Ukrainian Journal of Natural Sciences
№3
Український журнал природничих наук
№3

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

БІОЛОГІЯ

УДК 630*17:581.1: 712.41(477.82-21)
DOI 10.32782/naturaljournal.3.2023.7-23

ФЛУОРЕСЦЕНТНЕ ТЕСТУВАННЯ БУКА ЄВРОПЕЙСЬКОГО У БОТАНІЧНИХ ПАМ'ЯТКАХ ПРИРОДИ ЛЬВОВА

В. І. Мокрий[1], О. В. Мудрак[2], І. М. Петрушка[3], Р. М. Гречаник[4], Е. М. Арустамян[5], Г. В. Мудрак[6]

Досліджено ботанічні пам'ятки природи за участю декоративних форм бука європейського (Fagus sylvatica), які використано в озелененні Львова. Актуальність моніторингових досліджень стану міської дендрофлори ботанічних пам'яток природи обумовлена необхідністю формуванню базового рівня екологічних даних для оцінки характеру і динаміки урбоекосистем. Показано наукову та історичну цінність природоохоронних територій

[1] доктор технічних наук, професор,
професор кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності
(Національний університет "Львівська політехніка")
e-mail: mokriy@ukr.net
ORCID: 0000-0002-5814-5160
[2] доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри екології, природничих та математичних наук
(Комунальний заклад вищої освіти "Вінницька академія безперервної освіти")
e-mail: ov_mudrak@ukr.net
ORCID: 0000-0002-1776-6120
[3] доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності
(Національний університет "Львівська політехніка")
e-mail: petim@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3344-4196
[4] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
Перший заступник Міністра захисту довкілля та природних ресурсів України
(Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, м. Київ)
e-mail: info@mepr.gov.ua
ORCID: 0000-0001-8830-361X
[5] Директор Департаменту природно-заповідного фонду та біорізноманіття
(Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, м. Київ)
e-mail: info@mepr.gov.ua
ORCID: 0000-0002-4845-2909
[6] кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища
(Вінницький національний аграрний університет)
e-mail: galina170971@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1319-9189

ботанічної категорії. Фотобіологічними методами виконано порівняльний аналіз вмісту пігментів та флуоресцентних параметрів деревних порід в еколого-фітоценотичних поясах комплексної зеленої зони міста.

Встановлено високу пластичність структурної організації хлоропластів листків бука європейського, що характеризується вмістом хлорофілу і каротиноїдів. На посилення урбогенного навантаження досліджувані рослини реагують збільшенням вмісту хлорофілу та каротиноїдів у насадженнях скверу та вулиці.

Встановлено, що застосування флуоресцентного методу є перспективним у науковому дослідженні, при контролі санітарного стану деревних насаджень, оскільки забезпечує визначення інтегрального науково ємнісного параметра – індексу життєвості дерев. На основі виміряних флуоресцентних параметрів визначено індекс життєвості дерев. У вуличних насадженнях індекс життєвості зменшується в 2 рази, що вказує на зниження активності донорної частини фотосинтезуючого апарату.

Обґрунтовано практичне використання сучасних методів флуоресцентного експрес-тестування рослинності, які забезпечують кореляційний синтез морфофізіологічних і біофізичних механізмів фотосинтезу та графоаналітичної інформації, що є необхідним при створенні інформаційно-діагностичних систем для комплексного моніторингу міських екосистем, збереження біорізноманіття та охорони флористичного генофонду урбанізованих територій.

Ключові слова: *ботанічна пам'ятка природи, бук європейський, флуоресценція, фотосинтез, моніторинг міських екосистем.*

FLUORESCENCE TESTING OF THE EUROPEAN BEECH IN THE BOTANICAL SITE OF NATURE OF LVIV

Mokryy V. I., Petrushka I. M., Mudrak O. V., Grechanyk R. M., Arustamyan E. M.

Annotation. *The botanical sights of nature were studied, including the decorative forms of the European beech (Fagus sylvatica), which were used in the landscaping of Lviv. The relevance of monitoring studies of the state of the urban dendroflora of botanical natural monuments is due to the need to form a basic level of ecological data to assess the nature and dynamics of ecosystems. The scientific and historical value of nature conservation territories of the botanical category is shown. Photobiological methods were used to perform a comparative analysis of the pigment content and fluorescent parameters of tree species in the ecological and phytocenotic zones of the complex green zone of the city.*

The high plasticity of the structural organization of the chloroplasts of European beech leaves, characterized by the content of chlorophyll and carotenoids, was established. The studied plants respond to increased urbogenic load by increasing the content of chlorophyll and carotenoids in the park and street plantings.

It has been established that the use of the fluorescent method is promising in scientific research, when controlling the sanitary condition of tree plantations, as it provides the determination of an integral scientifically capable parameter - the vitality index of trees. Based on the measured fluorescent parameters, the vitality index of the trees was determined. In street plantings, the vitality index decreases by 2 times, which indicates a decrease in the activity of the donor part of the photosynthetic apparatus.

The practical use of modern methods of fluorescence express vegetation testing, which provide a correlational synthesis of morphophysiological and biophysical mechanisms of photosynthesis and graphoanalytical information, is substantiated, which is necessary for the creation of information and diagnostic systems for comprehensive monitoring of urban ecosystems, preservation of biodiversity and protection of the floristic gene pool of urban areas.

Key words: *botanical monument of nature, beech european, fluorescence, photosynthesis, monitoring of urban ecosystems.*

Вступ

Актуальність моніторингових досліджень стану дендрофлори ботанічних пам'яток природи, обумовлена необхідністю формування базового рівня екологічних даних для оцінки стану і динаміки екосистем. Зелені насадження відіграють значну роль у боротьбі з забрудненнями атмосферного повітря, регулюванні теплового режиму, шумозахисті, інженерному захисті, впливають на мікроклімат, а також естетичний і санітарний стан міста. Міські зелені насадження найефективніше підтримують природний стан біосфери, нормалізують газовий режим та поліпшують хімічний стан атмосфери, зменшують запиленість повітря, сприяють біологічному очищенню повітря й води. Саме тому захист наявних і примноження міських зелених насаджень є нагальним для створення комфортних умов життя мешканців.

У загальній структурно-функціональній організації міських територій важливе місце займає комплексна зелена зона, у межах якої знаходяться унікальні природні й антропогенно змінені об'єкти природно-заповідного фонду (ПЗФ) України. Важливим напрямком збалансованого розвитку сучасного суспільства є збереження біологічного й ландшафтного різноманіття. Основним завданням щодо його відтворення є оптимізація структури природно-заповідних територій та об'єктів у відповідності до структури просторових елементів екологічної мережі. Особливого значення й актуальності набувають дослідження об'єктів і територій ПЗФ як основних структурних елементів екомереж та комплексної зеленої зони міст.

У межах м. Львова виділяють дев'ять категорій об'єктів природно-заповідного фонду: регіональний ландшафтний парк, парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва, ботанічні сади, лісові заказники, заповідні урочища, геологічні і ботанічні пам'ятки природи. За площею переважають лісові заказники, за відвідуваністю – парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва і регіональний ландшафтний парк "Знесіння". Найбільша кількість ботанічних пам'яток природи, це окремі ендемічні чи екзотичні дерева та групи дерев, які зростають у різних частинах міста. Значення ботанічних пам'яток природи важливе з багатьох аспектів (Назарук, 2008). Їх природничо-наукова цінність полягає у збереженні і відновленні біорізноманіття й моніторингу стану навколишнього природного середовища, вивченні екосистем та їх компонентів (Мудрак, 2020).

Сучасні концепції управління екосистемами ґрунтуються на використанні даних комплексних моніторингових досліджень рослинного покриву, які реалізується на основі кореляційного синтезу біометричних та морфофізіологічних даних. Біопродуктивність дендрофлори міських насаджень, характеризують лісотаксаційні параметри й також морфофізіологічні показники: активність фотосинтетичного апарату, вміст пігментів, швидкість газообміну CO_2 або O_2 , тощо. На основі фенологічних, анатомо-морфологічних і біофізичних досліджень розробляються показники стійкості рослин до різноманітних стрес-факторів.

Діагностика впливу урбанізації на функціональний стан рослин потребує застосування експресних та інформативних методів. При дослідженні дії на рослину стрес-факторів особливе місце займає метод фотоіндукції флуоресценції, що широко використовують у сучасних дослідженнях фотосинтетичних процесів (Lazár, 1999; Murchie & Lawson, 2013). Відомо, що зміни функціональної активності фотосинтетичного апарату позначаються безпосередньо на ефективності фотосинтетичних процесів і відповідно продуктивності рослин (Шадчина та ін., 2006). Також відомо, що флуоресценція хлорофілу має тісний зворотний зв'язок із процесом фотосинтезу, що дає змогу за змінами відповідних параметрів флуоресценції хлорофілу швидко і неінвазивно оцінити стан і активність фотосинтетичного апарату (Misra et al., 2012). Реєстрація флуоресценції й аналіз її параметрів забезпечує ефективне тестування стійкості рослин до умов середовища, а також автоматизацію вимірювань електронно-конформаційних станів фотосинтетичного апарату. Науковою основою застосування флуоресцентних методів діагностики стану рослин є біохімічні та біофізичні конверсійні механізми фотосинтезу. Флуоресцентні методи ідентифікують зміни в фотосинтетичному апараті, на основі взаємозв'язків між фотосинтетичним перетворенням енергії, регуляцією роботи фотосистем та флуоресценцією хлорофілу.

Мета дослідження – здійснити флуоресцентне тестування функціонального стану пігментного комплексу листкового апарату дуба звичайного і бука європейського у ботанічних пам'ятках природи міста Львова.

Завдання: виміряти флуоресценцентні параметри та визначити індекс життєвості дерев, який використовується в якості інтегрального біоіндикаційного показника забруднення середовища.

Об'єкт дослідження – видове різноманіття декоративних форм бука європейського у ботанічних пам'ятках природи м. Львова.

Предмет дослідження – біохімічні та біофізичні механізми змін асиміляційного апарату дерев у різних екологічних умовах, визначених за флуоресцентними параметрами.

Матеріал та методи.

Дослідження передбачають рекогносцирувальні обстеження насаджень, лабораторні вимірювання флуоресцентних параметрів рослин та формування бази даних.

Відбір зразків листя виконано з середньої частини крони дерев віку 15-20 років, у чотирьох еколого-фітоценотичних поясах м. Львова (вуличні насадження, сквери, парки і приміський ліс), відмінних за ступенем впливу антропогенних факторів на рослинність. Контролем слугувало листя дерев приміського лісу.

Активність фотосинтетичного апарату рослин досліджено методом фотоіндукованої флуоресценції хлорофілу (Капустяник і Мокрий, 2009). Перед вимірюванням листки адаптувалися до умов, за яких проводилися вимірювання флуоресценції. Листок перед встановленням у відсік для зразків адаптували до темноти протягом 3 хв. Індукційні криві ФХ вимірювали динамічним флуориметром. Спектральну селекцію збуджуючого (λ=450-550 нм) і реєстрованого випромінювання (λ=680-760 нм) здійснювали за допомогою скляних світлофільтрів. Тривалість реєстрації – 3 хв. Часова залежність, відношення максимальної і стаціонарної амплітуди індукційних переходів ФХ реєструвалася самописцем або осцилографом, з подальшою комп'ютерною обробкою. Оцінювання функціонального стану листків проводили за основними параметрами індукційної кривої: *Imax* – максимальне значення флуоресценції; *Iconst* – стаціонарний рівень її через 3 хв після початку освітлення. Достовірність зафіксованих відмінностей визначались за *t*-критерієм Стьюдента. Після визначення основних параметрів здійснено розрахунки індексу життєвості (*Rfd*) для характеристики фотосинтетичної активності та загального стану рослини: Rfd= (*Imax* – *Iconst*) / *Iconst* – величина гасіння флуоресценції, на яку впливають як фотохімічні (фіксація CO_2), так і нефотохімічні процеси (теплова дисипація енергії збудженого стану молекул хлорофілу), – характеризує стресову адаптованість рослин до умов середовища.

Вміст хлорофілів «a», «b» та каротиноїдів визначали спектрофотометричним методом після екстракції 96%-ним спиртом. Обрахунки здійснювали за формулами

Вернона-Веттштейна (Капустяник і Мокрий, 2004).

Результати.

Бук лісовий належить до родини букових (*Fagaceae*), роду бук (*Fagus* L.). Рід налічує до десяти видів, які розповсюджені в північній півкулі. В Україні природно ростуть два види бука – бук лісовий, європейський, або звичайний (*Fagus sylvatica* L.) і бук кримський (*Fagus taurica* Popl.), який деякі дослідники вважають підвидом бука східного (Мельник та Гречаник, 2003; Мельник, 1976). Природний ареал першого із них приурочений до Карпатських гір, де він має надзвичайно велике екологічне та промислове значення. Букові праліси Карпат у 2017 р. отримали статус об'єкта Всесвітньої природної спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси і давні ліси Карпат та інших регіонів Європи». У Західній Європі бук лісовий поширений досить широко в багатьох країнах від Скандинавії до Середземного моря і від Португалії до України.

Бук має надзвичайно велике екологічне значення – особливо у продукуванні кисню, очистці повітря, збереженні вологи у ґрунті. Крона дерева добре піддається формуванню, тому його широко застосовують у парковому будівництві, системі озеленення міста. Бук лісовий є досить декоративним видом та характеризується наявністю великої кількості морфологічних (декоративних) форм, які відрізняються за зовнішньою будовою, величиною чи забарвленням окремих органів дерева (листкової пластинки, крони, кори, плодів тощо). Зустрічається бук у двох фенологічних формах: ранньо- та пізньоквітучі з різницею розвитку у два тижні.

У таблиці 1 систематизовані місцезростання видового різноманіття бука і його декоративних форм у пам'ятках природи м. Львова – окремі дерева чи рослинні асоціації, котрі мають вагоме наукове, культурне, історичне або естетичне значення та повний заповідний режим.

Згідно аналізу даних таблиці 1 отримано результати, в яких показано, що бук зростає в різних умовах, відмінних за ступенем впливу антропогенних факторів на рослинність. Закономірності просторового розміщення рослинних угруповань покладені в основу екоклінної диференціації фітоценотичного покриву великих міст і їх приміських зон (Кучерявий, 2001).

До першого еколого-фітоценотичного поясу (I ЕФП) відноситься рослинність приміських лісів із характерним панівним лісовим кліматом. Перший ЕФП характеризуються малим або відсутнім прямим антропогенним навантаженням. Другий ЕФП – це рослинність крупних лісопарків і парків, приміських садів, яка відрізняється від лісової більшою зрідженістю насаджень, а отже, й сухішим кліматом, який називають "лісостеповим". Для другого ЕФП характерний помірний урбогенний вплив. До третього ЕФП належать міські сади і сквери, які внаслідок великої зріджуваності насаджень та теплоенергетичного впливу міста характеризуються "степовим" кліматом. Для цього ЕФП характерне сильне антропогенне навантаження. Четвертий ЕФП – це вуличні насадження на території із значним замощенням і забудовою. Вони повністю залежать від "пустельного" клімату цих територій, на що вказує різке скорочення вегетаційного періоду вуличних насаджень і передчасне опадання листя. Цей кліматичний градієнт названо "пустельним". У четвертому ЕФП найсуттєвішим середовищеутворюючим елементом зелених насаджень є вуличні насадження, поодинокі дерева, а також «контейнерна зелень». Систематизація міських насаджень за ЕФП забезпечує ідентифікацію впливу комплексного урбогенного навантаження на функціональний стан міської дендрофлори.

Бук східний – ботанічна пам'ятка природи місцевого значення в Україні. Зростає у межах міста Львів на площі Св. Юра у північно-східній частині скверу (ІІІ ЕФП). Статус надано в 2018 р., з метою збереження вікового бука (бук східний, *Fagus orientalis*). Описаний цей вид українським ботаніком Володимиром Липським і відрізняється від бука лісового тим, що верхні листочки, які оточують мисочку, шилоподібні, нижні – вузьколінійні, довші від верхніх, від чого всі листочки розміщені майже на одному рівні. В Україні зростає переважно на північних схилах Кримських гір, де утворює чисті лісостани на висоті 450 – 1400 м над рівнем моря. Вимогливий до родючості ґрунту і вологи, тіньовитривалий.

Таблиця 1

Характеристика видового різноманіття декоративних форм бука у пам'ятках природи м. Львова

№ п/п	Декоративна форма бука лісового	Адміністративне розташування та місцезнаходження об'єкту ПЗФ	Кількість штук
1	Бук східний (*Fagus orientalis*)	Ботанічна пам'ятка природи місцевого значення в Україні, м. Львів, площа Св. Юра, північно-східна частина скверу	1
2	Бук лісовий форма дуболиста (*Fagus sylvatica Quercifolia* Schneid)	Стрийський парк – пам'ятка садово-паркового мистецтва національного значенням, м. Львів	1
3	Бук лісовий форма пірамідальна (*Fagus sylvatica Fastigiata* Koch)	Ботанічний сад Львівського Національного університету ім. І. Франка – об'єкт ПЗФ загальнодержавного значенням, м. Львів	1
4	Бук лісовий форма плакуча, повисла, звисаюча (*Fagus sylvatica Pendula* Loud., *F. s. Bonnyensis* Simon-Louis)	Ботанічний сад Львівського Національного університету ім. І. Франка; Ботанічний сад Національного лісотехнічного університету України – об'єкт ПЗФ загальнодержавного значення; Стрийський парк, м. Львів	1 1 2
5	Бук лісовий форма рожево-облямована (*Fagus sylvatica Roseomarginata* Henry)	Ботанічний сад Львівського Національного університету ім. І. Франка; вул. І. Франка, м. Львів,	1 1
6	Бук лісовий форма розсіченолиста (*Fagus sylvatica Laciniata* Vignet)	Ботанічний сад Львівського Національного університету ім. І. Франка, Ботанічний сад Національного лісотехнічного університету м. Львів	1 1
7	Бук лісовий форма темно-пурпурова (*Fagus sylvatica Purpurea Ait.*, *F. s. Atropurpurea* Reg)	Ботанічний сад Національного лісотехнічного університету Стрийський парк; вул. І. Франка; Снопківський парк – пам'ятка садово-паркового мистецтва, об'єкт ПЗФ місцевого значення, м. Львів	1 10 1 5

Бук лісовий ф. дуболиста – дуже гарне декоративне дерево із глибоко вирізаними, вузькими листками, подібними до листків дуба. Лопаті листків часто хвилясті, інколи слабозубчасті. Облікований екземпляр росте у Стрийському парку м. Львова (І ЕФП). Зустрічається у парку «Софіївка», м. Умань (Мельник і Гречаник, 2003).

Бук лісовий ф. пірамідальна – високе дерево з пірамідальною формою крони, гілки спрямовані вгору. У Ботанічному саду Львівського НУ ім. Івана Франка росте завезений у 2002 році із «Софіївки» один із екземплярів цієї форми (ІІ ЕФП). Деревце невеличке за розмірами – висотою 1,2 м.

Бук лісовий ф. плакуча – високе дерево з дуже довгими (до 7 м) гілками першого порядку, звисаючими вертикально вниз (Мельник і Гречаник, 2003). Один із найбільш декоративних екземплярів даної форми росте у Стрийському парку (І ЕФП). На території Ботанічного саду Національного лісотехнічного університету (НЛТУ) України, по вул. О. Кобилянської, росте 1 дерево даної форми, крона якого вся зміщена на один бік (ІІ ЕФП). Така форма була інтродукована у Ботанічний сад Львівського НУ ім. І. Франка (деревце висотою 1,03 м) у 2002 році (ІІ ЕФП).

Бук лісовий ф. рожево-облямована – дерево з широкими темно-пурпуровими чи зеленими листками, які мають неправильні світло-рожеві краї (Мельник і Гречаник, 2003). Рослина цієї форми представлена в Ботанічному саду Львівського НУ ім. І. Франка (ІІ ЕФП). по вул. М. Черемшини, 44, де була розмножена щепленням у 1971 р. із дерева, що росло у Стрийському парку.

Бук лісовий ф. розсіченолиста – рослини з листочками від вузько еліптичних (ланцетних), зубчастих до глибоко лопатевих, інколи лінійних, цілокраїх. Деревце, що росте у Ботанічному саду Львівського НУ ім. І. Франка (ІІ ЕФП), завезене у 2002 р. із парку "Софіївка". Екземпляр, що росте у дендропарку НЛТУ України (ІІ ЕФП) ефективно контрастує завдяки досить високо піднятій кроні та глибоко розсіченим вузько еліптичним листковим пластинкам, які восени набувають темно-бурого забарвлення.

Бук лісовий ф. темно-пурпурова – дерево з пурпуровими листками, які не змінюють свій колір протягом літа. Зустрічається у парках України досить часто, особливо у Львові, Тернополі, Ужгороді, Мукачево. Кілька екземплярів великих розмірів росте у Стрийському парку м. Львова. Облікований екземпляр росте на вулиці Івана Франка м. Львова (IV ЕФП).

Результати визначення кількісного вмісту пігментів у листках різних декоративних форм бука в пам'ятках природи м. Львова та їх порівняльна характеристика в ЕФП м. Львова представлені на рисунку 1. Зміни фізіологічних функцій рослин в умовах впливу міського середовища є першою реакцією-відповіддю організму на умови зростання.

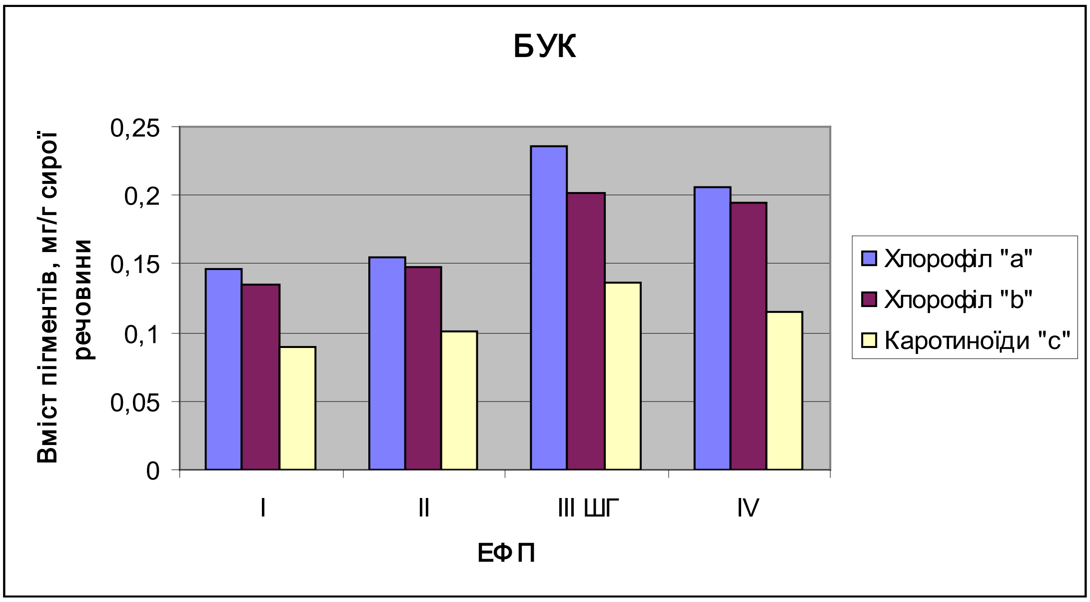

Рис. 1. Порівняльний аналіз вмісту пігментів в листках різних декоративних форм бука в пам'ятках природи м. Львова. ЕФП – еколого-фітоцентотичнй пояс.

Завдання біофізичного моніторингу ускладнюється великою різноманітністю атмосферних забруднювачів і різною реакцію-відповіддю на них окремих видів рослин. Деякі речовини, які забруднюють повітря можуть бути для рослин джерелом додаткового живлення і включатися в метаболізм (наприклад, сполуки карбону, нітрогену, сульфуру), інші навіть у мінімальних концентраціях є отруйними (озон, ртуть, фтор). Тому шкідливість речовини для організму відзначається швидкістю її метаболізації та нейтралізації, а також дозволяють швидше характеризувати тенденцію зміни досліджуваного процесу або реакції, а не їх абсолютних показників, отриманих у конкретних умовах експерименту. Ці результати часто не відтворювані при зміні умов, виду і віку досліджуваних рослин.

Основною причиною інактивації фотосинтезу є порушення в пігментному комплексі. Зміна вмісту пігментів впливає не лише на інтенсивність фотосинтезу, але й на загальний рівень метаболізму, рух асимілянтів, синтез ростових речовин. У зв’язку з цим, кількісний і якісний склад хлорофілу «а», хлорофілу «b» та каротиноїдів «с» можа використовувати в якості показника стану дендрофлори комплексної зеленої зони міста.

На посилення урбогенного навантаження досліджувані рослини реагують збільшенням вмісту хлорофілу в насадженнях парку та вулиці. Згідно (Ількун та ін., 1969) непошкоджуюча дія несприятливого фактора призводить до новоутворень хлорофілу і свідчить про газостійкість породи, а пошкоджуюча – гальмує синтез хлорофілу і руйнує ферменти. Спостережуване збільшення кількості хлорофілу може бути пов`язане з нагромадженням в листках, при незначному забрудненні середовища автотранспортними і промисловими викидами, необхідних для синтезу пігментів продуктів окислення вуглеводнів. Крім цього, можна припустити, що збільшення вмісту пігментів у листках, зокрема хлорофілу, який відіграє водоутримуючу роль, спостерігається при адаптації організмів до ґрунтової засухи, особливо в умовах «кадочної культури» вуличних насаджень і розглядається як адаптаційна функція.

Із погіршенням умов місцезростання, відбувається збільшення кількості каротиноїдів. Відомо, що каротиноїди відіграють захисну роль по відношенню до хлорофілу – оберігають його від фотоокислення. Тому підвищена їх кількість в листках зумовлює їх меншу пошкоджуваність фітотоксикантами. Динаміка зміни вмісту каротиноїдів, викликаних забрудненням середовища, подібна до динаміки зміни хлорофілу, що свідчить про відносно слабшу адаптованість цих видів.

Аналіз вмісту хлорофілу в листках показує не лише його кількісні зміни під впливом несприятливих факторів, але й зміну відношення хлорофіл «а» до хлорофіл «b». У досліджуваних видах воно мало змінюється, але спостерігається тенденція до збільшення частки хлорофілу «а». Це свідчить про стійкість порід до комплексного впливу урбогенних факторів. Зміни кількості і співвідношення суми хлорофілів та каротиноїдів можуть характеризувати ступінь толерантності до дії певного фактора. Загалом спостережувані тенденційні зміни цього показника вказують на зменшення частки хлорофілу.

Отримані дані вивчення пігментного комплексу деревних порід підтверджують чутливість цієї системи до впливу стрес-факторів. Основною причиною інактиваії фотосинтезу є порушення в пігментному комплексі. Зміна вмісту пігментів впливає не лише на інтенсивність фотосинтезу, але і на загальний рівень метаболізму, рух асимілянтів, синтез ростових речовин. В умовах незначного забруднення та ксерофілізації середовища стимулюється фотосинтез, збільшується кількість пігментів. Характерним для них є посилення синтезу каротиноїдів, як пристосувальної реакції, напрямленої на захист від фотодинамічного ефекту руйнування хлоропластів, що свідчить про відносну фізіологічну стійкість бука європейського до урбогенного впливу.

Описаний характер змін функціонування фотосинтезу та пігментних комплексів, викликаний антропогенними факторами, є специфічною реакцією рослин, схожою зі змінами фотосинтетичної системи, обумовленими різними стресовими впливами: сильним, або недостатнім освітленням, добовими коливаннями температур, водним режимом, засоленістю ґрунтів (Ількун та ін., 1969).

Зміни структурно-функціонального стану хлоропластів при адаптації до стресових умов середовища впливають на кінетику фотоіндукованої флуоресценції хлорофілу. У численних публікаціях показано, що для характеристики функціональної активності фотосинтетичного апарату використовують велику кількість флуоресцентних показників. Це пов'язано з тим, що її зміни корелюють зі зміною інтенсивності фотосинтезу. Результати таких досліджень сприяють глибшому розумінню регуляторних механізмів, що забезпечують ефективне перетворення енергії в первинних та наступних стадіях фотосинтезу. Крім того, вони можуть бути використані для проведення екологічного моніторингу рослинних об'єктів.

Згідно результатів досліджень кінетики фотоіндукованих переходів флуоресценції хлорофілу (рис. 2), початковий максимум свічення відмінний для дерев у різних урбогенних умовах.

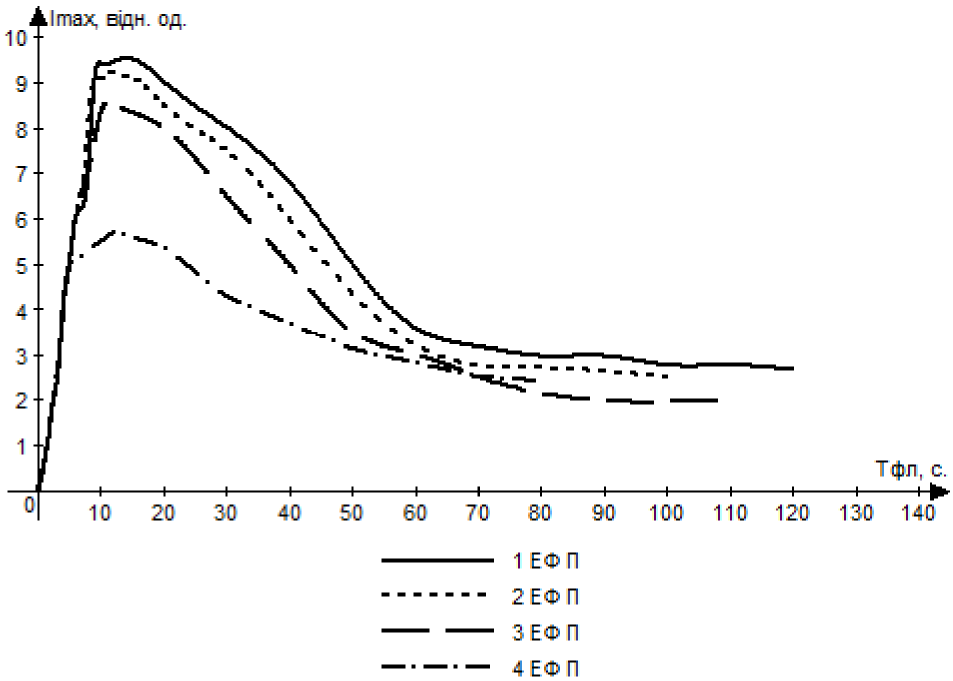

Рис. 2. Кінетика фотоіндукованої флуоресценції листків бука лісового в еколого-фітоценотичних поясах м. Львова. Осі координат: Imax – інтенсивність флуоресценції. Тфл – час вимірювання свічення флуоресценції.

Найбільший індукційний максимум спостерігається у зразках, взятих за візуальними ознаками, із фізіологічно здорових рослин Стрийського парку (І ЕФП), які зазнають мінімального антропогенного навантаження (контрольні зразки). Найменший – з вуличної посадки (вул. І. Франка), де урбогенний вплив максимальний. Зниження параметру Imax листків дерев, що знаходяться у екстремальних умовах міського середовища, в порівнянні з контрольними, вказує на пригнічення активності донорної частини фотосистеми ІІ. Разом із тим значення параметру Iconst – фонової флуоресценції (горизонтальне плато на графіках), який не зв’язаний з функціонуванням електрон-транспортного ланцюга, відносно стабільне для всіх дерев, що свідчить про ефективне функціонування антенного комплексу фотосинтезуючої системи.

В індукції флуоресценції фотосинтезуючих об’єктів функціонально розрізняють дві компоненти: змінну флуоресценцію, яка несе інформацію про функціонування фотосинтетичного апарату (параметр Imax) та фонова флуоресценція, яка відображає стан «антенного» хлорофілу (параметр Iconst). Згідно (Капустяник і Мокрий, 2009), за характером спаду квантового виходу флуоресценції можна оцінити функціонування фотосинтетичного апарату шляхом визначення індексу життєвості (Rfd). Цей параметр фотосинтетичної активності визначається співвідношенням: Rfd=Fd/Iconst, де Fd=Imax - Iconst – зниження флуоресценції хлорофілу від максимального значення до стаціонарного рівня, внаслідок активації ферментів вуглецевого циклу фотосинтезу.

На підставі порівняльних вимірювань кінетики ФХ in vivo визначено індекс життєвості рослин (Rfd). Максимальне значення Rfd свідчить про оптимальні умови місцезростання. Із збільшенням напруженості урбогенного фактору середовища фіксується зменшення значень Rfd, що відображає зниження потенціальної активності фотосинтетичного апарату рослин і узгоджується з даними. У вуличних насадженнях індекс життєвості зменшується у два рази в порівнянні з контрольними, що вказує на зниження активності донорної частини фотосинтезуючого апарату.

Обговорення

Методи і технології проведення моніторингу та оцінки фітосанітарного стану рослин міського середовища висвітлено в працях В. Владимирова, М. Мольчака, О. Федорова та ін. Екологічні аспекти зростання деревних рослин в урбанізованому середовищі висвітлені у роботах М. Борщевського, О. Зібцевої, Н. Ковальчук, О. Піхало та ін. Проблеми стійкості дерев до негативних факторів урбоекосистеми окреслено у наукових розвідках В. Бессонової, О. Іванченко, Ф. Левона. Окремі відомості щодо діагностики життєвого стану дерев, проблем фітотоксичності органічних та неорганічних забруднень представлено у дослідженнях В. Алексеєва, Є. Карімова, В. Тарабріна.

Дослідження видового складу дендрофлори міста Львова висвітлюється у низці робіт авторів (Каспрук, 2010; Заїка і Карпин, 2014). Дослідженню морфо-фізіологічних параметрів екологічного стану зелених насаджень еколого-фітоценотичних поясів міста Львова присвячено роботи В. Кучерявого, М. Курницької, П. Гнатіва. В. Геника та ін. У роботі (Собечко, 2009) методом візуалізації хлорозного і некрозного пошкодження листя та хвої дерев вивчено пошкодження деревних порід кислотними дощами, шкідниками, зокрема каштанів мінуючою міллю. Результати впливу туристично-рекреаційної діяльності на стан зелених зон Львівської урбоекосистеми висвітлено в роботі (Гілета, 2019).

Природно-заповідний фонд міста Львова та проблеми його збереження проаналізовані авторами (Койнова, 2010; Брусак, 2017; Назарук, 2018). Проблемі збереження старовікових дерев як пам'яток природи та історії, шляхом реконструкції, реставрації та консервації львівських парків-пам'яток садово-паркового мистецтва, що дозволить покращити загальний стан насаджень парків та збільшити їх естетичну привабливість присвячено роботи (Дудин, 2006; Dudyn, 2019).

Останнім часом спостерігається тенденція підвищення оперативності, точності та надійності визначення функціонального стану рослин шляхом упровадження методичного, математичного, метрологічно-інструментального та апаратно-програмного забезпечення, що є основою інформаційно-вимірювальних систем моніторингу санітарного стану деревних насаджень. Перспективним методом, що забезпечує виявлення змін у функціонуванні фотосинтетичного апарату рослин під впливом абіотичних та біотичних факторів довкілля є метод фотоіндукції флуоресценції хлорофілу (ефект Каутського). Перевагами цього методу є висока чутливість, експресність та можливість проводити діагностику у польових умовах.

Авторами розроблено динамічний флуориметр (Кучерявий та ін., 1992), розроблено методологію флуоресцентного тестування стійкості рослин та започатковано флуоресцентну експрес-діагностику дерев комплексної зеленої зони міста Львова (Мокрий та ін., 1999). Подальший розвиток оптоелектронного приладобудування сприяв створенню портативного флуорометра «Флоратест», який розроблено державним науково-інженерним центром мікроелектроніки Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України (Kytajev et al., 2005).

Застосування флуорометра «Флоратест» для оперативного оцінювання впливу фітопатогенних бактерій на функціональний стан рослин висвітлено у роботах (Aratemenko et al., 2010; Гуляєва та ін., 2022). Негативний вплив чинників на зелені насадження урбанізованих територій, який ідентифіковано флуоресцентним методом, висвітлено в працях (Oleksijchenko et al., 2013; Kostenko et al., 2014; Mokryy et al., 2016; Шепелюк та ін., 2017; Мокрий та ін., 2019). Виявлено високу чутливість параметрів індукції флуоресценції хлорофілу до пошкоджень за ураження рослин хворобами, шкідниками, до впливу несприятливих чинників й умов довкілля, особливостей генотипу досліджених видів.

У широкому спектрі біологічних, дендрологічних, географічних досліджень комплексної зеленої зони міста Львова, ботанічні пам'ятки природи залишаються мало вивченими. В більшості випадків ці об'єкти ПЗФ представлені окремими деревами чи рослинними асоціаціями. Суттєвою відмінністю пам'яток природи від великих природних комплексів є те, що вони можуть бути як автохтонними, еталонними ділянками біосфери, так і штучно створеними. Їх присутність у міському середовищі стимулює формування максимального наближення до природи.

Пам'ятки природи ботанічної категорії відіграють дуже важливу роль у збереженні природної спадщини сучасних міст. Вони мають багатофункціональне значення: природоохоронне, екологічне, санітарне, рекреаційне, еколого-виховне, науково-дослідне, естетичне. Екологічні та антропогенні трансформації міських урбоекосистем потребують сучасних концепцій управління, в основу яких покладенні дані комплексних моніторингових досліджень. Тому моніторинг рослинності, збереженої в пам'ятках природи, доцільно розширити шляхом кореляційного синтезу кількісних і якісних характеристик пігментного складу і флуоресцентної експрес-діагностики функціонування фотосинтетичного апарату рослин.

Проблему удосконалення системи моніторингу зелених насаджень можна вирішити шляхом вимірювання їх флуоресцентних параметрів для покращення санітарно-гігієнічного, рекреаційного та художньо-декоративного стану ботанічних пам'яток природи у сучасних містах. З огляду на це актуальність мають відомості про стан лісотвірної дендрофлори у пам'ятках природи ботанічної категорії, для створення банку даних та оперативного моніторингу урбанізованого середовища міста.

Отже, пам'ятки природи є одним із ключових понять заповідної справи, але функції цієї категорії в системі суспільних знань і відносин – значно ширше традиційної сфери інтересів охорони природи. Як і архітектурні пам'ятки, зелені насадження міста є свідками багатьох історичних подій. Місто Львів є одним із найзеленіших міст України і відзначається наявністю ботанічних пам'яток природи місцевого значення. Саме пам'ятки природи відіграють роль сталих символів, які формують у свідомості людини цілісні образи рідної природи, рідного. Будь-яка пам'ятка природи – об'єкт, який може бути чуттєво сприйнятим кожною людиною, чітко описаним, цінності якого є набагато очевиднішими і ясно окресленими у порівнянні з цінностями великих площинних об'єктів ПЗФ – національних природних парків або заповідників.

Висновки.

Урбогенна трансформація екосистем міста стає новим фактором адаптогенезу рослин в антропогенному екологічному середовищі. Під впливом урбанізації в дендрофлорі зелених насаджень Львова відбуваються адаптивні зміни, які супроводжуються морфологічними й анатомічними перебудовами асиміляційного апарату рослин. Досліджена стійкість бука європейського, збереженого в ботанічних пам'ятках природи, до впливу чинників антропогенного характеру, дозволяє ширше використовувати його видове різноманіття декоративних форм, при формуванні насаджень, здатних належним чином виконувати рекреаційно-оздоровчі й захисні функції. Дослідження у цьому напрямі важливі для підтримки стабільного стану існуючого видового складу дендрофлори та розробки науково обґрунтованих заходів для збагачення зеленої архітектури цінними екзотами.

Для покращення загального стану і якості зелених насаджень у містах є доцільним використання сучасних методів флуоресцентного експрес-тестування рослинності, при виконанні завдань збереження біорізноманіття й охорони флористичного генофонду урбанізованих територій.

Список використаних джерел

Аратеменко Д. М., Васюта С.О., Войнович І.Д., Китаєв О.І., Клочан П.С., Колесник Ю. С., Мішенко Л. Т., Романов В.О., Скряга В. А., Таранухо Ю.М., Федак В.С. Спосіб виявлення вірусних уражень рослин: патент 91452 Україна, МПК (2009) G 01 N 21/64, A 01 G 7/00/: заявник і патентовласник Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, опубл. 26.07.2010, Бюл. 14, 1-10, 5-6, с. 107-112.

Брусак В. Географічні дослідження природно-заповідних територій: структура, сучасний стан і перспективи реалізації. *Фізична географія і геоморфологія*. 2017. Вип.2 (86). С. 25-35.

Гілета Л. А. Вплив туристично-рекреаційної діяльності на стан зелених зон Львівської урбоекосистеми. *Географія та туризм: науковий журнал* / ред. кол.: Лісовський С. А. (гол. ред.) та ін. К.: Альфа–ПІК, 2019. Вип. 51. С. 34–44. https://doi.org/10.17721/2308-135X.2019.51.37-44

Гуляєва Г. Б., Житкевич Н. В., Гнатюк Т. Т., Патика В. П. Вплив фітопатогенних бактерій на активність фотосинтетичного апарату сої. *Вісник аграрної науки*: Рослинництво, кормовиробництво. 2022. №2 (827). С. 27-33.

Дудин Р. Б. Дерева-довгожителі – величні символи природи. *Науковий вісник НЛТУ*: Символ дерева у світовій культурі та художній творчості. Львів. НЛТУ. 2006. Вип. 16.4. С. 62-65.

Дудин Р. В. Старовинні парки Львівщини : монографія. Львів. «Новий світ - 2000». 2019. 186 с.

Заїка В. К., Карпин Н. І. Дендрофлористичний склад вуличних насаджень міста Львова. *Лісознавство та лісівництво*. Львів : РВВ НЛТУ України. 2014. Вип. 12. С. 69–72.

Ількун Г. М., Миронова А. С., Михайленко Л. А. Пошкодження тканин листків токсичними газами. *Укр. бот. журнал*. 1969. №1. С. 72-77.

Капустяник В. Б., Мокрий В. І. Прикладна спектроскопія: навчальний посібник. Львів: Видавничий центр Львівського національного університету імені Івана Франка. 2009. 320 с.

Каспрук О. І. Флористична структура культурних фітоценозів Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. Вип. 20.12. С. 65–69.

Китаєв О., Клочан П., Романов В. Портативний хронофлуорометр для експрес-діагностики фотосинтезу «Флоратест». Зб. доп. конф. – звіту з комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України у галузі сенсорних систем та технологій. Київ, 2005. С. 59.

Койнова І. Б. Об'єкти природно-заповідного фонду як складова частина природної спадщини міста Львова. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського*. Серія : Географія. 2010. Вип. 21. С. 132-138. – Режим доступу: https://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzvdpu_geogr_2010_21_22.

Кучерявий В. П. Екологія. Львів: Світ, 2001. 500 с.

Кучерявий В. П., Мокрий В. І., Гнатів П. С., Пахолюк М. П., Артемовська Д. В. Оптоелектронний метод тестування фотосинтетичного апарату в урбогенних умовах. Тез. доп. *44-ої наук. -техн. конф.* ЛЛТІ. Львів: ЛЛТІ, 1992. С. 42-43.

Мельник А. С. Садово-декоративні форми дуба і бука в озелененні західних областях України. *Досягнення ботанічної науки в Україні.* К.: Наук. думка, 1976. С. 67-68.

Мельник Ю. А., Гречаник Р. М. Формове різноманіття бука лісового на Львівщині. *Наук. вісник УкрДЛТУ.* Львів: УкрДЛТУ, 2003, Вип. 13.4. С. 83-88.

Мокрий В. І., Гриджук С. Д., Панківський Ю. І. Флуоресцентний метод тестування стійкості рослин урбанізованого середовища. *Науковий вісник : зб. наук-техн. праць.* Львів: Вид-во УкрДЛТУ, 1999. Вип. 9.8. С. 107-109.

Мокрий В. І., Гречаник Р. М., Шемелинець І. Л., Гречух Т. З., Кравців Р. В., Хрептак Н. О., Жалівців С. І. Флуоресцентний моніторинг хвойних насаджень еколого-фітоценотичних поясів Львова. *Сучасний стан і перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації*: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Львів, НЛТУ України. 2019. С. 280-281.

Мудрак О. В., Мудрак Г. В. Заповідна справа: навчальний посібник для студентів галузі знань 10 “Природничі науки”. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2020. 640 с.

Назарук М. М. Львів у ХХ столітті: соціально-екологічний аналіз. Львів: Українська академія друкарства, Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. 348 с.

Назарук М., Сенчина Б., Стойко С., Койнова І., Брусак В., Кричевська Д. Природно-заповідний фонд. Львівська область: природні умови та ресурси. Монографія. За заг. ред. д.г.н., проф. М. М. Назарук. Львів: Видавництво Старого Лева, 2018. С. 403–456.

Олексійченко Н. О., Китаєв О. І., Совакова М. А., Соваков О. В., Борщевський М. О. Особливості індукції флуоресценції хлорофілу в листках деревних рослин в умовах урбанізованого середовища. *Біоресурси і природокористування.* 2013. № 5-6. С. 107–112.

Собечко О. Зелена зона міста Львова та її екологічний стан. [Електронний ресурс]: *Вісник Львівського університету. Серія географічна.* 2009. Вип. 37. С. 215-224. – Режим доступу: https://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_Geograf_2009_37_27.

Регуляція фотосинтезу і продуктивності рослин: фізіологічні та екологічні аспекти Шадчина Т. М. та ін. Київ: Фітосоціоцентр, 2006. 384 с.

Шепелюк М.О., Ковалевський С.Б., Китаєв О.І. Флуоресценція хлорофілу та її індукційні зміни в листках деревних рослин в умовах урбанізованого середовища міста Луцька. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2017. Вип. 27 (1). С. 101–105.

Kostenko S. M., Kytajev O. I., Kovalevskyj S. B. Induction of Chlorophyll Fluorescence of the Genus Philadelphus L. Leaves in Kyiv. Scientific Bulletin of UNFU, 2014. 24(4), pp. 209–213. http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2014/24_4/209_Kost.pdf

Lazár D. Chlorophyll a fluorescence induction. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*: journal. 1999. Vol. 1412. P. 1-28. http://doi:10.1016/s0005-2728(99)00047-x

Misra A. N., Misra M., Singh R. Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology. Biophysics. (Misra A.N. (ed.). 2012. Ch. 7. Pablisher: Intech. P. 171–192. http://doi:10.5772/35111.

Mokryy V., Trofimchuk O., Pohrebennyk V., Politylo R., Radchuk V., Radchuk I., Zagorodnya S., Kurlyak I. Biophysical monitoring of forest ecosystems. Journal of Acta facultatis studiorum humanitatis et naturae universitatis Presoviensis, *Natural sciences*, Slovak Republic. Presov. 2016. Volume XLIII. P. 166-171.

Murchie E. H., Lawson T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*:

journal. Oxford University Press, 2013. Vol. 64. №13. P. 3983-3998. https://doi:10.1093/jxb/ert208 .

References (translated & transliterated)

Aratemenko, D. M., Vasjuta, S. O., Vojnovych, I. D., Kytajev, O. I., Klochan, P. S., Kolesnyk, Yu. S., Mishhenko, L. T., Romanov, V. O., Skrjaga, V. A., Taranuho, Yu. M. & Fedak, V. S. (2010). Pat. 91452 Ukraina, MPK (2009) G 01 N 21/64, A 01 G 7/00/ Sposib vyjavlennja virusnyh urazhen roslyn [The method of detecting viral lesions of plants: patent 91452 Ukraine, IPC (2009) G 01 N 21/64, A 01 G 7/00/] zajavnyk i patentovlasnyk In-t kibernetyky im. V. M. Glushkova NAN Ukrainy. Opubl. 26.07.2010, Bjul. 14, 1–10, 5–6, 107–112 [in Ukrainian].

Brusak, V. (2017). Heohrafichni doslidzhennya pryrodno-zapovidnykh terytoriy: struktura, suchasnyy stan i perspektyvy realizatsiyi [Geographical studies of nature-reserved territories: structure, current state and prospects for implementation]. Fizychna heohrafiya i heomorfolohiya [Physical geography and geomorphology], 2 (86), 25-35 [in Ukrainian].

Gileta, L. A. (2019) .Vplyv turystychno-rekreatsiynoyi diyal′nosti na stan zelenykh zon L′vivs′koyi urboekosystemy [The influence of tourist and recreational activities on the state of green areas of the Lviv urban ecosystem]. Heohrafiya ta turyzm: naukovyy zhurnal [Geography and tourism: scientific journal]. K.: Al′fa–PIK, 51, 34–44[in Ukrainian].

Gulyaeva, G. B., Zhitkevich, N. V., Gnatyuk, T. T. & Patika, V. P. (2022). Vplyv fitopatohennykh bakteriy na aktyvnist′ fotosyntetychnoho aparatu soyi. [The influence of phytopathogenic bacteria on the activity of the photosynthetic apparatus of soybean]. Visnyk ahrarnoyi nauky: Roslynnytstvo, kormovyrobnytstvo [Herald of agrarian science: Crop production, fodder production], 2 (827), 27-33. [in Ukrainian].

Dudyn, R. B. (2006). Dereva-dovhozhyteli - velychni symvoly pryrody [Long-lived trees are majestic symbols of nature]. Naukovyy visnyk NLTUU: Symvol dereva u svitoviy kul′turi ta khudozhniy tvorchosti [Scientific bulletin of NLTU: The symbol of the tree in world culture and artistic creativity], 16.4, 62-65. [in Ukrainian].

Dudyn, R. B. (2019). Starovynni parky L′vivshchyny : monohrafiya [Ancient parks of Lviv region: monograph]. L′viv: vydavnytstvo «Novyy Svit - 2000» [in Ukrainian].

Zayika, V. K. & Karpyn, N. I. (2014). Dendroflorystychnyy sklad vulychnykh nasadzhen′ mista L′vova [Dendrofloristic composition of street plantings of the city of Lviv]. Lisoznavstvo ta lisivnytstvo [Forestry and forestry]. L′viv : RVV NLTU Ukrayiny, 12, 69–72. [in Ukrainian].

Il′kun, H. M., Myronova, A. S. & Mykhaylenko, L. A. (1969). Poshkodzhennya tkanyn lystkiv toksychnymy hazamy [Damage to leaf tissues by toxic gases]. Ukr. bot. zhurnal [Ukraine botanical journal], 1, 72-77 [in Ukrainian].

Kapustyanyk, V. B. & Mokryy V. I. (2009). Prykladna spektroskopiya: navchal′nyy posibnyk. [Applied Spectroscopy: A Study Guide]. L′viv. – Vydavnychyy tsentr L′vivs′koho natsional′noho universytetu imeni Ivana Franka. [in Ukrainian].

Karapetyan, N. V. & Buhov, N. G. (1986), Peremennaya fluorestsentsiya hlorofilla kak pokazatel fiziologicheskogo sostoyaniya rasteniy [Variable chlorophyll fluorescence as an indicator of physiological state of plants]. Fiziologiya rasteniy [Plant Physiology], 33 (5), 1013–1026 [in Russian].

Kaspruk, O. I. (2010). Florystychna struktura kul′turnykh fitotsenoziv L′vova [Floristic structure of cultural phytocenoses of Lviv]. Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine], 20.12, 65–69. [in Ukrainian].

Kytajev, O., Klochan, P. & Romanov, V. (2005). Portatyvnyj hronofluorometr dlja ekspres-diagnostyky fotosyntezu "Floratest" ["Floratest" portable chronofluorometer for express diagnostics of photosynthesis]. Zb. dop. konf. Zvitu z kompleksnoi programy fundamentalnyh doslidzhen NAN Ukrainy u galuzi sensornyh system ta tehnologij[Coll.

add. conf. - a report on the comprehensive program of fundamental research of the National Academy of Sciences of Ukraine in the field of sensor systems and technologies]. Kyiv. 59 [in Ukrainian].

Koynova, I. B. (2010). Ob″yekty pryrodno-zapovidnoho fondu yak skladova chastyna pryrodnoyi spadshchyny mista L′vova [Objects of the natural reserve fund as a component of the natural heritage of the city of Lviv]. Naukovi zapysky Vinnyts′koho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhayla Kotsyubyns′koho. Seriya : Heohrafiya. [Scientific notes of Vinnytsia State Pedagogical University named after Mykhailo Kotsyubynskyi. Series: Geography], 21, 132-138. Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzvdpu_geogr_2010_21_22. [in Ukrainian].

Kucheryavyy, V. P. 2001. Ekolohiya [Ecology]. L′viv: Svit. [in Ukrainian].

Kucheryavyy, V. P., Mokryy, V. I., Hnativ, P. S., Pakholyuk, M. P. & Artemovs′ka, D. V. (1992). Optoelektronnyy metod testuvannya fotosyntetychnoho aparatu v urbohennykh umovakh [Optoelectronic method of testing the photosynthetic apparatus under urbogenic conditions]. Tez. dop. 44-oyi nauk. -tekhn. konf. LLTI [Theses add. of the 44th Science. - technical conf. LLTI]. L′viv: LLTI, 42-43. [in Ukrainian].

Mel′nyk, A. S. (1976) . Sadovo-dekoratyvni formy duba i buka v ozelenenni zakhidnykh oblastyakh Ukrayiny [Garden and decorative forms of oak and beech in the landscaping of the western regions of Ukraine]. Dosyahnennya botanichnoyi nauky v Ukrayini [Achievements of botanical science in Ukraine]. K.: Nauk. Dumka, 67-68. [in Ukrainian].

Mel′nyk, Yu. A. & Hrechanyk R. M. (2003). Formove riznomanittya buka lisovoho na L′vivshchyni [Form diversity of forest beech in Lviv region]. Nauk. visnyk UkrDLTU [Science Herald of UkrDLTU]: L′viv: UkrDLTU, 13.4, 83-88. [in Ukrainian].

Mokryy, V. I., Hrydzhuk, S. D. & Pankivs′kyy, Yu. I. (1999). Fluorestsentnyy metod testuvannya stiykosti roslyn urbanizovanoho seredovyshcha [Fluorescent method of testing the stability of plants in an urban environment]. Naukovyy visnyk : zb. nauk-tekhn. prats′ [Scientific bulletin: coll. science and technology works]. L′viv : Vyd-vo UkrDLTU, 9.8, 107-109. [in Ukrainian].

Mokryy, V. I., Hrechanyk, R. M., Shemelynets′, I. L., Hrechukh, T. Z., Kravtsiv, R. V., Khreptak, N. O. & Zhalivtsiv, S. I. (2019). Fluorestsentnyy monitorynh khvoynykh nasadzhen′ ekoloho-fitotsenotychnykh poyasiv L′vova. [Fluorescent monitoring of conifers in ecological and phytocenotic zones of Lviv]. Suchasnyy stan i perspektyvy rozvytku landshaftnoyi arkhitektury, sadovo-parkovoho hospodarstva, urboekolohiyi ta fitomelioratsiyi : Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi. L′viv, NLTU Ukrayiny [The current state and prospects for the development of landscape architecture, horticulture, urban ecology and phytoremediation: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*], 280-281. [in Ukrainian].

Mudrak, O. V. & Mudrak, H. V. (2020). Protected area: textbook way. for students in the field of knowledge 10 "Natural Sciences" [Zapovidna sprava: navch. posib. dlya studentiv haluzi znan′ 10 "Pryrodnychi nauky"]. Kherson: OLDI-PLUS. [in Ukrainian].

Nazaruk, M. M. (2008). L′viv u XX stolitti: sotsial′no-ekolohichnyy analiz. L′viv [Lviv in the 20th century: socio-ecological analysis]. Ukrayins′ka akademiya drukarstva, Vydavnychyy tsentr LNU im. Ivana Franka. [in Ukrainian].

Nazaruk, M., Senchyna, B., Stoyko, S., Koynova, I., Brusak, V. & Krychevs′ka, D. (2018). Pryrodno-zapovidnyy fond. L′vivs′ka oblast′: pryrodni umovy ta resursy [Nature Reserve Fund. Lviv region: natural conditions and resources]. Monohrafiya. L′viv: Vydavnytstvo Staroho Leva, 403–456.

Oleksijchenko, N. O., Kytajev, O. I., Sovakova, M. A., Sovakov, O. V. & Borshhevskyj, M. O. (2013). Osoblyvosti induktsiyi fluorestsentsiyi khlorofilu v lystkakh derevnykh roslyn v umovakh urbanizovanoho seredovyshcha [Peculiarities of the induction of chlorophyll fluorescence in the leaves of woody plants in the conditions of an urbanized environment]. Bioresursy i pryrodokorystuvannya [Bioresources and nature management]. 5-6, 107–112 [in Ukrainian].

Sobechko, O. (2009). Zelena zona mista L′vova ta yiyi ekolohichnyy stan [The green zone of the city of Lviv and its ecological condition]. [Elektronnyy resurs]: Visnyk L′vivs′koho universytetu. Seriya heohrafichna, 37, 215-224. [Electronic resource] URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_Geograf_2009_37_27 [in Ukrainian].

Shadchyna, T. M., Hulyayev, B. I., Kiriziy, D. A., Stasyk, O. O., Pryadkina H. O. & Storozhenko V. O. Rehulyatsiya fotosyntezu i produktyvnosti roslyn: fiziolohichni ta ekolohichni aspekty [Regulation of photosynthesis and plant productivity: physiological and ecological aspects]. Kyyiv: Fitosotsiotsentr, 2006. [in Ukrainian].

Shepelyuk, M. O., Kovalevs′kyy, S. B. & Kytayev, O. I. (2017). Fluorestsentsiya khlorofilu ta yiyi induktsiyni zminy v lystkakh derevnykh roslyn v umovakh urbanizovanoho seredovyshcha mista Luts′ka [Fluorescence of chlorophyll and its induced changes in the leaves of woody plants in the conditions of the urbanized environment of the city of Lutsk.]. Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine]. 27 (1), 101–105 [in Ukrainian].

Kostenko, S. M., Kytajev, O. I. & Kovalevskyj, S. B. (2014). Induction of Chlorophyll Fluorescence of the Genus Philadelphus L. Leaves in Kyiv. Scientific Bulletin of UNFU, 24(4), 209–213. Retrived from: http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2014/24_4/209_Kost.pdf [in English].

Lazár, D. (1999) Chlorophyll a fluorescence induction (англ.) // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics (англ.)рус. : journal., 1412, 1-28. doi:10.1016/s0005-2728(99)00047-x [in English].

Misra, A.N., Misra, M. & Singh, R. (2012) Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology. Biophysics. (Misra A.N. (ed.). 2012. Ch. 7. Pablisher: Intech. 171–192. doi:10.5772/35111 [in English].

Mokryy, V., Trofimchuk, O., Pohrebennyk, V., Politylo, R., Radchuk, V., Radchuk, I., Zagorodnya, S. & Kurlyak, I. (2016) Biophysical monitoring of forest ecosystems. Journal of Acta facultatis studiorum humanitatis et naturae universitatis Presoviensis, Natural sciences, Slovak Republic. Presov. 2016, XLIII, 166-171 [in English].

Murchie, E.H. & Lawson, T. (2013) Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. Journal of Experimental Botany: journal. Oxford University Press, 2013, 64, 13, 3983-3998. — doi:10.1093/jxb/ert208 [in English].

Отримано: 28 квітня 2023
Прийнято: 17 травня 2023