

Хмельницький національний університет  
Гуманітарно-педагогічний факультет  
Кафедра екології та біологічної освіти

ДИПЛОМНА РОБОТА  
здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Екосистемні послуги урбоекосистем  
(на прикладі міста Хмельницького)

Галузь знань – 10 «Природничі науки»

Спеціальність – 101 «Екологія»

ДРЕКОЛ. 019124.01.15.00

Виконала: здобувачка 4 курсу група ЕКОЛ-19-1 \_\_\_\_\_ Роксолана ШАПОВАЛ

Керівник \_\_\_\_\_ Наталія МІРОНОВА

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Борис АРТАМОНОВ

До захисту допускаю:

Зав. кафедри екології

та біологічної освіти

\_\_\_\_\_ Наталія МІРОНОВА

14 червня 2023 р.



## АНОТАЦІЯ

Тема – Екосистемні послуги урбоекосистем (на прикладі міста Хмельницького).

Автор – студ. ЕКОЛ-19-1 Р.Ю. Шаповал.

Керівник – доцент кафедри екології та біологічної освіти, доктор сільськогосподарських наук, професор Н.Г. Міронова.

Дипломна робота викладена на 50 сторінках, містить 3 таблиці, 5 рисунків та перелік джерел посилання, що включає 31 джерело.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ, УРБОЕКОСИСТЕМА, МІСТО ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ, ШУМ, ПИЛ, ВАЖКІ МЕТАЛИ.

У дипломній роботі охарактеризовано екосистемні послуги та методи їх оцінки, а також проблеми, що з цим пов'язані. Узагальнені та проаналізовані екосистемні послуги, що надаються урбоекосистемами. Досліджено регулювальну екосистемну послугу урбоекосистеми міста Хмельницького, що полягає у зменшенні шумового та пилового навантаження, а також в акумуляції важких металів зеленими насадженнями міста.

12.06.2023 р.

\_\_\_\_\_ Роксолана ШАПОВАЛ

## ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1 Аналіз екосистемних послуг.....	7
1.1 Історія формування концепції «екосистемних послуг».....	7
1.2 Методи оцінки екосистемних послуг.....	10
1.3 Роль у політиці та управлінні.....	15
2 Екосистемні послуги урбоекосистем.....	19
2.1 Ідентифікація та характеристика екосистемних послуг урбоекосистем.....	19
2.2 Оцінка послуг урбоекосистем.....	26
3 Дослідження регулювальної екосистемної послуги урбоекосистеми міста Хмельницького.....	30
3.1 Характеристика урбоекосистеми міста Хмельницького.....	30
3.2 Програма та методи дослідження.....	34
3.3 Пилопоглинання.....	37
3.4 Шумопоглинання.....	38
3.5 Акумуляції важких металів.....	39
Висновки.....	43
Перелік джерел посилання.....	46

## ВСТУП

Актуальність теми. У кінці ХХ століття із зростанням потреб людства в умовах обмеження природних ресурсів Землі, і з огляду на зростаюче навантаження на навколишнє середовище, що проявляється в тому числі у втраті біорізноманіття та змінах клімату, розвинулась концепція «екосистемних послуг». Вона полягає в тому, що в процесі прийняття рішень необхідно враховувати екологічні послуги, які надає безкоштовно довкілля, та забезпечувати стале земле- й ресурсокористування з метою протидії надмірному споживанню та погіршенню природних умов життя.

На сьогодні визначений широкий спектр екосистемних послуг (ЕП), проте оскільки вони зазвичай не купуються та не продаються, ринкова оцінка не повністю відображає переваги, які надають ці послуги.

Оцінка екосистем ООН на порозі тисячоліть виявила погіршення їх здатності підтримувати суспільний добробут. Більшість офіційних оцінок екосистемних послуг на сьогодні спрямовані на вивчення наслідків змін у конкретних послугах у певних географічних районах; значно менше досліджуються та аналізуються екосистемні послуги з універсальної точки зору (наприклад, усі послуги, які надають водно-болотні угіддя тощо).

З огляду на це актуальними є дослідження екосистемних послуг урбоекосистем, адже вони виконують важливі функції у підтриманні стабільності міських систем.

Мета роботи: дослідження екосистемних послуг урбоекосистем.

Завдання роботи:

- проаналізувати екосистемні послуги;
- ідентифікувати та охарактеризувати екосистемні послуги урбоекоистем;
- розробити програму та підібрати методи досліджень;

– визначити та оцінити регулювальну екосистемну послугу урбоекосистеми міста Хмельницького.

Об'єкт дослідження: екосистемні послуги.

Предмет дослідження: екосистемні послуги урбоекосистеми міста Хмельницького.

Методи дослідження: загальнонаукові (аналіз, аналогія, висновки); вимірювання (шум); лабораторні (спектрофотометричні, термогравіметричні); статистичні.

Інноваційне значення одержаних результатів: ідентифіковано екосистемні послуги урбоекосистем, що включають послуги з постачання, регулювання, культурні та допоміжні (інші) послуги. Досліджено послуги з регулювання урбоекосистем, що реалізуються зеленими насадженнями і полягають у шумо-, пилопоглинанні та акумуляції важких металів (на прикладі урбоекосистеми міста Хмельницького).

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що отримані в роботі дані щодо екологічних послуг зелених насаджень можуть бути використані при їх подальшому оцінюванні та прийнятті управлінських рішень.

# 1 АНАЛІЗ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ

## 1.1 Історія формування концепції «екосистемних послуг»

Конвенція про біологічне різноманіття (1992) визначає екосистему як «динамічний комплекс угруповань рослин, тварин і мікроорганізмів, а також їх неживого навколишнього середовища, взаємодіючих як єдине функціональне ціле» [1]. Людство та екосистеми тісно взаємопов'язані численними зв'язками, від яких суспільство отримує прямі та непрямі вигоди, відомі як екосистемні послуги.

Екосистемні послуги – це умови та процеси, за допомогою яких природні екосистеми та види, що їх складають, підтримують і забезпечують життя людини. Це надзвичайно цінні активи природного капіталу, що характеризуються дуже відмінними просторовими та часовими моделями розподілу, кількості та потоків [2].

Термін «екосистемні послуги» був популяризований програмою «Оцінка екосистем тисячоліття» (Millennium Ecosystem Assessment), що була проголошена у 2000 р. Генеральним секретарем ООН Кофі Аннаном. Безпосередньо дослідження почалися в 2001 р., метою яких була оцінка наслідків змін в екосистемах для добробуту людей та розробка наукової основи для діяльності, що необхідна для розширення можливостей збереження екосистем та їхнього сталого використання. До роботи над програмою було залучено понад 1360 експертів з усього світу. Результати їх досліджень викладено у 5 спеціалізованих томах та 6 зведених звітах; вони дають оцінку сучасного стану та тенденцій його зміни для світових екосистем, а також послуг, які вони забезпечують (чиста вода, продовольство, продукція лісу, регулювання паводків та природні ресурси). Крім того, описуються можливі способи відновлення, збереження та більш стійкого використання екосистем [3].

Концепція «екосистемних послуг» виникла в 1970-х роках. Уперше поняття «екосистемні послуги» запропонував британський вчений Е. Шумахер у

праці «Мале – це чудово: економіка, в якій люди мають значення» у 1973 році [4]. Досліджуючи глибоку взаємозалежність людини і довкілля, він вводить термін «екосистемні (довкіллеві або природні) послуги». Однак ідея про те, що природні системи підтримують добробут людини, набагато старша. Взаємозв'язок між вирубкою лісів і водопостачанням задокументовав Платон ще в 400 році до н.е. Економісти XVIII–XIX ст. визнавали цінність землі та інших природних ресурсів як виробничих активів. У роботі «Людина і природа» (1864) її автор Джордж Перкінс Марш стверджував, що велика шкода природним системам людськими діями зменшить добробут самих людей [5]. У 1997 році було підраховано, що екосистеми надають послуг у середньому на 33 трильйони доларів США на рік, тоді як світовий валовий внутрішній продукт (ВВП) на той час становив 18 трильйонів доларів на рік. Оцінки 2011 року вже свідчили про те, що екосистеми фактично надають послуг на суму еквівалентну 125 трильйонам доларів США на рік. Тобто з кожним десятиліттям розуміння справжньої цінності природи – зростає.

Екосистемні послуги поділяють на такі функціональні групи [6–8]:

– постачання – до таких послуг екосистем можна віднести продовольство, прісну воду, ґрунти та інші матеріальні блага та ресурси, включаючи деревину, нафту та генетичні ресурси, ліки тощо;

– регулювання – до таких екосистемних послуг відноситься будь-яка користь, отримана від природних процесів і функціонування екосистем, тобто все різноманіття процесів у екосистемах, які формують середовище існування біологічних видів, зокрема людини. Це регуляція клімату, погодних умов, якість повітря, якість та кількість прісної води, формування ґрунтів, запилення рослин та значна кількість інших процесів, які умовно можна назвати «природним балансом». Усі ці послуги екосистем оберігають наше життя від стихійних лих і змін у довкіллі, які могли би зробити його непридатним для нашого життя. Наприклад, послуги з очищення природної води в Європі оцінюються приблизно в 33 мільярди євро на рік;

– культурні та соціальні послуги – включають нематеріальні вигоди й блага, які суспільство може отримати від природи: відпочинок та естетичні цінності, духовне збагачення, інтелектуальний розвиток, натхнення для творчості, отримання наукових знань, формування ідентичності соціальних і етнічних груп. Цю групу послуг важче ідентифікувати та оцінювати порівняно з іншими послугами, але прогрес у цих дослідженнях – наявний. Зокрема визначено, що можливість бачити природу через лікарняні вікна або взаємодіяти з нею під час прогулянок у парках лікарень, прискорює одужання пацієнтів.

– послуги підтримання екосистем (допоміжні послуги) – це ті, які пов'язані з функціонуванням середовища існування і включають глобальні процеси формування атмосфери, кліматичних зон, фотосинтез, колообіг води та речовин у природі, зокрема тощо. Цей тип екосистемних послуг також спускається до генетичного рівня.

Кожна з цих груп включає великий комплекс функцій, необхідних для підтримання добробуту людини у всіх сферах життя.

Ця класифікація екосистемних послуг вже достатньо широко використовується, зокрема визначено, що ліси забезпечують усі чотири групи послуг [9]:

- постачання: деревина, недеревні ресурси лісу;
- регулювання: хоча, здається, існує висока обізнаність про ключову роль лісів у поглинанні вуглецю та очищення води, їх роль у регулюванні клімату, боротьбі з повенями, очищенні повітря та стабілізації земель (грунтового покриву), особливо в гірських районах є екосистемними послугами, які рідко оплачуються промисловістю та громадами, що отримують від них вигоду;
- культурні послуги: ліси є цінним надбанням суспільства в цілому, і зокрема життєво важливими для відпочинку; такі тенденції, як екотуризм, також можна розглядати як культурну послугу, оскільки вона приносить дохід тим, хто бере участь в її просуванні. Переваги приносить не лише екотуризм; більшість позаміських індустрій туризму не існувало б, якби не природна краса (річки, ліси), яка є частиною послуги;

- допоміжні послуги: ліси надзвичайно багаті життям, вони забезпечують захист біорізноманіття, діючи як середовище існування для більш ніж половини відомих у світі наземних рослин і тварин; враховуючи, що це половина генетичного та біологічного багатства планети, це також може бути сферою майбутнього розрахунку плати за екосистемні послуги.

Також розрізняють проміжні та кінцеві послуги. Кінцеві послуги безпосередньо впливають на добробут, тоді як проміжні послуги лежать в основі кінцевих послуг, але не оцінюються безпосередньо. Наприклад, біохімічні процеси у водно-болотних угіддях можуть зменшити доставку надлишку поживних речовин, таких як нітроген, до поверхневих вод (проміжна послуга), тим самим зменшуючи ріст водоростей і покращуючи якість води (кінцева послуга). Економічна вартість кінцевої послуги, якщо її правильно виміряти, повинна включати вартість усіх проміжних ресурсів, що використовуються у її формуванні. Деякі екосистемні послуги одночасно є як кінцевими, так і проміжними [8].

Крім того, екосистемні послуги можуть надавати різні типи цінностей, одні безпосередньо пов'язані з використанням послуг людьми, а інші – не пов'язані; вони відомі як споживчі та неспоживчі вартості. Першими люди прямо чи опосередковано користуються, до других належать цінності, які можна передати майбутнім поколінням (заповідання, альтруїстичні цінності тощо).

## 1.2 Методи оцінки екосистемних послуг

Термін «екосистемний капітал» уперше визначено в роботах експертів Європейського агентства з навколишнього середовища ЄС, у яких вони пояснюють, що екосистему можна визначити капіталом, що може надавати екосистемні послуги людям [10].

Кількісна оцінка екосистемних послуг ґрунтується на формальних економічних методах неринкової оцінки, які були значно вдосконалені з моменту

їх початкової розробки економістами з питань екології та ресурсів у 40-х роках минулого століття.

На початку 21-го століття аналіз екосистемних послуг приділяв більше уваги таким питанням, як складні взаємозв'язки між екологічними та соціально-економічними системами, зміни в цих взаємозв'язках та їх вплив на добробут людини, якою мірою значення різних типів послуг можна і потрібно кількісно оцінювати в у грошовому виразі та найбільш прийнятні підходи до кількісної оцінки різних типів послуг.

Визначено два критерії, по яких послуги екосистеми відрізняють від інших. По-перше, екосистемна послуга повинна бути пов'язана з групою бенефіціарів, яких можна ідентифікувати. Послуга може бути аспектом або наслідком екологічного стану та може прямо чи опосередковано приносити користь або прибуток бенефіціарам.

По-друге, фізичні та інституційні обмеження доступу не повинні заважати людям реалізувати ці переваги. Наприклад, збільшення чисельності риби може підвищити добробут тих, хто займається комерційним або рекреаційним рибальством, але лише якщо таке збільшення відбувається в районах, де рибальство відбувається. Умови або процеси в екосистемах, які не можна пов'язати з добробутом ідентифікованого бенефіціара не є послугами екосистеми. Наприклад, зміни чисельності риби в районах, які не використовуються людьми і які не мають прямого чи опосередкованого впливу на користь для людини, не є екосистемними послугами [7].

Першим кроком у більшості оцінок екосистемних послуг є визначення послуг, які підлягають оцінці. Це вимагає розуміння того, як зміни в екологічних умовах і процесах прямо чи опосередковано впливають на бенефіціарів, і цьому може допомогти розробка концептуального причинно-наслідкового ланцюга. Такий ланцюжок уточнює зв'язки між людськими діями та екологічними наслідками та наступними змінами екосистемних послуг і пов'язаними з ними вигодами для людини. Наприклад, причинно-наслідковий ланцюг, пов'язаний з механічним проріджуванням лісу, спочатку виявляє первинні наслідки

проріджування, такі як покращення структури лісу. Потім ці зміни пов'язують із впливом на умови або процеси, які впливають на добробут ідентифікованих груп бенефіціарів – це екосистемні послуги. Проріджування лісу, наприклад, може змінити структуру лісу таким чином, що зменшиться ризик виникнення пожеж для населених пунктів. Причинно-наслідкові ланцюги часто включають кілька етапів між початковою діяльністю людини та її впливом на кінцеві екосистемні послуги. Тому головними із завдань аналізу екосистемних послуг є визначення способів їх впливу на різні групи бенефіціарів [8].

Другим кроком в оцінці послуг екосистеми є кількісна оцінка однієї або кількох послуг, визначених у причинно-наслідковому ланцюжку. Кількісна оцінка вимагає розуміння показників кількості, якості або інших біофізичних особливостей, які безпосередньо стосуються добробуту людини, з наступним використанням відповідних методів для отримання цих показників. Деякі екосистемні послуги легко піддаються кількісній оцінці, наприклад, кількість деревини, виробленої в певній лісовій зоні. Інші важче виміряти або через обмеження в біофізичних моделях або даних (наприклад, риба, вирощена припливними водно-болотними угіддями), або через те, що послугу важко оцінити кількісно (наприклад, естетичні особливості природних ландшафтів).

Третім кроком в оцінці екосистемних послуг є визначення наслідків для соціального добробуту. Це часто проводиться за допомогою формальних економічних методів оцінки, заснованих на неокласичній економічній теорії, хоча також можуть застосовуватися неекономічні методи. Економічна оцінка кількісно визначає вартість екосистемної послуги у співмірних (як правило, грошових) одиницях; це значення є чітко визначеним лише для певної кількості екосистемної послуги, виміряної від певної базової лінії. Розраховані значення для послуг у планетарному масштабі (для якого зміни та базові лінії часто погано визначені) економісти зазвичай вважають недійсними або, принаймні, дуже неточними. Точність оцінки також залежить від здатності аналізу враховувати фактори, які впливають на внесок екосистемних послуг у добробут. Наприклад, за інших рівних умов вартість одиниці часто зростає,

оскільки послуга стає дефіцитнішою (відображаючи зменшення граничної корисності), і на них часто впливають просторові фактори, такі як відстань бенефіціарів від послуги [5].

Щоб створити систему оплати екосистемних послуг (PES), необхідно їх оцінити. Це може бути дуже критичним і складним завданням, оскільки послуги екосистем часто непросто оцінити, і багато з них можна розглядати як неоціненні. Тим не менш, слід докласти зусиль, щоб узгодити цінності для створення схем PES із багаторазовими перевагами для людей і природи.

На сьогодні PES охоплює різноманітні механізми, за допомогою яких бенефіціари екосистемних послуг платять постачальникам цих послуг. Він передбачає низку механізмів фінансування для збереження та сталого використання природних екосистем, таких як ліси, щоб гарантувати окупність витрат на навколишнє середовище. Таким чином, це не одна модель, яка має бути універсально застосована, а скоріше ряд схем, які можна розглянути для застосування в конкретних обставинах.

Методологічні положення для оцінки біорізноманіття та екосистемних послуг у багатьох країнах світу напрацьовано у ряді міжнародних проєктів. Зокрема, у джерелі [5] розглянуто напрацювання таких проєктів:

- Економіка екосистем та біорізноманіття (TEEB);
- Покращення картографування екосистемних послуг для прийняття політик та рішень (ESMERALDA);
- Міжурядова науково-політична платформа з біорізноманіття та екосистемних послуг (IPBES);
- Операційний потенціал застосування екосистемних досліджень (ORERAs);
- Оперативне використання (застосування) природного капіталу та екосистемних послуг (OpenNESS);
- Система еколого-економічного обліку Екосистемний облік (SEEA EA).

Найбільш повно методи економічної оцінки ЕП описані у SEEA EA. У першу чергу рекомендується використання методів прямого ринкового

оцінювання. За відсутності ринкових цін на екологічні послуги, вони можуть оцінюватись за цінами схожих ринків, пов'язаних ринків або з використанням вартості виробництва продукції.

Градація методів по мірі їх використання представлена в такому порядку:

- методи, за яких вартість ЕП визначена безпосередньо ринками;
- методи, за яких вартість ЕП визначена сурогатними ринками;
- методи, де вартість ЕП втілена у ринкових операціях;
- методи, за яких вартість ЕП базується на визначенні витрат на пов'язані продукти і послуги;
  - методи, за яких вартість ЕП базується на очікуваних витратах або ринках;
  - інші доступні методи.

Деякі продукти екосистеми (наприклад, деревина або риба) продаються безпосередньо на існуючих ринках. Їх вартість можна оцінити на основі існуючих ринкових цін та зміни попиту на кількість у відповідь на коливання цін. Інші екосистемні послуги (наприклад, забезпечення чистою водою) використовуються як проміжні ресурси, наприклад, для зрошення сільськогосподарських угідь або для потреб промисловості. Зміни якості води (або інших факторів навколишнього середовища) впливають на ціну і кількість виробленої продукції. Переваги змін якості екосистеми можна оцінити з точки зору змін ринкових змінних, пов'язаних з конкретною галуззю (тобто продуктивність, фактичні витрати та чистий дохід від продажів). Цей підхід до оцінки відомий як метод продуктивності або підхід виробничої функції [9].

Сурогатні ринки. Більшість екологічних товарів і послуг не продаються на реальних ринках. Тому цей метод передбачає оцінку вартості імпліцитних неринкових екологічних товарів та послуг на основі фактичної покупки рішення окремих осіб і домогосподарств щодо продуктів, які або є заміниками, або мають додатковий зв'язок з екологічними товарами та послугами.

Метод гедонічної ціни спрямований на визначення впливу конкретної якості екологічної характеристики ринкового товару на ціну цього товару.

Основна ідея полягає в тому, що ці якісні характеристики неявно продаються через ринковий товар. Методика застосовувалася в основному до ринку нерухомості з метою визначення впливу різних характеристик житла, у тому числі екологічних показників, таких як забруднення повітря, води, шум, відстань до рекреаційних зон.

Метод вартості подорожі прагне оцінити використання природних територій або конкретних місць для рекреації. Основне припущення полягає в тому, що рекреаційна цінність відображена у грошових витратах, понесених фізичними особами на проїзд до цих районів.

Витрати на захист є частиною авертивної поведінки окремих осіб і домогосподарств, вони призначені для боротьби з наслідками несприятливих зовнішніх впливів навколишнього середовища (наприклад, шум, якість повітря та води). Оцінку цих витрат можна розглядати як нижню межу вартості вигоди, яка була б створені, якби негативні зовнішні ефекти були усунені. Типовим прикладом цих видів витрат, пов'язаних з водою, є пристрої для очищення води, такі як фільтри для питної води.

Метод констатованих переваг – використовується для оцінки вартості екосистемних послуг у випадках, коли витрати та вигоди від конкретної екосистемної послуги не можна зробити на основі спостереження на існуючих ринках. Єдиною можливістю є використання прямих опитувань окремих осіб оцінити свою готовність платити за зміни в наданні цих послуг.

### 1.3 Роль у політиці та управлінні

Таким чином, втрата екосистемних послуг є не лише екологічною проблемою, але й економічною та соціальною, оскільки вона впливає не лише на навколишнє середовище, але й на економіку та індивідуальний добробут. Однак цілісний характер екосистемних послуг та їх інтерактивна поведінка означає, що загальний антропогенний тиск часто впливає на декілька послуг.

Руйнування середовища існування, забруднення, втрати біорізноманіття та поширення інвазивних видів є найбільшими загрозами для екосистемних послуг, що вимагає прийняття виважених управлінських рішень.

Видобуток ресурсів є одним із ключових чинників руйнування середовища існування. Більшість ресурсних галузей – лісозаготівля, видобуток корисних копалин і сільське господарство – потребують інфраструктури, яка трансформує екосистему, де видобувається ресурс. Наприклад, вирубка лісів для видобутку корисних копалин впливає на ерозію ґрунту та біорізноманіття, а також потребує величезної кількості води, що впливає на кругообіг води. Крім того, коли вода виділяється у більш концентрованих забруднених кількостях, це впливає на здатність екосистеми очищувати воду.

Забруднення води, землі та повітря серйозно впливає на здоров'я екосистеми, що, як наслідок, впливає на екосистемні послуги. Типовим прикладом є евтрофікація. Оскільки добрива залишають поверхню ґрунту під час опадів і поверхневого стоку з сільськогосподарських угідь, поживні речовини або забруднюючі речовини збагачують воду, впливаючи на природний баланс в озерах та інших непроточних водоймах. Результатом є цвітіння водоростей, що знижує здатність підземних рослин до фотосинтезу, що призводить до розкладання рослинних залишків з витратою кисню, зниження якості води та шкоди середовищу проживання іхтіофауни та більш культурним естетичним послугам.

Поширення інвазивних видів становить пряму загрозу цілісності та здоров'ю екосистем. Інтродукція інвазивних видів у середовища існування може відбуватися природним шляхом або бути спричинена людиною. Коли інвазивний вид потрапляє в екосистему, його може бути важко видалити, і він може мати каскадний вплив на екосистемні послуги. Залежно від виду, вони можуть загрожувати продовольчій безпеці та впливати на послуги забезпечення, оскільки забруднення комахами-запилувачами може зменшитися через конкуренцію чи хижацтво нововведених видів. Самі посіви можуть бути вбиті новими комахами через споживання або поширення хвороб. Через конкуренцію

інвазивні види можуть зменшити біорізноманіття, а отже, допоміжні послуги з точки зору генетики, якщо новий інвазивний вид домінує в екосистемі. Ступінь впливу інвазивних видів важко визначити, але очікується, що каскадний вплив на екосистемні послуги збільшиться під час кліматичної кризи.

Дослідження екосистемних послуг призвели до виникнення та розвитку нових галузей науки, зокрема екологічна економіка, яка досліджує природний капітал. Грошова цінність, яка надається природі, стимулює промисловість та уряди до більш сталої та екологічної політики. Однак існують етичні питання щодо того, чи це найкращий спосіб активізувати зусилля щодо збереження довкілля. Робота в галузі економіки навколишнього середовища та дослідження природного капіталу зараз є великим рушієм збереження, що має великі перспективи для захисту екосистемних послуг [10].

У всьому світі все більше зусиль докладається для включення інформації про екосистемні послуги в державні та приватні рішення. Наприклад, у Сполучених Штатах Америки в доповіді Президентського комітету консультантів з питань науки і технологій (PCAST) за 1998 рік «Об'єднання з життям: інвестування в науку для розуміння та використання живого капіталу Америки» підкреслювалося значення та занепад життєвого капіталу країни та наголошувалося на необхідності розробки урядом стратегії збереження та управління біорізноманіттям та екосистемами.

У звіті PCAST за 2011 рік під назвою «Підтримка екологічного капіталу: захист суспільства та економіки» рекомендувалися заходи для інтеграції інформації про екосистемні послуги у федеральні рішення, включно з розширеним використанням оцінки екосистемних послуг. Ці ініціативи супроводжують численні повноваження окремих установ щодо розгляду екосистемних послуг.

Ініціативи щодо оплати екосистемних послуг (PES), які стимулюють надання екосистемних послуг приватними постачальниками, з'являються по всьому світу, включаючи національні програми в таких країнах, як Китай, Коста-Ріка. Багато інших країн інтегрували інформацію про екосистемні послуги в

процеси урядового планування, включаючи численні приклади в Європейському Союзі [11].

Оцінка національної екосистеми Великобританії (United Kingdom National Ecosystem Assessment, UK NEA) була першим аналізом природного середовища Великобританії з точки зору переваг, які воно надає суспільству, і тривалого економічного процвітання. Частина ініціативи «Жити зі змінами навколишнього середовища» (LWEC) UK NEA розпочалася в середині 2009 року, звіт про її реалізацію відбувся у червні 2011 року. Це була масштабна програма, в якій брало участь багато урядових, академічних, неурядових організацій та приватних установ [12].

Міжнародні ініціативи включають програму «Облік багатства та оцінка екосистемних послуг» (Wealth Accounting and Valuation of Ecosystem Services, WAVES) [13].

Незважаючи на прогрес у таких зусиллях, багато напрямків аналізу та політики екосистемних послуг залишається на стадії перевірки концепції; систематичне та офіційне використання інформації про екосистемні послуги для прийняття державних і приватних рішень ще не є звичним явищем.

## 2 ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ УРБОЕКОСИСТЕМ

### 2.1. Ідентифікація та характеристика екосистемних послуг урбоекосистем

Людство швидко урбанізується і до 2030 року очікується, що понад 60 % населення світу житимуть у містах (ООН, 1997). Міські території домінують у світовій економіці, адже економіка міст на в даний час генерує понад 90 % глобальної валової доданої вартості [14].

Будучи глобальними центрами виробництва та споживання, міські території залежать від ресурсів і екосистемних послуг. Коли людство розглядається як частина природи, самі міста можна розглядати як глобальну мережу екосистем. Якщо порівнювати зі справжніми природними екосистемами, екосистеми, створені людиною, є незрілими через такі особливості, як їх швидке зростання та неефективне використання таких ресурсів, як енергія та вода. Ю. Одум [15] навіть зауважує, що міста є «паразитами в біосфері». Але в межах міста також присутні елементи природних екосистем, які виконуються важливі функції у забезпеченні функціонування міста.

Більшість проблем, які існують у міських районах, виникають на місцевому рівні, наприклад, через рух транспорту. Часто найефективнішим, а в деяких випадках і єдиним способом вирішення цих локальних проблем, є місцеві рішення. У цьому відношенні міські екосистеми є життєво важливими.

Урбоекосистеми забезпечують багато потреб людей [16], включаючи регулювання умов навколишнього середовища, можливості відпочинку та позитивний вплив на здоров'я. Проте багато міських екосистем відчують тиск зростаючої урбанізації, оскільки економічні вигоди, які вони надають, рідко отримують люди, які ними володіють і керують. Такі екосистеми рідко є економічно конкурентоспроможними в порівнянні з більш прибутковим житловим, комерційним та промисловим землекористуванням.

Міста одночасно впливають на навколишнє середовище та залежать від нього. Інтенсивний розвиток промисловості, транспорту та комунального господарства обумовлює докорінну зміну природного ландшафту урбоекосистем. Такі зміни потребують ефективної організації «біогенної» (зеленої) інфраструктури, яку на сьогодні розглядають як сукупність зелених насаджень різного призначення.

Спираючись на попередню категоризації екосистемних послуг, для урбоекосистем виділяємо чотири групи: забезпечення, регулювання, культурні та допоміжні послуги (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Класифікація екосистемних послуг урбоекосистем

Послуги постачання включають усі матеріальні продукти, отримані з урбоекосистеми, послуги регулювання – це всі переваги, що отримані від регулювання екосистемними процесами, включаючи регулювання клімату, води.

Культурні послуги є нематеріальними благами, які отримують мешканці міст від урбоекосистеми через духовне збагачення, когнітивний розвиток, рефлексію, відпочинок та естетичний досвід.

Інші (підтримуючі) послуги або послуги середовища проживання – це ті, які необхідні для виробництва всіх інших екосистемних послуг, а саме фотосинтез, кругообіг поживних речовин, води, створення середовища існування для видів і збереження генетичних пулів, еволюційні процеси.

Урбоекосистеми особливо важливі для надання послуг, які безпосередньо впливають на людину, її здоров'я та безпеку, наприклад очищення повітря, зменшення шуму, зменшення температури та поверхневого стоку. Проте, які екосистемні послуги в конкретних умовах є найбільш актуальними, залежить від екологічних та соціально-економічних особливостей міських територій.

Постачання продуктів харчування. Вирощування рослинної продовольчої сировини відбувається на приміських територіях, у дворах. В цілому в більшості географічних контекстів урбоекосистеми продукують лише невелику частку їжі, яку вони споживають. Проте в деяких географічних районах і в певні періоди виробництво харчових продуктів у міському сільському господарстві може відігравати важливу роль, особливо під час економічних і політичних криз, під час воєнного стану.

Послуги з регулювання в урбоекосистемах забезпечуються «зеленими» та «блакитними» зонами, тобто зеленими насадженнями міст та водними об'єктами. Екологічна інфраструктура в містах регулює місцеві температури та буферизує наслідки впливу міських теплових островів. Наприклад, влітку поверхні акваторій зменшують екстремальні температури, поглинаючи тепло, а взимку навпаки. Так само рослинність знижує температуру в найспекотніші місяці через затінення та поглинання тепла з повітря, а також збільшує випаровування, особливо за низької вологості. Дерева також можуть регулювати локальні температури поверхні та повітря шляхом відбиття сонячної радіації та затінення поверхонь, наприклад на вулицях, вкритих тротуарною плиткою чи асфальтом. Зменшення теплового навантаження на міських територіях є одним з найважливіших регулюючих екосистемних послуг, що надаються зеленими насадженнями.

Рух транспорту, будівництво та інша людська діяльність формує шумове забруднення, що негативно впливає на здоров'я населення через стрес. Міський ґрунт і рослини можуть зменшувати шумове забруднення через поглинання, відбивання та заломлення звуку. Різні види рослин по-різному пом'якшують вплив шуму, на це впливає ширина, висота й щільність насаджень, а також їх видовий склад через розмір листя та характер розгалуження гілок. Із збільшенням ширини та щільності насаджень ефект зменшення шуму теж підвищується.

Очищення повітря. Забруднення повітря від транспорту, промисловості, котелень житлово-комунального сектору та індивідуального опалення житла є серйозною проблемою для якості навколишнього середовища та здоров'я мешканців міст, оскільки це призводить до збільшення респіраторних і серцево-судинних захворювань.

Рослинність у міських системах може значно покращити якість повітря, видаляючи з нього такі забруднюючі речовини, як озон ( $O_3$ ), діоксид сірки ( $SO_2$ ), діоксид азоту ( $NO_2$ ), окис вуглецю або чадний газ ( $CO$ ) і тверді частки менше 10 мкм ( $PM_{10}$ ). Видалення забруднень відбувається як деревами, так і чагарниками на листовій пластині. Розподіл частинок пилу, що утримується листям, може відрізнятись за розмірами між видами рослин, залежно від розмірів листової пластини та наявності воску. Фільтрування забруднення з повітря також підлягає добовим змінам, оскільки протягом ночі пори закриті і не вбирають забруднюючі речовини.

Зменшення проявів екстремальних кліматичних умов. Зміна клімату збільшує частоту та інтенсивність екологічних екстремальних ситуацій, що створює дедалі складніші умови для адаптації міст, особливо тих, які розташовані на територіях прибережних районів. Рослинність стабілізує ґрунт та зменшує ймовірність зсувів.

Зменшення стоку. Збільшення водонепроникної поверхні в містах призводить до збільшення обсягів поверхневого стоку води, що підвищує вразливість до підтоплення водою. Рослинність зменшує поверхневий стік після

опадів шляхом перехоплення води через листя та стебла. Перехоплення опадів кронами дерев уповільнює наслідки повеней, а зелені зони в цілому зменшують тиск на міський дренаж. Ґрунт також зменшує рівень інфільтрації, діючи як губка. Визначено, що зелені насадження у Нью-Йорку перехоплюють близько 890 мільйонів галонів зливової води щорічно [16]. Інші засоби зменшення міського зливого стоку включають лінійні об'єкти (bioswales), зелені дахи та дощові сади. Наприклад, зелені дахи можуть затримувати від 25 % до 100 % опадів, залежно від глибини вкорінення, нахилу даху та кількості опадів [16]. Крім того, зелені дахи можуть затримувати час пікового стоку, таким чином зменшуючи навантаження на каналізаційні системи. Дощові сади та фільтри біоутримання також можуть зменшити витрати поверхневого стоку.

Запилення, боротьба зі шкідниками та розповсюдження насіння. Запилення, регулювання шкідників і розповсюдження насіння є важливими процесами у функціональному різноманітті урбоєкосистем і можуть відігравати вирішальну роль у довгостроковій перспективі. Однак запилювачам, регуляторам шкідників і поширювачам насіння загрожує втрата середовища існування та фрагментація через розвиток та розширення міст. У цьому контексті садові ділянки, що надані для індивідуальних, некомерційних цілей садівництва (садові ділянки), приватні сади та інші міські зелені насадження є важливими осередками збереження корисної фауни.

Дослідження урбоєкосистеми показує, що ряд формальних і неформальних методів управління садами, кладовищами та міськими парками сприяють розвитку функціональних груп комах, які покращують запилення, та птахів, що покращує розповсюдження насіння.

Глобальне регулювання клімату. Внаслідок наявності на території міст великих площ, вкритих штучними поверхнями, та високого рівня спалювання викопного палива вплив міст на зміни клімату можна визначати, як суттєвий. Викиди парникових газів у містах включають вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), метан (CH<sub>4</sub>), оксид азоту (NO<sub>2</sub>), хлорфторвуглеці (CFC) і тропосферний озон (O<sub>3</sub>).

Міські дерева діють як поглиначі CO<sub>2</sub>, накопичуючи надлишок вуглецю в біомасі під час фотосинтезу. Кількість вуглецю, що поглинається міською рослинністю, часто виявляється досить значною, наприклад, 6187 т/рік CO<sub>2</sub> депонується в зелених насадженнях Барселони, 16000 т/рік – у Філадельфії. Міські ґрунти також поглинають вуглець, проте кількість, що поглинається, є меншою обсягів його утворення [16].

Культурні послуги. Відпочинок. Оскільки міське середовище може бути стресовим для мешканців, рекреаційні ділянки урбоєкосистем є одними з найбільш цінних у містах. Парки, сквери, річки, водосховища надають різноманітні можливості для відпочинку, тим самим покращуючи здоров'я та благополуччя населення. Наприклад, відвідування парку зменшує стрес, підвищує рефлексію, омолоджує та створити відчуття умиротворення та спокою. Рекреаційна цінність зелених насаджень залежить від екологічних характеристик, таких як біологічне та структурне різноманіття, а також від інфраструктури (наявність лавок, спортивних споруд тощо). Рекреаційні можливості урбоєкосистем також залежать від соціальних критеріїв, включаючи доступність, безпеку, конфіденційність і комфортність.

Естетичні послуги. Зелені та голубі зони урбоєкосистеми відіграють важливу роль як постачальники естетичного та психологічного блага, що наповнює життя людини сенсами та емоціями. Естетичні переваги міських зелених насаджень впливають на зниження стресу, а також покращують фізичне і психічне здоров'я. Люди часто обирають місце проживання в містах частково на основі характеристик природних ландшафтів. Кілька досліджень показали підвищену вартість властивостей (виміряну шляхом гедонічного ціноутворення) при близькому розташуванні зелених зон [14].

Когнітивний розвиток. Вплив на природу та зелені насадження надає численні можливості для пізнавальної діяльності та розвитку. До прикладу території зеленої зони міста часто використовуються для реалізації екологічної освіти. Міські ландшафти можуть служити ареною вивчення біорізноманіття та екосистемних послуг.

Місцеві цінності та соціальна згуртованість. Прив'язаність до зелених насаджень у містах також може спричинити інші важливі суспільні переваги, такі як соціальна згуртованість, сприяння спільним інтересам та участі сусідів. Екологічні органи в Європейському Союзі фіксують роль міських зелених насаджень у наданні можливостей для взаємодії між окремими особами та групами, які сприяють соціальній згуртованості, відіграють певну роль у визначенні ідентичності та формуванні почуття спільноти [14].

Середовище існування для біорізноманіття. Урбоекосистеми відіграють важливу роль як середовище існування для багатьох видів птахів, амфібій, бджіл та метеликів. Добре спроектовані зелені дахи також можуть забезпечити середовище існування для біорізноманіття.

Цінності здоров'я. Було виявлено численні зв'язки між міською рослинністю та здоров'ям людини [17]. Наприклад, доступ до зелених насаджень у містах корелює з довголіттям, з відновленням після операцій, а також із самооцінкою сприйняття здоров'я. Близькість до зелених насаджень зменшує стрес. Близькість до парків стимулює підвищену фізичну активність міських жителів [16]. Докази більшості досліджень свідчать про те, що зелені насадження корисні для здоров'я, проте встановлення причинно-наслідкового зв'язку є дуже складним процесом.

Цінності екологічної справедливості. Управління міськими екосистемами впливає на те, хто в суспільстві отримує вигоди від екосистемних послуг, від цього залежить формування конфліктів екологічного розподілу, пов'язаних із доступом до екосистемних послуг та близькості до джерел забруднення. Екологічна справедливість представляє собою перспективи розвитку політичної екології, яка розглядає збалансований доступ до екосистемних послуг і збалансований вплив забруднення між соціальними групами. Це поняття вперше було використано стосовно екологічних конфліктів у містах США, де групи меншин, зокрема афроамериканці, латиноамериканці та корінні американці несли непропорційний тягар міського забруднення та впливу токсичних відходів [18]. Конфлікти щодо екологічного розподілу виникають не лише через нерівний

доступ до екосистемних послуг у містах, а й через асиметрію у привласненні екосистемних послуг містами по відношенню до навколишнього середовища сільських територій.

## 2.2 Оцінка послуг урбоекосистем

Однією з ключових проблем для дослідження екосистемних послуг є розробка комплексного методологічного підходу, за якого біофізичні, соціально-культурні та грошові сфери цінності можуть бути чітко розглянуті та інтегровані в процеси прийняття рішень.

Теперішня кількісна оцінка продуктивності екосистемних послуг базується на використанні біофізичних показників. Труднощі їх вимірювання достатньо високі, водночас послуги з постачання та регулювання можливо кількісно визначити за допомогою прямих вимірювань, таких як тонни їжі на гектар на рік, або тонни поглиненого вуглецю на гектар на рік. Біофізичні показники екосистемних послуг є передумовою для обґрунтованої економічної оцінки, які виражаються цінами на товари та послуги. Наприклад, економія енергії в розмірі від 72 доларів до 218 доларів США на місяць була розрахована для затінених деревами будівель в Акуре (Нігерія), на основі ціни на енергію 0,15 доларів США за кВт·год [16]. Приватні компанії, які мають приміщення вздовж міських доріг і площ (наприклад, ресторани, магазини, офіси) також можуть використати послуги з регулювання мікроклімату, щоб зменшити витрати енергії на кондиціонування повітря. Для цього компанії можуть платити державним установам або неурядовим організаціям за посадку та утримання вуличних дерев поблизу їхніх приміщень, щоб забезпечити тінь. Також можна заохочувати власників приватних територій здійснювати невеликі проекти у своїх дворах, таких як заміна непроникних покриттів внутрішніх двориків на водопроникну рослинність. Такі ініціативи можуть фінансуватися страховими компаніями, які покривають матеріальні збитки внаслідок повеней, щоб зменшити частоту та масштаби повеней, а також зменшити виплати.

Схеми компенсації екосистемних послуг могли б забезпечити механізм викупу для організацій, які завдають шкоди довкіллю своєю звичайною діяльністю. Зараз вже існує політика компенсації біорізноманіття, яка дозволяє забудовникам замінити багаті на біорізноманіття середовища існування, втрачені під час розвитку міст. Величина компенсації, яка можлива в містах, обмежена відносно невеликою доступною територією, тому для організацій часто може бути економічно вигідно інвестувати в компенсацію деяких видів діяльності на сільських територіях. Це особливо вірно для компенсації викидів вуглецю, коли вигоди від посадки дерев отримуються незалежно від того, де вони висаджені. Однак є адміністративні переваги скорочення відстані між бенефіціарами та постачальниками. Такий приклад реалізований в місті Сакраменто (Каліфорнія), де будівельна компанія профінансувала посадку 580 дерев у приватних садах, щоб компенсувати викиди вуглецю від своїх робочих транспортних засобів [16]. У цьому прикладі фінансувалася лише підтримка в натуральній формі (тобто дерева) без окремих чи постійних платежів власникам будинків.

Надання екосистемних послуг і суспільний попит на них відрізняється в містах по всьому світу залежно від поточних кліматичних умов і соціально-економічних характеристик. Навіть в одному місті різні члени суспільства можуть мати різні бажання. На попит на екосистемні послуги в певній місцевості впливатиме клімат; наприклад, охолоджуючий ефект рослинності може мати пріоритет у більш жарких і вологих містах, де пов'язана зі спекою смертність є серйозним ризиком, а споживання електроенергії для кондиціонування повітря є високим.

Розраховано, що загальні економічні вигоди, які надають урбоекосистеми, в цілому складають близько 30 000 доларів США на гектар. Ця цифра є середньою, оскільки економічна цінність послуг урбоекосистеми дуже різна у різних регіонах. У першу чергу суттєво відрізняється вартість міської землі, коливаючись від 30 000 доларів США до понад 100 000 000 доларів США за акр лише в США [16].

Суспільне благо більшості екосистем послуг не відображається належним чином в управлінських рішеннях, оскільки достатньо аналізуються тільки ті, що базуються на економічній інформації (наприклад, аналіз витрат і вигод). Наприклад, втрати біорізноманіття зазвичай тягнуть за собою довгострокові економічні втрати, то вони й не знайшли належного відображення у звичайних економічних рахунках. Також це можуть бути санітарно-епідеміологічні втрати, які пов'язані зі шкодою здоров'ю від забруднення повітря і витрати від майнових збитків, що формуються внаслідок втрати природних бар'єрів в екстремальних кліматичних умовах.

За останні кілька десятиліть було розроблено низку методів розрахунку економічних витрат, спричинених втратою екологічної інфраструктури. Метод уникнених втрат показує наскільки втрата міської рослинності може призвести до збільшення витрати енергії на охолодження протягом літнього сезону.

Так само, занепад послуг водорегулювання від зміни землекористування та втрати рослинності у міських водозбірних басейнах збільшує залежність від технологій очищення стоків, які, як правило, є дорогими. Економічні втрати можуть відповідати втратам екосистеми можливості надавати послуги з очищення повітря, зменшення шуму та поглинання вуглецю міською рослинністю, буферизації екстремального клімату природними бар'єрами і регулювання водних потоків. Ці втрати не є гіпотетичними, у більшості випадків це реальні економічні втрати, отримані від часткової заміни екологічної інфраструктури та екосистемних послуг побудованою інфраструктурою.

Окрім методу уникнення втрат для визначення регулюючих послуг, таких як пом'якшення забруднення повітря та регулювання клімату, часто використовують метод відновної вартості.

Економічну оцінку екосистемних послуг урбоекосистем з використанням гедонічного ціноутворення широко використовують для оцінки рекреаційних та естетичних переваг, якості повітря та води.

У літературі про екосистемні послуги культурні цінності визначені як «естетичні, мистецькі, освітні, духовні та/або наукові цінності екосистем» або як «нематеріальні блага для людей» [14–15].

Соціальні та культурні цінності включені в усі відомі класифікації екосистемних послуг. Проте, порівняно з економічними та біофізичними цінностями, соціальні, культурні та інші нематеріальні цінності екосистем і біорізноманіття, як правило, вивчені недостатньо. У першу чергу це пов'язано з тим, що соціальні та культурні цінності важко вимірювати і це потребує розроблення нових комплексних підходів та методів, що включають якісні показники. В цілому переведення культурних цінностей у кількісні показники може бути надто складним процесом.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНОЇ ЕКОСИСТЕМНОЇ ПОСЛУГИ УРБОЕКОСИСТЕМИ МІСТА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО

#### 3.1 Характеристика урбоекосистеми міста Хмельницького

Місто Хмельницький – адміністративний центр Хмельницької області, має площу 90 км<sup>2</sup>. Це найбільший економічний та культурний центр Хмельниччини, а також значний промисловий і діловий центр України. Промисловий комплекс представлений підприємствами легкої промисловості, машинобудування, виробництва будівельних матеріалів, харчової промисловості та переробка сільськогосподарської продукції. За рахунок вигідного розташування місто є потужним центром торгівлі.

Місто розташоване у верхів'ї річки Південний Буг, у центральній частині Волино-Подільської височини, формується на чотирьох вододілах вздовж долини Південного Бугу з північного заходу на південний схід. Основними водотоками є р. Південний Буг, р. Кудрянка, р. Плоска.

Земельні ресурси міста Хмельницького включають забудовані землі – 5402,88 га (58,01 %), у т.ч. 14,37 % – громадська забудова, 24,32 % – садибна та багатоквартирна забудова (з них 85,2 % припадає на садибну забудову). Природний ґрунтовий покрив міста формувався тривалий час внаслідок взаємодії материнських порід, рослинного покриву, рельєфу та клімату. Основні ґрунотвірні процеси проходили на карбонатних лесових відкладах. Природні ґрунти представлені переважно чорноземами (глибокими малогумусними, опідзоленими), ґрунтами темно-сірими опідзоленими, у заплавах річок поширені болотні ґрунти [19].

Внаслідок тривалої урбанізації міста ґрунти на більшій частині його території (особливо в центральній) трансформувалися в урбоземи. Найменш перетворені ділянки розташовані на територіях природно-заповідного фонду, зелених насаджень, біля водних об'єктів. Ґрунтовий покрив утворився під впливом природних факторів та антропогенної діяльності і на більшості

території представляє собою урбаноземи.

Клімат у місті – атлантико-континентальний, що характеризується теплим малоохмарним літом і помірно м'якою, часто хмарною зимою. За індексом забруднення атмосферного повітря (ІЗА = 4,2-4,6) загальний рівень забруднення по місту за останні 5 років оцінюється як середній [19].

Водні ресурси міста Хмельницького включають поверхневі та підземні води.

Поверхневі водні об'єкти представлені р. Південний Буг (головна водна артерія), р. Кудрянка (Самець) і р. Плоска (праві притоки Південного Бугу), Лівую притокою без назви, водосховищами, озером, ставками і безліччю малих об'єктів (ставки, струмки, потічки). Кожний з них відрізняється гідрологічними та гідроморфологічними (таблиця 3.1) характеристиками та антропогенним навантаженням різного ступеня інтенсивності.

Таблиця 3.1 – Довжина річок у межах міста Хмельницького [19]

Великі		Середні		Малі		Загальна довжина, км
назва	км	назва	км	назва	км	
Південний Буг	12,6	–	–	Плоска	3,6	39,9
				Кудрянка (Самець)	11,2	
				Ліва притока без назви	5,2	
				Інші притоки	7,3	

Усі річки мають змішаний тип живлення: навесні поповнюються талими сніговими водами, влітку – дощовими.

Рослинність м. Хмельницького в цілому репрезентує рослинність лісостепової зони. Рослинний покрив території міста сформувався на базі природних евтрофних боліт та заплавних лісів (біло-вербових, ясенєво-липових, вільхових) долини Південного Бугу та його приток – річок Плоскої і Кудрянка, а також евтрофних боліт. На території міста виявлено такі типи рослинного покриву як лісова, лучна, болотна, водна та прибережно-водна, рудеральна та сегетальна. Закономірності їх розподілу зумовлені рельєфом території, едафічними умовами та антропогенним чинником. Процес урбанізації супроводжується руйнуванням природного рослинного покриву, тому нині у місті Хмельницькому трапляються залишки колишніх лісів, а болота переважно осушені. Рослинний блок урбоєкосистеми міста Хмельницького представлений умовно-природними ландшафтами, а також штучними зеленими насадженнями (парками, скверами, алеями тощо).

Природно-заповідний фонд (ПЗФ) міста Хмельницького включає 22 природно-заповідних території площею 191, 8 га, що складає близько 2 % від площі міста. ПЗФ міста Хмельницького включає 16 ботанічних пам'яток природи, 3 парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва, 2 дендрологічні парки та Ботанічний сад Хмельницького національного університету. За статусом природно-заповідні території та об'єкти міста Хмельницького належить до місцевого значення [19].

Найбільшу площу серед усіх природно-заповідних територій міста Хмельницького займають парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва. Площа «Парку імені Михайла Чекмана» складає 73,2 % від загальної площі ПЗФ міста. Парк є не тільки найбільшою природно-заповідною територією міста Хмельницького, але й найбільшим парком-пам'яткою садово-паркового мистецтва у Хмельницькій області.

Осередками ботанічних колекцій культивованої флори є Ботанічний сад Хмельницького національного університету, дендропарки «Поділля» та «Юннатівський». За кількістю (16 од.) у ПЗФ міста переважають ботанічні пам'ятки природи. Серед них є 7 скверів, 4 біогрупи дерев та 5 окремих

понадвікових дерев [19].

Зелені насадження міста Хмельницького поділяють на насадження загального, обмеженого і спеціального користування. Вони включають зелені насадження парків, скверів, садів міжквартальних або при групі житлових будинків; на територіях громадських і житлових будинків, закладів освіти, охорони здоров'я, промислових підприємств, культурно-освітніх і спортивно-оздоровчих установ; насадження транспортних магістралей і вулиць, на ділянках санітарно-захисних зон кладовищ, ліній електропередач високої напруги, лісомеліоративні, водоохоронні, вітрозахисні, протиерозійні тощо.

Усі парки та сквери міста створені на основі природних заплавлених або листяних лісів. В результаті складних процесів формування урбофітоценозів утворилися угруповання, що значною мірою відмінні від природних. Загалом у парках, скверах та дендропарках м. Хмельницького корінні природні насадження не збереглися, домінують похідні або штучно створені. Основними паркоутворюючими породами є липа серцелиста, граб звичайний, ясен звичайний, клен гостролистий, клен-явір, гіркокаштан звичайний тощо.

Згідно з даними Департаменту комунальної інфраструктури Хмельницької міської ради площа зелених насаджень загального користування становить близько 315 га, що відповідає вимогам відповідно до чисельності населення міста [19].

Урбоєкосистема м. Хмельницького має розгалужену вуличну мережу з вуличними зеленими насадженнями, видовий склад яких має певні відмінності. Вуличні насадження центральної частини міста представлена як деревними, так і деревно-чагарниковими насадженнями у вигляді масивів, груп, солітерів, алей, рядових посадок та живоплотів. Здебільшого це зелені насадження листяних порід, що складають близько 90 % від загальної кількості деревних рослин. Хвойні види в основному зростають вздовж вулиць біля адміністративних будівель й установ, розважальних закладів, закладів освіти та харчування. Серед листяних переважає гіркокаштан звичайний, далі йдуть тополі, клени.

По мірі віддалення від центру у складі вуличних насаджень починають превалювати тополі (пірамідальна, біла). Липи беруть однакову участь у формуванні вуличних насаджень у різних частинах міста (до 6 %).

Аналіз фітосанітарного стану вуличних насаджень свідчить про те, що лише половина має задовільний стан.

### 3.2 Програма та методи дослідження

Програма досліджень включала три етапи: підготовчий, польовий та лабораторний.

#### 1. Підготовчий етап:

- вибір досліджувальних ділянок;
- підбір методик дослідження.

#### 2. Польовий етап:

- визначення складу зелених насаджень;
- вимірювання температури, вологості, шуму;
- збір зразків листя.

#### 3. Лабораторний етап:

- визначення пилопоглинання;
- визначення акумуляції важких металів.

Визначення температури та вологості проводили з використанням метеостанції EA2 BL508 SLIM згідно з інструкцією до приладу.

Визначення шуму проводили з використанням шумоміру GM1356 згідно з інструкцією до приладу.

Визначення пилопоглинання проводили за накопиченням пилу на листовій пластині. Для цього листя зрізали ножицями та запаковували у поліетиленові пакети, з попередньо нанесеним маркуванням. У лабораторних умовах на аналітичних вагах зважили листя (P1). Потім його промили та висушили і повторно зважили (P2). Масу пилу (P) розрахували як різницю між першим і другим зважуванням за формулою (3.1):

$$P = P1 - P2. \quad (3.1)$$

Площу листа розрахувати шляхом обміру листових пластинок уздовж (a) і поперек (b) і множенням на коефіцієнт переведення. Кінцевий результат представляє собою відношення маси пилю на площу листовою пластинки ( $\text{г}/\text{см}^2$ ).

Визначення акумуляції важких металів листовою пластиною здійснювали з використанням атомно-абсорбційної спектрофотометрії.

Підготовку проб листя методом сухої мінералізації для атомно-абсорбційного визначення вмісту свинцю здійснювали згідно з ДСТУ 7670:2014. Спосіб сухої мінералізації заснований на повному розкладі органічних речовин шляхом спалювання проби сировини чи продуктів в електропечі при контролюючому температурному режимі. Мінералізацію проб проводять в муфельній печі, поступово (на кожні  $50\text{ }^\circ\text{C}$  через кожні 30 хв), підвищуючи температуру до  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . Продовжують мінералізацію при такій температурі до отримання попелу. Тигель з попелом виймають з муфельної печі через 15 год зоління, охолоджують до кімнатної температури і змочують вміст по краплям мінімальною кількістю розчину нітратної кислоти. Випарюють кислоту досуха на електроплитці з наступним витримуванням в муфельній печі. Після охолодження тигель з наважкою поміщають в охолоджену електропіч. Поступово доводячи температуру до  $300\text{ }^\circ\text{C}$ , витримують впродовж 0,5 год. Вказаний цикл повторюють декілька разів. Мінералізацію вважають закінченою, коли попел стане білого або злегка забарвленого кольору, без обвуглених частинок. При наявності обвуглених частинок повторюють обробку попелу розчином нітратної кислоти або водою.

Визначення вмісту свинцю в підготовлених пробах листя здійснювали згідно з ГОСТ 30178–96. При використанні способу сухої мінералізації попел розчиняють в тиглі при нагріванні в азотній кислоті (1: 1) за обсягом з розрахунку від  $1\text{ см}^3$  до  $5\text{ см}^3$  кислоти на наважку в залежності від зольності продукту. Розчин випарюють до вологих солей. Осад розчиняють в об'ємі азотної кислоти масовою часткою 1 % від  $15\text{ см}^3$  до  $20\text{ см}^3$ , кількісно переносять в мірну колбу

місткістю 25 см<sup>3</sup> і доводять до мітки тієї ж кислотою. При неповному розчиненні золи отриманий розчин з осадом випарюють до вологих солей, перерозчиняють в мінімальному обсязі соляної кислоти (1:1) за об'ємом, ще раз випарюють до вологих солей і розчиняють в об'ємі азотної кислоти масовою часткою 1 % від 15 см<sup>3</sup> до 20 см<sup>3</sup>. Розчин кількісно переносять в мірну колбу місткістю 25 см<sup>3</sup> і доводять до мітки тієї ж кислотою.

Підготовку приладу до роботи, його включення і виведення на робочий режим здійснюють згідно з технічними інструкціями до приладу. Особливості вимірювання низьких концентрацій елементів вимагають ретельного дотримання таких вимог, що сприяють зменшенню дрейфу і «пам'яті» та збільшенню відношення сигналу до шуму.

Розпорошуючи в полум'я нульовий стандарт, встановлюють показники приладу на нуль. Потім в порядку зростання концентрації вимірюють абсорбцію стандартних розчинів порівняння (або їх екстрактів). В кінці градування відзначають положення нульової лінії при розпилуванні нульового стандарту.

Вимірюють абсорбцію невеликого числа (від 5 до 10) випробуваних і контрольних розчинів, промиваючи після кожного вимірювання систему розпилувача і пальника дистильованою водою або нульовим стандартом до повернення сигналу до показників, що близькі до нуля. Повторюють точно вимірювання абсорбції нульового стандарту і одного зі стандартів порівняння, найбільш близького за концентрацією до випробуваних розчинів. Якщо при цьому не зазначається помітного зміщення нульової лінії і зміни абсорбції стандарту, продовжують вимірювання абсорбції випробовуваних розчинів, періодично повторюючи контроль дрейфу нуля і чутливості і закінчуючи вимірювання повним градуванням.

Вимірювання абсорбції кожного розчину проводиться не менше 2 разів. У вимірюваннях використовували графітові трубки, лампи з порожнистим катодом на свинець. Вимірювання інтегральної абсорбції з корекцією неселективного поглинання світла (дейтерієва система) проводили при спектральній ширині

щілини 0,4 нм і довжині хвилі 283,3 нм. В якості захисного газу використовували аргон сорт «вищий».

Допустима розбіжність між двома паралельними результатами отриманими в одній лабораторії в одній серії вимірювань (збіжність), залежить від масової частки елемента в продукті і при 0,95 не повинно перевищувати значень відносного стандартного відхилення відтворюваності 17 %.

Визначення масової частки вологи проводили з використання термогравіметричного методу. Для цього брали наважку листя масою близько 5 г ( $m_1$ ) та висушували при температурі від 100 °С до 105 °С до постійної маси ( $m_2$ ). Масову частку вологи ( $W$ ) розраховували за формулою (3.2):

$$W = (m_1 - m_2) / m_1. \quad (3.2)$$

Розбіжність між двома паралельними дослідями не повинна складати більше, ніж 0,2 %.

### 3.3 Пилопоглинання

Однією з важливих регульовальних екосистемних послуг, які надаються «зеленим» блоком урбоекосистем, є очищення повітря, в тому числі від частинок пилу [20–24]. Масштаби пилового забруднення, а відповідно і послуг, що надаються зеленими насадженнями, суттєво коливаються і залежать від масштабів території міста, роботи транспорту (обсягів пасажирських і вантажних перевезень) та наявності і виробничої потужності промислових підприємств, а також їх галузевої спеціалізації.

При визначенні поглинання пилу в умовах урбоекосистеми міста Хмельницького дослідженню підлягали поширені видів дерев (тополя біла, гіркокаштан звичайний). Зразки їх листя збирали на вул. Кам'янецька. Дослідження проводили в кінці вегетаційного періоду. Результати дослідження накопичення пилу листовою пластинкою наведені на рисунку 3.1.

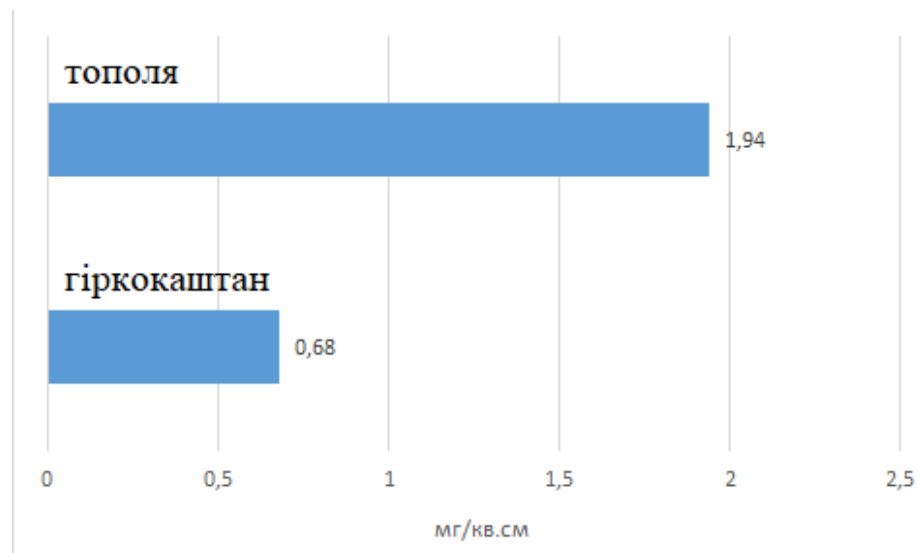


Рисунок 3.1 – Пилоутримання листовою пластиною

Листя досліджуваних видів дерев ефективно утримує пил [24]. Водночас тополя утримує майже втричі більше пилу, ніж листя гіркокаштану, що підтверджує тезу про те, що листя невеликих розмірів є більш ефективними колекторами аерозольних частинок порівняно з листками, які мають значну площу поверхні.

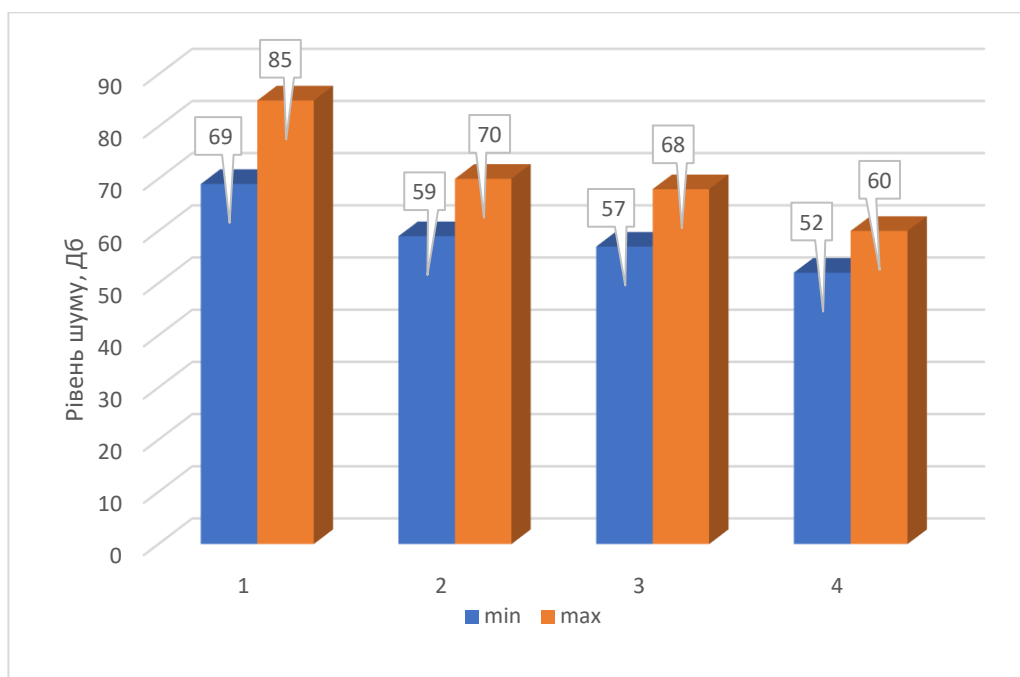
### 3.4 Шумопоглинання

Екосистемну послугу з шумопоглинання вивчали на прикладі зелених вуличних насаджень [26–28], що зростають вздовж автомагістралей.

В цілому шумове навантаження від автомобільного транспорту вздовж автомагістралей у межах міста коливається від 69 дБ до 85 дБ, що можна оцінити як високий рівень (рисунок 3.2).

Оцінку шумопоглинання зеленими насадженнями проводили на вулиці Проспект Миру, на якій розташовані рядова та двохрядова посадки тополі пірамідальної та двохрядова посадка липи серцелистої.

Рівень шуму поза насадженнями тополі складає від 50 дБ до 69 дБ, що свідчить про зменшення рівня шуму в цілому від 14 % до 20 %. Максимальне зменшення (до 20 %) характерне для двохрядових посадок.



- 1 – ділянка вздовж дороги без рослинності;  
 2 – ділянка вздовж дороги за однорядною посадкою тополі пірамідальної;  
 3 – ділянка вздовж дороги за двохранною посадкою тополі пірамідальної;  
 4 – ділянка вздовж дороги за двохранною посадкою липи серцелистої

Рисунок 3.2 – Рівень шуму на ділянках з рослинністю та без неї

У межах невеликої ділянки липи серцелистої, що представлена двохранною посадкою, падіння інтенсивності шуму поза насадженнями складає до 30 %. Таким чином, дані вимірювань свідчать про те, що вуличні насадження надають екосистемні послуги з шумозахисту, що у випадку двохранових посадок липи серцелистої дозволяє знизити показник шуму на території Проспекту Миру у денний час майже до норми.

### 3.5 Акумуляції важких металів

Екосистемна послуга з регулювання, що надається зеленими насадженнями, включає акумуляцію важких металів. Цей процес вивчали по найбільш поширених в урбоекосистемах елементах – свинцю, цинку та кадмію в листі каштану та тополі [29–31]. Зразки листя відбирали вздовж автомобільних

магістралей, що найбільше характеризуються накопиченням важких металів в умовах міста Хмельницького.

Для коректного аналізу поширення важких металів у листі зелених насаджень та уникнення впливу їх масової частки вологи на результати попередньо провели визначення цього показника (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Масова частка вологи (W) та сухих речовин (CP) у пробах листя

Показник	Тополя пірамідальна	Гіркокаштан звичайний
m <sub>1</sub> , г	5,286	5,619
m <sub>2</sub> , г	1,872	2,921
W, %	64,6	48,0
CP, %	35,4	52,0

Вміст важких металів на суху речовину у листі дерев міста наведений на рисунках 3.2–3.4. Як норму обирали значення максимально-допустимої концентрації в кормах.

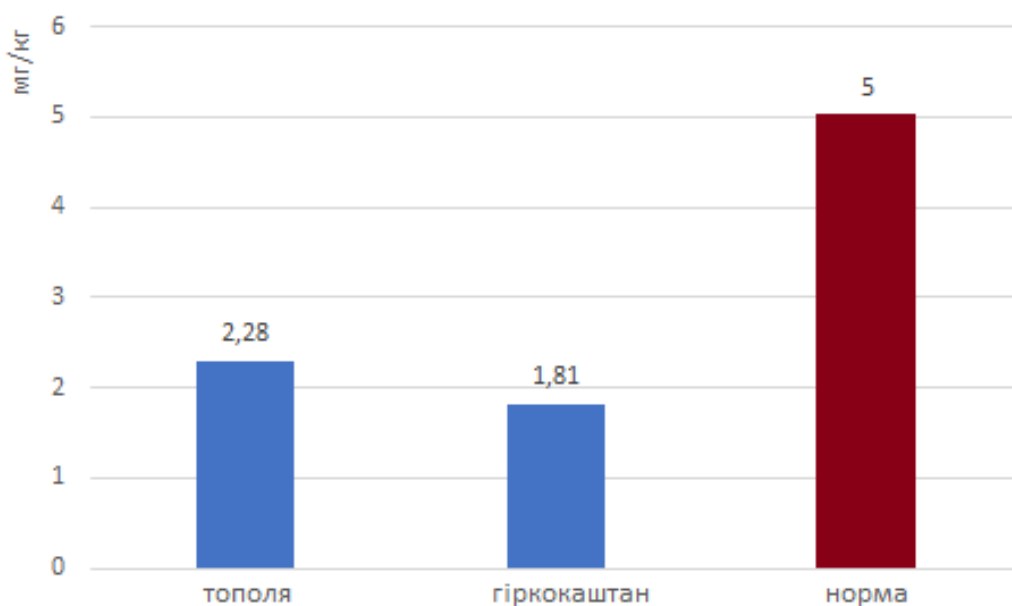


Рисунок 3.3 – Вміст свинцю у листі дерев

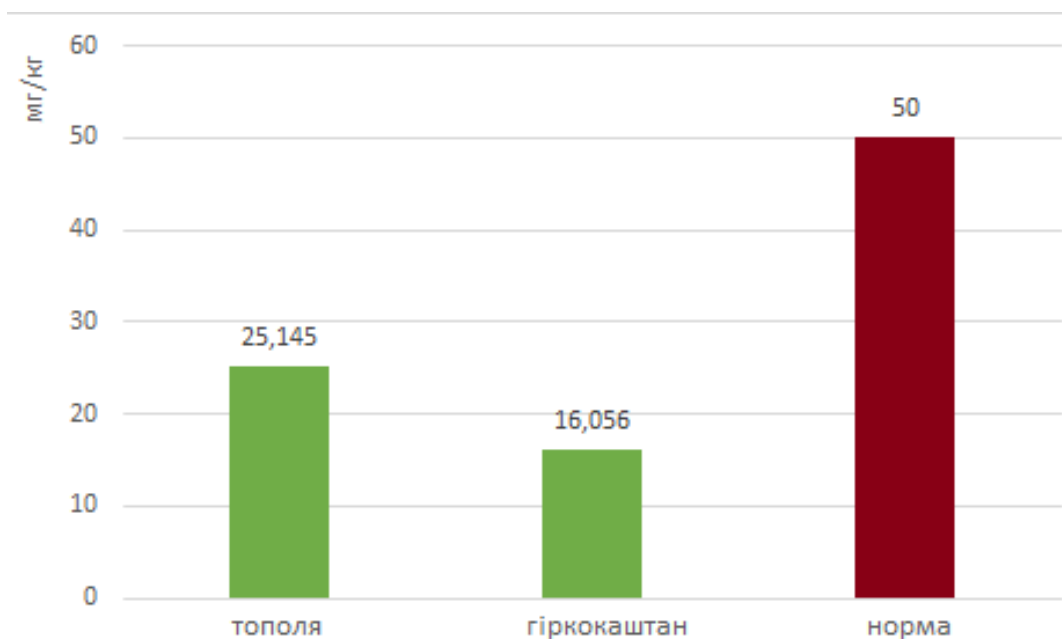


Рисунок 3.4 – Вміст цинку у листі дерев

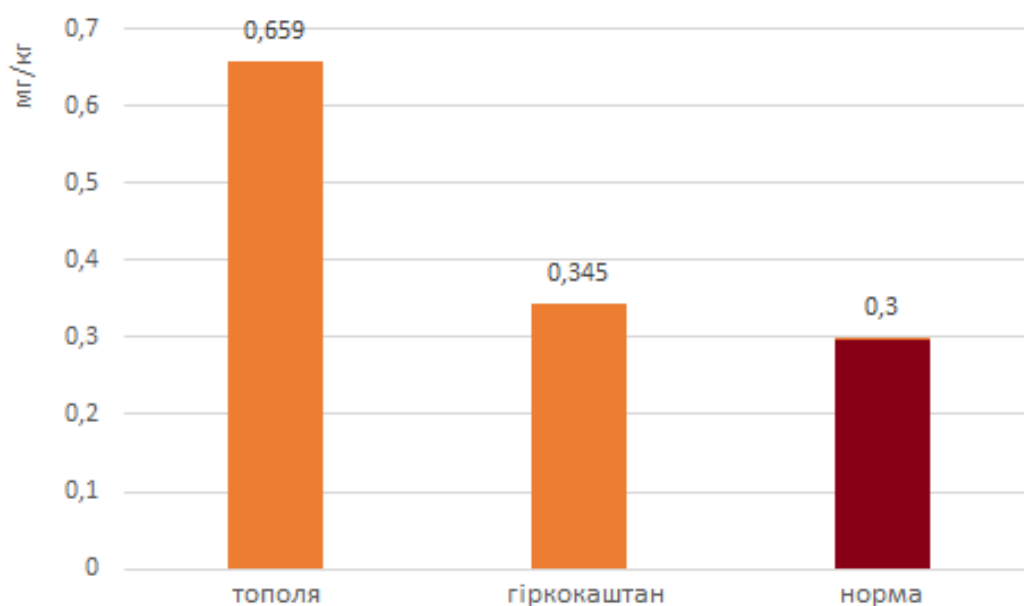


Рисунок 3.5 – Вміст кадмію у листі дерев

Відповідно до даних рисунків, перевищення по свинцю та цинку порівняно з вимогами, що висуваються до кормів, не спостерігається. Також ці значення є меншими порівняно з даними, що мають місце у великих урбоекосистемах (наприклад, місто Дніпро [29]). Проте вони є більшими, ніж у кормах агроекологічних провінцій Закарпаття [30].

Значно більше у листі вуличних насаджень накопичується кадмію, вміст якого в обох зразках перевищує норму (у тополі – майже вдвічі), що свідчить про його потужну асиміляцію.

Листя тополі в цілому накопичує більше важких металів, ніж листя каштану.

## ВИСНОВКИ

Сталий розвиток суспільства та добробут населення істотно залежить від функціонування екосистем та якості послуг, які ними надаються. Особливо це важливо для урбоекосистем, які характеризуються значним антропогенним тиском.

Екосистемні послуги включають такі групи: постачання (продовольство, прісна вода, інші матеріальні блага та ресурси); регулювання (будь-яка користь, що отримана від природних процесів і функціонування екосистем, які формують середовище існування біологічних видів, зокрема це регуляція клімату, якості повітря, води, запилення рослин тощо); культурні та соціальні послуги (включають нематеріальні вигоди й блага, які суспільство може отримати від природи: відпочинок, естетичні цінності, духовне збагачення, інтелектуальний розвиток, натхнення для творчості тощо) та послуги підтримання екосистем (допоміжні послуги, які пов'язані з функціонуванням середовища існування і включають глобальні процеси формування атмосфери, кліматичних зон, фотосинтез, колообіг води та речовин у природі тощо).

Для оцінювання вартості екосистемних послуг, що на сьогодні залишається складним питанням для певних груп методів (зокрема, культурні послуги) використовують такі методи (представлено по мірі їх використання): методи, за яких вартість ЕП визначена безпосередньо ринками; методи, за яких вартість ЕП визначена сурогатними ринками; методи, де вартість ЕП втілена у ринкових операціях; методи, за яких вартість ЕП базується на визначенні витрат на пов'язані продукти і послуги; методи, за яких вартість ЕП базується на очікуваних витратах або ринках та інші. Для більшості методів складність проявляється не тільки у визначенні вартості, а й у проблемах вимірювання показників (зокрема біофізичних).

У всьому світі все більше зусиль докладається для включення інформації про екосистемні послуги в державні та приватні рішення. Поряд з цим, багато

напрямків аналізу та політики екосистемних послуг залишається поза увагою при прийнятті державних і приватних рішень.

Процес урбанізації обумовлює швидку розбудову міст, які будучи глобальними центрами виробництва та споживання, залежать від ресурсів і екосистемних послуг.

Урбоекосистеми, що формуються на місці природних екосистем, де розвиваються міста, забезпечують багато потреб людей. Їх екосистемні послуги також поділяються на чотири великі групи. Це послуги з постачання – їжа, вода, усі матеріальні ресурси, що продукуються в урбоекосистемі.

Послуги з регулювання умов навколишнього середовища, які в основному реалізуються «зеленими» і «блакитними» складниками урбоекосистеми і включають регулювання мікрокліматичних показників та буферизацію наслідків впливу міських островків тепла, очищення атмосферного повітря, зменшення шуму та проявів кліматичних і екологічних екстремальних ситуацій. Скорочення обсягів стоку з поверхні території міста.

Культурні та соціальні послуги, які надає біота та водні об'єкти урбоекосистем; це рекреація на території зелених зон або на берегах водойм, які виступають постачальниками естетичних, психологічних та фізіологічних благ і наповнюють життя людини сенсами та емоціями.

Допоміжні послуги, які в першу чергу, проявляються як середовище існування і для людини, і для інших живих організмів, що мешкають у містах, тим самим забезпечуючи стабільне біорізноманіття.

Багато міських екосистем відчують тиск зростаючої урбанізації, оскільки економічні вигоди, які вони надають, рідко отримують люди, які ними володіють або керують. Такі екосистеми рідко є економічно конкурентоспроможними в порівнянні з більш прибутковим житловим, комерційним та промисловим землекористуванням. У зв'язку з цим гостро постають питання екологічна справедливість, яка передбачає збалансований доступ до екосистемних послуг і вплив забруднення, у тому числі між різними соціальними групами.

Основна методологія, яка застосовується на теперішній час для оцінки екосистемних послуг урбоекосистем базується на використанні біофізичних показників, що складають базу для формування обґрунтованої економічної оцінки, яка вже буде виражатися конкретними цінами на товари та послуги.

Визначення біофізичних показників регулювальної послуги урбоекосистеми проводили в умовах міста Хмельницького, яке відноситься до середніх за масштабами урбоекосистем і має достатньо розвинуту зелену та голубу екологічну інфраструктуру через наявність різних категорій зелених насаджень та водних об'єктів (річок, ставків, водосховищ).

Нами експериментально доведено, що листя гіркокаштану та тополі ефективно утримують пил (від  $0,68 \text{ мг/см}^2$  до  $1,94 \text{ мг/см}^2$ ), при цьому листя тополі адсорбує майже втричі більше пилу, ніж листя гіркокаштану.

Накопичення листям важких металів забезпечує вилучення їх із складових довкілля і є індикатором забруднення. Листя тополі та гіркокаштану в умовах урбоекосистеми м. Хмельницького накопичують порівняно невелику кількість таких елементів як свинець та цинк. Проте вміст кадмію в листях тополі перевищує майже вдвічі показник максимальної норми, що свідчить про його активне накопичення та виведення з геологічних оболонок.

Екосистемна послуга з шумопоглинання ефективно проявляється біля автомагістралей. Одно- та дворядові посадки вуличних зелених насаджень зменшують рівень шуму від 14 % до 30 %, максимальне зменшення характерне для двохрядових посадок, також це залежить від виду рослин (при наших вимірюваннях кращі значення мали вуличні насадження, що сформовані липою серцелистою).

Отримані значення біофізичних величин в подальшому можуть бути використані для розрахунку вартості екосистемних послуг та для прийняття виважених управлінських рішень в умовах урбоекосистем.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Конвенція про охорону біологічного різноманіття [Електронний ресурс] : закон (N 257/94) : [прийнято Верховною Радою 29 лист. 1994 р.] // База даних «Законодавство України» / ВР України. – Режим доступу: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_030#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_030#Text) (дата звернення 02.05.2023).

2. Ecosystems and their services / The Biodiversity information system for Europe. Офіційний сайт. – Режим доступу: <https://biodiversity.europa.eu/ecosystems> (дата звернення 05.05.2023).

3. Millennium Ecosystem Assessment [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.millenniumassessment.org/en/index.html> (дата звернення 07.05.2023).

4. Schumacher E. F. Small Is Beautiful: Economics as if People Mattered (Harper Perennial Modern Thought / E. F. Schumacher. – London : Blond & Briggs, 1973. – 352 p. – Режим доступу: [http://sciencepolicy.colorado.edu/students/envs\\_5110/small\\_is\\_beautiful.pdf](http://sciencepolicy.colorado.edu/students/envs_5110/small_is_beautiful.pdf) (дата звернення 08.05.2023).

5. Варуха А. Огляд підходів з оцінки екосистемних послуг через призму їхнього застосування для визначення збитків, завданих військовими діями рф на території України / А. Варуха ; [за заг. ред. О. Кравченко]. – Львів : «Компанія Манускрипт», 2022. – 56 с. – Режим доступу: [http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2023/01/EPL\\_Ocinka\\_eco\\_poslug\\_03\\_CHECK.pdf](http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2023/01/EPL_Ocinka_eco_poslug_03_CHECK.pdf) (дата звернення 10.05.2023).

6. Василюк О. Екосистемні послуги. Огляд / Укладачі : Олексій Василюк, Любов Ільмінська. – БО «БФ «Фонд захисту біорізноманіття України», 2020. – 84 с. – Режим доступу: [https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPoslugy\\_web\\_new.pdf](https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPoslugy_web_new.pdf) (дата звернення 11.05.2023).

7. Ecosystem Services: Key Concepts and Applications, Occasional / Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. Paper No 1. – Canberra, 2009. – 32 p. – Режим доступу:

<https://www.agriculture.gov.au/sites/default/files/documents/ecosystem-services.pdf>  
(дата звернення 11.05.2023).

8. What are Ecosystem Services? / Earth.Org. Environmental News, Data Analysis, Research & Policy Solutions. – Режим доступу: <https://earth.org/what-are-ecosystem-services/> (дата звернення 12.05.2023).

9. The Value of Forests Payments for Ecosystem Services in a Green Economy / [D. Clark, F. Hirsch, P. Vihervaara et al.]. – Geneva : United Nations, 2014. – 92 p. – Режим доступу: <https://unesc.org/DAM/timber/publications/SP-34Xsmall.pdf> (дата звернення 12.05.2023).

10. Мішенін Є. В. Економіка екосистемних послуг: теоретико-методологічні основи / Є. В. Мішенін, Н. В. Дегтярь // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2015. – № 2. – С. 243-257. – Режим доступу: [https://mmi.fem.sumdu.edu.ua/sites/default/files/mmi2015\\_2\\_243\\_257.pdf](https://mmi.fem.sumdu.edu.ua/sites/default/files/mmi2015_2_243_257.pdf) (дата звернення 12.05.2023).

11. Ecosystem Services. The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Офіційний сайт. – Режим доступу: <https://unesc.org/ecosystem-services-0> (дата звернення 13.05.2023).

12. UK National Ecosystem Assessment. Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://uknea.unep-wcmc.org/Resources/tabid/82/Default.aspx> (дата звернення 14.05.2023).

13. Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services. Офіційний сайт. – Режим доступу: <https://www.wavespartnership.org> (дата звернення 15.05.2023).

14. Bolund P. Ecosystem services in urban areas / P. Bolund, S. Hunhammar // Ecological Economics. – 1999. – V. 29. – Issue 2. – P. 293–301. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800999000130> (дата звернення 15.05.2023).

15. Кучерявий В.П. Урбоекологія / В.П. Кучерявий. – Львів : «Новий світ-2000», 2021. – 460 с.

16. Daniel R. Richards. Urban ecosystems: A new frontier for payments for ecosystem services / Daniel R. Richards, Benjamin S. Thompson // *People and Nature*. – 2019. – Vol. 1. – Issue 2. – P.121–272. – Режим доступу: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pan3.20> (дата звернення 15.05.2023).

17. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review / K. Tzoulas, K. Korpela, S Venn. et al. // *Landscape and Urban Planning*. – 2007. – Vol. 81 (3). – P. 167–178. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204607000503> (дата звернення 20.05.2023).

18. Martinez-Alier J. Mapping ecological distribution conflicts: The EJAtlas / J. Martinez-Alier // *The Extractive Industries and Society*. – 2021. – Vol.8 – Issue 4. – Режим доступу: Mapping ecological distribution conflicts: The EJAtlas - ScienceDirect (дата звернення 20.05.2023).

19. Коригування (внесення змін) генерального плану міста Хмельницького. Розділ «Охорона навколишнього природного середовища» (Звіт про стратегічну екологічну оцінку) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://khm.gov.ua/sites/default/files/pdf/ZVIT\\_CEO\\_Genplan.pdf](https://khm.gov.ua/sites/default/files/pdf/ZVIT_CEO_Genplan.pdf) (дата звернення 25.05.2023).

20. Прищеп А. М. Екосистемні послуги зелених насаджень урбосистем / А. М. Прищеп // Наукові доповіді НУБіП України. – 2019. – № 1 (77). – Режим доступу : <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/viewFile/12592/10920> (дата звернення 17.05.2023).

21. Кучерявий В. П. Озеленення населених місць / В. П. Кучерявий, В. С. Кучерявий. – Львів : «Новий Світ-2000», 2020. – 666 с.

22. Коваленко А. А. Функції зелених насаджень міста / А. А. Коваленко // Містобудування та територіальне планування – 2014. – Вип. 53. – С. 204-208.

23. Володарець С. О. Фітонцидна активність деревно-кущових листяних рослин в урбаносередовищі / С. О. Володарець // Питання біоіндикації та екології. – 2012. – Вип. 17, № 1. – С. 95-100.

24. Кустовська О. В. Оцінка концепції комплексного озеленення міських населених пунктів / О. В. Кустовська // Збалансоване природокористування. – 2016. – № 3. – С. 85-89.

25. Денисюк Н. В. Оцінювання фітомеліоративної ролі зелених насаджень парків і скверів північного району м. Рівне / Н. В. Денисюк, В. Й. Мельник // Науковий вісник НЛТУ України. – 2020. – Т. 30, № 2. – С. 38-43.

26. Дудник Є. Г. Вплив антропогенних та природних чинників на стан дендрофлори урбоекосистем Вінницької області / Є. Г. Дудник // Науковий журнал «Сільське господарство та лісівництво». – Вінниця : ВНАУ, 2018. – С. 153-163 с.

27. Денисюк Н. В. Екологічні проблеми озеленення міста Рівне / Н. В. Денисюк // Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів: матеріали V Всеукр. наук.-техн. конф., м. Рубіжне, 22–26 квіт. 2019 р. Рубіжне : Видавець О. Зень, 2019. – С. 61-63.

28. Денисюк Н. В. Середовищевірна ефективність зелених насаджень загального користування міста Рівне : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16 : захищена 4.03.2021 / Денисюк Наталія Василівна. – Львів, 2021. – 169 с. – Режим доступу : <http://www.ecoinst.org.ua/pdf/DenysyukN-Dysertatsiia.pdf> (дата звернення 1.06.2023).

29. Бессонова В. П. Вміст важких металів у листі дерев і чагарників в умовах техногенного забруднення різного походження / В. П. Бессонова, І. А. Зайцева // Питання біоіндикації та екології. – 2008. – Вип. 13, № 2. – Режим доступу: [http://sites.znu.edu.ua/bioindication/issues/2008-13-2/bessonova\\_zaiuseva.pdf](http://sites.znu.edu.ua/bioindication/issues/2008-13-2/bessonova_zaiuseva.pdf) (дата звернення 4.06.2023).

30. Вміст важких металів у кормах, організмі тварин та продукції тваринництва в агроекологічних умовах Закарпаття / Р. Г. Сачко, Я. В. Лесик, І. В. Лучка, І. В. Невоструєва // Науковий вісник Львівського національного

університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. – 2016. – Т. 18. – № 3 (71). – С. 87-90.

31. Павлішина О.М. Поглинальна здатність важких металів захисними лісовими насадженнями залізниць [Електронний ресурс] / О.М. Павлішина // Наукові доповіді НУБіП. – 2012. – № 3 (32). – Режим доступу: [https://nd.nubip.edu.ua/2012\\_3/12rom.pdf](https://nd.nubip.edu.ua/2012_3/12rom.pdf) (дата звернення 6.06.2023).