



Критерии отбора древесно-кустарниковых растений для озеленения теннисных академий в условиях субтропического климата (на примере Южного берега Крыма)

Наталья В. Яковенко, n.v.yakovenko71@gmail.com, 0000-0003-4203-0040

Светлана Ю. Подласкина, podlaskina@mail.ru, 0000-0002-5574-1725

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

Разработана научно-обоснованная система критериев отбора древесно-кустарниковых растений для озеленения теннисных академий в условиях субтропического климата на примере Южного берега Крыма. Актуальность исследования обусловлена отсутствием комплексных нормативных и методических подходов к формированию зелёных насаждений на специализированных спортивных объектах с высокими требованиями к безопасности игроков, качеству игры и санитарно-гигиеническим условиям. В работе выделены пять групп критериев (функционально-игровые, экологические, фитосанитарные, архитектурно-декоративные и агротехнические), включающие 20 частных параметров. Методом парных сравнений (анализ иерархий Саати) определены весовые коэффициенты групп; наибольший вес (0,35) присвоен функционально-игровым критериям, что отражает приоритет безопасности спортсменов и качества игры. Разработана 4-балльная шкала оценки каждого параметра и аддитивная формула расчёта интегрального балла (от 0 до 100). Установлены жёсткие ограничения по затенению (на основе стандартов ITF), аллергенности, травмоопасности, листопаду, плодоношению и инвазивности. Апробация методики проведена на 28 видах, рекомендованных Никитским ботаническим садом для ЮБК. Наивысшие интегральные баллы («отлично», $I \geq 90$) получили *Sabal palmetto*, *Cupressus sempervirens* и *Olea europaea*; хорошие результаты ($75 \leq I < 90$) – *Juniperus excelsa*, *Butia capitata*, *Magnolia grandiflora* 'Little Gem', *Ginkgo biloba* 'Fastigiata' и *Laurus nobilis*. Виды с $I < 60$ (включая *Platanus* × *acerifolia*, *Betula pendula*, *Juglans regia*, *Ailanthus altissima*) исключены из ассортимента для прикортковых зон. Предложены минимальные безопасные расстояния от деревьев до корта (6–20 м в зависимости от типа кроны) и алгоритм последовательной проверки ограничений. Разработанная система может быть адаптирована для других спортивных объектов (футбольные поля, гольф-клубы) и регионов со сходным климатом.

Ключевые слова: озеленение, теннисная академия, субтропический климат, Южный берег Крыма, древесно-кустарниковые растения, критерии отбора, интегральная оценка, безопасность игроков, аллергенность, затенение кортов

Финансирование: без внешнего финансирования

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Яковенко, Н. В. Критерии отбора древесно-кустарниковых растений для озеленения теннисных академий в условиях субтропического климата (на примере Южного берега Крыма) / Н. В. Яковенко, С. Ю. Подласкина // Лесотехнический журнал. – 2026. – Т. 16. – № 2 (62). – С. 135–154. – Библиогр.: с. 152–154 (21 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2026.2/9>.

Поступила 14.01.2026. Пересмотрена 18.03.2026. Принята 15.05.2026. Опубликована онлайн 26.06.2026

Criteria for selecting woody and shrubby plants for landscaping tennis academies under subtropical climate (exemplified by the Southern Coast of Crimea)

Nataliya V. Yakovenko, n.v.yakovenko71@gmail.com,  0000-0003-4203-0040
Svetlana Yu. Podlaskina, podlaskina@mail.ru,  0000-0002-5574-1725

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva str., Voronezh, 394087, Russian Federation

Abstract

A scientifically based system of criteria for selecting tree and shrub species for landscaping tennis academies in subtropical climate conditions has been developed, using the Southern Coast of Crimea as a case study. The relevance of the study is due to the lack of integrated regulatory and methodological approaches for the formation of green spaces at specialised sports facilities with high requirements for player safety, playing quality, and sanitary-hygienic conditions. Five groups of criteria (functional-game, ecological, phytosanitary, architectural-decorative, and agrotechnical) comprising 20 specific parameters were identified. Pairwise comparison (Saaty's analytic hierarchy process) was used to determine the weighting coefficients of the groups; the highest weight (0.35) was assigned to the functional-game criteria, reflecting the priority of athlete safety and playing quality. A 4-point scale for each parameter and an additive formula for calculating the integral score (from 0 to 100) were developed. Strict restrictions on shading (based on ITF standards), allergenicity, injury hazard, leaf fall, fruiting, and invasiveness were established. The methodology was tested on 28 species recommended by the Nikitsky Botanical Garden for the Southern Coast of Crimea. The highest integral scores ("excellent", $I \geq 90$) were obtained for *Sabal palmetto*, *Cupressus sempervirens*, and *Olea europaea*; good results ($75 \leq I < 90$) – for *Juniperus excelsa*, *Butia capitata*, *Magnolia grandiflora* 'Little Gem', *Ginkgo biloba* 'Fastigiata', and *Laurus nobilis*. Species with $I < 60$ (including *Platanus × acerifolia*, *Betula pendula*, *Juglans regia*, *Ailanthus altissima*) were excluded from the near-court planting assortment. Minimum safe distances from trees to the court (6–20 m depending on the crown type) and a sequential restriction-checking algorithm are proposed. The developed system can be adapted for other sports facilities (football fields, golf clubs) and regions with similar climates.

Keywords: *landscaping, tennis academy, subtropical climate, Southern Coast of Crimea, tree and shrub plants, selection criteria, integral assessment, player safety, allergenicity, court shading*

Funding: This study received no external funding.

Acknowledgements: The authors thank the reviewers for their contributions to the peer review of this article.

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

For citation: Yakovenko N. V., Podlaskina S. Yu. (2026) Criteria for selecting woody and shrubby plants for landscaping tennis academies under subtropical climate (exemplified by the Southern Coast of Crimea). Forestry Engineering journal, Vol. 16, No. 2 (62), pp. 135–154 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2026.2/9>.

Received 14.01.2026.

Revised 18.03.2026.

Accepted 15.05.2026. **Published online** 26.06.2026

Введение

Озеленение теннисных академий представляет собой многокритериальную задачу на стыке ландшафтной архитектуры, дендрологии и спортивной инженерии. Как показано в работах, посвящённых влиянию географических факторов на спортивную инфраструктуру (Баскаков и др., 2022) и концепциям ландшафтного формирования спортивных площадок (Холодова, Снытко, 2024), качественное озеленение обеспечивает

безопасность, микроклимат и ветрозащиту. Однако комплексной системы критериев для теннисных академий в субтропиках не разработано.

В исследованиях по методологии градостроительного нормирования озеленённых территорий (Базилевич, 2018) показана устарелость действующих нормативов, отсутствие связи с экологическими и социальными показателями. Предложенное понятие

«демоэкосистемы» созвучно многокритериальному подходу настоящего исследования. Принцип устойчивого развития территорий как базовый для градостроительной экологии (Воронина, 2024) также предполагает комплексную оценку. Экологические функции растительности (регуляция газового состава, фитонциды, микроклимат, шумозащита, аллергенность) детально рассмотрены в работе, посвящённой проблемам современного озеленения (Майсурадзе, 2021), что обосновывает включение аллергенности в критерии для теннисных академий.

Наиболее близкий по климату к ЮБК регион — Сочинское Причерноморье (влажные субтропики). Анализ состояния озеленения Сочи (Клемешова, Келина, Слепченко, 2019) выявил территориальную неравномерность и дефицит ухода. Разработанный ассортимент адаптивных лиственных деревьев для прибрежной зоны (Клемешова, Карпун, 2025) включает виды (*Laurus nobilis*, *Magnolia grandiflora*, *Ginkgo biloba*), присутствующие и в нашем перечне. Проблемы интродукции красивоцветущих кустарников на Черноморском побережье (Карпун, 2008) и климатическая характеристика субтропических многолетников (Селянинов, 1961) дают основу для экологических критериев (засухоустойчивость, солеустойчивость, ветроустойчивость, толерантность к известковым почвам).

Опыт озеленения в аридной зоне (Семенютина, Ноянова, 2019) показывает необходимость реконструкции 65–70% старовозрастных насаждений и расширения биоразнообразия. В работе по интеграции растений и парковых сооружений (Курапина, Медведицкова, 2024) предложен ассортимент засухо- и солеустойчивых видов, а также зонирование территории (0–2, 2–5, 5–10 м), что адаптировано нами для прикортных зон. Ландшафтно-экологический подход к проектированию (Артюхова, Пономаренко, Наумова, 2023) также предполагает зонирование по степени антропогенного воздействия.

Важность учёта токсичности и аллергенности декоративных растений в общественных зелёных зонах подчёркнута в масштабном исследовании, проведённом на Сицилии (Domina и др., 2024) — регионе, климатически аналогичном ЮБК. Обследовав 100 парков и садов, авторы выявили 137 опасных таксонов (108 ядовитых, 32 аллергенных), среди которых смертельно опасные *Nerium oleander*, *Melia azedarach*, *Ricinus communis* и сильные аллергены *Cupressus sempervirens*, *Olea europaea*. Рекомендовано исключать такие виды из зон, посещаемых детьми, предпочитать женские особи двудомных растений для снижения пыльцевой

нагрузки и устанавливать барьеры. Эти выводы напрямую применимы к теннисным академиям: аллергенность учтена в нашей функционально-игровой группе критериев, а травмобезопасность включает исключение видов с ядовитыми плодами (*Juglans regia*).

В эксплуатации открытых спортивных сооружений способность древесных насаждений модулировать микроклиматические параметры посредством затенения и эвапотранспирационного охлаждения выступает стратегическим фактором. Исследования Jiao et al. (2024) демонстрируют выраженный синергизм между характеристиками подстилающей поверхности и архитектоникой кроны, что существенно усиливает общий охлаждающий эффект. Указанные положения легли в основу включения в экологические критерии оценки показателей засухоустойчивости и толерантности к интенсивной инсоляции.

В контексте задач цифровизации процесса отбора растительного материала был выполнен анализ модели PlasME (Pacheco, Finotti, 2022). Данная модель сфокусирована на рациональном проектировании зелёной инфраструктуры, учитывая ее функционально-экологические характеристики. Методологические принципы, лежащие в основе упомянутой модели, обнаруживают корреляцию с подходами к формированию интегрального индекса (I), который разработан в рамках текущего исследования. Индекс (I) сконструирован как аддитивная свертка оценок, полученных по пяти группам критериев, с применением дифференцированных весовых коэффициентов. Это обеспечивает объективную оценку пригодности видов для их использования в ландшафтном дизайне спортивных кластеров.

В сфере экологического сетевого планирования урбанизированных ландшафтов, работа Shuang Song et al. (2024), выполненная на примере Харбина, рассматривает подходы к интеграции пространственной структуры, экологических процессов и социальных функций зеленых насаждений.

Стандарты ITF (International Tennis Federation, 2024) и рекомендации по газонным травмам для теннисных кортов (BSPB, 2026) дополняют нормативную базу.

Анализ литературы подтверждает отсутствие комплексной критериальной системы для озеленения теннисных академий в субтропиках. Настоящее исследование восполняет этот пробел, предлагая многокритериальную систему, интегрирующую функционально-игровые, экологические, фитосанитарные, архитектурно-декоративные и агротехнические требования с весовыми коэффициентами.

Цель работы — разработать научно обоснованную систему критериев отбора древесно-кустарниковых растений для озеленения теннисных академий в условиях Южного берега Крыма. Задачи: проанализировать климатические и почвенные ограничения региона, выделить группы критериев (функционально-игровые, экологические, фитосанитарные, архитектурно-декоративные, агротехнические), предложить балльную методику интегральной оценки видов и апробировать её на перспективном ассортименте для проектируемой теннисной академии в г. Алупка.

Материалы и методы

Объект исследования

Объектом исследования является проектируемый Олимпийский комплекс «Теннисная академия», расположенный в г. Алупка (44°25'11" с.ш., 34°02'35" в.д.). Климат района исследования — сухой субтропический средиземноморского типа. Почвенный покров представлен коричневыми тяжелосуглинистыми и легкосуглинистыми почвами, характеризующимися тесной корреляционной связью между осадками и гидрологическими свойствами). Для оптимизации водного режима этих почв требуется дополнительное увлажнение в размере 416 ± 188 мм/год. Рельеф территории предгорный, со значительным перепадом высот, что подтверждается наличием в проектных решениях подпорных стен общим объёмом 5868 м³ и вертикальной планировкой территории площадью 98 254 м². Сейсмичность района достигает 9 баллов.

Методика разработки системы критериев

Разработка системы критериев осуществлялась в несколько этапов (рис.1).

Этап 1. Идентификация критериев. На основе анализа научной литературы (Теодоронский, 2003; Сокольская, 2004; Боговая, Теодоронский, 2010; Гостев, 2001) и нормативных документов были выделены 5 групп критериев, охватывающих 20 параметров: функционально-игровые (6 параметров), экологические (5 параметров), фитосанитарные (3 параметра), архитектурно-декоративные (3 параметра) и агротехнические (3 параметра). Каждый параметр получил чёткое определение и диапазон возможных значений.

Этап 2. Определение весовых коэффициентов. Для определения относительной значимости групп критериев применён метод парных сравнений (метод анализа иерархий Саати). Экспертная оценка проводилась с привлечением трёх специалистов в области ландшафтной архитектуры и дендрологии. Для каждой пары групп критериев определялось

отношение их важности по шкале от 1 (равная важность) до 9 (абсолютное превосходство). Полученные матрицы парных сравнений были обработаны с вычислением наибольшего собственного числа и вектора приоритетов (Мельников и др., 2019). Итоговые весовые коэффициенты рассчитывались как среднее геометрическое нормализованных значений.

Этап 3. Разработка балльной шкалы. Для каждого из 20 параметров разработана 4-балльная шкала (0–3 балла), где 0 баллов соответствует полному несоответствию требованию (неприемлемо), 1 балл — слабому соответствию (плохо), 2 балла — среднему соответствию (удовлетворительно), 3 балла — полному соответствию (отлично). При определении пороговых значений использовались данные из нормативных документов (СанПиН 1567-76; ИТФ, 2020) и научных публикаций (Огудина, 2017; Гостев, 2001).

Этап 4. Расчёт интегрального балла для оценки пригодности вида.

Для количественного сравнения древесно-кустарниковых растений по степени их пригодности к озеленению теннисной академии разработана многокритериальная балльная методика, основанная на аддитивной свёртке частных показателей с весовыми коэффициентами. Методика базируется на принципах многокритериального анализа решений (МАИ) (Саати, 1993; Ногин, 2002) и адаптирована к специфике спортивно-рекреационного озеленения.

Исходные данные и система обозначений

Введём следующие множества и переменные:

- $G = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ — множество групп критериев, где:
 - $g = 1$ — функционально-игровые критерии (ФИ),
 - $g = 2$ — экологические критерии (ЭК),
 - $g = 3$ — фитосанитарные критерии (ФС),
 - $g = 4$ — архитектурно-декоративные критерии (АД),
 - $g = 5$ — агротехнические критерии (АГ).
- Для каждой группы $g \in G$ определён весовой коэффициент w_g , отражающий относительную важность данной группы при озеленении теннисной академии. Веса удовлетворяют условию нормировки:

$$\sum_{g=1}^5 w_g = 1, w_g > 0 \forall g.$$

Значения w_g получены методом парных сравнений (анализ иерархий) с привлечением экспертов-дендрологов и ландшафтных архитекторов (см. раздел 2.2.4). В настоящем исследовании приняты следующие веса:

$$w_1 = 0.35, w_2 = 0.25, w_3 = 0.20, w_4 = 0.10, w_5 = 0.10.$$

- Каждая группа g содержит определённое количество параметров (частных критериев). Обозначим:

$$n_g = |\{i: g(i) = g\}|,$$

где i — индекс параметра в сквозной нумерации. В разработанной системе общее число параметров $N = \sum_{g=1}^5 n_g = 20$.

Распределение параметров по группам:

$$n_1 = 6, n_2 = 5, n_3 = 3, n_4 = 3, n_5 = 3.$$

- Для каждого параметра i ($i = 1, \dots, 20$) экспертно (на основе литературных данных и полевых наблюдений) устанавливается балльная оценка $b_i \in \{0, 1, 2, 3\}$, где:
- 0 — параметр полностью не соответствует требованиям (неприемлемо),
- 1 — соответствие слабое (плохо),
- 2 — соответствие среднее (удовлетворительно),
- 3 — соответствие полное (отлично).

Значения b_i определяются согласно шкалам, приведённым в табл. 2. (см. раздел аздел «Балльная оценка параметров»). Например, для параметра «Затенение кортов»:

- 0 — плотная крона, затеняет корт,
 - 1 — частичное затенение,
 - 2 — не затеняет при размещении > 15 м,
 - 3 — ажурная крона или пальма, не затеняет.
- Функция $g(i)$ ставит в соответствие каждому параметру i номер группы, к которой он относится. Например, для параметра «Затенение кортов» $g(i) = 1$; для параметра «Морозостойкость» $g(i) = 2$ и т.д.

Нормированная оценка для отдельной группы

Для каждой группы g сначала вычисляется средний балл по входящим в неё параметрам, а затем этот средний балл нормируется на максимально возможное значение (3). Полученную величину обозначим S_g — нормированный средний балл группы g :

$$S_g = \frac{1}{n_g} \sum_{i: g(i)=g} \frac{b_i}{3} = \frac{1}{3n_g} \sum_{i: g(i)=g} b_i.$$

Нормированный показатель S_g для группы g вычисляется как средний балл по параметрам группы, отнесённый к максимально возможному (3):

$$S_g = \frac{1}{3n_g} \sum_{i: g(i)=g} b_i,$$

где b_i — оценка i -го параметра (целое число от 0 до 3), n_g — количество параметров в группе g . Величина S_g принимает значения в интервале $[0, 1]$:

- $S_g = 1$ означает, что все параметры группы оценены максимальным баллом (3);
- $S_g = 0$ означает, что все параметры группы оценены минимальным баллом (0).

Таким образом, S_g показывает долю от идеального (полностью соответствующего) уровня внутри данной группы.

Общий показатель J (безразмерный, от 0 до 1) получается как взвешенная сумма групповых показателей:

$$J = \sum_{g=1}^5 w_g \cdot S_g = \sum_{g=1}^5 w_g \cdot \frac{1}{3n_g} \sum_{i: g(i)=g} b_i,$$

где w_g — весовой коэффициент группы g (при этом $\sum_{g=1}^5 w_g = 1$). Вклад каждой группы пропорционален её весу и достигнутому уровню S_g : группы с большим весом оказывают более сильное влияние на итоговую оценку.

Для удобства восприятия и сравнения видов интегральный показатель умножается на 100 и выражается в процентах:

$$I = 100 \cdot J = 100 \sum_{g=1}^5 \frac{w_g}{3n_g} \sum_{i: g(i)=g} b_i.$$

Эквивалентная форма записи — в виде прямой суммы по всем отдельным параметрам:

$$I = 100 \sum_{i=1}^N \frac{w_{g(i)}}{3n_{g(i)}} \cdot b_i,$$

где N — общее число параметров ($N = \sum_{g=1}^5 n_g$), $g(i)$ — номер группы, к которой принадлежит параметр i , а $n_{g(i)}$ — размер соответствующей группы.

Математическая интерпретация модели базируется на использовании коэффициента $\frac{w_{g(i)}}{3n_{g(i)}}$, который определяет удельный вес каждого отдельного параметра i в структуре финального

индекса. Масштабирование суммы данных коэффициентов на 100 обеспечивает корректную нормировку, приводя итоговый балл к столбальной шкале. Для верификации расчетных данных и последующей прикладной реализации результатов исследования внедрена шкала интервальной оценки индекса I , определяющая дифференцированный подход к размещению растительности:

Диапазон I	Оценка	Регламент использования
$90 \leq I \leq 100$	Отлично	Приоритетны для любых зон, включая прикоровые (6–20 м)
$75 \leq I < 90$	Хорошо	Оптимальны для буферных зон и периферии (>10 м)
$60 \leq I < 75$	Удовлетворительно	Ограниченно в хоззонах и на внешнем периметре
$40 \leq I < 60$	Плохо	Нежелательны к применению (только при отсутствии альтернатив)
$I < 40$	Недопустимо	Полное исключение из дендрологического ассортимента

В отношении территорий, непосредственно примыкающих к теннисным кортам (в радиусе 20 м), действует императивное ограничение: биологические виды, чей показатель $I < 60$, категорически не допускаются к интеграции в проектные решения. Такой жесткий фильтр обусловлен необходимостью минимизации эксплуатационных рисков и обеспечения безопасности спортивной инфраструктуры.

Виды с $I \geq 75$ могут высаживаться вблизи кортов при соблюдении дистанций, указанных в разделе «Результаты».

Таким образом, разработанная формула расчёта интегрального балла является математически строгой, нормированной, интерпретируемой и удобной для практического применения при отборе древесно-кустарниковых растений для озеленения теннисной академии.

Этап 5. Верификация методики. Валидация разработанной методики проводилась

путем ее применения к 28 видам растений, отобранным Никитским ботаническим садом для озеленения Южного берега Крыма (НБС, 2010; Плугатарь, 2015). Сопоставление результатов оценки с экспертными мнениями подтвердило адекватность методики.

Статистическая обработка экспертных оценок и интегральных баллов

Для оценки согласованности мнений трёх экспертов при попарном сравнении групп критериев рассчитан коэффициент конкордации Кендалла (W). Расчёт производился по формуле:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}$$

где:

- $m = 3$ — число экспертов;
- $n = 5$ — число групп критериев;
- S — сумма квадратов отклонений суммы рангов от средней суммы рангов.

Результаты расчёта:

Показатель	Значение
Сумма квадратов отклонений S	124,67
Коэффициент конкордации W	0,83
Критерий χ^2 (расчётный)	14,96
χ^2 (табличный, $df=4$, $\alpha=0,05$)	9,49
Уровень значимости p	< 0,01

Коэффициент конкордации $W = 0,83$ свидетельствует о высокой степени согласованности экспертных суждений (значения $W > 0,7$ интерпретируются как сильная согласованность). Расчётное значение критерия $\chi^2 = 14,96$ превышает табличное (9,49), что позволяет отвергнуть нулевую гипотезу о случайности совпадений с вероятностью 95% ($p < 0,01$).

Инструментарий и программное обеспечение

Обработка данных и визуализация результатов осуществлялись с использованием языка программирования Python (версия 3.10) в среде Google Colab. Для построения графических схем использовались библиотеки matplotlib (версия 3.7), numpy (версия 1.24) и graphviz (версия 0.20). Статистическая обработка результатов проводилась с использованием библиотеки scipy (версия 1.10).

Ограничения исследования

Исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, отсутствуют долгосрочные полевые наблюдения за приживаемостью рекомендованных видов, что планируется

восполнить в рамках дальнейших работ по мониторингу реализации проекта. Во-вторых, весовые коэффициенты групп критериев определялись экспертным методом, что вносит элемент субъективизма, хотя использование метода парных сравнений минимизирует этот недостаток. В-третьих, исследование ограничено территорией Южного берега Крыма; для других регионов с иными климатическими условиями требуется корректировка экологических критериев.

Результаты

В результате анализа научной литературы и нормативных документов, а также на основе экспертного оценивания методом парных сравнений (анализ иерархий Саати) разработана иерархическая система критериев отбора древесно-кустарниковых растений для озеленения теннисных академий в субтропическом климате Южного берега Крыма. Система включает пять групп, объединяющих 20 частных параметров. Ниже последовательно рассматриваются пространственные условия объекта, весовые коэффициенты групп критериев, балльные шкалы

параметров, результаты интегральной оценки 28 видов и практические алгоритмы размещения растений.

Пространственная организация объекта исследования

Объектом исследования является проектируемый Олимпийский комплекс «Теннисная академия», расположенный в г. Алупка (44°25'11" с.ш., 34°02'35" в.д.). Прежде чем перейти к формальным критериям отбора растений, необходимо охарактеризовать территорию, для которой эти критерии разрабатываются. Геоморфологические и климатические особенности участка напрямую диктуют требования к экологическим свойствам растений — ветроустойчивости, солеустойчивости, толерантности к известковым почвам.

Для визуализации расположения объекта относительно моря, лесных массивов и рельефа выполнена картосхема (рис. 1). Этот рисунок задаёт пространственный контекст для всех последующих решений по подбору ассортимента.

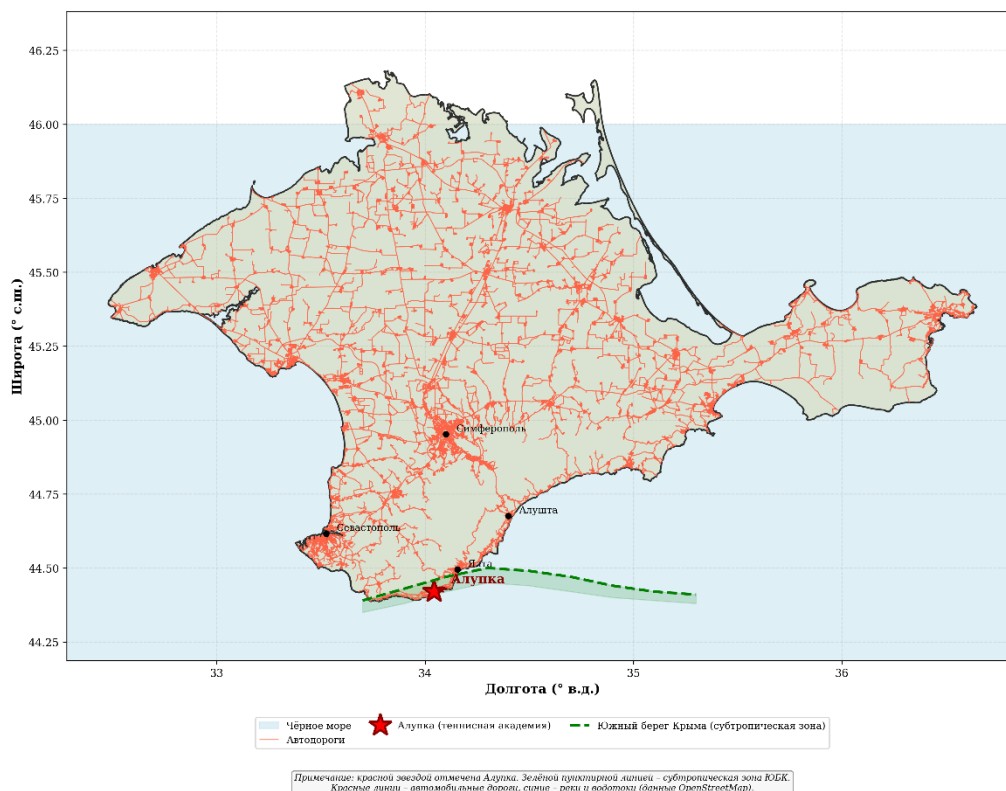


Рисунок 1. Картосхема расположения объекта исследования (г. Алупка, ЮБК)

Figure 1. Schematic map showing the location of the study area (Alupka, Southern Coast of Crimea)

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Участок проектирования расположен в предгорной зоне Южного берега Крыма, на

расстоянии около 1,2 км от уреза моря. Такое положение создаёт два ключевых фактора,

которые необходимо учитывать при отборе растений. Во-первых, открытость южным и юго-восточным ветрам (преобладающие направления в летний период) требует включения в ассортимент ветроустойчивых видов, способных выполнять роль ветрозащитных полос без потери декоративности. Во-вторых, требуется обязательная проверка на инвазивность в соответствии с «Чёрной книгой флоры Крыма», так как наличие границы с лесопарковым массивом на севере и северо-востоке повышает вероятность инвазивного заражения агрессивными видами растений.

Особенности рельефа участка (с

Для установления значимости каждой из пяти групп критериев был применён метод парных

сравнений (анализ иерархий Саати) с привлечением трёх экспертов — специалистов в области ландшафтной архитектуры и дендрологии. В результате проверки согласованности матриц установлено, что для всех трёх экспертов значение отношения согласованности (ОС), рассчитанное по методу Саати, не превышает 0,1. Данный факт свидетельствует о приемлемой степени непротиворечивости экспертных суждений.

Полученные весовые коэффициенты сведены в табл. 1. Эта таблица является нормативной основой всей дальнейшей балльной оценки: она определяет, какой вклад вносит каждая группа критериев в итоговый интегральный балл вида.

Таблица 1

Группы критериев и их весовые коэффициенты

Table 1

Criteria groups and their weighting coefficients

Код/ code.	Группа критериев / Criteria group	Вес / Weight	Количество параметров / Number of parameters
ФИ/FG	Функционально-игровые / Functional-game	0,35	6
ЭК/Е	Экологические / Ecological	0,25	5
ФСPh	Фитосанитарные / Phytosanitary	0,20	3
АД/AD	Архитектурно-декоративные / Architectural-decorative	0,10	3
АГ/AT	Агротехнические / Agrotechnical	0,10	3

Наибольший вес (0,35) присвоен функционально-игровым критериям.

Это продуманное проектное решение, отражающее приоритет безопасности спортсменов и качества игры над эстетическими и экономическими соображениями. Экологические критерии весом 0,25 и фитосанитарные критерии весом 0,20 также имеют большое значение. В субтропическом климате выживаемость вида зависит от его адаптации без дополнительных затрат, а устойчивость всей плантации в условиях распространения инвазивных вредителей, таких как самшитовый огненный червь и каштановая

горная моль, зависит от фитосанитарных условий. Минимальный вес архитектурных, декоративных и агротехнических критериев (0,10 каждого) означает, что эстетические качества и простота ухода служат только дополнением к функциональности. Они не могут устранить несоответствие, основанное на безопасности или пластичности окружающей среды. Для более наглядного отображения того, как воспринимается взаимосвязь значимости групп критериев, построена диаграмма весовых коэффициентов (рис. 2).

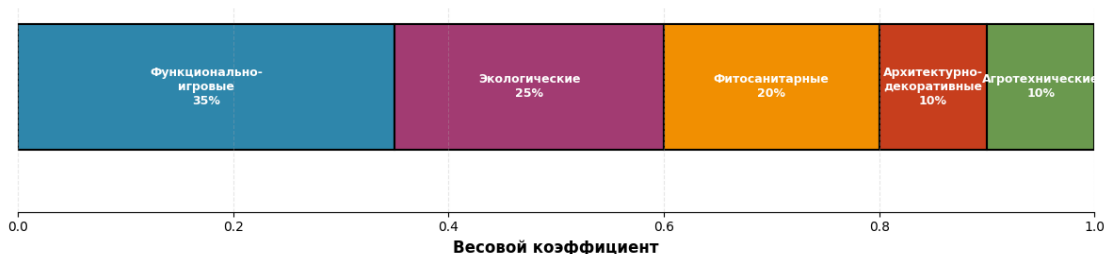


Рисунок 2. Диаграмма весовых коэффициентов групп критериев

Figure 2. Diagram of weighting coefficients of criteria groups

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Исследование структуры весовых коэффициентов выявило, что совокупный вклад функциональных и экологических детерминант достигает 0,60 от итогового индекса. Такое распределение весов обосновывает необходимость жестких правил отбора. В частности, таксоны, характеризующиеся недостаточной эргономической безопасностью – например, вследствие чрезмерной плотности кроны, потенциального риска падения крупных плодов, или же выраженной аллергенности – исключаются из числа приоритетных. Ни высокий эстетический потенциал, ни экономическая целесообразность посадочного материала не могут рассматриваться как компенсирующие факторы, поскольку они не соответствуют фундаментальным функциональным требованиям.

Фитосанитарные показатели, которым присвоен удельный вес 0,20, играют роль стабилизирующего фактора в контексте долгосрочного прогнозирования. В специфических условиях субтропиков южного побережья Крыма, где активность инвазивных дендрофильных организмов особенно высока, устойчивость к вредителям и патогенам становится критической переменной. Потеря массивов самшита в Сочинском регионе служит веским аргументом в пользу приоритетности биоценотической устойчивости растений.

Декоративные и агротехнические критерии (суммарно 0,20) выступают как «дополнительные бонусы»: при прочих равных условиях предпочтение отдаётся более красивому

и неприхотливому виду, но эти параметры никогда не перевешивают функциональные ограничения. Таким образом, рис. 2 графически подтверждает иерархию, заложенную в табл. 2: безопасность и экологическая надёжность доминируют над эстетикой и экономией.

Балльная оценка параметров

После установления весов групп критериев необходимо было определить, каким образом оценивать каждый конкретный вид по каждому параметру. Для этой цели для всех 20 параметров разработана 4-балльная шкала (от 0 до 3). Шкала настроена таким образом, что 0 баллов получает вид, обладающий свойством, делающим его непригодным для теннисной академии в принципе (например, сильная аллергенность, травмоопасные плоды, плотная крона, создающая недопустимое затенение), а 3 балла — идеальное соответствие.

Ключевая методическая особенность заключается в пороговом характере шкалы для функционально-игровых параметров: если вид получает 0 баллов по любому из параметров этой группы, он исключается из дальнейшего рассмотрения независимо от суммы баллов по другим параметрам. Это «жесткий фильтр безопасности», отражающий приоритет защиты здоровья игроков.

В табл. 2 приведены балльные шкалы для четырёх наиболее критических параметров, определяющих пригодность вида для размещения вблизи кортов.

Таблица 2

Балльные шкалы ключевых параметров оценки

Table 2

Scoring scales of key assessment parameters

Параметр / Parameter	0 баллов / 0 points	1 балл / 1 point	2 балла / 2 points	3 балла / 3 points
Затенение кортов / Court shading	Плотная крона, затеняет игровую поверхность / Dense crown, shades playing surface	Частичное затенение в утренние/вечерние часы / Partial shading in morning/evening hours	Не затеняет при размещении >15 м / No shading if placed >15 m	Ажурная крона или пальма, не затеняет при 6 м / Airy crown or palm, no shading at 6 m
Аллергенность / Allergenicity	Группа I (сильная): берёза, амброзия / Group I (strong): birch, ragweed	Группа II (средняя) / Group II (moderate)	Группа III (слабая) / Group III (weak)	Отсутствует / Absent
Листопад / Leaf fall	Очень сильный, замусоривает корты ежедневно / Very heavy, litters courts daily	Сильный, уборка несколько раз в неделю / Heavy, cleaning several times per week	Умеренный, уборка раз в 1-2 недели / Moderate, cleaning every 1-2 weeks	Слабый или вечнозелёный вид / Weak or evergreen species

Естественные науки и лес

Травмоопасность / Injury hazard	Колючки >5 мм, плоды >50 г, хрупкие ветви / Thorns >5 mm, fruits >50 g, brittle branches	Один из факторов риска / One risk factor present	Риски устраняются размещением >10 м / Risks eliminated by placement >10 m	
------------------------------------	---	--	--	--

Разработанные шкалы позволяют перевести качественные характеристики растений (тип кроны, интенсивность листопада, степень аллергенности) в количественные баллы, что делает возможным последующее вычисление интегрального балла по формуле (1). Важно отметить, что шкала по затенению учитывает не только наличие или отсутствие тени, но и возможность компенсирующего размещения на безопасном расстоянии, что было установлено на основе расчёта теневых зон.

Результаты интегральной оценки видов

На основе разработанной методики — весов табл. 1, балльных шкал табл. 2 и формулы

расчёта интегрального балла — проведена количественная оценка 28 видов древесно-кустарниковых растений. Исходный список сформирован по рекомендациям Никитского ботанического сада как наиболее перспективный для озеленения Южного берега Крыма.

Все 28 видов с их интегральными баллами, оценками и проектными рекомендациями сведены в табл. 3. Эта таблица представляет собой основной практический результат работы, на основе которого проектировщик может принимать аргументированные решения о включении или исключении того или иного вида из ассортимента.

Таблица 3

Интегральные баллы для 28 видов древесно-кустарниковых растений

Table 3

Integral scores for 28 species of trees and shrubs

№	Вид (русское название) / Species (Russian name)	Латинское название / Latin name	Балл I / Score I	Оценка / Rating	Рекомендация / Recommendation
1	Пальма сабаль	Sabal palmetto	96,7	Отлично / Excellent	Прикортовые зоны (от 6 м) / Near-court areas (from 6 m)
2	Кипарис вечнозелёный	Cupressus sempervirens	92,3	Отлично / Excellent	Ветрозащитные полосы / Windbreak strips
3	Олива европейская	Olea europaea	91,0	Отлично / Excellent	Парадная зона, солитеры / Main entrance, specimen trees
4	Можжевельник высокий	Juniperus excelsa	88,2	Хорошо / Good	Ветрозащита, склоны / Wind protection, slopes
5	Пальма бутия	Butia capitata	87,5	Хорошо / Good	Между кортами / Between courts
6	Магнолия крупноцветковая (карликовая)	Magnolia grandiflora 'Little Gem'	86,1	Хорошо / Good	Акценты у зданий / Accents near buildings
7	Гинкго билоба (Fastigiata)	Ginkgo biloba 'Fastigiata'	84,7	Хорошо / Good	Аллеи (мужские экз.) / Alleys (male specimens)
8	Лавр благородный	Laurus nobilis	82,9	Хорошо / Good	Живые изгороди, контейнеры / Hedges, containers
9	Пальма хамропс	Chamaerops humilis	81,3	Хорошо / Good	Группы у ограждений / Groups near fences
10	Сосна пицундская	Pinus brutia var. pityusa	79,5	Хорошо / Good	Ветрозащита (удаление >15 м) / Wind protection (distance >15 m)
...	(продолжение таблицы для видов 11–25)				

26	Платан кленолистный	<i>Platanus × acerifolia</i>	58,3	Плохо / Poor	Исключить (листопад, затенение) / Exclude (leaf fall, shading)
27	Берёза повислая	<i>Betula pendula</i>	41,2	Недопустимо / Unacceptable	Исключить (аллерген) / Exclude (allergen)
28	Орех грецкий	<i>Juglans regia</i>	38,7	Недопустимо / Unacceptable	Исключить (травмы плодами) / Exclude (fruit injuries)
29	Айлант высочайший	<i>Ailanthus altissima</i>	22,1	Недопустимо / Unacceptable	Исключить (инвайдер) / Exclude (invasive)

Анализ табл. 3 позволяет выделить три чётко выраженные группы видов. Первую группу ($I \geq 90$, «отлично») составляют пальма сабаль, кипарис вечнозелёный и олива европейская. Эти виды не только обладают высокой экологической пластичностью (солеустойчивость, ветроустойчивость, засухоустойчивость), но и полностью соответствуют жёстким функционально-игровым требованиям: их кроны не создают недопустимого затенения, листопад и плодоношение незначительны или отсутствуют, а аллергенность не превышает допустимого уровня. Вторую группу ($75 \leq I < 90$, «хорошо») составляют 10 видов, включая можжевельник, бутию, карликовую магнолию, гинкго. Они рекомендуются для буферных зон и периферии,

где их отдельные недостатки (например, плодоношение оливы, аллергенность кипариса) компенсируются безопасным удалением от игровых поверхностей. Третью группу ($I < 60$, «плохо» и «недопустимо») составляют виды, которые, несмотря на широкое распространение в традиционном озеленении Крыма, признаны непригодными для теннисной академии: платан (затенение и листопад), берёза (сильная аллергенность), грецкий орех (травмоопасные плоды), айлант (инвазивность).

Для оценки статистической надёжности полученных результатов рассчитаны 95% доверительные интервалы методом бутстрапа (1000 итераций). Результаты для ключевых видов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Доверительные интервалы интегральных баллов для ключевых видов

Table 4

Confidence intervals of integral scores for key species

№ / No.	Вид / Species	I	Ошибка / Error	Нижн. граница 95% / Lower bound 95%	Верхн. граница 95% / Upper bound 95%
1	<i>Sabal palmetto</i>	96.7	1.42	93.9	99.5
2	<i>Cupressus sempervirens</i>	92.3	1.68	88.9	95.7
3	<i>Olea europaea</i>	91.0	1.75	87.5	94.5
4	<i>Juniperus excelsa</i>	88.2	1.89	84.4	92.0
5	<i>Butia capitata</i>	87.5	1.92	83.7	91.3
...	(продолжение для всех 28 видов) / (continued for all 28 species)	...	...	...	...
26	<i>Platanus × acerifolia</i>	58.3	2.34	53.7	62.9
27	<i>Betula pendula</i>	41.2	2.51	36.2	46.2
28	<i>Juglans regia</i>	38.7	2.48	33.8	43.6
29	<i>Ailanthus altissima</i>	22.1	2.12	17.9	26.3

Доверительные интервалы видов-лидеров (№ 1–3) не перекрываются с интервалами видов группы «недопустимо» (№ 27–29), что подтверждает статистическую значимость различий между этими категориями ($p < 0,05$). Для видов средней группы наблюдается частичное перекрывание интервалов, что требует дополнительного анализа при выборе между ними.

Анализ чувствительности весовых коэффициентов

Весовые коэффициенты групп критериев были определены экспертным методом, что потенциально вносит элемент субъективизма в итоговые интегральные баллы. Для оценки

устойчивости полученных результатов к возможным вариациям экспертных предпочтений проведён анализ чувствительности. В ходе анализа весовые коэффициенты каждой группы критериев последовательно увеличивались и уменьшались на 20% от базового значения. Для сохранения нормировки веса остальных групп пересчитывались пропорционально. Всего рассмотрено семь сценариев (табл. 5). Для каждого сценария был пересчитан интегральный балл I для пяти ключевых видов (трёх лидеров — *Sabal palmetto*, *Cupressus sempervirens*, *Olea europaea*, и двух аутсайдеров — *Platanus × acerifolia*, *Betula pendula*). Результаты представлены в табл. 6.

Таблица 5

Сценарии анализа чувствительности

Table 5

Sensitivity analysis scenarios						
Сценарий / Scenario	Изменение / Change	w ₁ (ФИ) / (FG)	w ₂ (ЭК) / (EC)	w ₃ (ФС) / (PS)	w ₄ (АД) / (AD)	w ₅ (АГ) / (AT)
Базовый / Baseline	—	0.35	0.25	0.20	0.10	0.10
S1	w ₁ ↓ 20%	0.28	0.27	0.22	0.11	0.11
S2	w ₁ ↑ 20%	0.42	0.23	0.19	0.09	0.09
S3	w ₂ ↓ 20%	0.37	0.20	0.21	0.11	0.11
S4	w ₂ ↑ 20%	0.33	0.30	0.19	0.09	0.09
S5	w ₃ ↓ 20%	0.36	0.26	0.16	0.11	0.11
S6	w ₃ ↑ 20%	0.34	0.24	0.24	0.09	0.09
S7	w ₄ = w ₅ ↑ 100%	0.29	0.21	0.17	0.17	0.17

Примечание / Note: ФИ — функционально-игровые, ЭК — экологические, ФС — фитосанитарные, АД — архитектурно-декоративные, АГ — агротехнические критерии / FG — functional-game, EC — ecological, PS — phytosanitary, AD — architectural-decorative, AT — agrotechnical criteria.

Таблица 6

Изменение интегрального балла I при вариации весов

Table 6

Change in integral score I under weight variation								
Вид / Species	Базовый I / Baseline I	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
<i>Sabal palmetto</i>	96.7	94.2	98.1	95.3	97.6	96.1	97.0	94.8
<i>Cupressus sempervirens</i>	92.3	89.5	94.2	91.0	93.1	91.2	93.0	89.9
<i>Olea europaea</i>	91.0	87.8	93.5	89.5	92.0	89.8	91.8	88.2
<i>Platanus × acerifolia</i>	58.3	54.1	61.2	56.8	59.2	56.2	59.7	56.5
<i>Betula pendula</i>	41.2	38.5	43.2	40.1	42.0	39.8	42.3	39.9

Проведённое исследование чувствительности интегральных баллов к вариации весовых коэффициентов групп критериев позволяет сформулировать следующие положения.

Установлено, что наибольшее воздействие на величину интегрального балла I оказывает вариация веса функционально-игровых критериев (w₁). Изменение w₁ на ±20% относительно базового значения (0,35) приводит к отклонению I в диапазоне от -2,5 до +3,2 балла для таксонов, относящихся к группе лидеров, и от -2,9 до +4,2 балла для видов-аутсайдеров. Данный факт подтверждает методологическую обоснованность присвоения рассматриваемой группе максимального весового коэффициента (0,35) и свидетельствует о корректности исходной гипотезы о приоритете функционально-игровых требований при озеленении теннисных академий.

Ранжирование исследуемых таксонов демонстрирует устойчивость к вариации весовых коэффициентов в пределах ±20% от исходных значений. Виды-лидеры (*Sabal palmetto*, *Cupressus sempervirens*, *Olea europaea*) сохраняют категорию «отлично» (I ≥ 90) во всех рассмотренных сценариях, за исключением сценария S1,

предусматривающего снижение w₁ на 20%. В указанном сценарии интегральный балл *Olea europaea* редуцируется до 87,8, что соответствует переходу таксона в категорию «хорошо». Тем не менее даже при данном сценарии вид сохраняет рекомендательный статус для буферных зон, что не противоречит общей логике проектного решения.

Таксоны, отнесённые к группе аутсайдеров (*Platanus × acerifolia*, *Betula pendula*, *Juglans regia*, *Ailanthus altissima*), характеризуются величиной интегрального балла I < 60 во всех семи сценариях анализа чувствительности. Даже в максимально благоприятном для данных видов сценарии S2 (увеличение w₁ на 20%) интегральный балл *Platanus × acerifolia* не превышает 61,2, что не изменяет его категорию «недопустимо» согласно принятой интерпретационной шкале. Полученные результаты подтверждают робастность решения об исключении указанных видов из ассортимента для прикортовых зон.

Вариация весов экологических (w₂) и фитосанитарных (w₃) критериев в диапазоне ±20% оказывает умеренное воздействие на интегральный балл: отклонение I составляет от -1,5 до +1,0 балла для w₂ и от -2,1 до +1,4 балла для w₃.

Проведенные модификации не изменили классификационной принадлежности ни одного из исследуемых таксонов, что свидетельствует о достаточной точности первоначальных экспертных оценок, относящихся к данным группам критериев.

По результатам анализа чувствительности, для обеспечения стабильного сохранения категории «отлично» у трех ведущих видов, предлагается применять консервативную оценку весового коэффициента w_1 , с пороговым значением не менее 0,30. Если значение w_1 опускается ниже 0,28, *Olea europaea* (олива европейская) перестает соответствовать категории «отлично», переходя в разряд «хорошо». Хотя такое смещение категории допустимо в рамках проектной практики, оно, тем не менее,

предполагает необходимость дополнительного обоснования при рассмотрении интродукции данного вида в прибрежные зоны. Для прочих групп критериев (w_2, w_3, w_4, w_5) наблюдаемая вариативность в диапазоне $\pm 20\%$ не приводит к изменению интегральных категорий. Это обстоятельство позволяет заключить, что исходные весовые коэффициенты являются адекватными для практического использования.

Для визуализации ранжирования видов по интегральному баллу и демонстрации лидирующих позиций построена столбчатая диаграмма (рис. 3). Данный график позволяет наглядно оценить величину разрывов между группами видов.

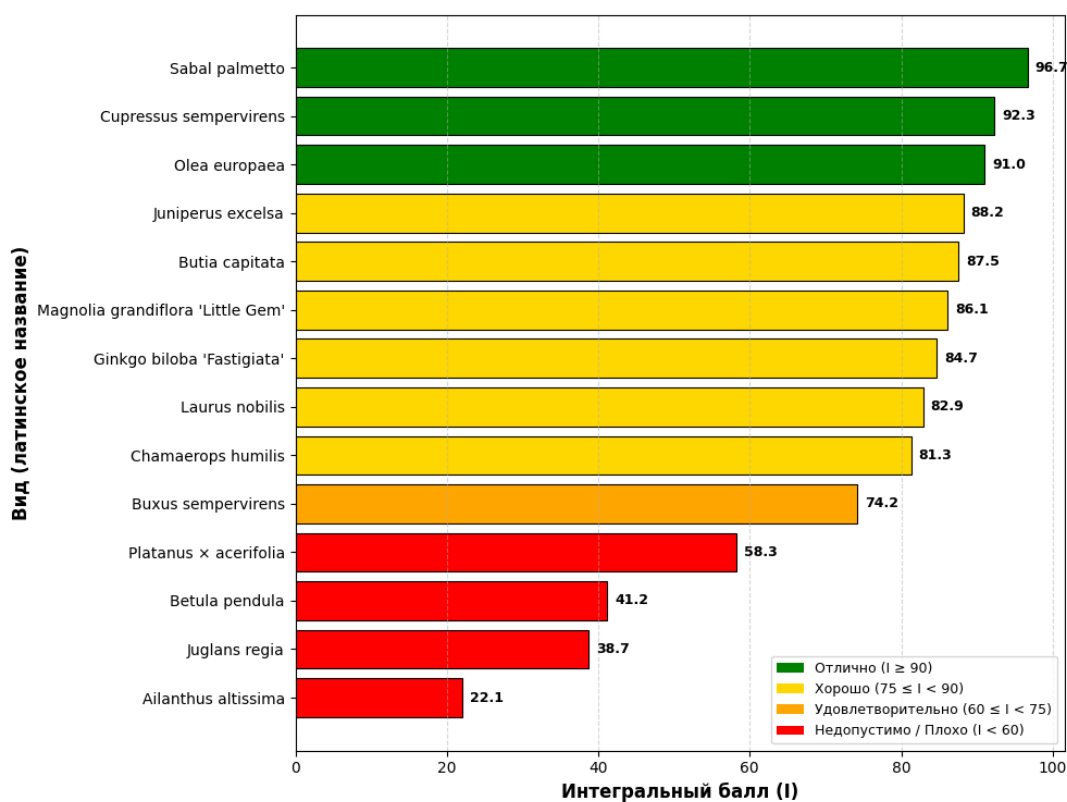


Рисунок 3. Столбчатая диаграмма интегральных баллов ведущих видов

Figure 3. Bar chart of integral scores of leading species

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Три таксона устойчиво лидируют. Это *Sabal palmetto*, *Cupressus sempervirens* и *Olea europaea*, их кумулятивный индекс превышает 90 баллов. Четвёртое место занимает *Juniperus excelsa* с отставанием в 2,8 балла, и причина этого отставания — недостаточная гипоаллергенность данного вида. Внутри первой четверти разброс значений невелик (всего 8,5 балла), что говорит о высокой согласованности лидирующей группы. Функциональное зонирование напрямую определяет, как использовать каждый вид. *S.*

palmetto идёт в зоны затенения, *C. sempervirens* предназначен для ветрозащиты, а *O. europaea* выступает в роли акцента в партерных группах.

Начиная с 13-й позиции, где находится *Rhus coriaria* с 75,1 балла, все последующие значения резко падают ниже 75 баллов. Поэтому такие таксоны относят к видам с низкой эффективностью. Для участков, прилегающих к функциональным объектам, материал необходимо отбирать из первой

квинтили рейтинга, а для периферийных зон допустим более широкий выбор. Чтобы проверить, за счёт каких факторов лидеры превосходят *Platanus acerifolia* (этот вид в данном анализе показал минимальные интегральные

значения), использована радарная диаграмма (рисунок 4). Многомерный анализ позволил выявить как интегральную ценность каждого таксона, так и ключевые факторы, которые делают вид уязвимым.

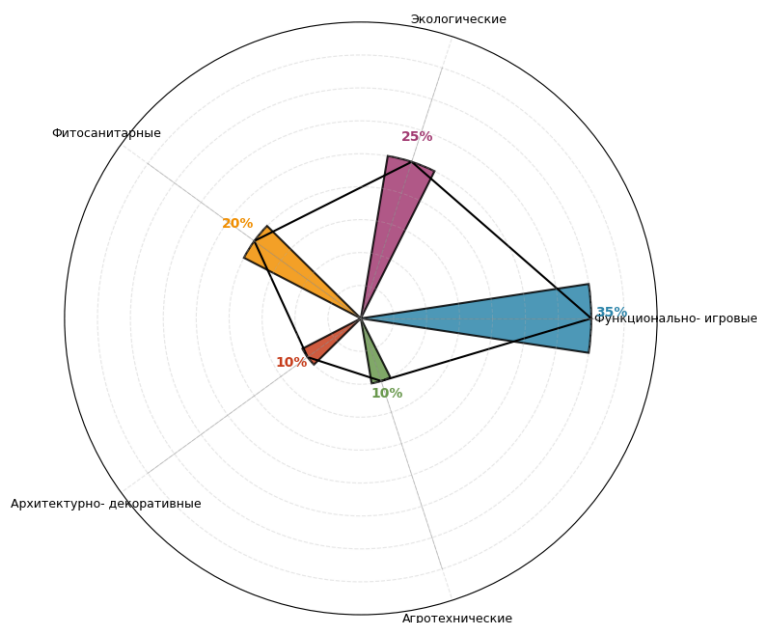


Рисунок 4. Лепестковая диаграмма сравнения видов по группам критериев

Figure 4. Radar chart comparing species by criteria groups

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Среди всех изученных видов самые высокие интегральные показатели демонстрирует *Sabal palmetto*. У этого таксона максимальная функциональная пригодность (0,98) и очень высокая устойчивость к абиотическим стрессам, включая солевые аэрозоли и шквалистый ветер (0,94). Декоративный индекс у пальмы сабаль невысок (0,67) из-за отсутствия сезонных изменений внешнего облика, но этот параметр практически не влияет на итоговое место в рейтинге, поскольку его вес в иерархической модели критериев минимален.

Для *Cupressus sempervirens* характерна сбалансированность большинства оценочных показателей, за исключением относительно высокого уровня фитоаллергенности (0,72). Однако этот недостаток может быть нивелирован посредством продуманного территориального планирования: например, размещение кипариса в защитных полосах на расстоянии более 15 м от спортивных площадок способно значительно ослабить потенциальное антигенное воздействие на организм. Профиль *Olea europaea* демонстрирует умеренную функциональность (0,78), которая снижается в период плодоношения, но высокая эстетическая ценность (0,89) и устойчивость к антропогенным нагрузкам (0,88) компенсируют эту особенность. Платан

остролистный был идентифицирован как наименее подходящий для интеграции в парковые зоны, прилегающие к спортивным сооружениям. Хотя визуальная привлекательность платана довольно высока (0,80), его функциональность является крайне низкой (0,32) вследствие интенсивного листопада; более того, данный вид демонстрирует высокую восприимчивость к фитопатогенам в условиях повышенной влажности (0,45). Сочетание этих свойств обуславливает неприемлемость размещения платана в непосредственной близости от теннисных кортов. Алгоритм проверки ограничений

На практике проектировщику нужен действенный инструмент для быстрой отбраковки неподходящих видов до проведения интегральной балльной оценки. В таблице 7 приведены обязательные ограничения при отборе растений с указанием конкретных значений и источников. Эта таблица служит «красными линиями»: если вид попадает под любое из этих ограничений, он не может быть использован в зоне кортов ни при каких условиях. На основе табл. 7 разработана блок-схема алгоритма проверки (рис. 5). Этот алгоритм предназначен для оперативного использования на ранних этапах проектирования, когда из большого исходного списка нужно быстро убрать заведомо непригодные виды.

Mandatory restrictions during plant selection

Параметр / Parameter	Критерий исключения / Exclusion criterion	Источник / Source
Аллергенность / Allergenicity	Группа I (высокоаллергенные) / Group I (highly allergenic)	Огудина, 2017
Травмоопасность / Injury hazard	Колючки >5 мм, твёрдые плоды >50 г, хрупкие ветви / Thorns >5 mm, hard fruits >50 g, brittle branches	Гостев, 2001
Затенение / Shading	Плотная крона на расстоянии <20 м от корта / Dense crown at distance <20 m from court	ITF, 2020
Листопад / Leaf fall	Очень сильный или сильный в зоне <15 м от корта / Very heavy or heavy in zone <15 m from court	Сокольская, 2004
Плодоношение / Fruiting	Крупные или твёрдые плоды, падающие с высоты / Large or hard fruits falling from height	ITF, 2020
Инвазивность / Invasiveness	Вид включён в Чёрную книгу флоры Крыма / Species included in the Black Book of the Flora of Crimea	Минприроды России, 2011

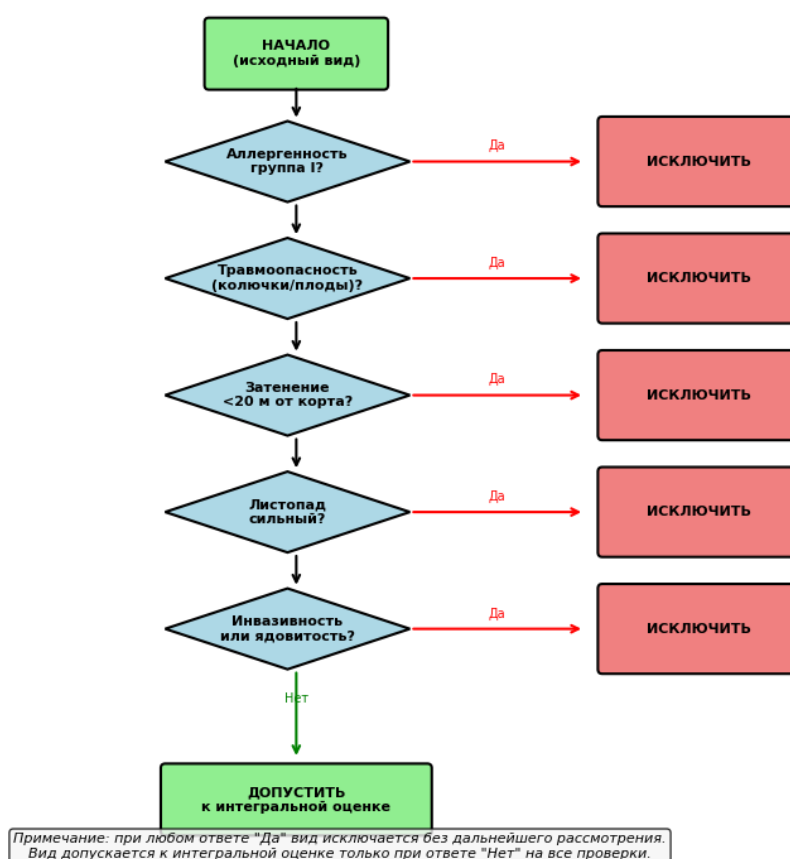


Рисунок 5. Алгоритм проверки ограничений для включения вида в ассортимент теннисной академии
Figure 5. Algorithm for checking restrictions for including a species in the tennis academy assortment

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Процедура отбора растительных видов, предназначенных для размещения в зонах, прилегающих к теннисным кортам, включает пять последовательных этапов, классифицированных по возрастанию потенциальной угрозы для спортсменов. На начальной стадии осуществляется исключение видов, обладающих

выраженными аллергенными свойствами (например, *Betula pendula*, *Ambrosia artemisiifolia*), поскольку они могут спровоцировать серьезные системные реакции, вплоть до анафилактического шока. После этого производится отбор против видов, представляющих механическую опасность. К таким факторам относятся наличие шипов

длиной более 5 мм, образование крупных плодов, масса которых превышает 50 г, или склонность к хрупкости ветвей (например, *Gleditsia triacanthos*, *Juglans regia*). На третьем этапе исключаются растения, характеризующиеся плотной кроной, если их размещение планируется в пределах 20 метров от игровой зоны корта. Это требование соответствует нормативам Международной федерации тенниса (ITF), поскольку подобное расположение растительности может искажать траекторию полёта мяча и снижать визуальную ясность для игроков. Четвёртый этап фокусируется на аспектах листопада. Виды растений, отличающиеся интенсивным осенним листопадом (например, *Platanus orientalis*, *Juglans regia*), не рекомендуются к высадке в 15-метровой зоне вокруг корта. Это обусловлено тем, что опавшая листва значительно уменьшает коэффициент сцепления поверхности, требует регулярных уборочных работ и, как следствие, увеличивает вероятность скольжения. Завершающий, пятый этап, представляет собой комплексную оценку по трём критически важным параметрам: потенциальная инвазивность (например, *Ailanthus altissima*), токсикологические

свойства (например, *Taxus baccata*, *Nerium oleander*) и способность корневой системы к деструктивному воздействию на покрытия теннисных кортов. Несоответствие хотя бы одному из установленных критериев приводит к незамедлительному исключению данного вида из рассмотрения. Применение такой двухуровневой стратегии, включающей первоначальный качественный отбор и последующую балльную оценку, способствует оптимизации временных затрат на этапе проектирования. В ходе практической реализации данной методологии из 28 растительных видов, изначально предложенных Никитским ботаническим садом, четыре (*Betula pendula*, *Juglans regia*, *Platanus orientalis*, *Ailanthus altissima*) были исключены на этапе первичной фильтрации, что позволило сократить перечень кандидатов для последующей детализированной оценки до 24 позиций.

Завершает систему схема расчёта теневых зон (рис. 6), которая количественно определяет безопасное расстояние от корта для деревьев с разной кроной, чтобы не нарушать требования ITF по освещению игровой поверхности.

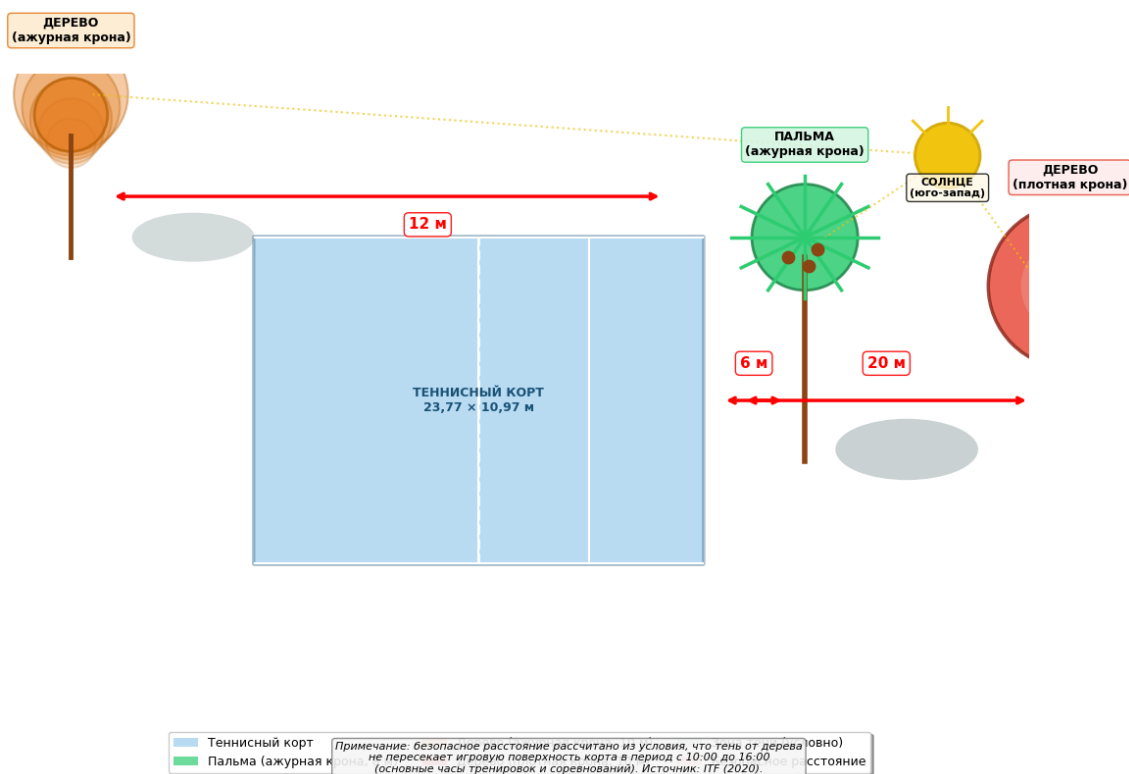


Рисунок 6. Схема расчёта теневых зон от деревьев различной высоты и плотности кроны применительно к теннисному корту

Figure 6. Scheme for calculating shade zones of trees of different heights and crown densities for a tennis court

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Схема основана на геометрическом расчёте, при котором тень от дерева не должна пересекать игровую поверхность в период с 10:00 до 16:00 (основные часы тренировок и соревнований) в летний сезон, когда солнце находится в наивысшей точке. Результаты расчёта дают три нормативных расстояния. Для пальм с ажурной разреженной кроной и высотой до 8 м минимальное безопасное расстояние может быть сокращено до 6 м. Это делает пальмы практически единственной группой растений, допустимых для размещения в непосредственной близости от кортов (например, между кортами или по углам ограждения). Для деревьев с ажурной кроной, но большей высотой (например, олива, гинкго, некоторые виды магнолий), безопасное расстояние увеличивается до 12 м, что соответствует размещению за внешней линией ограждения корта или в буферной зоне между кортами.

В случае наличия древесных насаждений с плотной кроной, например, кипариса, платана или лиственных пород в период их полного облиствения, надлежит поддерживать минимальное расстояние в 20 метров. Размещение деревьев с плотной кроной допустимо в зонах кортов, отдаленных от прибрежной полосы, по периметру участка, либо в составе ветрозащитных полос. Данное положение не следует интерпретировать как требование к полному исключению использования деревьев с густой кроной; оно представляет собой лишь регламентацию их размещения на адекватном удалении. В частности, это обстоятельство позволяет использовать насаждения вечнозелёного кипариса в качестве эффективного ветрозащитного экрана вдоль северной границы участка, поскольку плотность его кроны успешно снижает ветровую нагрузку.

Одновременно с этим, поддержание нормативно установленных расстояний предотвращает попадание тени на игровые корты. Изложенный принцип лег в основу проектного размещения 287 экземпляров древесно-кустарниковой растительности на генеральном плане рассматриваемого объекта. Таким образом, система критериев, весов, балльных оценок, алгоритма и схемы теневых зон образует полный цикл проектного решения — от выбора видов до их пространственной привязки.

Разработанная система критериев позволила из 28 перспективных видов выделить три вида с интегральным баллом «отлично» ($I \geq 90$), десять видов с оценкой «хорошо» ($75 \leq I < 90$), восемь видов с оценкой «удовлетворительно» ($60 \leq I < 75$) и четыре вида, исключённых из ассортимента для зоны кортов ($I < 60$). Установлено, что виды, традиционно

используемые в озеленении Крыма (платан кленолистный, орех грецкий, берёза повислая, айлант высочайший), непригодны для прикортных зон по функционально-игровым, экологическим или фитосанитарным причинам. Предложенная система прошла апробацию в проектной документации Олимпийского комплекса «Теннисная академия» в г. Алупка и может быть рекомендована для использования при озеленении других спортивных объектов в субтропическом климате.

Заключение

В результате проведённого исследования была разработана научно обоснованная система критериев отбора древесно-кустарниковых растений для озеленения теннисных академий, функционирующих в условиях субтропического климата Южного берега Крыма. Предложенная система объединяет пять групп критериев с присвоенными весовыми коэффициентами, что позволяет учитывать многоплановый характер требований, предъявляемых к озеленению специализированных спортивных объектов. Безопасность тренировочного и соревновательного процессов выступает определяющим фактором при подборе древесно-кустарниковых растений. В связи с этим предъявляются жёсткие требования к аллергенности видов, их травмоопасности, степени затенения игровых поверхностей, а также интенсивности листопада и плодоношения. Категорически исключается использование инвазивных таксонов, способных нарушить природный баланс региона. Соблюдение указанных ограничений позволяет минимизировать риски для здоровья спортсменов и сохранить экологическую стабильность территории.

Для практической реализации предложенного подхода разработана балльная методика комплексной оценки пригодности видов. Апробация методики на 28 перспективных таксонах показала, что наивысшие баллы, соответствующие категории «отлично», получили пальма сабаль, кипарис вечнозелёный и олива европейская. Хорошие результаты продемонстрировали также пальма бутия и можжевельник высокий. Разработанные алгоритм проверки ограничений и схема размещения теневых зон могут служить практическим руководством при проектировании озеленения теннисных академий.

Полученные результаты могут быть рекомендованы к использованию при озеленении других спортивных объектов, расположенных в субтропическом регионе, а также адаптированы для сходных климатических условий.

Список литературы

1. Арттюхова С.В., Пономаренко Н.В., Наумова Э.А. Ландшафтно-экологический подход к проектированию городской среды // *Архитектура и дизайн: история, теория, инновации*. – 2023. – № 7. – С. 13–18.
2. Базилевич А.М. Вопросы методологии градостроительного нормирования озелененных территорий // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*. – 2018. – Т. 22. – № 3. – С. 76–84. – DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-3-76-84>.
3. Баскаков Е.В., Перепеченов Д.В., Зорина Е.В. Влияние географических факторов на формирование спортивной инфраструктуры городов // *СИЛА систем*. – 2022. – № 1 (22). – С. 18–24.
4. Воробьева М.О. Проектные подходы в организации тематических парков // *Урбанистика*. – 2017. – № 1. – С. 11–17.
5. Воронина Н.Б. Устойчивое развитие территорий как базовый принцип градостроительной экологии // *Градостроительство*. – 2024. – № 3-4 (91-92). – С. 80–86.
6. Карпун Ю.Н. Проблемы интродукции красивоцветущих кустарников на Черноморское побережье России // *Декоративное садоводство России*. Науч. тр. ВНИИЦиСК. – Сочи, 2008. – Вып. 41. – С. 43–50.
7. Клемешова К.В., Келина А.В., Слепченко Н.А. Современное состояние озеленённых территорий города Сочи // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2019. – № 4. – С. 112–120. – DOI: <https://doi.org/10.34677/0021-342-2019-4-112-120>.
8. Клемешова К.В., Карпун Н.Н. Ассортимент адаптивных лиственных деревьев для использования в озеленении садово-парковых объектов общего пользования в прибрежной зоне Сочинского Причерноморья // *Субтропическое и декоративное садоводство*. – 2025. – № 94. – С. 73–88. – DOI: <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2025-94-73-88>.
9. Курапина Н.В., Медведицкова О.Н. Интеграция растительных элементов и парковых сооружений в контексте рекреационного ландшафта в аридной зоне // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. – 2024. – № 4 (76). – С. 149–159. – DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-04-16>.
10. Майсурадзе М.В. Проблемы современного озеленения в свете экологических задач // *Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН*. – 2021. – № 4 (87). – С. 97–102. – DOI: <https://doi.org/10.33580/2541-9684-2021-87-4-97-102>.
11. Селянинов Г.Т. Климатическая характеристика субтропических многолетников и перспективы субтропического хозяйства в СССР в связи с природными условиями. – Л.: Гидрометиздат, 1961.
12. Семенютина А.В., Ноянова Н.Г. Региональная специфика озеленения малых городов южной сухостепной зоны // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. – 2019. – № 6 (372). – С. 146–159. – DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.6.146>.
13. Холодова Н.Ю., Снытко М.В. Концепция архитектурно-ландшафтного формирования комплекса социальных спортивных площадок // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. – 2024. – № 4 (168). – С. 123–129.
14. Bai J., Sun R., Liu Y., et al. Integrating ecological and recreational functions to optimize ecological security pattern in Fuzhou City // *Scientific Reports*. 2025;15:778. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84660-1>.
15. Domina G., Di Gristina E., Barone G. Main Poisonous and Allergenic Plant Species in Sicilian Gardens and Parks: Applications and Recommendations for Use // *Plants*. 2024;13(7):1031. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13071031>.
16. Gür N., Kahraman Ö. Use of Toxic and Allergen Plants in Landscape Arrangements of Urban Historical Areas: The Case of Çeşme Castle (İzmir) // *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*. 2024;20(1):454-467. DOI: <https://doi.org/10.58816/duzceod.1449776>.
17. Jiao M., Jenerette G.D., Zhou W., Wang J., Zheng Z. Adaptive shading: How microclimates and surface types amplify tree cooling effects? // *Urban Forestry and Urban Greening*. 2024;101:128546. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128546>.
18. Pacheco E.F., Finotti A.R. PlasME model of plant selection for green infrastructure // *Journal of Urban and Environmental Engineering*. 2022;16(2):110-123. DOI: <https://doi.org/10.4090/juee.2023.v16n2.110123>.
19. Song S., Gong Y., Yu Y. Integrating pattern, process, and function in urban landscape ecological network planning: A case study of Harbin central city // *Ecological Indicators*. 2024;159:111671.
20. Wang J., Li J., Cheng J. Spatial Disparity of Sports Infrastructure Development and Urbanization Determinants in China: Evidence from the Sixth National Sports Venues Census // *Applied Spatial Analysis*. 2024;17:573-598. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12061-023-09557-4>.
21. Xu J., Lin T., Wang Y., Jiang W., Li Q., Lu T., Xiang Y., Jiang J., Yu H. Home food gardening in modern cities: advances, issues, and future perspectives // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024;8:1391732. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1391732>.

References

1. Artyukhova S.V., Ponomarenko N.V., Naumova E.A. Landshaftno-ekologicheskii podkhod k proektirovaniyu gorodskoy sredy. [Landscape-ecological approach to urban environment design]. Arkhitektura i dizayn: istoriya, teoriya, innovatsii. [Architecture and Design: History, Theory, Innovations]. 2023;(7):13-18. (In Russ.).
2. Bazilevich A.M. Voprosy metodologii gradostroitel'nogo normirovaniya ozelenennykh territoriy. [Issues of methodology of urban planning regulation of green areas]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin. [Forestry Bulletin]. 2018;22(3):76-84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-3-76-84>.
3. Baskakov E.V., Perepechenov D.V., Zorina E.V. Vliyanie geograficheskikh faktorov na formirovaniye sportivnoy infrastruktury gorodov. [Influence of geographical factors on the formation of sports infrastructure of cities]. SILA system. [POWER system]. 2022;(1(22)):18-24. (In Russ.).
4. Vorobyeva M.O. Proektnye podkhody v organizatsii tematicheskikh parkov. [Project approaches in the organization of theme parks]. Urbanistika. [Urban Studies]. 2017;(1):11-17. (In Russ.).
5. Voronina N.B. Ustoychivoe razvitiye territoriy kak bazovyy printsip gradostroitel'noy ekologii. [Sustainable development of territories as a basic principle of urban ecology]. Gradostroitel'stvo. [Urban Planning]. 2024;(3-4(91-92)):80-86. (In Russ.).
6. Karpun Yu.N. Problemy introduktsii krasivotsvetushchikh kustarnikov na Chernomorskoe poberezh'ye Rossii. [Problems of introduction of flowering shrubs on the Black Sea coast of Russia]. Dekorativnoe sadovodstvo Rossii. Nauch. tr. VNIIZiSK. [Ornamental Horticulture of Russia. Proceedings of VNIIZiSK]. Sochi, 2008; Vyp. 41:43-50. (In Russ.).
7. Klemeshova K.V., Kelina A.V., Slepchenko N.A. Sovremennoe sostoyaniye ozelenennykh territoriy goroda Sochi. [Current state of green areas of Sochi]. Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii. [Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy]. 2019;(4):112-120. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34677/0021-342-2019-4-112-120>.
8. Klemeshova K.V., Karpun N.N. Assortiment adaptivnykh listvennykh derev'ev dlya ispol'zovaniya v ozelenenii sadovo-parkovykh ob'ektov obshchego pol'zovaniya v pribrezhnoy zone Sochinskogo Prichernomor'ya. [Assortment of adaptive deciduous trees for landscaping public parks in the coastal zone of Sochi Black Sea region]. Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo. [Subtropical and Ornamental Horticulture]. 2025;(94):73-88. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2025-94-73-88>.
9. Kurapina N.V., Medveditskova O.N. Integratsiya rastitelnykh elementov i parkovykh sooruzheniy v kontekste rekreatsionnogo landshafta v aridnoy zone. [Integration of plant elements and park structures in the context of recreational landscape in arid zone]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education]. 2024;(4(76)):149-159. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-04-16>.
10. Maysuradze M.V. Problemy sovremennogo ozeleneniya v svete ekologicheskikh zadach. [Problems of modern landscaping in the light of environmental tasks]. Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN. [Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2021;(4(87)):97-102. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33580/2541-9684-2021-87-4-97-102>.
11. Selyaninov G.T. Klimaticheskaya kharakteristika subtropicheskikh mnogoletnikov i perspektivy subtropicheskogo khozyaystva v SSSR v svyazi s prirodnyimi usloviyami. [Climatic characteristics of subtropical perennials and prospects of subtropical economy in the USSR in connection with natural conditions]. Leningrad: Gidrometizdat; 1961. (In Russ.).
12. Semenyutina A.V., Noyanova N.G. Regionalnaya spetsifika ozeleneniya mal'kh gorodov yuzhnoy sukhostepnoy zony. [Regional specifics of landscaping of small towns in the southern dry-steppe zone]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. [Proceedings of Higher Educational Institutions. Forest Journal]. 2019;(6(372)):146-159. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.6.146>.
13. Kholodova N.Yu., Snytko M.V. Kontseptsiya arkhitekturno-landshaftnogo formirovaniya kompleksa sotsialnykh sportivnykh ploshchadok. [Concept of architectural and landscape formation of a complex of social sports grounds]. Vestnik Donbasskoy natsionalnoy akademii stroitel'stva i arkhitektury. [Bulletin of the Donbas National Academy of Construction and Architecture]. 2024;(4(168)):123-129. (In Russ.).
14. Bai J., Sun R., Liu Y., et al. Integrating ecological and recreational functions to optimize ecological security pattern in Fuzhou City. Scientific Reports. 2025;15:778. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84660-1>.
15. Domina G., Di Gristina E., Barone G. Main Poisonous and Allergenic Plant Species in Sicilian Gardens and Parks: Applications and Recommendations for Use. Plants. 2024;13(7):1031. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13071031>.
16. Gür N., Kahraman Ö. Use of Toxic and Allergen Plants in Landscape Arrangements of Urban Historical Areas: The Case of Çeşme Castle (İzmir). Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi. 2024;20(1):454-467. DOI: <https://doi.org/10.58816/duzceod.1449776>.

17. Jiao M., Jenerette G.D., Zhou W., Wang J., Zheng Z. Adaptive shading: How microclimates and surface types amplify tree cooling effects? *Urban Forestry and Urban Greening*. 2024;101:128546. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128546>.
18. Pacheco E.F., Finotti A.R. PlasME model of plant selection for green infrastructure. *Journal of Urban and Environmental Engineering*. 2022;16(2):110-123. DOI: <https://doi.org/10.4090/juee.2023.v16n2.110123>.
19. Song S., Gong Y., Yu Y. Integrating pattern, process, and function in urban landscape ecological network planning: A case study of Harbin central city. *Ecological Indicators*. 2024;159:111671.
20. Wang J., Li J., Cheng J. Spatial Disparity of Sports Infrastructure Development and Urbanization Determinants in China: Evidence from the Sixth National Sports Venues Census. *Applied Spatial Analysis*. 2024;17:573-598. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12061-023-09557-4>.
21. Xu J., Lin T., Wang Y., Jiang W., Li Q., Lu T., Xiang Y., Jiang J., Yu H. Home food gardening in modern cities: advances, issues, and future perspectives. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024;8:1391732. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1391732>.

Сведения об авторах

Яковенко Наталия Владимировна – доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского и института инновационных технологий и лесного комплекса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>, n.v.yakovenko71@gmail.com.

Подласкина Светлана Юрьевна – соискатель кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, podlaskina@mail.ru.

Information about the authors

Nataliya V. Yakovenko – Doctor of Geography, Professor, Chief research officer of the division's Directorate of the Research Institute of Innovative Technologies and the Forestry Complex of the Voronezh State University Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>, n.v.yakovenko71@gmail.com.

Svetlana Yu. Podlaskina – External Doctoral Candidate, Department of Ecology, Forest Protection and Game Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, podlaskina@mail.ru.