



УДК 574:504.064.3:477.25

О. Г. Луцишин, І. К. Тесленко, Т. В. Белошапка, І. В. Ткаченко

Адаптація деревних рослин техногенно трансформованих урбоедафотопів (на прикладі м. Київ)

(Представлено академіком НАН України Д. М. Гродзинським)

Досліджується ендогенна та внутрішньовидова мінливість індикаторних морфофізіологічних ознак функціонального стану найбільш поширених видів деревних рослин техногенно трансформованих урбоедафотопів у довкіллі м. Київ: їх амплітуда мінливості, направленість мінливості індикаторних ознак та оцінка їх адаптивного потенціалу (онтогенетичного і філогенетичного) залежно від виду і досліджених індикаторних ознак.

Розглядаються проблеми адаптації й виживання деревних рослин у вуличних насадженнях міста, де рівень техногенного забруднення фітотоксикантами у ґрунті та фітомасі рослин знаходиться на межі кризових концентрацій [1]. При цьому необхідно відзначити, що для довкілля Київського мегаполісу характерна особлива специфіка техногенного забруднення за складом забруднюючих сполук, де основними носіями Pb^{2+} і Cd^{2+} є автотранспортні викиди (>90,0% загального техногенного забруднення). Накопичення Pb^{2+} й Cd^{2+} залежить від виду дерев та їх розташування вздовж автотраси, наприклад, для клена гостролистого концентрація Pb^{2+} коливається в ґрунті в зоні кореневої системи від 41,7 до 80,5 мг/кг (20,8–40,2 ГДК) відповідно, у листках 7,83–13,50 мг/кг сухої маси листків (15,8–27,0 ГДК), що за нормативними оцінками є кризовими концентраціями.

Джерелом Na^+ й Cl^- є новий для міста фактор — ненормоване внесення у довкілля високих концентрацій технічної солі NaCl, як засіб боротьби проти ожеледиці в зимовий період, де іони Na^+ при високих концентраціях у листках (0,76% для клена гостролистого, вул. Івана Кудрі; 1,28% для липи серцелистої, просп. 40-річчя Жовтня; 2,0% для гіркокаштана звичайного, просп. Науки) є агресивними фітотоксикантами і основними чинниками некротизації листяного покриву крони дерев. При цьому вплив урботехногенного забруднення на деревні насадження проявляється зміною індикаторних ознак функціонального стану дерев як реакція-відповідь рослинного організму, що супроводжується формуванням адаптивно-захисних механізмів виживання [2–4]. Системні дослідження в цьому напрямі та

© О. Г. Луцишин, І. К. Тесленко, Т. В. Белошапка, І. В. Ткаченко, 2013

природоохоронні заходи в столиці практично відсутні, тому проблема адаптації та виживання дерев у вуличних насадженнях є актуальною, оскільки рівень техногенного забруднення в довкіллі постійно зростає й наростання темпів деградації рослинності в довкіллі невідворотне.

Критеріями оцінки адаптивних реакцій використанні основні фітоіндикаторні показники, які характеризують функціональний стан рослин (площа, довжина, ширина, індекс форми листків, накопичення біомаси листків, річний приріст дерев, інтенсивність фотосинтетичних процесів за індексом F_m — індукції флуоресценції хлорофілу в листках).

Об'єктом дослідження вибрано види дерев, найбільш поширених у вуличних насадженнях: липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.), клена гостролистого (*Acer platanoides* L.), гіркогокаштана звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.), тополі пірамідальної (*Populus pyramidalis* R a z.), де контрольним тест-об'єктом є природна зона лісового масиву Феофанії.

Дослідження специфіки реалізації формування адаптивного потенціалу на рівні індивідуального рослинного організму та на рівні виду в умовах техногенних урбоедафотопів ґрунтується на аналізі ендегенної та внутрішньовидової мінливості фітоіндикаторних морфологічних ознак дерев різних видів у міських насадженнях, що дає змогу оцінити їх адаптивний потенціал для всіх фітоіндикаторних параметрів окремо.

Оцінку ендегенної та внутрішньовидової мінливості проводили за абсолютними значеннями морфологічних ознак та їх коефіцієнтів варіації (C_v , %) з використанням емпіричної шкали мінливості ознак за С. А. Мамаєвим [5]. Адаптивний потенціал (%) визначали графічним методом за кривими мінливості морфологічних ознак техногенних урбоедафотопів відносно кривих мінливості їх контрольного тест-об'єкта як природної зони [6]. Індекс стійкості рослин (I_c) в умовах техноурбоедафотопів вираховували як відношення величин їх морфологічних показників до величин контрольного тест-об'єкта. Для визначення індексу (K_i) загального фітотоксичного забруднення елементами Na, Cl, Pb, Cd ґрунту і фітомаси рослин було використано математичну формулу, запропоновану авторами [7]. Статистичну обробку отриманих даних проводили за стандартними методиками з використанням комп'ютерної програми MS Excel з довірчою вірогідністю 0,95.

Нашими попередніми дослідженнями показано, що катастрофічний функціональний стан вуличних деревних насаджень столиці зумовлений хронічною дією надмірних концентрацій фітотоксичних елементів, до яких деревні рослини еволюційно не пристосовані [8, 9]. При цьому життєздатність рослин за індексом I_c морфологічних ознак різних видів дерев становить $< 1,0$, що свідчить про пригнічення їх життєздатності в умовах техногенного навантаження, проте ступінь пригнічення залежить від виду дерев. За зростанням чутливості до фітотоксичного забруднення проаналізовані види за величинами I_c розташовуються в ряд: тополя пірамідальна $>$ клен гостролистий $>$ гіркогокаштан звичайний $>$ липа серцелиста. При цьому різні за стійкістю види дерев мають різну стратегію захисту та адаптації. В першу чергу, це відноситься до специфіки біоакумулюючої здатності рослин та селективної локалізації фітотоксичних елементів в окремих органах і тканинах. Найвищою акумулюючою здатністю за величинами K_i загального токсичного навантаження фітотоксикантами (Na^+ , Cl^- , Pb^{2+} , Cd^{2+}) на ґрунт у зоні кореневої системи та фітомасу рослин (коріння, листки, кора) володіють асиміляційні системи рослин липи серцелистої, клена гостролистого, гіркогокаштана звичайного, за винятком тополі пірамідальної, де основна частина токсичних елементів акумулюється в корінні (рис. 1). Виявлена видова специфічність стратегії біоакумуляції та локалізації фітотоксичних елементів у різних органах рослин мо-

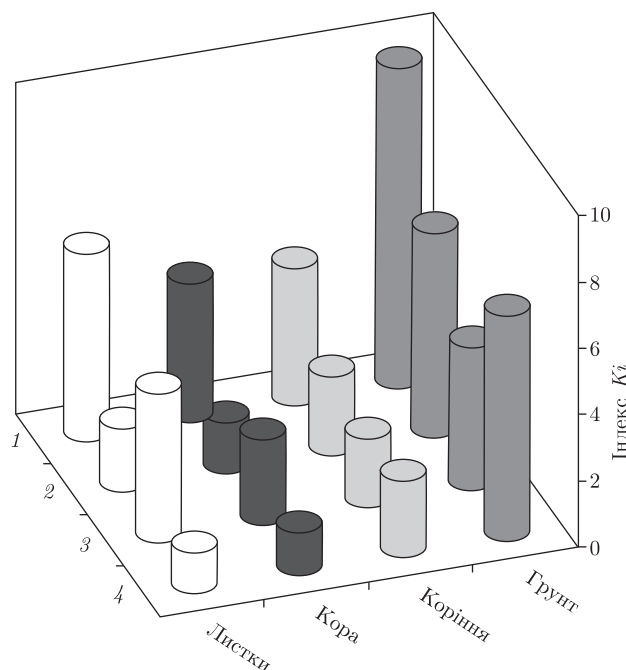


Рис. 1. Індекс (K_i) загального токсичного навантаження на ґрунт і фітомасу деревних рослин урбодифотопів м. Київ.
 Види рослин: 1 — липа серцелиста; 2 — гіркокаштан звичайний; 3 — клен гостролистий; 4 — тополя пірамідальна

же визначати мінливість і адаптивну стратегію відповідних змін морфологічних ознак і стійкість дерев в урбанізованому середовищі.

Варіабельність фітоіндикаторних морфологічних ознак функціонального стану дерев техноурбоекосистем є важливою характеристикою, оскільки використовується в даних дослідженнях як критерій здатності деревних рослин адаптуватися до екстремальних умов довкілля [3, 5, 6]. Дослідження закономірностей і динаміки мінливості в градієнті токсичного навантаження дозволяє визначити направленість адаптивних змін індикаторних ознак на рівні окремих індивідумів (ендогенна варіабельність) і на рівні виду (внутрішньовидова варіабельність), оцінити величину амплітуди мінливості за коефіцієнтом варіації та встановити адаптивний потенціал як інтегральної величини різних видів адаптації.

Амплітуда ендегенної та внутрішньовидової (рис. 2) мінливості морфологічних ознак (площа, довжина, ширина, індекс форми листків, інтенсивність фотосинтетичних процесів за індексом Fm , накопичення біомаси листків) липи серцелистої, клена гостролистого та гіркокаштана звичайного зростає в умовах техногенно трансформованих урбодифотопів з яскраво вираженою лівосторонньою (негативною) асиметрією кривих мінливості (a на рис. 3). Отже, направленість адаптивних змін індикаторних параметрів відбувається в напрямі мінімізації функцій, таких як зниження рівня метаболізму (накопичення біомаси, фотосинтетичної активності), що проявляється в блокуванні ростових процесів у вигляді зменшення морфометричних розмірів листків у напрямі ксерофітизації [3, 10, 11]. При цьому спостерігалась як видова специфіка мінливості функціональних параметрів, так і на рівні окремих морфологічних ознак за їх амплітудою мінливості. Так, амплітуда мін-

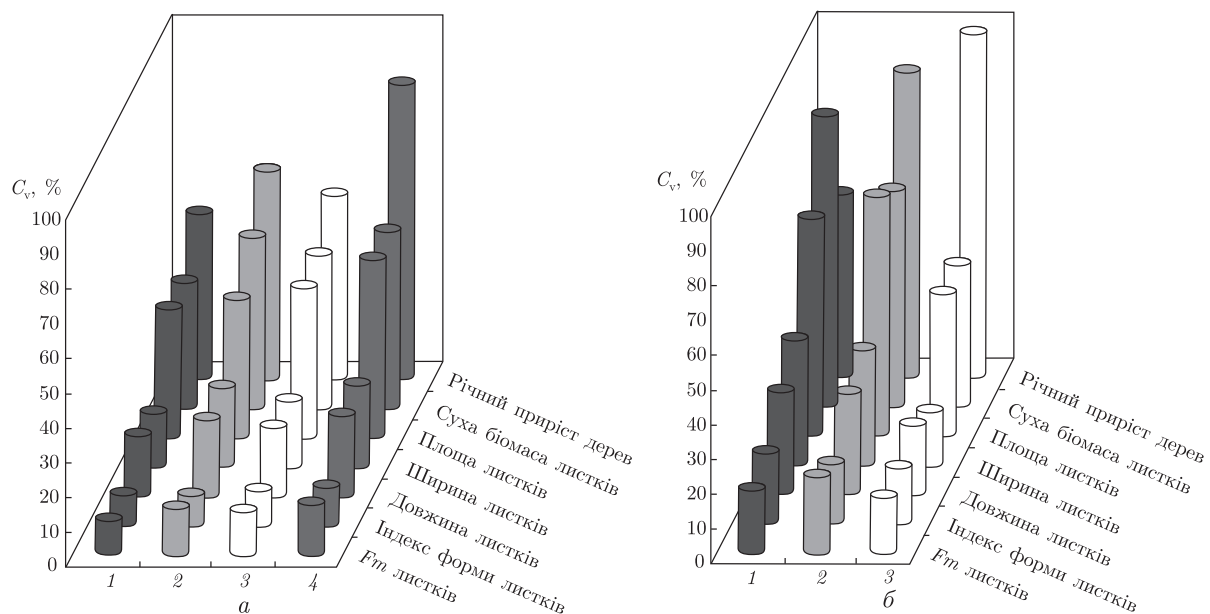


Рис. 2. Амплітуда ендегенної та внутрішньовидової мінливості морфологічних ознак деревних рослин техногенно трансформованих урбоедафотопів (Fm — індекс індукції флуоресценції хлорофілу):
 а — амплітуда кривих ендегенної і внутрішньовидової мінливості морфологічних ознак деревних рослин липи серцелистої лісового масиву Феоданії (природна зона) та у вуличних насадженнях просп. 40-річчя Жовтня (техногенна зона).

Види рослин: 1 — липа серцелиста (природна зона, ендегенна); 2 — липа серцелиста (техногенна зона, ендегенна); 3 — липа серцелиста (природна зона, внутрішньовидова); 4 — липа серцелиста (техногенна зона, внутрішньовидова);

б — амплітуда кривих внутрішньовидової мінливості морфологічних ознак різних видів деревних рослин у вуличних насадженнях м. Києва.

Види рослин: 1 — гіркокаштан звичайний (просп. Ю. Гагаріна); 2 — клен гостролистий (вул. Івана Кудрі); 3 — тополя пірамідальна (просп. Воз'єднання)

ливості показника річного приросту дерев для цих видів при техногенному навантаженні знижується, що розглядається у науковій літературі як адаптація до змінених умов середовища [3].

Криві мінливості морфологічних показників тополі пірамідальної залежно від фітоіндикаторних показників характеризуються слабкою асиметрією (показник інтенсивності фотосинтетичних процесів за індексом Fm) або практично не відрізняються від кривих природної зони, проте амплітуда їх мінливості рівна або нижча контрольного тест-об'єкта, що властиво для більш стійких видів (див. б на рис. 3). Крім того, специфічність характеру варіабельності проявляється на рівні окремих ознак: для кожної групи ознак притаманний свій рівень ендегенної та внутрішньовидової мінливості. За шкалою рівнів мінливості С. А. Мамаєва [5], окремі ознаки можна віднести до низьких рівнів (показник вмісту води у листках), відповідно до середніх — варіабельність індексу Fm , індексу форми листків; високих рівнів — варіабельність площі, довжини, ширини листків; дуже високих — накопичення біомаси листків, річний приріст дерев для чутливих видів. Для тополі пірамідальної середній рівень мінливості мають ознаки довжини, ширини, індексу форми, індексу флуоресценції хлорофілу Fm ; до більш високого — мінливість показників площі, накопичення біомаси та річного приросту дерев.

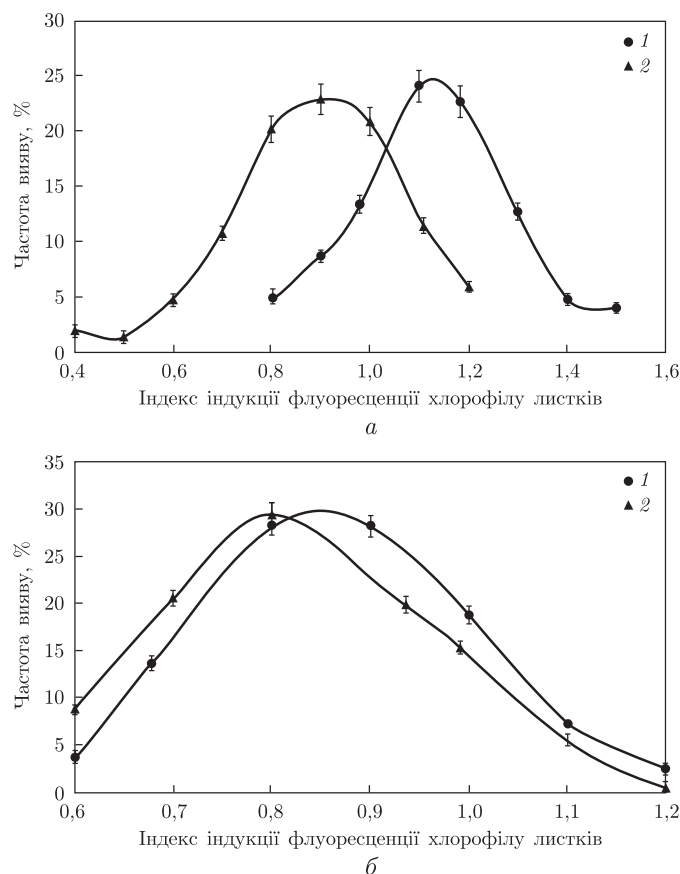


Рис. 3. Криві мінливості інтенсивності фотосинтетичних процесів за індексом індукції флуоресценції хлорофілу листків різних за стійкістю видів деревних рослин. *Гірकोкаштан звичайний*: а — лісовий масив Феофанії (1), просп. Ю. Гагаріна (2); *тополя пірамідальна*: б — лісовий масив Феофанії (1), просп. Воз'єднання (2)

Адаптивна можливість рослин визначає рівень їх стійкості, де стійкість рослин до стресів характеризується як здатність організму повністю здійснювати свої основні життєві функції в несприятливих умовах зовнішнього середовища, а мірою стійкості, яка відображає кількісну величину цієї здатності, є рівень адаптивного потенціалу. Досліджені нами варіаційні криві основних фітоіндикаторних ознак чутливих видів в умовах дії фітотоксикантів мають негативну асиметрію і частково перекриваються з природним розподілом, що дозволяє оцінити, якою мірою зміни функціональних параметрів відповідають умовам природних едафотопів (див. рис. 3). Адаптовані до токсичного впливу індикаторні ознаки зберігають тим більшу здатність адекватно реагувати на техногенне забруднення, чим сильніше перекриваються варіаційні криві їх параметрів з природними. Тому, кількісно міру такої адаптивності в умовах техногенно сформованих урбоедафотопів можна вирахувати за величиною площі перекривання кривих мінливості ознак природної та урбанofлори [6]. За значеннями адаптивного потенціалу морфологічні ознаки (площа, довжина, ширина, індекс форми листків, річний приріст дерев) чутливих видів дерев при критичних рівнях фітотоксичного навантаження характеризуються низькою адаптивністю: адаптивний потенціал досліджених ознак для липи серцелистої коливається в межах 21,33–30,89% (онтогенетична адаптація), відповідно філогенетична адаптація — 26,56–51,25% (липа серцелис-

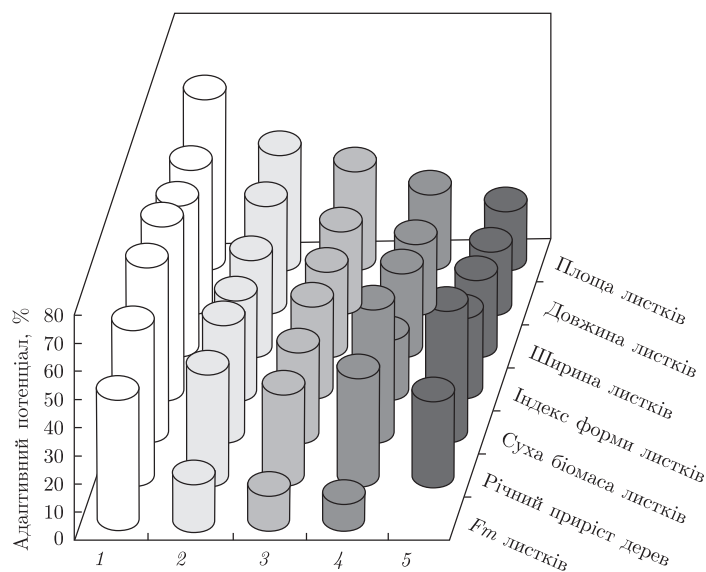


Рис. 4. Адаптивний потенціал морфофізіологічних ознак деревних рослин техногенно трансформованих урбоедафотопів (Fm — індекс індукції флуоресценції хлорофілу).

Види рослин: 1 — тополя пірамідальна (філогенетична адаптація); 2 — гірकोкаштан звичайний (філогенетична адаптація); 3 — клен гостролистий (філогенетична адаптація); 4 — липа серцелиста (філогенетична адаптація); 5 — липа серцелиста (онтогенетична адаптація)

та), 25,67–35,37% (клен гостролистий) і 34,76–41,51% (гірकोкаштан звичайний) (рис. 4). Однак при зниженні техногенного навантаження, як це спостерігалось у міському парку ім. О. Пушкіна, адаптивний потенціал для показника площі листків липи серцелистої зростає до 58,70%. Більш висока адаптивність виявлена для показника сухої речовини листків, де адаптивний потенціал коливався в межах 32,06–47,35%.

Адаптація за фітоіндикаторними показниками тополі пірамідальної виявилась найвищою: адаптивний потенціал знаходиться в межах 51,80% (довжина листків)–63,20% (індекс форми листків). При цьому фотосинтетичні процеси за індексом Fm характеризуються слабким рівнем адаптації для чутливих видів дерев (9,49–16,44%), однак для відносно стійкого виду тополі пірамідальної виявився порівняно високим (46,70%). За значенням адаптивного потенціалу індексу Fm досліджені види дерев можна розташувати в ряд: тополя пірамідальна (46,70%) > гірकोкаштан звичайний (16,44%) > клен гостролистий (12,58%) > липа серцелиста (9,49%).

Таким чином, в умовах техногенно трансформованих урбоедафотопів рівень адаптації найбільш поширених у вуличних насадженнях видів дерев за їх основними фітоіндикаторними показниками катастрофічно низький для чутливих видів (липи серцелистої, клена гостролистого, гірकोкаштана звичайного) і знаходиться на межі виживання/загибелі. Вуличні деревні насадження, в тому числі тополя пірамідальна, незважаючи на більш високі параметри адаптації, неспроможні адаптуватися до тих рівнів токсичного забруднення, які на сьогодні існують у доквітлі міста.

1. Луцишин О. Г., Радченко В. Г., Палапа Н. В., Яворовський П. П. Моніторинг забруднення систем ґрунт – рослина фітотоксичними елементами в зелених зонах м. Київ // Доп. НАН України. – 2010. – № 2. – С. 194–199.

2. Луцишин О. Г., Радченко В. Г., Палапа Н. В., Яворовський П. П. Макроморфологічні зміни реакції-відповіді рослинних організмів деревних вуличних насаджень Київського мегаполісу при стресових рівнях техногенного забруднення // Там само. – 2010. – № 6. – С. 180–187.
3. Коршиков И. И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. – Киев: Наук. думка, 1996. – 239 с.
4. Петрушенко В. В. Адаптивные реакции растений: физико-химический аспект. – Киев: Вища шк., 1981. – 184 с.
5. Мамаев С. А. Основные принципы методики исследования внутривидовой изменчивости древесных растений // Индивидуальная эколого-географическая изменчивость растений: Сб. науч. тр. – Свердловск: Урал. науч. центр АН СССР, 1975. – С. 3–16.
6. Безель В. С., Позолотина В. Н., Бельский Е. А., Жуйкова Т. В. Изменчивость популяционных параметров: адаптация к токсическим факторам среды // Экология. – 2001. – № 6. – С. 447–453.
7. Позолотина В. Н., Антонова Е. В., Безель В. С. и др. Пути адаптации ценопопуляций одуванчика лекарственного к длительному химическому и радиационному воздействию // Там же. – 2006. – № 6. – С. 440–445.
8. Луцишин О. Г., Радченко В. Г., Палапа Н. В., Яворовський П. П. Морфологічна оцінка стану ростових процесів деревних рослин Київського мегаполісу до умов техногенного забруднення довкілля // Там само. – 2010. – № 7. – С. 188–195.
9. Луцишин О. Г., Белошарка Т. В., Тесленко І. К., Безлюдна А. О. Функціональний стан деревних рослин в умовах техногенно сформованих урбоекотопів (на прикладі м. Київ) // Materialy VIII Miedzynar. nauk.-prakt. konf. "Nauka: teoria I praktyka – 2012", 7–15 sierp. – Przemysl: Ekologia, 2012. – Vol. 9. – P. 8–17.
10. Гнатів П. С. Особливості адаптації дерев в антропогенному довкіллі // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. Біологія. – 2001. – № 1. – С. 100–102.
11. Удовенко Г. В. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. – Ленинград: АН СССР, 1988. – 228 с.

*Науковий центр екомоніторингу та біорізноманіття
мегаполісу НАН України, Київ*

Надійшло до редакції 12.12.2012

Е. Г. Луцишин, И. К. Тесленко, Т. В. Белошарка, И. В. Ткаченко

Адаптация древесных растений техногенно трансформированных урбоэдафотопов (на примере г. Киев)

Исследуется эндогенная и внутривидовая изменчивость фитоиндикаторных морфологических признаков функционального состояния наиболее распространенных видов древесных растений техногенно трансформированных урбоэдафотопов в окружающей среде г. Киев: амплитуда изменчивости фитоиндикаторных признаков и оценка их адаптивного потенциала (онтогенетического и филогенетического) в зависимости от вида и исследованных фитоиндикаторных признаков.

O. H. Lutsyshyn, I. K. Teslenko, T. V. Byeloshapka, I. V. Tkachenko

Adaptation of trees in technologically transformed urbanhabitats (by the example of Kyiv)

We study the endogenous and intraspecific variability of indicator morphophysiological features of a functional state of the most common species of trees as technogenically transformed urbanhabitats in Kyiv: amplitude of their variability, direction of the variability of indicator signs, and the estimate of their adaptive capacity (ontogenetic and phylogenetic) depending on the species and the studied indicator signs.