значения КФЭВ зафиксированы у яблони маньчжурской (0.97) и тополя Максимовича (*Populus maximowiczii*) (2.36). Они соответствуют 24 и 59% СК. Интересно также отметить, что, несмотря на малое участие в озеленении, ряд видов (боярышник перистонадрезанный, боярышник Максимовича (*Crataegus maximowiczii*), тополь Максимовича, осина обыкновенная (*Populus tremula*), береза Эрмана (*Betula ermanii*), лещина разнолистная, сирень Вольфа (*Syringa wolfii*), ива белая (*Salix alba* L.), вишня сахалинская (*Cerasus sargentii*), дейция мелкоцветковая (*Deutzia amurensis*), черемуха обыкновенная, форзиция свисающая (*Forsythia suspensa* Vahl.) и др.), показал высокую экологиче-

Таблица 1. Функциональная эффективность видов, умеренно и редко представленных в зеленых насаждениях г. Владивостока

Виды растений	Показатели функционального качества видов				КФЭВ	СК (%)
	K_1	K_2	K_3	K_5		
Умеренно распространенные (2 группа)						
<i>Populus koreana</i>	0.54	0.50	0.59	0.69	2.33	58
<i>Microcerasus tomentosa</i>	0.49	0.44	0.70	0.48	2.11	53
<i>Betula davurica</i>	0.37	0.53	0.60	0.57	2.06	52
<i>Philadelphus tenuifolius</i>	0.38	0.59	0.61	0.37	1.96	49
<i>Weigela praecox</i>	0.40	0.58	0.57	0.33	1.88	47
<i>Lonicera maackii</i>	0.33	0.58	0.55	0.41	1.87	47
<i>Swida alba</i>	0.45	0.68	0.41	0.27	1.81	45
<i>Euonymus maackii</i>	0.14	0.66	0.71	0.29	1.80	45
<i>Pyrus ussuriensis</i>	0.47	0.59	0.42	0.28	1.77	44
<i>Acer negundo</i>	0.46	0.58	0.48	0.24	1.76	44
<i>Ulmus pumila</i>	0.28	0.55	0.58	0.29	1.71	43
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	0.36	0.75	0.31	0.28	1.69	42
<i>Tilia amurensis</i>	0.39	0.58	0.42	0.30	1.69	42
<i>Juglans mandshurica</i>	0.35	0.51	0.46	0.34	1.67	42
<i>Quercus mongolica</i>	0.33	0.59	0.43	0.32	1.67	42
<i>Larix</i> sp.	0.27	0.54	0.51	0.30	1.62	40
<i>Ligustrina amurensis</i>	0.30	0.50	0.40	0.39	1.59	40
<i>Carpinus cordata</i>	0.18	0.74	0.33	0.34	1.58	40
<i>Acer mono</i>	0.34	0.50	0.43	0.30	1.57	39
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> × <i>F. mandshurica</i>	0.15	0.61	0.55	0.23	1.55	39
<i>Amorpha fruticosa</i>	0.26	0.56	0.37	0.35	1.54	39
<i>Armeniaca mandshurica</i>	0.37	0.46	0.43	0.24	1.51	38
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	0.33	0.55	0.33	0.28	1.49	37
<i>Acer ginnala</i>	0.28	0.49	0.41	0.30	1.47	37
<i>Lespedeza bicolor</i>	0.17	0.71	0.34	0.19	1.41	35
<i>Micromeles alnifolia</i>	0.19	0.71	0.27	0.23	1.39	35
<i>Pinus sylvestris</i>	0.15	0.49	0.41	0.30	1.36	34
<i>Phellodendron amurense</i>	0.18	0.49	0.43	0.25	1.34	34
Редко встречающиеся (1 группа)						
<i>Crataegus pinnatifida</i>	0.06	0.69	1.20	0.28	2.24	56
<i>Corylus heterophylla</i>	0.02	0.63	0.74	0.46	1.85	46
<i>Populus tremula</i>	0.05	0.54	0.57	0.56	1.71	43
<i>Syringa wolfii</i>	0.10	0.41	0.68	0.49	1.68	42
<i>Deutzia amurensis</i>	0.05	0.53	0.57	0.49	1.63	41
<i>Pinus koraiensis</i>	0.04	0.60	0.59	0.36	1.59	40
<i>Sorbaria sorbifolia</i>	0.08	0.69	0.48	0.33	1.58	39
<i>Padus avium</i>	0.10	0.53	0.53	0.42	1.58	39
<i>Crataegus maximowiczii</i>	0.07	0.44	0.63	0.41	1.55	39
<i>Euonymus macroptera</i>	0.02	0.81	0.32	0.33	1.49	37
<i>Viburnum sargentii</i>	0.06	0.63	0.46	0.34	1.48	37
<i>Morus alba</i>	0.08	0.55	0.43	0.39	1.44	36
<i>Corylus mandshurica</i>	0.04	0.44	0.33	0.61	1.42	36
<i>Maackia amurensis</i>	0.08	0.58	0.36	0.39	1.40	35
<i>Lonicera praeflorens</i>	0.04	0.63	0.36	0.36	1.38	35
<i>Tilia mandshurica</i>	0.05	0.63	0.44	0.23	1.33	33
<i>Kalopanax septemlobus</i>	0.06	0,70	0.34	0.23	1.33	33
<i>Prunus salicina</i>	0.07	0.49	0.47	0.21	1.25	31
<i>Abies holophylla</i>	0.02	0.46	0.45	0.22	1.15	29
<i>Malus mandshurica</i>	0.06	0.39	0.37	0.15	0.97	24

Примечание. K_1 – K_5 – показатели качества видов; КФЭВ – коэффициент функциональной эффективности видов; СК – стандарт качества.

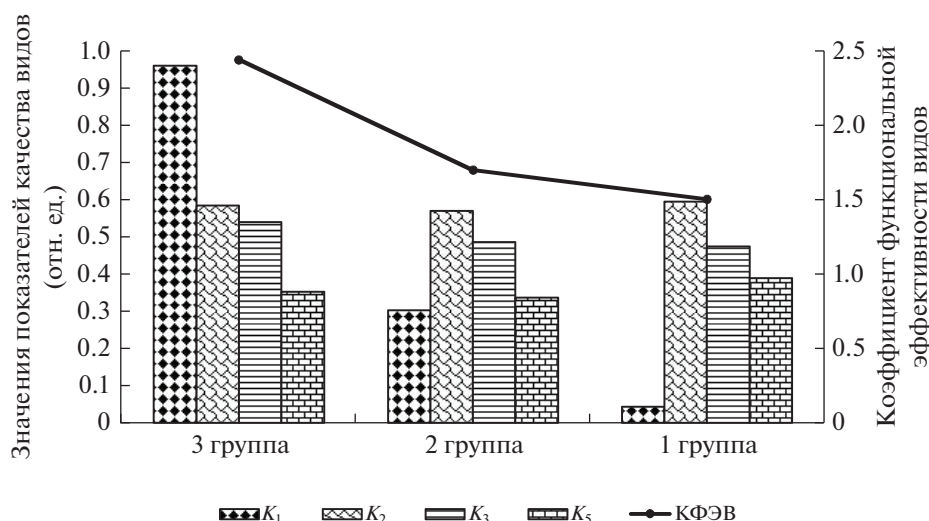


Рис. 2. Функциональная эффективность видов в зависимости от встречаемости в озеленении. K_1 – K_5 – показатели функционального качества видов в озеленении, $K_{ФЭВ}$ – коэффициент функциональной эффективности видов в озеленении.

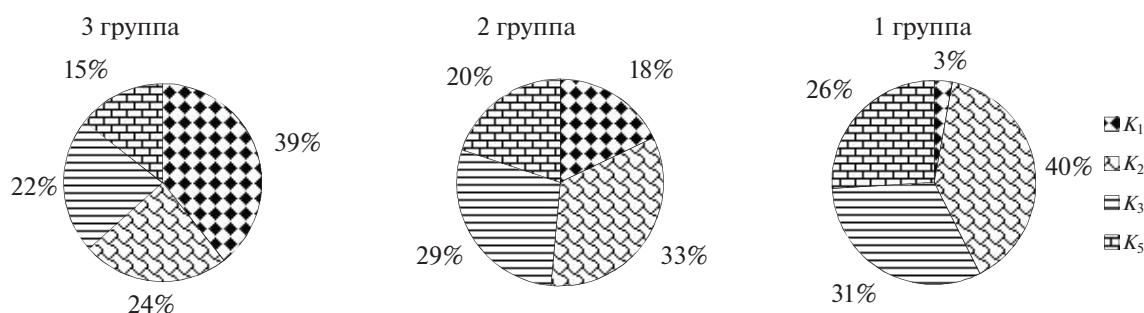


Рис. 3. Структура интегрального показателя качества видов в группах растений, отличающихся шириной распространения в городских насаждениях. K_1 – K_5 – показатели функционального качества видов в озеленении.

скую пластичность и эффективность в трансформации тяжелых металлов в урбоэкосистемах и в конечном итоге – оптимизации городской среды для проживания населения. При этом некоторые из представителей группы, наряду с активным поглощением загрязнителей среды, остаются в хорошем жизненном состоянии, что позволяет им сохранять высокую декоративность. Этот факт заслуживает дальнейшего научного и практического интереса к данным видам для оценки границ их толерантности и устойчивости к техногенным загрязнителям среды, а также перспективы более широкого использования в озеленении.

Средние значения качественных показателей функциональности для групп видов, отличающихся по распространенности в озеленении, представлены на рис. 2. Они свидетельствуют о постепенном снижении эффективности выполняемых растениями эколого-биологических функций (примерно в 1.7 раза) по мере уменьшения количественного участия видов в зеленых насаждениях. $K_{ФЭВ}$ при

этом снижается с 2.44 (виды широкого распространения) до 1.47 (редко встречающиеся виды), т.е. с 61 до 37% СК. Отличия между группами, кроме количественного состава, отмечены также в интенсивности аккумуляции ими металлов. Так, у видов-доминантов (3 группа) по сравнению с другими наблюдается 1.2–1.3-кратное обогащение металлами (K_3), редко встречающихся видов (1 группа) – незначительное преимущество (до 1.2 раза) в почвенном поглощении металлов (K_5), и более высоким жизненным статусе (K_2). Установленные закономерности для сравниваемых групп растений четко прослеживаются по приоритетным показателям качества в общей структуре $K_{ФЭВ}$ (рис. 3). В группах видов с редким и умеренным распространением в озеленении $K_{ФЭВ}$ на 60–70% формируется за счет высоких показателей виталитета (K_2) и аккумуляции тяжелых металлов (K_3), в группе широкого распространения – почти на 40%, благодаря очень высоким показателям встречаемости (K_1), и еще

на 46% – суммарной величине показателей виталитета (K_2) и аккумуляции тяжелых металлов (K_3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод интегральной оценки функциональной эффективности видового состава зеленых насаждений, разработанный на примере структуры городского озеленения Владивостока, может служить базовой моделью для качественно-количественной оценки существующего городского зеленого фонда, мониторинга его состояния и управления качеством с использованием современных информационных технологий. В настоящей работе для оценки функционального качества объектов исследования использованы 4 показателя. В перспективе возможно использование любого числа наиболее информативных показателей в зависимости от поставленной цели и решаемых задач. Метод позволяет обеспечить информационной базой органы и организации, связанные с природоохранной и градостроительной деятельностью.

Результаты качественной оценки видового состава и его эффективности в структуре городского озеленения служат также научно-обоснованной базой для создания новых и реконструкции существующих зеленых насаждений, дифференцированных мер ухода за ними, что в целом будет способствовать организации рациональной и устойчивой системы городского озеленения.

Использованные в работе методические приемы и полученные данные могут быть востребованы также в будущем при разработке методов экономической оценки услуг зеленых насаждений, планирования и управления городскими территориями на основе комплексных подходов, что в настоящее время весьма актуально в мировой практике современного градостроительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авдеева Е.В., Вагнер Е.А., Надемянов В.Ф., Черникова К.В. Информационно-аналитическая система “Управление качеством городских объектов озеленения”. Модуль I – Мониторинг состояния городских объектов озеленения // Хвойные бореальной зоны. 2015а. Т. XXXIII. № 3–4. С. 89–95.
- Авдеева Е.В., Вагнер Е.А., Надемянов В.Ф., Черникова К.В. Информационно-аналитическая система “Управление качеством городских объектов озеленения”. Модуль II – Оценка качества городских объектов озеленения // Хвойные бореальной зоны. 2015б. Т. XXXIII. № 3–4. С. 96–102.
- Авдеева Е.В., Полетайкин В.Ф., Авдеева Е.А. Оценка уровня качества объектов городского озеленения методами прикладной квалитметрии // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. XXV. № 1–2. С. 93–97.
- Азгальдов Г.Г., Гличев А.В., Панов В.П. Что такое качество? М.: Экономика, 1968. 135 с.
- Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалитметрии. М.: Изд-во стандартов, 1973. 172 с.
- Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
- Перельман А.И. Геохимия: учебное пособие. М.: Высшая школа. 1979. 423 с.
- Саев Ю.Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. М.: МГУ, 1982. С. 84–100.
- Скачкова М.Е., Копалова К.М. Методическое обеспечение оценки уровня комфортности зеленых насаждений общего пользования // Природообустройство. 2018. № 2. С. 125–131.
- Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука, 2005. 339 с.
- Федорова Н.Б. Определение качества и ценности зеленых насаждений на территории Санкт-Петербурга // Лесной вестник. 2011. № 4. С. 144–151.
- Шихова Н.С. Комплексная оценка состояния лесов зеленой зоны Владивостока // Лесоведение. 2015. № 6. С. 436–446.
- Шихова Н.С. Оценка функционального состояния зеленых насаждений и аккумуляции ими тяжелых металлов на городских озелененных территориях различного назначения // Сибирский экологический журн. 2019. № 5. С. 612–626.
- Шихова Н.С. Трансформация дальневосточной арборифлоры техногенных загрязнений среды // Аграрный вестник Приморья. 2016. № 1. С. 29–32.
- Шихова Н.С. Экологическое состояние почв и зеленых насаждений Владивостока // Экология урбанизированных территорий. 2013. № 1. С. 97–102.
- Шихова Н.С. Эколого-геохимические особенности растительности Южного Приморья и видоспецифичность арборифлоры в накоплении тяжелых металлов // Сибирский лесной журн. 2017. № 6. С. 76–88.
- Шихова Н.С., Полякова Е.В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 236 с.
- Шихова Н.С., Полякова Е.В. Оценка жизненного состояния и устойчивости видов в озеленении г. Владивостока // Бюллетень ГБС. 2003. Вып. 185. С. 14–27.
- Aliman M., Yustisia A., Barlian E., Syah N. Spatial Analysis of the Needs of Green Open Space at Universitas Negeri Padang // Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education. 2017. V. 1. № 2. P. 140–146.
- Daniels B., Zaunbrecher B.S., Paas B., Ottermanns R., Ziefle M., Roß-Nickoll M. Assessment of urban green space structures and their quality from a multidimensional perspective // Science of The Total Environment. 2018. V. 615. P. 1364–1378.
- Dennis M., James P. Considerations in the valuation of urban green space: accounting for user participation // Ecosystem Services. 2016. V. 21 (Part A). P. 120–129.
- Ives C., Oke C., Cooke B., Gordon A., Bekessy S. Planning for green open space in urbanising landscapes: Final report for Australian Government Department of Environment. 2014. 94 p.
- James P., Tzoulas K., Adams M.D., Barber A., Box J., Breuste J., Elmqvist T., Frith M., Gordon C., Greening K.L., Handley J., Haworth S., Kazmierczak A.E., Johnston M., Korpela K.,

Moretti M., Niemelä J., Pauleit S., Roe M.H., Sadler J.P. Towards an integrated understanding of green space in the European built environment // *Urban Forestry and Urban Greening*. 2009. V. 8. Issue 2. P. 65–75.

Jankevica M. Assessment of landscape ecological aesthetics in urban areas: Example of Jelgava // *Research for Rural Development*. 2012. № 2. P. 134–140.

Niemelä J. Ecology of urban green spaces: The way forward in answering major research questions // *Landscape and Urban Planning*. 2014. V. 125. P. 298–303.

Ridder K. De., Adamec V., Bañuelos A., Bruse M., Bürger M., Damsgaard O., Dufek J., Hirsch J., Lefebvre F., Pérez-Lacorzana J.M., Thierry A., Weber C. An integrated methodology to assess the benefits of urban green space // *Science of The Total Environment*. 2004. V. 334–335. P. 489–497.

Comparative Assessment of the Functional Efficiency of Arboriflora Species Composition in Urban Green Spaces

N. S. Shikhova*

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS,
Stoletiya Street, 159, Vladivostok, 690022 Russian

*E-mail: shikhova@biosoil.ru

The article discusses the results of a comprehensive analysis of the ecological state and environment-stabilizing functions of the species composition of arboriflora in the urban planting structure. It's based on a large amount of factual material obtained during the course of a long-term monitoring of Vladivostok's urban greenery. A methodological substantiation has been developed for a comprehensive qualitative-quantitative assessment of species using the applied qualimetry techniques. An integral indicator, named the coefficient of the functional efficiency of the species (JFEC) was proposed as the main evaluation unit. It is a relative-quantitative magnitude of plants quality that characterises their functional efficiency and significance in urban ecosystems: prevalence in greenery planting, vitality, the ability for accumulation of the priority pollutant metals in the urban environment, their concentration relative to the local ecological background; the capability for accumulating metals from the soil. Comparative analysis of the functional efficiency of 80 species of trees and shrubs forming the urban greenery of Vladivostok on the basis of the proposed coefficient was carried out. Among the compared sample of plants, the JFEC decreases from 3.70 (*Crataegus pinnatifida*) to 1.13 (*Malus mandshurica*). This values measure up to 74 and 23% of the quality standard (QS), which corresponds to the ideal plant species. The groups of species of different functional significance in the urban green spaces structure have been identified. The best efficiency in creating the comfortable environmental conditions in the city was demonstrated by species widespread in landscaping: *Fraxinus mandshurica*, *Ulmus japonica*, *Betula platyphylla*, *Physocarpus opulifolia* et al. They are characterized by the maximum participation in the formation of the urban greenery structure and a high ability to absorb the main pollutants of the urban environment. The JFEC of these species is within 3.26–2.61, which corresponds to 65–52% of the QS. In conclusion, author makes a suggestion on a rational use of species for the formation of a comfortable urban environment and introduction of the results into the practice of managing the urban green fund.

Keywords: urban greenery, urban green spaces, arboriflora, integrated assessment, ecological functions of plants, functional efficiency of plants, greenery elements quality, applied qualimetry techniques.

REFERENCES

Alekseev V.A., Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoev (Diagnostics of vitality of trees and stands), *Lesovedenie*, 1989, No. 4, pp. 51–57.

Aliman M., Yustisia A., Barlian E., Syah N., Spatial Analysis of the Needs of Green Open Space at Universitas Negeri Padang, *Sumatra J. Disaster, Geography and Geography Education*, 2017, Vol. 1, No. 2, pp. 140–146.

Avdeeva E.V., Poletaikin V.F., Avdeeva E.A., Otsenka urovnya kachestva ob"ektov gorodskogo ozeleneniya metodami prikladnoi kvalimetrii (Level quality assement of green spaces by applied qualimetry techniques), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2008, Vol. XXV, No. 1–2, pp. 93–97.

Avdeeva E.V., Vagner E.A., Nademyanov V.F., Chernikova K.V. Informatsionno-analiticheskaya sistema "Upravlenie kachestvom gorodskikh ob"ektov ozeleneniya". Modul' I – Monitoring sostoyaniya gorodskikh ob"ektov ozeleneni-

ya (Information-analytical system "Quality management of urban greening facilities". Module I – Monitoring the condition of urban greening facilities), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2015a, Vol. XXXIII, No. 3–4, pp. 89–95.

Avdeeva E.V., Vagner E.A., Nademyanov V.F., Chernikova K.V., Informatsionno-analiticheskaya sistema "Upravlenie kachestvom gorodskikh ob"ektov ozeleneniya". Modul' II – Otsenka kachestva gorodskikh ob"ektov ozeleneniya (Information-analytical system "Quality management of urban greening facilities" Module II – Assesment of the quality of urban greening facilities"), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2015b, Vol. XXXIII, No. 3–4, pp. 96–102.

Azgal'dov G.G., Glichev A.V., Panov V.P., *Chto takoe kachestvo?* (What is quality?), Moscow: Ekonomika, 1968, 135 p.

Azgal'dov G.G., Raikhman E.P., *O kvalimetrii* (On qualimetry), Moscow: Izd-vo standartov, 1973, 172 p.

- Daniels B., Zaunbrecher B.S., Paas B., Ottermanns R., Ziefle M., Roß-Nickoll M., Assessment of urban green space structures and their quality from a multidimensional perspective, *Science of The Total Environment*, 2018, Vol. 615, pp. 1364–1378.
- Dennis M., James P., Considerations in the valuation of urban green space: accounting for user participation, *Ecosystem Services*, 2016, Vol. 21 (Part A), pp. 120–129.
- Fedorova N.B., Opređenje kachestva i tsennosti zelenykh nasazhdenii na territorii Sankt-Peterburga (Definition of quality and value of green plantings in territory of St.-Petersburg.), *Lesnoi vestnik*, 2011, No. 4, pp. 144–151.
- Ives C., Oke C., Cooke B., Gordon A., Bekessy S., *Planning for green open space in urbanising landscapes*, Final report for Australian Government Department of Environment, 2014, 94 p.
- James P., Tzoulas K., Adams M.D., Barber A., Box J., Breuste J., Elmqvist T., Frith M., Gordon C., Greening K.L., Handley J., Haworth S., Kazmierczak A.E., Johnston M., Korpela K., Moretti M., Niemelä J., Pauleit S., Roe M.H., Sadler J.P., Towards an integrated understanding of green space in the European built environment, *Urban Forestry and Urban Greening*, 2009, Vol. 8, Iss. 2, pp. 65–75.
- Jankevica M., Assessment of landscape ecological aesthetics in urban areas: Example of Jelgava, *Research for Rural Development*, 2012, No. 2, pp. 134–140.
- Niemelä J., Ecology of urban green spaces: The way forward in answering major research questions, *Landscape and Urban Planning*, 2014, Vol. 125, pp. 298–303.
- Perel'man A.I., *Geokhimiya* (Geochemistry), Moscow: Vysshaya shkola, 1979, 423 p.
- Ridder K. De., Adamec V., Bañuelos A., Bruse M., Bürger M., Damsgaard O., Dufek J., Hirsch J., Lefebvre F., Pérez-Lacorzana J.M., Thierry A., Weber C., An integrated methodology to assess the benefits of urban green space, *Science of The Total Environment*, 2004, Vol. 334–335, pp. 489–497.
- Saet Y.E., Geokhimicheskaya otsenka tekhnogennoi nagruzki na okruzhayushchuyu sredu (Geochemical assessment of technogenic load on the environment), In: *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv* (Geochemistry of landscapes and geography of soils), Moscow: MGU, 1982, pp. 84–100.
- Shikhova N.S., Ekologicheskoe sostoyanie pochv i zelenykh nasazhdenii Vladivostoka (Ecological condition of vegetation soils in Vladivostok), *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2013, No. 1, pp. 97–102.
- Shikhova N.S., Ekologo-geokhimicheskie osobennosti rastitel'nosti Yuzhnogo Primor'ya i vidospetsifichnost' arboriflory v nakoplenii tyazhelykh metallov (Ecological and geochemical peculiarities of the South Primorye vegetation and arboriflora species specificity in the heavy metal accumulations), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2017, No. 6, pp. 76–88.
- Shikhova N.S., Kompleksnaya otsenka sostoyaniya lesov zelenoi zony Vladivostoka (Integral assessment of the forests of Vladivostok green belt), *Lesovedenie*, 2015, No. 6, pp. 436–446.
- Shikhova N.S., Otsenka funktsional'nogo sostoyaniya zelenykh nasazhdenii i akumulatsii imi tyazhelykh metallov na gorodskikh ozelenennykh territoriyakh razlichnogo naznacheniya (Assessment of the functional state of green plantings and the accumulation of heavy metals by vegetation in urban green areas for various purposes), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2019, No. 5, pp. 612–626.
- Shikhova N.S., Polyakova E.V., *Derev'ya i kustarniki v ozelenenii goroda Vladivostoka* (Trees and bushes of Vladivostok streets), Vladivostok: Dal'nauka, 2006, 236 p.
- Shikhova N.S., Polyakova E.V., Otsenka zhiznennogo sostoyaniya i ustoichivosti vidov v ozelenenii g. Vladivostoka (Assessment of the vital state and stability of species in the landscaping of Vladivostok), *Byulleten' GBS*, 2003, Vol. 185, pp. 14–27.
- Shikhova N.S., Transformatsiya dal'nevostochnoi arborifloroi tekhnogennykh zagryaznenii sredy (The transformation of technogenic pollution of the environment by the far Eastern arboriflora), *Agrarnyi vestnik Primor'ya*, 2016, No. 1, pp. 29–32.
- Skachkova M.E., Kopalova K.M., Metodicheskoe obespechenie otsenki urovnya komfortnosti zelenykh nasazhdenii obshchego pol'zovaniya (Methodological support for assessment of the comfort level of green spaces of public use), *Prirodoobustroistvo*, 2018, No. 2, pp. 125–131.
- Ufimtseva M.D., Terekhina N.V., *Fitoindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya urbogeosistem Sankt-Peterburga* (Phytoindication of the ecological state of the urban geosystems of St. Petersburg), Saint Petersburg: Nauka, 2005, 339 p.