

DOI: 10.34132/ers.2024.01.02.09.
УДК 502.175:502.211](477.73-21)

Тимченко І. В.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
садово-паркового господарства та екології
ДЗ Луганський національний університет імені Тараса Шевченка.
Старосвітська вулиця, 52, Миргород, Полтавська область, 37600
inna.tymchenko@gw.necu.org.ua

Крисінська Д. О.,

канд. техн. наук, доцент (б.в.з.) кафедри екології,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003
d_krynska@chmnu.edu.ua

Адропова Д. А.,

учениця Миколаївського ліцею № 38
Миколаївської міської ради Миколаївської області,
вул. Котельна, 8, Миколаїв, Миколаївська область, 54003

Забіяка Я. І.,

студентка бакалаврату спеціальності «Екологія»,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ФУНКЦІЙ ДЕНДРОФЛОРИ МИКОЛАЄВА В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ ТА ЗМІН КЛІМАТУ

Авторами досліджено умови зростання та види дендрофлори Миколаєва. Проаналізовано факти переживання літньої посухи 2023 року різними видами дерев. Пораховано екосистемні послуги дерев та оцінено їх важливість в сучасних реаліях війни в Україні та глобальних змін клімату. Визначено оптимальні види дерев для міста Миколаєва з урахуванням отриманих результатів дослідження та концепцію їх висадки. Ця інформація може бути включена як рекомендацію до правил догляду за зеленими насадженнями в місті. В результаті досліджень визначено екосистемні послуги дев'яти популярних дерев Миколаєва, обраховано такі послуги як поглинання вуглецю, вироблення кисню, а також вартість відновлення кожного з дерев за допомогою програми I Tree-Eco.

Ключові слова: зелені насадження, дендрофлора міста, екосистемні послуги, кліматичні зміни, воєнні дії, вуглекислий газ, I Tree-Eco.

Актуальність та формування проблематики.

В умовах змін клімату все важче вдається зберігати та відновлювати зелені насадження, як в містах так і в природі. Ситуація серйозно ускладнюється військовою агресією російської федерації та повномасштабним вторгненням, починаючи з 2022 року. Особливо помітні наслідки впливу змін клімату та воєнних дій на півдні України, зокрема на Миколаївщині.

В місті Миколаєві відсоток приживання посадкового матеріалу дерев дуже низький, а існуючі дорослі дерева все частіше не переживають посухи. В той же час, в Миколаєві можна часто спостерігати застосування так званого “кронування” дерев, яке призводить до пошкодження дерев і поступової його загибелі. Крім того, дерева втрачають свої екосистемні послуги.

Останні дані гідрометеослужби свідчать про те, що в Миколаєві концентрації формальдегіду в 2023 році перевищують допустимі норми майже щодня. Саме дерева при цьому виступають природними фільтрами атмосферного повітря. Разом з тим, в умовах воєнних дій стан атмосферного повітря в Україні продовжує погіршуватися.

Отже, питання дослідження екосистемних функцій дендрофлори Миколаєва є надзвичайно актуальним, оскільки потребує детального аналізу впливу на стан дерев зміни клімату та військової агресії російської федерації.

Метою дослідження є аналіз стану дендрофлори міста Миколаєва, оцінювання умов, які впливають на зростання дерев, а також визначення їх екосистемних послуг для відновлення дерев міста в сучасних реаліях змін

клімату та військової агресії російської федерації.

Наукова новизна дослідження полягає в спробі здійснити оцінку екосистемних послуг розповсюджених дерев Миколаєва та провести порівняльний аналіз їх значення, а також їх пристосування до сучасних умов півдня України, враховуючи виклики воєнних дій та зміни клімату.

Матеріали і методи дослідження. В основі дослідження для вирішення поставлених завдань було використано емпіричні та теоретичні **методи**: загальнонаукові (аналіз і синтез), спостереження, моделювання, експеримент, інструментальні дослідження, проведено розрахунки екосистемних послуг в програмі I Tree Eco.

Результати дослідження.

Зміни клімату створюють нові виклики як для людства так і для довкілля, де дерева відіграють з одного боку роль потужних природних елементів, які сприяють зменшенню інтенсивності кліматичних змін, а також відчуття їх наслідків людиною, з іншого дерева самі потерпають від потепління, посух, стихійних кліматичних явищ.

Кліматичні умови півдня України також змінюється, зокрема, зростає середньорічна температура, а також період посух, кількість буревіїв та інших стихійних явищ, що значно впливає на умови зростання дерев. Зокрема, літо-осінь 2023 року характеризувалась тим, що майже чотири місяці не було опадів, а за листопад трапилось два буревії, з поривами вітру, яких вже давно не спостерігалось. Багато дерев міста не пережило посуху, а потім буревії.

Разом з тим, в Миколаєві досі відсутня концепція по озелененню міста, а також затверджені правила догляду за деревами. При цьому багато дерев кронують, так, що це призводить до їх подальшого вмирання або взагалі вирубують. Крім того, висадка дерев не відповідає тим умовам, за яких дерева виживають.

Міжнародна практика говорить про те, що ефективним способом збереження дерев є врахування їх цінності, а саме їх екосистемних послуг. В Україні тільки впроваджується практика оцінки екосистемних послуг, але інтеграція України в ЄС вимагатиме прийняття і відповідних законів.

Видовий склад дендрофлори на прикладі міста Миколаєва. Під впливом факторів зовнішнього середовища у рослин виробляються певні біологічні особливості та формується їх зовнішній вигляд, а якщо середовище відрізняється, то ріст рослин пригнічується, вони втрачають декоративність, або гинуть. Тому під час вибору територій для майбутньої висадки дерев, треба знати не тільки природно-кліматичні умови дендродекоративного району, а й відношення деревних рослин до факторів зовнішнього середовища.

При догляді за деревами, необхідно враховувати їх біологічні особливості, як от реакція на середовище і добрива, способи розмноження, тривалість періоду вегетації.

При виборі досліджуваних видів дерев в місті Миколаєві було враховано чисельність, популярність та їх розташування.

Проаналізовано 11 видів дерев: робінія звичайна, робінія псевдоакація, *Robinia pseudoacacia* L.; берест (*Ulmus minor* Miller), в'яз граболистий (звичайний); гіркокаштан звичайний, *Aesculus hippocastanum*, народна назва – каштан; тополя біла, *Populus alba*; ясен пенсильванський (*Fraxinus pennsylvanica* L.); шовковиця біла (*Morus alba*); клен гостролистий (*Acer platanoides* L.); софора японська, *Styphnolobium japonicum*, сосна кримська, *Pinus nigra* ssp. *pallasiana*; платан кленолистий, *Platanus acerifolia*, липа звичайна (*Tilia cordata* Mill.) [1].

Для 9 видів було проведено оцінку екосистемних послуг. Оцінка не проводилась для софори японської та сосни кримської.

Основні проблеми утримання та догляду за деревами Миколаївщини. У Миколаєві та Миколаївській області відбувається значні знесення та незаконні (за даними Державної екологічної інспекції) вирубки дерев [2,3,4]. Впродовж 2022-2023 року, було знесено 1500 тополь, більшість з яких вздовж магістралей міста (рис.1.), більше половини тополів мали добрий стан.



Рис.1. Зрубані тополі на проспекті Миру, Миколаїв, 2023 рік: а – загальне фото, б – зрублена тополя

Разом з тим, часто дерева вчасно не лікують, що призводить до їх швидкому старінню. Щоб забезпечити безпеку проходження електричних дротів або якщо дерево має сухі гілки, необхідно інколи підрізати деякі гілки

дерев. Проте часто це роблять не професіонали (люди, які не розуміють особливості росту рослин), що веде за собою хвороби дерев, а це приводить до висихання дерева.

В результаті опрацювання літературних джерел, було з'ясовано, що вирубка та пошкодження дерев відбувається в місті та області постійно: чистка дерев під електропроводами, пошкодження дерев під час ремонтних доріг, будівництво та незаконне вирубування дерев в місті та області, а також їх «кронування», як метод омолодження. Разом з тим, в більшості європейських країнах вже давно застосовуються інші методи догляду за деревами [5].

Дорослі великі дерева потребують індивідуального підходу, з залученням арбористів. При догляді за деревами, необхідно враховувати їх біологічні особливості, як реакція на середовище і добрива, способи розмноження, тривалість періоду вегетації тощо.

Основні екосистемні послуги дерев. Екосистемні послуги – всі корисні блага, які можна отримати від близького сусідства з природою. Від екосистемних послуг прямо залежить задоволення фундаментальних потреб людини. Послуги екосистем можуть бути визначені як «набір функцій екосистем, які є корисними для людини» [6]. Вони є наслідком допоміжних процесів, які діють в різних часових і просторових масштабах», а також «життєзабезпечуючі функції» [8,9].

Сьогодні в українському законодавстві відсутні затвердженні методики, норми та правила, які б визначали екосистемні послуги або дозволяли їх впроваджувати як обов'язкові. Проте управлінський підхід, який враховуватиме екосистемні послуги дерев, дозволить перед прийняття рішення щодо вирубки дерева для побудови чергового інфраструктурного об'єкту, продумати не лише компенсаційну посадку, але й визначити реальну цінність дерева в грошовому еквіваленті.

Крім того, саме розуміння дійсної вартості дерев дозволить обрати оптимальні місця для їх посадки та правильне видове різноманіття, враховуючи особливості росту та екосистемні функції.

Екосистемні послуги дерев набагато різноманітніші, зокрема, серед основних послуг можна виділити [10]:

- ✓ виробництво кисню;
- ✓ акумуляція вуглекислого газу;
- ✓ поглинання забруднювачів, таких як NO_x , SO_x , CO_2 та ін.;
- ✓ відведення зайвої води, утримання води в ґрунті;
- ✓ захист від шуму;
- ✓ захист від пилу, зокрема поглинання дрібнодисперсного впливу;
- ✓ удобрення ґрунту за рахунок опалого листя;
- ✓ деревина тощо.

В рамках дослідження було оцінено вплив дерев на такі параметри довкілля, як температуру, шум, вологість, дрібнодисперсний пил та CO_2 за допомогою портативного приладу Smart Citizen (рис.2.). Даний прилад розроблений науковцями з Барселони (Іспанія) та наданий миколаївській громадській обсерваторії проекту CitiObs в межах співпраці з Національним екологічним центром України.

Експериментальну частину дослідження було проведено влітку, о 12.00 на проспекті Центральному міста Миколаїв. Ця вулиця є найширшою магістраллю міста. Протяжність проспекту близько восьми кілометрів, він перетинає майже все місто із заходу на схід. Проспект забудований сучасними житловими кварталами, також там спостерігається щільний трафік. На початку повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України, вздовж проспекту було вирубано ряд дерев виду тополя срібляста.

Результати експерименту показали, що температура в тіні дерев з $31,5^\circ\text{C}$ піднялась до $40,1^\circ\text{C}$ на сонці, а саме ділянці без дерев біля дороги, шум з 53 дБ піднявся до 70 дБ, вологість з 50 проміле впала до 39 проміле (таблиця 1).

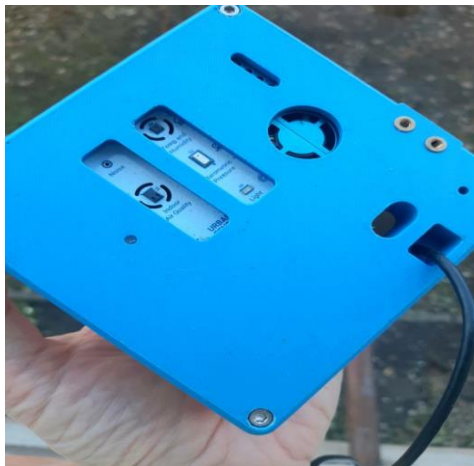


Рис. 2. Портативний прилад Smart Citizen

Таблиця 1. – Результати експерименту вимірювання параметрів довкілля

Показники	У тіні, під кроною дерев (липи звичайної):	На сонці, біля магістралі:
Шум	63,3 дБ	70 дБ
Температура	31,6 °C	40 °C
Вологість	53,8	38,7
Р _м 2,5	24	29
Р _м 10	36	32
Р _м 1	414	22
CO ₂	450	706

Методика розрахунку екосистемних послуг дерев за допомогою програми I Tree Eco. Розуміння структури, функції та цінності міського лісонасадження може сприяти прийняттю управлінських рішень, які будуть впливати на покращення здоров'я людини та якості навколишнього середовища.

В межах дослідження, оцінювання структури, функції та значення рослинності проводилися протягом травня – листопада 2023 року. Для аналізу було обрано 9 видів дерев, які є одними з найбільш розповсюджених в Миколаєві. Розміри дерев, крім липи, було обрано приблизно однаковими. Назви дерев подано латиною, для розрахунку екосистемних послуг було використано програма I-Tree Eco, розробленою Північною науково-дослідною станцією Лісової служби США [11, 12].

Програма I-Tree Eco дозволяє оцінювати екосистемні послуги дерев як у відповідних одиницях виміру, так і в грошовому еквіваленті. Це дозволяє краще розуміти «ціну» дерева та підвищує потенційні можливості для захисту зелених зон у населених пунктах, посиляючись на їх цінність та важливість.

З 2006 року програма широко використовується в усіх штатах Америки, а також популярна в країнах більшості континентів світу, а також в Україні.

Основні параметри, які вимірювались за допомогою програми:

- видалення забруднень: метричних тон/рік (прибуток на рік),
- зберігання вуглецю: метричні тони (прибуток на рік),
- поглинання вуглецю: кілограмів (прибуток на рік),
- виробництво кисню: кг/рік,
- відведений стік: 0 кубометрів/рік (прибуток на рік),
- енергозбереження будівель: прибуток в рік,
- уникнення викидів вуглецю: прибуток в рік,
- відновна вартість: прибуток в рік.

В розрахунках метрична тонна: 1000 кілограмів. Грошові значення Н наводяться в гривнях у звіті, крім випадків, коли це зазначено.

Оцінки послуг екосистеми наводяться для окремих порід дерев за наведеними параметрами. При цьому площа листя дерев оцінюється за допомогою вимірювання розмірів крони та відсотка відсутньої крони. У випадку, якщо ці змінні дані не були зібрані, вони оцінюються відповідно до виду дерева.

Проведення польового дослідження. Для кращої і якісної роботи дослідження було створено графік польових зборів, де описано основні процеси, особливості вимірювання та загальні показники рослин, які були досліджені. Під час польових досліджень визначалися та записувалися назви видів і родів кожного дерева. Було вказано точне вимірювання або категорії діаметру стовбуру та висоти для кожного дерева. Визначено тип землекористування території розташування дерева. Описано статус дерева – посаджене або самосівом. Зафіксовано карту координат, розміри корони, здоров'я крони, освітлення крони дерев та наявність шкідників. Всі спостереження проводились з травня по листопад (рис. 3.).



Рис.3. Фото проведення польових досліджень дерев в місті Миколаїв

В програмі I Tree Eco виконуються всі розрахунки англійською мовою, а точне вимірювання або категорії діаметра стовбура дерева та висоти для кожного дерева вимірюються в см, ширина і розміри крони стан відмирання у відсотках.

Результати розрахунку в програмі I Tree Eco. Зберігання та секвестрація вуглецю. Зміна клімату є проблемою глобального занепокоєння. Міські дерева можуть допомогти пом'якшити зміну клімату шляхом секвестру атмосферного вуглецю (з вуглекислого газу) в тканинах [15]. Секвестрація вуглецю – це видалення вуглекислого газу з повітря рослинами. Кількість вуглецю, що поглинається щорічно, збільшується разом із розміром і станом дерев. Грубий секвестр дерев становить близько 216,6 кілограмів вуглецю на рік із пов'язаною вартістю 1,2 тис. грн.

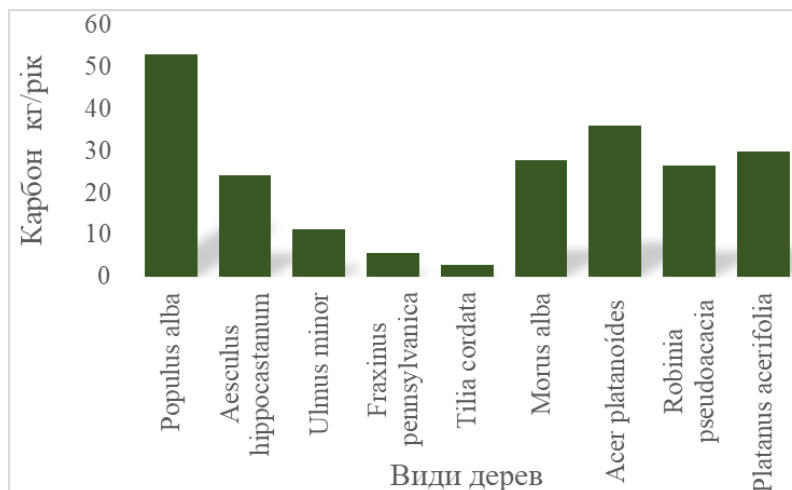
Дерева відіграють важливу роль у зберіганні вуглецю, що може впливати на глобальні зміни клімату. Протягом свого життя дерева накопичують вуглець у своїй тканині через процес фотосинтезу. Однак, коли дерево вмирає і розкладається, значна частина цього вуглецю може повернутися в атмосферу. Таким чином, кількість вуглецю, яка може бути вивільнена, залежить від стану дерев і процесу їх розкладання.

Зберігання здорових дерев допомагає утримувати вуглець, збережений у їхній біомасі. Однак викиди вуглецю можуть стати наслідком таких дій, як вирубка лісів або неконтрольований розклад дерев. Використання деревини для виробництва довговічних товарів або як джерело енергії може допомогти зменшити викиди вуглецю, які відбуваються при їхньому розкладанні або під час згоряння на електростанціях, що використовують вугілля або деревину як паливо. Такий підхід може сприяти збереженню вуглецю та зниженню впливу на клімат. Дерева за оцінками, зберігають 3,53 метричних тон вуглецю (19,5 тис. грн) [15-18].

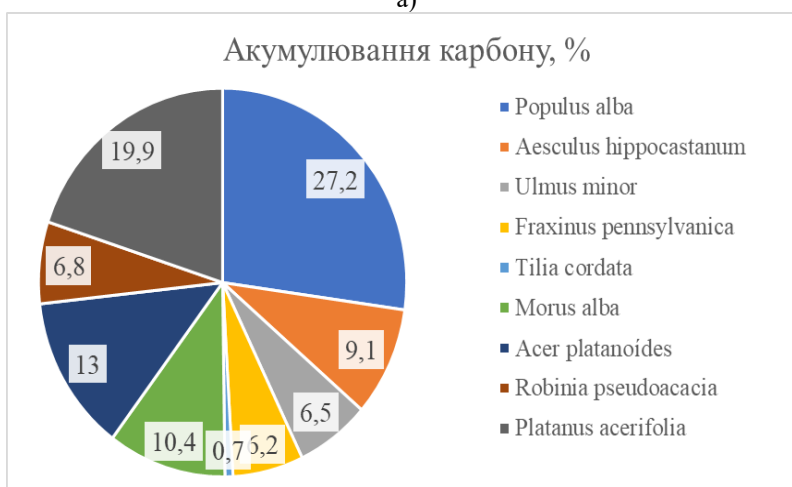
Серед видів дерев, які було досліджено в Миколаєві виявлено, що біла тополя поглинає (рис.4, а) та зберігає (рис.4, б) та найбільше вуглецю. Приблизно 27,2% від загального накопиченого вуглецю та 24,5% від усіх дерев, на другому місці платан, на третьому місці клен.

На діаграмі (рис. 5.) наведено вартість екосистемної послуги по акумулюванню карбону для кожного виду дерева. Наведені дані свідчать про важливість кожного з видів дерев в боротьбі зі змінами клімату.

Важливим моментом є те, що можна оцінити цю функцію в грошовому еквіваленті, розуміючи скільки коштує акумуляція карбону, як газу, який впливає на зміну клімату.



а)



б)

Рис. 4 . Поглинання (а) та акумуляція (б) карбону у різних видах дерев

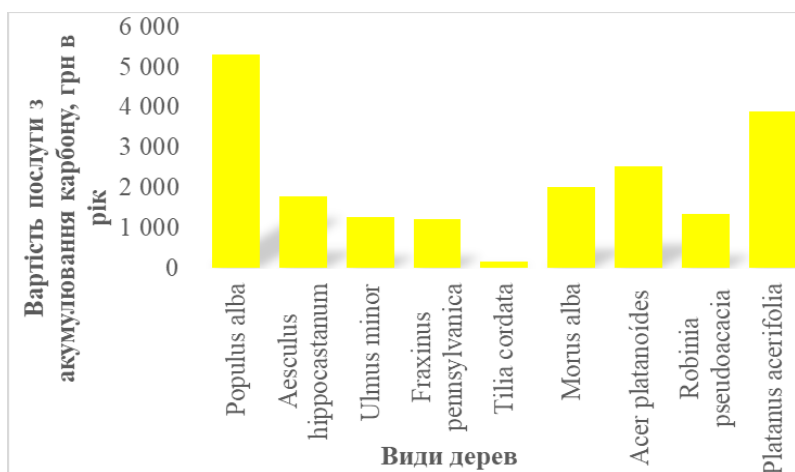


Рис.5. Вартість екосистемної послуги по акумуляції Карбону

При проведенні інвентаризації дерев та таких розрахунках можна порахувати загальний прибуток, які надають дерева. також можна порахувати збитки від вирубки таких дерев.

Виробництво кисню. Виробництво кисню є однією з найбільш часто згадуваних переваг міських дерев. Річне виробництво кисню деревом безпосередньо пов'язане з кількістю вуглецю, поглиненого деревом, що пов'язано з накопиченням деревної біомаси.

Досліджувані дерева, всі разом за розрахунками виробляють 577,5 кілограмів кисню на рік.

На рисунку 6 наведено порівняльну характеристику кількості виробленого кисню для різних типів дерев. З рисунку бачимо, що лідерами в виробітку кисню та поглинанню вуглецю є тополя біла, клен, платан, трохи менше робінія псевдоакація та шовковиця біла.

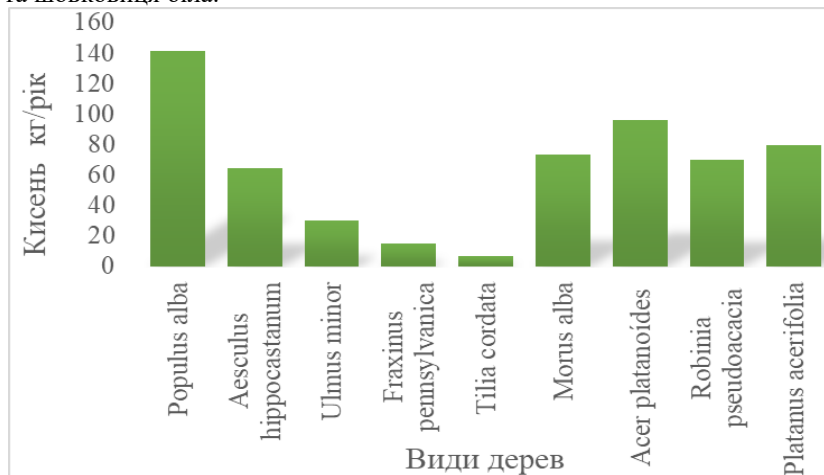


Рис. 6. Характеристика кількості виробленого кисню для різних типів дерев

Зазвичай в містах України прийнято скошувати траву та прибирати листя біля дерев, разом з це є джерелом біорізноманіття та як наслідок поживних речовин. Окрім того, трави та опале листя посилюють процеси утримання вологи в ґрунті, що є дуже важливим в тих регіонах, де спостерігається зміна структури частоти опадів.

В межах дослідження було оцінено значення поживних речовин (азоту (N), фосфору (P), калію (K)) у листовому опаді, витрати N, P, K на добрива.

На рисунку 7 бачимо, яка цінність опалого листя в перерахунку на добрива. Найвище значення у платана, 44,7 грн на другому місці тополя, а на третьому шовковиця біла.

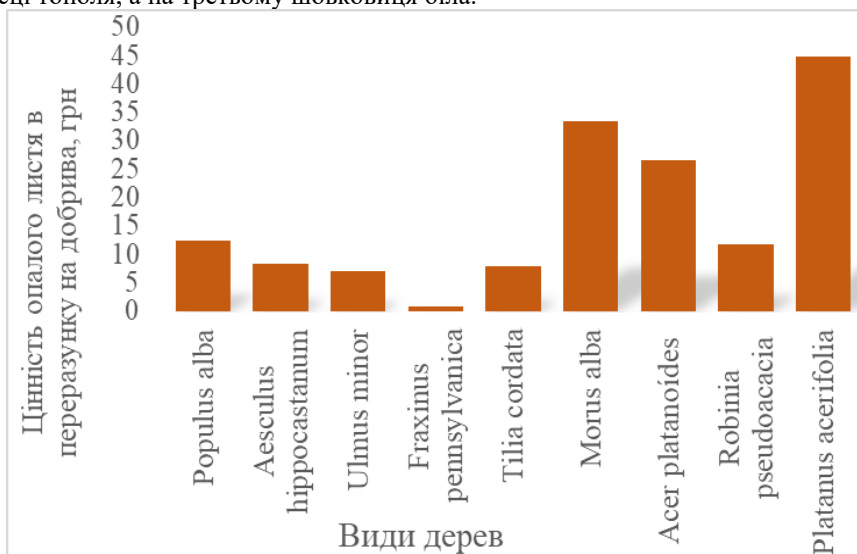


Рис. 7. Цінність опалого листя (перерахунок на добрива)

Пропозиції по відновленню дерев та моніторингу їх стану в умовах півдня України. Основні результати досліджень показали, що:

1. Дорослі дерева великих розмірів дають найбільше екосистемних послуг.
2. Тополя біла дає найбільше екосистемних послуг, а також пристосована до умов півдня.
3. Деревя міст півдня України потребують поливу та індивідуального підходу до обрізки – арбористики.
4. Висаджувати треба не багато дерев, а ті види, які мають вищі показники приживання.
5. Висаджувати дерева треба з врахуванням особливостей ґрунтів та клімату враховуючи відстань та тип посадки.

В межах дослідження було сформовано перелік з п'яти дерев, які є найкращими для Миколаєва, враховуючи їх екосистемні послуги та здатність пристосовуватися до кліматичних умов півдня, а саме:

1. Тополя біла, *Populus alba* (найцінніше, пережило посуху, саджати вздовж доріг, обирати дерева чоловічої статті, організувати правильний догляд).

2. Платан кленолистий, *Platanus acerifolia* (цінне, пережило посуху та буревій, саджати в парках).

3. Клен гостролистий, *Acer platanoides* L. (цінне, потребує поливу, саджати у дворах багатопверхівок, організовувати полив).

4. Шовковиця біла (*Morus alba*); (цінне, пережило посуху, корисне, символ півдня, саджати в парках, за будинками (там де не ставлять автівки).

5. Софора японська, *Styphnolobium japonicum* Софора японська (цінне, корисне, естетичне, пережило посуху, саджати в парках, скверах)

Основні пропозиції для врегулювання управлінських рушень догляду за зеленими насадження в Миколаєві в умовах змін клімату та воєнної агресії російської федерації:

- ✓ накласти дворічний мораторій на омолодження дерев [19, 20];
- ✓ провести інвентаризацію дерев та створити електронну карту дерев;
- ✓ розробити концепцію озеленення з врахуванням екосистемних послуг дерев;
- ✓ затвердити правила утримання дерев;
- ✓ провести моніторинг показників стану ґрунтів;
- ✓ залучити арбористів для лікування старих дерев, провести тренінги для волонтерів та працівників комунальних підприємств.

Для покращення зростання дерев необхідно виділяти більше часу та ресурсів для якісний догляд за рослинами.

Особливу увагу приділяти вибору дерев та місць для їх посадки та саму технологію посадки. В перспективі продумати використання дощової води для поливу дерев.

Висновки

В статті наведено результати аналізу особливостей умов зростання дерев на півдні України, на прикладі міста Миколаїв. Зокрема погодні умови та ґрунтові умови. Середньорічна температура повітря в Миколаєві збільшилась в 2023 році на 2 градуси, порівняно з 2021 роком, а період літа-осені 2023 року характеризувався посухою, коли майже 4 місяці не було опадів. Крім того, в листопаді відбулось 2 буревії з поривами вітру до 30-40 м/с. Це все вказує на кліматичні зміни та створює нові виклики для людства та довкілля.

Впродовж травня-листопада проводились спостереження за даними деревами: як вони переживають посуху, в якому стані, як пережили буревії. В результаті досліджень виявилось, що найгірше пережили посуху з зазначених дерев клен, сосна та ясень. Найкраще тополя та платан. Полив та правильний догляд з елементами арбористики був необхідний більшості досліджуваних дерев.

Для розрахунку екосистемних послуг було використано програма I-Tree Eco. Оцінено такі екосистемні послуги як зберігання вуглецю, поглинання вуглецю (видалення з повітря), виробництво кисню. Згідно розрахунків деревами, які надають найбільше наведених екосистемних послуг це тополя біла, *Populus alba*, платан, *Platanus acerifolia* та клен *Acer platanodes*.

Впродовж 2022 році в Миколаєві зрубали 1500 тополі, в питанні поглинання та акумуляції карбону, це склало збитків приблизно 7 978 095 грн в рік. Якщо враховувати, що як мінімум 50% цих дерев було в гарному стані і могло прожити як мінімум ще 10 років, то ця сума склала 39 890 475 грн. Якщо врахувати, що тополя найкраще поглинає дрібнодисперсний пил, забруднюючі гази, а також функції відводу поверхневого стоку, то ця сума значно зростає.

Важливі функції надають і інші дерева, зокрема, і сосна, яка здатна виробляти фітонциди, які мають противірусні властивості, але за спостереженнями, сосна погано зростає і в місті нові саджанці майже не приживаються (лише на приватних подвір'ях), також софора, але за спостереженнями, софора погано перенесла буревії. Серед досліджуваних дерев, на жаль, клени за спостереженнями дуже погано перенесли посуху.

Отже, лідерами за екосистемними послугами та ті, які добре виживають в складних умовах півдня України є тополя біла та платан кленолистий. Саме ці дерева пропонується висаджувати, зокрема в загазованих місцях, а також між дорогами та будинками для створення захисної зони. Вид тополі варто підбирати з урахуванням особливості утворення пуху.

З обережністю висаджувати липу та сосну, їх приживаємість дуже низька. Крім того, рекомендується висаджувати і інші з розглянутих дерев за умови професійного догляду.

Робінія звичайна є інвазійним видом, але який добре прижився в наших південних умовах, рекомендації щодо цього дерева потребують подальших досліджень.

Шовковиця біла є також деревом символом міста, і рекомендується її висаджувати за умови обрання правильного місця посадки.

Всі дерева потребують догляду, поливу і вимагають впровадження правил догляду за деревами та концепції озеленення міста Миколаїв, з урахування кліматичних змін та наслідків воєнної агресії російської федерації.

Література

1. Тимченко І. Кишеньковий визначник дерев / І. Тимченко, М. Грубий, М. Романенко, А. Бурятинська, Т. Чичкалюк. Миколаїв, 2021.
2. Дворцова О. П. «Про вирубку дерев в Миколаєві та пошкодження їх при роботі екскаваторами» URL: <https://www.0512.com.ua/news/3689671/u-mikolaevi-pidradnik-poskodiv-tri-dereva-na-nogo-vze-vipisali-strafo-foto> (дата звернення 13.11.2023).
3. Ю. Голокоз, Н. Рубаняк Знесення та омолодження: у Миколаєві триває кампанія з обрізки дерев URL: <https://suspilne.media/639732-znesenna-ta-omolodzhennia-u-mikolaevi-trivae-kampania-z-obrizki-derev/> (дата звернення 24.12.2023).
4. Санітарно-гігієнічні функції зелених насаджень // <http://www.ecolog-orsk.nm.ru/>
5. Європейські стандарти догляду за деревами (Technical Standards in Tree Work) URL: <https://files.site.forpsi.com/83/38/8338ed71-380c-4bec-afae-e906f022ef3d.pdf>
6. Несторак Ю.Ю. Теоретичні підходи до економічного оцінювання лісової ділянки на основі її екосистемних послуг [Електронний ресурс] / Ю.Ю. Несторак // Науковий вісник НЛТУ України. - 2015. - Вип. 25.4. - С. 82-88. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnlut_2015_25
7. Коморна О. М. Теоретико-методичні підходи до оцінювання екосистемних послуг у лісовому господарстві. - С. 32-38.
8. Nowak, D.J., 1996. Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown urban deciduous trees. For. Sci. 42 (4), 504–507.
9. Nowak, D.J., Aevermann, T., 2019. Tree compensation rates: compensating for the loss of current and future tree values. Urban For. Urban Green. 41, 93–103.
10. Nowak, D.J., Dwyer, J.F., 2007. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In: Kuser, J. (Ed.), Urban and Community Forestry in the Northeast. Springer, New York, pp. 25–46.
11. Бідолах, Д. І., Василишин, Р. Д., Миронюк, В. В., Кузьович, В. С. і Підховна, С. М. (2023) «Оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень з використанням інструменту i-Tree Есо», Науковий вісник НЛТУ України, 33(2), с. 7-13. doi: 10.36930/40330201.
12. Бондар О. Б. Оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень парку культури й відпочинку імені Тараса Шевченка (місто Кременець) з використанням інструменту i-Tree Есо [Електронний ресурс] / О. Б. Бондар, Є. Є. Мельник, Л. О. Бицюра, О. І. Дух, О. М. Ярема, В. В. Файфура // Український журнал природничих наук. - 2023. - Вип. 5. - С. 109-116. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/uins_2023_5_14
13. Альошкіна У. М. Акумуляція вуглецю лісовими екосистемами (на прикладі модельних ділянок у заказнику "Лісники", м. Київ) / У. М. Альошкіна, А. А. Жовтенко, І. Г. Вишенська, В. В. Расевич, С. О. Гаврилов, А. О. Ткачова // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. - 2011. - Т. 119. - С. 52-55. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NaUKMA_2011_119_12.
14. Порівняння середовищевірної ролі відростаючої крони дерев після глибокої омолоджувальної обрізки і молодих рослин / О. А. Пономарьова, В. П. Бессонова // Питання біоіндикації та екології : [зб. наук. ст.] / Держ. вищ. навч. закл «Запоріж. нац. ун-т» ; [редкол.: Л. О. Омелянчик (гол. ред.), В. П. Бессонова (відп. ред.) та ін.]. – Запоріжжя : Акцент, 2012. – Вип. 17, № 1. – С. 183–189.
15. Луцишин О. Г. Стратегія виживання деревних рослин тополі пірамідальної (*Populus pyramidalis* Roz.) в умовах урботехногенного забруднення / О. Г. Луцишин, І. К. Тесленко, В. В. Биков // Доп. НАН України. - 2014. - № 8. - С. 156-163.
16. Луцишин О. Г. Адаптація деревних рослин техногенно трансформованих урбоедафотопів (на прикладі м. Київ) / О. Г. Луцишин, І. К. Тесленко, Т. В. Белошанка, І. В. Ткаченко // Доп. НАН України. - 2013. - № 5. - С. 186-192.
17. Радченко В. Г., Луцишин О. Г., Палапа Н. В. та ін. Функціональний стан гіркокаштану звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) в умовах техногенного забруднення довкілля Київського мегаполісу // Екологія та ноосферологія – 2010. – 21, № 1–2. – С. 4–18.
18. Олексійченко Н.О., Матковська С. І. Екологічна роль омолоджувального обрізування дерев роду *Tilia* L. у вуличних насадженнях Житомира // Науковий вісник НЛТУ України. 2015. Вип. 25.9. С. 14–18.
19. Бессонова В.П. Вплив омолоджувальної обрізки на ураженість хворобами деревних рослин в умовах дії автомобільних викидів / В.П. Бессонова, В.М. Глубока // Питання біоіндикації та екології : зб. наук. праць. – Запоріжжя : Вид-во ЗНУ. – 2008. – Вип. 13, № 2. – С. 102-112.
20. Лаптев О.О. Екологічна оптимізація біогеоценологічного покриву в сучасному урболандшафті : монографія. – К. : Вид-во Укр. екол. акад. наук, 1998. – 208