



В. П. Кучерявий¹, Я. В. Генік¹, В. С. Кучерявий¹, Н. З. Кендзьора¹, Н. Д. Гоцій², Б. М. Янишин²

¹ Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

² Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

НАУКОВІ ЗАСАДИ ФІТОМЕЛІОРАТИВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА

Обґрунтовано наукові засади оцінювання фітомеліоративної ефективності зеленої інфраструктури міста як ключового чинника покращення урбанізованого середовища. Досліджено екологічні, соціальні та просторові виклики, пов'язані з деградацією міського зеленого простору, особливо за умов втрати традицій планового озеленення в Україні з 1990-х років. Запропоновано теоретичне й методичне підґрунтя для комплексного аналізу функцій міських фітоценозів-меліорантів, зокрема санувальної, інженерно-захисної, рекреаційної, етико-естетичної та архітектурно-планувальної. Здійснено критичний аналіз вітчизняних і зарубіжних концепцій "зеленої інфраструктури міста" та "комплексної зеленої зони міста", простежено історичні особливості формування озеленення в українських містах у 1950–1980-х роках. Встановлено, що незважаючи на активне запозичення європейських підходів, зокрема концепції "Green Infrastructure", більшість сучасних вітчизняних проєктів не враховують напрацьованого попередниками досвіду, не мають системного підходу до організації зелених зон та не опираються на фітомеліоративну науку. У межах дослідження використано комплекс методів: аналітичний, іконографічний, картографічний, еколого-порівняльний, математико-статистичний. Особливу увагу приділено вивченню геофізичних потоків у межах фітоценозів та можливостям їх регулювання за допомогою відповідних фітомеліорантів. Описано диференціацію рослинних насаджень за латеральною і радіальною структурами, ефективність яких оцінено за показниками освітленості, запиленості, вологості, шумового тиску тощо. Наведено приклади статистичного моделювання та формалізації фітомеліоративної дії на прикладі зелених насаджень Львова, зокрема в парку ім. І. Франка та Винниківському лісі. З'ясовано, що фітомеліорація, як наукова дисципліна, має потужний потенціал для відновлення екологічних функцій міського середовища. Зокрема, деревні фітоценози здатні знижувати на понад 40 % концентрацію пилу у повітрі, зменшувати шумовий тиск до нормативно допустимих рівнів, пригнічувати розвиток хвороботворних бактерій за рахунок фітонцидності. Запропонована математична модель дає змогу моделювати конструктивні параметри насаджень залежно від поставлених фітомеліоративних завдань, з урахуванням структури і щільності крони, видового складу тощо. Узагальнені результати дають можливість перейти до формування науково обґрунтованої системи проєктування зеленої інфраструктури міста на підставі принципів фітомеліорації. Результати дослідження демонструють доцільність повернення до традицій науково-планового підходу в озелененні міст України із врахуванням новітніх викликів, урбогенних навантажень і кліматичних змін. Практичне впровадження отриманих результатів може стати основою для розроблення ефективних рішень щодо покращення якості міського середовища, охорони здоров'я населення та забезпечення екологічної безпеки урбанізованих територій.

Ключові слова: фітомеліорація; зелена інфраструктура; міське озеленення; геофізичні потоки; фітоценоз-меліорант; санітарно-гігієнічна функція; екологічна безпека; міське середовище.

Вступ / Introduction

У еколого-природоохоронній тематиці міського озеленення значне поширення отримав термін "зелена інфраструктура міста" (ЗІМ), який за своїм змістом відповідає вітчизняному терміну "комплексна зелена зона міста" (КЗЗМ) [11, 15]. У 2018 р. у Києві відбувся Всеукраїнський форум "Зелена інфраструктура міста", на якому практично ніхто із доповідачів не згадав про набутий в Україні реальний досвід формування зеленої ін-

фраструктури впродовж 1950-1980-х років XIX століття. Формувалася КЗЗМ, коли в містах і селищах міського типу було створено і реконструйовано кілька мільйонів гектарів зелених насаджень, побудовано та облаштовано сотні гектарів рекреаційних водойм, взято під охорону держави сотні об'єктів садово-паркового мистецтва.

До початку повномасштабного вторгнення паркобудівництво в Україні активно розвивалося завдяки реалі-

Інформація про авторів:

Кучерявий Володимир Панасович, д-р с.-г. наук, професор. Email: kucheryavy.volodya@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5364-4406>

Генік Ярослав Вячеславович, д-р с.-г. наук, професор, кафедра ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоєкології. Email: yarhenyk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6079-6827>

Кучерявий Володимир Сергійович, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоєкології. Email: kucheryavy.volodya@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1420-9433>

Кендзьора Наталія Зенонівна, канд. с.-г. наук, директор Ботанічного саду НЛТУ України. Email: natali_kend@ukr.net

Гоцій Наталія Данилівна, канд. с.-г. наук, ст. викл., кафедра екологічної безпеки. <https://orcid.org/0000-0002-6108-5963>

Янишин Богдан Михайлович, аспірант, кафедра екологічної безпеки. <https://orcid.org/0009-0006-1134-8709>

Цитування за ДСТУ: Кучерявий В. П., Генік Я. В., Кучерявий В. С., Кендзьора Н. З., Гоцій Н. Д., Янишин Б. М. Наукові засади фітомеліоративної ефективності зеленої інфраструктури міста. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 4. С. 18–27.

Citation APA: Kucheryavyj, V. P., Henyk, Ya. V., Kucheryavyj, V. S., Kendziura, N. Z., Hotsii, N. D., & Ianyshyn, B. M. (2025). Scientific basis of phytomelioration efficiency of green infrastructure of the city. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(4), 18–27.

<https://doi.org/10.36930/40350402>

зації програм з урбаністичного оновлення, зростанню громадської участі та впровадженню принципів сталого розвитку. Серед переваг – підвищення якості громадських просторів та екологічності, однак недоліками залишалися фрагментарність підходів, недостатнє фінансування та нехтування універсальним дизайном.

Наукові основи фітомеліоративної ефективності зеленої інфраструктури міста

Об'єкт дослідження – аналіз ефективності зеленої інфраструктури міста як цілісного явища у системі урбанізованого середовища.

Предмет дослідження – методи і засоби розроблення системи оцінювання фітомеліоративної ефективності зеленої інфраструктури міста на підставі властивостей і функціональних можливостей міських фітоценозів-меліорантів, що дасть змогу покращити екологічний стан урбогенного середовища.

Мета роботи – розробити систему оцінювання фітомеліоративної ефективності елементів зеленої інфраструктури міста на підставі властивостей і функціональних можливостей міських фітоценозів-меліорантів, що дасть змогу покращити екологічний стан урбогенного середовища та забезпечить формування конструктивних моделей насаджень із прогнозованим фітомеліоративним впливом.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати вітчизняні й зарубіжні тлумачення понять "зелена інфраструктура" та "зелена зона міста", що дасть змогу виявити концептуальні підходи до їх розуміння і використання у практиці озеленення;
- систематизувати наукові джерела з дослідження фітомеліоративної ефективності, що дасть змогу окреслити методологічну базу та визначити основні напрями оцінювання;
- дослідити геофізичні потоки (радіальні, латеральні, стаціональні) у межах міських фітоценозів, що забезпечить формування конструктивних моделей насаджень із прогнозованим фітомеліоративним впливом;
- запропонувати систему параметрів для оцінювання санітарно-гігієнічної, інженерно-захисної, рекреаційної та естетичної дії зелених насаджень, що дасть змогу проводити комплексну ідентифікацію фітомеліорантів;
- розробити математичну модель дії фітомеліорантів за умов урбанізованого середовища, що забезпечить наукове обґрунтування процесу проєктування ефективної зеленої інфраструктури;
- обґрунтувати доцільність відновлення планового підходу до формування зеленої інфраструктури на прикладі історичного досвіду міст України, що дасть змогу інтегрувати сучасні підходи з перевіреними практиками зеленого будівництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання зеленої інфраструктури міста та її розвитку набуло великого значення у науковій і практичній діяльності на початку ХХІ ст. і сьогодні його розглядають як інструмент, який дає змогу забезпечити екологічні, економічні та соціальні переваги шляхом впровадження природних (зелених) рішень [8, 9, 12, 13, 18].

Спочатку концепцію зеленої інфраструктури розглядали, насамперед, як механізм підтримки та збільшення кількості та якості екосистемних послуг, що надають міські зелені насадження, як важливий інструмент збереження біорізноманіття в містах. Екосистемні послуги та їх природні та культурні цінності вважають невід'ємною частиною ландшафтно-їдентичності та прос-

трової ємності міської території, а їх надмірна експлуатація є головною загрозою для добробуту людини та просторового розвитку населених пунктів і прилеглих територій. Згодом концепцію зеленої інфраструктури почали розглядати як основу для розроблення та реалізації місцевих стратегій пом'якшення та адаптації до зміни клімату. Дослідження зеленої інфраструктури здійснено у багатьох роботах вітчизняних [7, 8, 9, 14, 15, 18, 23, 24] і зарубіжних [3, 6, 26, 33, 36] науковців.

Так, у роботі [25] автори, досліджуючи зелену інфраструктуру Харкова, дійшли висновку, що на кожного харків'янина припадає 15,5 м² зелених насаджень. Основним видом міських зелених насаджень є парки, що становлять багатопланову об'ємно-просторову композицію, зелені насадження створюють на території міста сприятливі мікрокліматичні і санітарно-гігієнічні умови, але до негативних явищ у Харкові належить факт майже повної заміни трав'яного покриття асфальтовим покриттям, тільки на невеликих ділянках він залишився у вигляді газонів.

Професор М. Назарук [32], аналізуючи зелену інфраструктуру м. Львова, констатує, що серед п'яти природних районів найвищий рівень озеленення припадає на Львівське Розточчя (80 %) та Городоцьку рівнину (22,28 %), а найнижчий – на Львівську улоговину (2,99 %), де розташована забудова передмістя. Автор також стверджує, що місто Львів належить до міст з доброю забезпеченістю зеленими насадженнями – 38 м² на одну особу. На території, зайняті зеленими насадженнями, припадає близько 1/3 площі міста. Упродовж останніх 10 років у місті створено нові парки, зокрема парк ім. Папи Івана Павла II, парк "Благовіщення", новий об'єкт природно-заповідного фонду – ботанічна пам'ятка природи дендропарк Бенедикта Дибовського. Згодом загальна площа парків збільшилася на 9,78 га.

У роботі [3] автори стверджують, що у Європі концепція зеленої інфраструктури тісно пов'язана з концепціями багатофункціональності, зміни клімату та зеленого зростання, особливо за останнє десятиліття. Зелена інфраструктура є частиною широкого спектра політик ЄС, враховуючи регіональний розвиток, зміну клімату, сільське господарство та лісове господарство. Зелена інфраструктура також є частиною останньої Стратегії ЄС щодо біорізноманіття та екологічної стратегії ЄС стосовно просторового планування та змін у землекористуванні.

Ключовим прикладом зеленої інфраструктури в ЄС є мережа Natura 2000, яка є найбільшою координованою мережею природоохоронних територій у світі. Мережа Natura 2000 охоплює понад 18 % суходутної території ЄС та 9 % морської території. У роботі [36] автори стверджують, що політика "зеленої інфраструктури" у Швеції поєднує ідеї, розроблені як у Швеції, так і на рівні ЄС. Шведська політика переважно фокусується не на біорізноманітті, а на багатофункціональності використання земель, тобто на потенціалі збереження біорізноманіття на землях, які переважно не використовуються для цієї мети. Дослідники виділяють сфери, де основну проблему не було належно вирішено. Це, наприклад, обмежені земельні ресурси (враховуючи компроміси щодо їхнього використання), відсутність пріоритетних критеріїв дій та неадекватна місцева інфраструктура.

У роботі [24] автори встановили, що є певні регіональні відмінності використання концепції зеленої ін-

фраструктури в Європі, Америці, Азії. Спрямування практичних досліджень у цій сфері залежить від цілей, функцій та наявних елементів зеленої інфраструктури. Унаслідок цього може змінюватися її методологія. Стратегія зеленої інфраструктури має найбільше використання у країнах Європи і США для забезпечення екологічного підґрунтя економічного розвитку території. Зараз для неї характерно як розвиток вглиб до більшшої деталізації, так і в просторовому сенсі – охоплюючи дедалі більші території. Щодо України, то автори стверджують, що з огляду на відсутність правових механізмів втілення в Україні концепції зеленої інфраструктури доцільно інтегрувати її у ландшафтно-екологічне планування і рекомендувати використовувати на локальному рівні з подальшим поширенням на великі території.

У роботі [33] автори, досліджуючи стійкість міст завдяки зеленій інфраструктурі, розробили концептуальну рамку та інструмент оцінювання для аналізу того, як політика зеленої інфраструктури сприяє міській стійкості, та обговорюють бар'єри та можливості для впровадження. Концептуальна рамка розроблена для аналізу того, як стійкість сприяє розвитку за допомогою шести факторів стійкості: різноманітності, самодостатності та автономії, поліцентричного управління, соціальної згуртованості, навчання та інновацій, а також соціально-екологічної справедливості. Інструментом оцінювання є індекс стійкості, що складається з 30 показників. Авторами використали м. Мадрид (Іспанія), як тематичне дослідження. Їхні результати свідчать про те, що політика планування, яка зосереджена на вразливих районах та містить механізми залучення громадян, є політикою, яка найефективніше сприяє міській стійкості. Вони також визначили, що фінансування та політична воля є основними перешкодами для впровадження політики стійкості і припустили, що запропонована рамка підходить для оцінювання того, якою мірою місцева політика сприяє міській стійкості та запропонували подальше тестування в інших містах.

У роботі [26] польський дослідник вивчав вплив зелених фасадів на різноманітність ссавців, птахів та безхребетних, враховуючи види та вік рослин, що становлять зелений фасад, у місті середнього розміру, розташованому на південному заході Польщі. Було виявлено, що впровадження зелених фасадів значно підвищує біорізноманіття видів порівняно зі стінами без рослинності. На зелених фасадах гніздилися чотири синантропні види птахів: голуб звичайний (*Streptopelia decaocto*), чорний дрізд (*Turdus merula*), горобець хатній (*Passer domesticus*) та вівчар (*Columba palumbus*). Для куніци лісової (*Martes foina*) зелені фасади є мисливським угіддям для птахів та їхніх яєць. Цей простий та ефективний метод створення зелених стін забезпечує користь місцевій дикій природі, створюючи середовище існування, укриття та можливості для корму для окремих видів. Однак автор зазначає, що важко визначити, чи сприяють зелені фасади формуванню екологічних коридорів у міському середовищі. У дослідженні також розглянуто соціальний аспект, пов'язаний зі створенням та обслуговуванням зелених фасадів на обстежених будівлях.

Матеріали та методи дослідження. У процесі дослідження фітомеліоративної ефективності зеленої інфраструктури міста застосовано комплекс взаємодопов-

нювальних методів, що забезпечують реалізацію поставленої мети. До теоретичних методів належать: систематизація та узагальнення наукових джерел з фітомеліорації, критичний аналіз наявних концепцій зеленої інфраструктури та вивчення історичного досвіду озеленення українських міст. Емпіричний блок представлений методами іконографічного та картографічного аналізу для візуалізації просторових особливостей насаджень, екологічно-порівняльним підходом для аналізу стану урбанізованого середовища у вибраних локаціях (м. Львів, парк ім. І. Франка, Винниківський ліс) та тематико-статистичним інструментарієм для моделювання фітомеліоративної дії за комплексом параметрів (освітленість, запиленість, вологість, шумовий тиск) [11]. Результати натурних досліджень були основою побудови формалізованих моделей фітомеліорантів у структурі зелених насаджень.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Нинішній інтерес до питань озеленення міста виник в Україні через появу європейського проєкту "зелена інфраструктура", напроми реалізації якої було обговорено на Всеукраїнському форумі "Зелена інфраструктура для громадян", який відбувся у 2018 р. у Києві за участі представників Євросоюзу. Обговорювали на ньому численні проблеми, зокрема проблему енергобезпеки і варіанти її вирішення. Складається таке враження, що учасники форуму не знайомі із змістом американського проєкту "Зелена інфраструктура". Згодом з'являються наукові роботи про "голубо-зелену" інфраструктуру, в яких немає серйозного аналізу проблеми, а головне – не зрозуміло, хто її має формувати.

Для того, щоб реалізувати ідеї системного озеленення міст як головного фактору формування його "зеленої інфраструктури", потрібно, як на нашу думку, повернутися до практики українського зеленого будівництва 1950-1980-х роках XIX ст., піднести цю справу на державний рівень.

Аналіз концепції "зеленої інфраструктури міста" та "комплексної зеленої зони міста". Для розуміння формування "зеленої інфраструктури" українських міст, варто порівняти українське визначення "зеленої зони міста" (1956 р.) і американське визначення зеленої інфраструктури (1999 р.).

Комплексна зелена зона міста – це науково обґрунтована сукупність територій всередині міста і за його межами, котра містить зелені насадження, водні простори й інші елементи природного ландшафту, які є основним каркасом планувальної структури міста, забезпечуючи формування санувальної, інженерно-захисної, рекреаційної, етико-естетичної та архітектурно-планувальної фітомеліорації з метою створення здорового навколишнього середовища для праці, побуту та відпочинку населення.

"Зелена інфраструктура" – природна система підтримки життя, пов'язана мережею водних шляхів, заболочених місць, лісистих місцевостей, ареалів мешкання диких тварин, інших природних областей; зелених стежок, парків та інших зон; робочих ферм, ранчо і лісів; а також дикої місцевості з іншими відкритими просторами, які підтримують природні екологічні процеси, повітряні і водні ресурси та сприяють здоров'ю та якості життя людей.

Стосовно принципів створення "комплексної зеленої зони" і "зеленої інфраструктури" території міста, то вони загалом спрямовані на створення здорового середовища життя людей.

Принципи виділення і організація КЗЗМ полягають у тому, щоб забезпечити [10, 11, 15, 18]:

1. Планування на науковій основі.
2. Створення "комплексної зеленої зони міста", яка б забезпечила взаємозв'язок зелених насаджень міста та лісопаркової і лісгосподарської частини.
3. Покращення оздоровчого впливу на стан навколишнього середовища міста.
4. Одногодинної транспортної доступності (громадським транспортом) до масивів лісопаркової частини і півторогодинного – до лісгосподарської частини.
5. Максимальної одночасної відвідуваності населення на 1 га території.
6. Наявність оздоровчих установ, автомобільних і пішохідних доріг, водойм у лісопарковій господарчій частині.
7. Комфортність навколишнього середовища в лісгосподарській частині зеленої зони (чисте повітря, сприятливі кліматичні та акустичні умови).
8. Державне планування і фінансування розвитку зелених зон тощо).

Принципи концепції "зелена інфраструктура" мають такий вигляд [3, 6, 24, 25]:

1. Зелена інфраструктура повинна функціонувати як структура для "збереження і розвитку навколишнього середовища і суспільства".
2. Завчасне проєктування зеленої інфраструктури (перед практичним втіленням).
3. "Мета – взаємопов'язаність". Бажаним результатом у застосуванні зеленої інфраструктури є мережа зелених просторів, яка працює як єдине ціле.
4. Зелена інфраструктура повинна функціонувати за допомогою законодавчих документів.
5. Зелена інфраструктура ґрунтується на науковому знанні і знанні суміжних фахових дисциплін, таких як – екологія, міське і регіональне планування, ландшафтна архітектура тощо.
6. Зелена інфраструктура – фінансова інвестиція.

Як бачимо, український і американський підходи до реалізації гуманістичного вирішення проблеми здоро-

вого і сталого середовища життя людей, особливо тих, які проживають у великих містах, подібні, зокрема їхні планувальні наукові підходи, законодавчо фінансове, планувальне та проєктне забезпечення.

Якщо говорити про "зелену інфраструктуру" Львова, то можна стверджувати, що завдяки історичній частині міста, вона є найкращою серед великих українських міст. Це і перший в Україні публічний парк ім. Ів. Франка, і перший в Європі, створений шляхом рекультивації деастрованого ландшафту Замкової гори "Високий замок" (середина XIX ст.), і перший в Україні природний парк, сформований шляхом трансформації міського букового лісу "Залізна вода" (1905 р.) [4, 8, 9]. А якщо говорити про твірну основу "зеленої інфраструктури міста", варто звернути увагу на те, що Львів має виражену радіально-кільцеву систему із двома внутрішніми і одним зовнішнім зеленим кільцем, сформованими переважно із парків [12, 13].

Концептуальний підхід до визначення місця і ролі фітоценозів-меліорантів в удосконалення геофізичних потоків та гуманізації міського середовища. Початок осмислення фітомеліорації (фіто – рослина, меліоро – поліпшення), як наукової дисципліни, припадає на 1950-ті роки XIX ст. і пов'язане з іменем харківського вченого Ю. П. Бяловича, який вивчав структуру і функції у 1930-ті роки XIX ст. [2]. Практичним втіленням фітомеліоративних ідей, йому довелося, коли виникла потреба в залісненні приустьової зони Дніпра після створення каскадів водосховищ [28].

У роботі [2] Ю. П. Бялович обґрунтував суть біохімічних і геофізичних трансформацій у ландшафтах під впливом життєдіяльності новостворених фітоценозів (лісових, лучних). Особливу увагу він приділяв ролі радіальних (вертикальних) і латеральних геопотоків (рис. 1) і питанню управління цими потоками з позиції господарської діяльності шляхом формування санувальної, інженерно-захисної, рекреаційної, етико-естетичної та архітектурно-планувальної фітомеліорації.

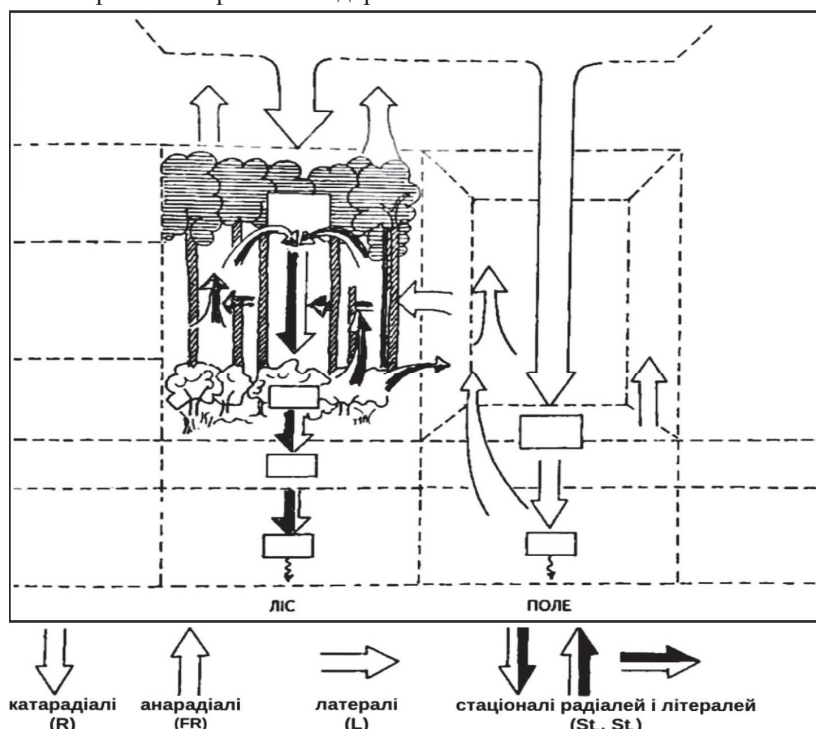


Рис. 1. Радіальні й латеральні потоки та їх стаціональні / Radial and lateral flows and their stationary [2]

Упродовж кількох десятиліть ці наукові розробки видатного українського вченого – учня видатного біогеоценолога В. М. Сукачова (1880-1967 рр.) не були помічені науковою спільнотою, що негативно вплинуло на активніший розвиток цієї наукової дисципліни.

Тільки наприкінці 1980-х – на початку 1990-х років саме життя викликало потребу в реалізації фітомеліоративних проєктів для оптимізації урбогенних та техногенних ландшафтів [16, 17, 20]. На початку 1990-х років появляється перша монографія на тему "Фітомеліорація" [10], а у 2003 р. – підручник для студентів вищих навчальних закладів з однойменною назвою [11].

Фітомеліорація стає основною для досліджень негативних урбогенних процесів. З'явилися десятки кандидатських і докторських дисертацій з оптимізації міського середовища шляхом створення рослинних угруповань з високою природополіпшувальною та оздоровчою здатністю. Тільки на спеціалізований вченій раді НЛТУ України (06.03.01) захищено десятки докторських і кандидатських дисертацій з питань фітомеліорації урбогенного середовища.

Роблять перші спроби оцінювання фітомеліоративної ефективності рослинних угруповань різного функціонального призначення. Формують основні напрями наукової та господарської діяльності: санувальна, інженерно-захисна, архітектурно-планувальна, рекреаційна, етико-естетична фітомеліорації. У межах кожного напрямку досліджують ефективність функціонування зеленої інфраструктури міст, передусім з великим урбогенним навантаженням [14, 18, 19, 34, 38].

Фітомеліоративне регулювання геофізичних потоків у біогеоценозі. О. Л. Бельгард, спрощуючи складену Ю. П. Бяловичем схему меліоративних насаджень для всіх зон земної кулі, об'єднує фітомеліоранти у дві групи [11]:

- ті, що переміщуються з переважанням вертикальної складової (беруть до уваги радіаль), куди належать фітодренажні насадження на надмірно зволжених ґрунтах;
- ті, що переміщуються з переважанням горизонтальної складової (латеральні конструкції).

Фітомеліоранти з переважанням латерально активної функції О. Л. Бельгард [10, 11] диференціює за характером протидії різним геофізичним потокам, зокрема: вітроснігові, вітропилопіщані, вітроводопіщані, вітропилородимові, водні, водно-ґрунтові.

Кожному з цих латеральних потоків відповідають різні методи фітомеліорації. Наприклад, вітроснігова фітомеліорація спрямована проти вітроснігових потоків і полягає в захисті доріг і селищ від снігових заносів шляхом створення снігозахисних смуг.

Великої шкоди комунальному господарству міст завдають водноґрунтові потоки. Більша частина мулу, яка осідає на мертвих поверхнях міст, стверджує В. М. Скробала [18], перетворюється на пил, що призводить до замулення каналізаційної системи Львова. Цим латеральним потокам можуть протистояти протиерозійні насадження.

Бельгард О. Л. [11] вважає, що вітродимові потоки належать до переміщень з переважанням горизонтальної складової. На нашу думку, а вона підтверджується даними інших авторів [20, 30], забруднені потоки повітря мають радіально-латеральний характер, тобто пил піднімається і описується радіалами, а переноситься латералами. Однак і в тому, і в іншому разі шляхом фіто-

меліорації насадженнями можна захистити в історичних центрах архітектурні ансамблі [29], відгородити від промислового атмосферного забруднення санітарно-захисними зонами житлову забудову, а також лікувальні заклади та приладобудівні підприємства, які потребують високої чистоти повітря [5].

Особливості конструкції і структури санувального фітомеліоранту. Санувальна (санітарно-гігієнічна) функція фітоценозів полягає у формуванні конструкції та структури фітоценозів, спрямованої на покращення санітарно-гігієнічних умов життя і відпочинку людей.

Нагромаджено певний матеріал стосовно санітарно-гігієнічній ролі зелених насаджень. Здебільшого це дослідження з фільтрувальної, шумозахисної або кліматополіпшувальної ролі міських насаджень. Обмежену кількість робіт пояснюють недостатніми можливостями натурних досліджень, насамперед їх громіздкістю, відсутністю достатньої кількості порівняльних об'єктів і сучасних експедиційних приладів [15, 18, 27].

Головний недолік цих досліджень – це відсутність характеристики об'єкта з позиції біогеоценозу, тобто взаємопов'язаної і взаємозумовленої геобіологічної системи, оскільки вони висвітлюють тільки окремі аспекти: видовий, організмовий, морфологічний, фізіологічний або господарський. Розглянемо санувальну функцію фітоценотичного покриву з позицій біогеоценотичної і біогеосистемної фітомеліорації.

Знання особливостей руху геопотоків у біогеоценозі та біогеосистемі дає змогу сконструювати такі фітоценози, які б забезпечили потрібну фітомеліоративну ефективність.

Ефективність дії фітомеліоранту прямо залежить від суми його конструктивних і структурних елементів [2]. Цю залежність можна записати такою функцією [11]:

$$FM = f(K, Str), \quad (1)$$

де: FM – фітомеліорант; K – конструкція фітоценозу; Str – структура фітоценозу.

Детальніше цю функціональну залежність можна записати, враховуючи складові елементи конструкції (радіаль, латераль, стаціональ) і структури (видовий склад: густина насадження, особливості форми росту, текстура, парцелярність, ярусність), що матиме такий вигляд:

$$FM = f(R, L, S, A, N, W, T, P, H), \quad (2)$$

де: R – радіаль; L – латераль; S – стаціональ; A – видовий склад; N – густина насадження; W – ростові особливості; T – текстура; P – парцелярність; H – ярусність (горизонти).

Як бачимо, фітомеліорант – це складна статична і динамічна система, яка розвивається в часі та просторі. Ефективність застосування санувального впливу ценозу-фітомеліоранту залежить насамперед від його структури, яка або сприяє, або обмежує рух радіальних і латеральних потоків.

Як свідчать дані дослідників санувальних функцій зелених насаджень [5, 20, 30], багато перетворень, що відбуваються у фітоценозі, переважно залежать від текстури. Тому виділяють такі основні морфологічні групи біологічної інфраструктури фітоценозу: а) листя; б) гілки; в) кора; г) коріння.

В основу проведеної статистичної ідентифікації конкретних фітомеліорантів покладено наукову інтуїцію, зумовлену наявністю систематизованого експериментального матеріалу і чітким уявленням про межі мате-

матичних можливостей у теоретичному дослідженні оптимізації урбогосекобіоти. При цьому як основну сукупність досліджуваних характеристик фітосередовища взято параметри освітленості E , інтенсивності сонячної енергії S , температури t , вологості C і запиленості P повітря під впливом полів швидкості V повітряного басейну фітомеліоранту. За умов практичного розроблення загального виду математичної моделі фітомеліоранту FM розглядаємо його як систему цих факторів [11]

$$FM = f(E, S, t, C, V, P). \quad (3)$$

Для просторового аналізу градієнтів розподілу величини освітленості [14] E намету досліджуваної бучини і температурно-вологісних полів (t , c) фітосередовища різних деревних асоціацій здійснено експериментальні дослідження відповідних ознак вертикального розрізу рослинних угруповань.

За цих умов вивчення загальної структури фітоценозу, який характеризується диференційованістю і розподіленою неоднорідністю деревних порід, розглянемо кількісні закономірності проникання сонячної енергії S під намет однотипних насаджень. При цьому порівняльний характер досліджень стосовно намету бучини зумовив потребу розрахунку коефіцієнта пропускання сонячної енергії порівняно з відкритим простором.

Фітомеліоранти різної густоти впливають на зменшення швидкості панівних вітрів. За умов поширення швидкісних полів повітряних мас відбувається формування нестійкої топології їх запиленості [19, 29]. При цьому диференційовані підструктури однорідних насаджень, які відрізняються коефіцієнтом ажурності L , по-різному впливають на зменшення запиленості досліджуваного фітосередовища.

Отримані у спосіб експериментальних досліджень дані [10, 11] стану основних факторів повітряного сере-

довища ценозу подають у вигляді математичної моделі ідентифікувального фітомеліоранту [11]

$$FM(x) = \frac{1}{N} FM(x) [H(x - x_1) - H(x - x_2)], \quad (4)$$

складовими частинами якого є рівняння лінії $FM(x)$, що проходить через кожні дві послідовні експериментальні вибірки FMn і $FM(n+1)$:

$$FM(x) = FM(n+1) - FM(n) - \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} + FM_n, \quad (5)$$

а також одинична функція Хевісайда:

$$H(x) = 0, x < 0, 1, x > 0, \quad (6)$$

де: $Xn, X(n+1)$ – дві послідовні дискретні величини, які становлять коефіцієнт ажурності дерев L , вертикальну 1 і горизонтальну а координати простору: $x = (L, 1, d)$.

Як вихідна інформація для практичної реалізації математичної моделі фітомеліоранту використано оцінювання математичного очікування FM кожної експериментальної вибірки досліджуваного параметра [11]

$$FM_i = \frac{n_i}{NFM_{ic}} = \frac{1}{2N} [(FM_{min} + FM_{max}) \cdot n_i], \forall i \in N, \quad (7)$$

де: N – загальна кількість спостережень в експериментальній вибірці; n_i – кількість числових значень, які потрапили в n -й інтервал експериментальної вибірки; FM_{min}, FM_{max} – нижня і верхня межі 1-го інтервалу.

Поряд з тепловим забрудненням навколишнього середовища під впливом сонячної енергії, антропогенних поверхонь міста і запиленості повітря істотне значення у формуванні оптимальних умов фітосередовища набувають питання дослідження закономірностей поширення звуку в межах території фітомеліоранту, а також в ізолюваній ним зоні (рис. 2).

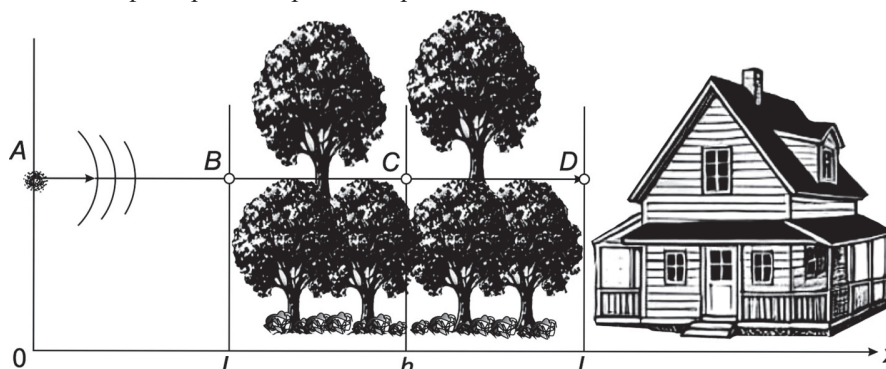


Рис. 2. Графік рівнів шуму в парку ім. І. Франка у Львові (розріз найбільш відвідуваної зони): 1 – рівень шуму на території парку; 2 – максимально допустимий рівень шуму / Noise level graph in the Ivan Franko Park in Lviv (section of the most visited area): 1 – noise level in the park; 2 – maximum permissible noise level

Для дистанції AB

$$\frac{e^p}{e^x} = -P_1(w). \quad (8)$$

Для дистанції BC

$$\frac{e^p}{e^x} = -P_2(w), \quad (9)$$

де: $P_1(w)$ – емпіричний коефіцієнт ослаблення шуму відносно дистанції AB ; $P_2(w)$ – емпіричний коефіцієнт ослаблення шуму парковим насадженням; w – частота джерела шуму.

Проінтегрувавши рівняння (6), отримаємо [11]

$$P(x) = -P_1(w)x + c_1,$$

де константу інтегрування c_1 знаходимо з умови

$$P(x)x = 0 = q_1. \quad (11)$$

Визначивши шукану константу $c_1 = q_1$, отримаємо закон розподілу шуму $P(x)$ для досліджуваної ділянки AB :

$$P(x) = -P_1(w)x + q_1. \quad (12)$$

Аналогічно визначимо співвідношення для розподілу шуму в парковому насадженні з просторовою координатою $ВД$:

$$P(x) = -P_2(w)x + c_2, \quad (13)$$

де константа інтегрування c_2 , визначена з умови рівності тисків при $x=1$:

$$P_1(w)x + q_1 = -P_2(w)x + c_2, \quad (14)$$

$$\text{тоді} \quad c_2 = P_2(w)l - P_1(w)l + q_1. \quad (15)$$

Для визначення просторової координати (ширини) паркового насадження, потрібного для ослаблення інтенсивності шуму антропогенних джерел в m разів, подамо розподіл інтенсивності звуку на досліджуваній ділянці AD у вигляді композиційного співвідношення [11]

$$P_x = P_2(w) \cdot (-1-x) - P_1(w)l + q_1. \quad (16)$$

З урахуванням заданого емпіричного коефіцієнта паркового насадження, що знижує інтенсивність шумових тисків в m разів

$$P(n)q_1 - m_1, \quad (17)$$

визначаємо шукану просторову координату (ширину)

$$l = \frac{q_1(1-m_1) + l(P_2(w) - P_1(w))}{P_2(w)}. \quad (18)$$

Унаслідок узагальнення проведених теоретичних досліджень фітомеліоранту урбогенного середовища розроблено методичні основи статистичної ідентифікації сукупності його основних факторів і проведено визначення необхідної просторової горизонтальної координати фітомеліоративних насаджень для зменшення кількісних значень інтенсивності антропогенного шуму.

У старому буковому Винниківському лісі, коли дерева покриті листям, кількість світла, яке проникло крізь крони, становила 49 %; у дубовому – 35 %; березовому 20-30 %; ялицевому – 20 %; ялиновому – 40 %; сосновому – 22-40 %.

Зелені насадження становлять природну перешкоду для проникання вітру всередину фітоценозу. Ефективність просування в латеральному напрямку залежатиме від щільності стіни насадження (якості фронтальної проєкції), а проникнення радіаційного потоку – від густоти крони (якості горизонтальної проєкції). У листяному та змішаному насадженнях сильний вплив на швидкість вітру виявляється в осінньо-зимовий період, оскільки безлистий стан сприяє проникненню вітру всередину фітоценозу. Якщо швидкість вітру над лісом становить 4 м/с, то всередині його в облiствлений період – близько 1 м/с, а в безлистий період – 1,5-2 м/с. Швидкість вітру у листяному лісі на висоті 1,3 м стосовно відкритого простору становить приблизно 25-40 %, для хвойного лісу цей показник значно нижчий – 10-20 %. Рідко фіксують у глибині лісу швидкість вітру, яка перевищує 0,75 м/с (25 % відкритого простору). В інших випадках вона змінюється в межах 0,05-0,03 м/с (2,8-16,6 %).

Дальність проникнення вітру в глибину насадження залежить від горизонтальної і вертикальної зімкнутості деревостану, висоти, а головне – від наявності і щільності узлісся, які є основними факторами активності руху радіальних і латеральних потоків.

Встановлено, що під деревами запиленість повітря менша, ніж на відкритій території: у травні – на 20 %, у червні – на 21,8 %, у липні – на 34,1 %, у серпні – на 27,7 % й у вересні – на 38,7 %. За весь вегетаційний період середня концентрація пилу на відкритому майданчику становила 0,9 мг/м³ повітря, а під деревами – 0,52 мг/м³, або ж на 42,2 % менше.

Міське повітря містить велику кількість хвороботворних бактерій. Наприклад, в 1 м³ повітря Парижа було виявлено в середньому 4790 бактерій за рік, тоді як у сільській місцевості – 345. Спостереженнями встанов-

лено, що повітря парків містить бактерій у 200 разів менше, ніж повітря вулиць.

Це пояснюють тим, що багато рослин виділяє леткі речовини (фітонциди), здатні вбивати або зменшувати розвиток хвороботворних бактерій, і отже, сприяти оздоровленню навколишнього середовища людини (табл. 1).

Таблиця. Фітонцидність дерев і чагарників /
Phytoncidity of trees and shrubs

Ступінь фітонцидності	Вид деревних порід і чагарників
Найбільш фітонцидний (5 балів)	Дуб звичайний, клен гостролистий
Сильнофітонцидний (4 бали)	Береза повисла, береза пухнаста, сосна звичайна, ялина звичайна, осика, ліщина, черемха, ялівець звичайний, чорниця, малина
Середньофітонцидні (3 бали)	Модрина сибірська, липа серцелиста, вільха чорна, кедр сибірський, горобина, карагана, жимолость татарська
Слабофітонцидні (2 бали)	Бруслина, в'яз
Найменш фітонцидні (1 бал)	Бузина чорна, крушина

Як видно з таблиці, серед дерев, котрі найчастіше використовують у міському озелененні, є породи, котрі належать до середньо-, сильно- і найбільш фітонцидних, що сприяє пригніченню розвитку хвороботворних бактерій і виконує санувальну функцію урбогенного середовища.

Обговорення результатів дослідження. У вітчизняних та зарубіжних наукових працях значну увагу приділяють вивченню міської зеленої інфраструктури, фітомеліоративної ролі насаджень та екологічної безпеки. Цей аналіз зосереджено на українських дослідженнях.

Наукові розвідки автора [38] зосереджені на концептуальних основах озеленення малих міст у контексті їх екозбалансованого розвитку, зокрема на прикладі малих міст Київської області. Дослідження охоплюють теоретичні, нормативно-правові та термінологічні аспекти формування міських зелених насаджень. Також проведено оцінювання та ранжування малих міст Київщини за поточним та ретроспективним станом їх територій, а також за прогнозованими змінами екозбалансованості за умови реалізації показників генеральних планів. Вивчено тренди екологічної стабільності міських територій, враховуючи показники стійкості, стабільності, озеленення та розподілу наземного покриття. Обґрунтовано стратегію озеленення, що має ґрунтуватися на екологічних вимогах та концепції компактного зеленого міста у парковому середовищі.

У роботі [35] автор проаналізувала фітомеліоративну функцію зелених насаджень у Дніпрі, ранжуювши парки за рівнем забруднення повітря. Результати показали, що техногенне забруднення (за вмістом зольних елементів та сірки у листках різних видів дерев) є найістотнішим у парку Пам'яті та Примирення, а найменшим – у парку ім. Ю. Гагаріна, хоча значних відмінностей між парками не виявлено. Найнижчий вміст загальної води в листках деревних рослин (як індикатора стану доквілля) зафіксовано у парку Пам'яті та Примирення, тоді як найвищий – у парку ім. Ю. Гагаріна.

Дослідження автора [11] щодо фітомеліоративної ефективності зелених насаджень у Львові показали, що в урбанізованих екосистемах вона залежить від їх за-

гальної площі та значущості кожного фітоценозу. Аналіз коефіцієнта фітомеліоративної ефективності насаджень комплексної зеленої зони Львова виявив, що найбільше значення (6,5-7,8 балів) характерне для паркових насаджень. У садах і скверах цей показник не перевищує 3,0 бали, а для центральної історичної частини міста становить тільки 0,68 бала.

Подібні дослідження у Львові здійснювали Н. Лукянчук та Г. Мартинюк [21], які запропонували внести параметр "коефіцієнт фітомеліоративної ефективності насаджень" до розрахунку індексу екологічного виміру збалансованого розвитку міської екосистеми. Вони проаналізували архітектурно-планувальну ситуацію Львова, визначили середньодобову інтенсивність автомобільного руху та вивчили фітомеліоративну роль насаджень вздовж вулиць Городецької, Івана Франка та Євгена Коновальця, встановивши ступінь виконання фітоценозами своїх функцій.

Досліджуючи екологічну безпеку в садово-парковому господарстві, автор [22] наголошує на значенні штучних насаджень як ключового чинника стабільності подальшого розвитку екологічної безпеки в Україні. Для підвищення рівня екологічної безпеки насаджень рекомендовано оптимізувати використання деяких видів в озелененні присадибних ділянок. Відмовлятися від них повністю недоцільно, оскільки половина цих видів є місцевими і, разом з іншими чужорідними видами, виконують важливі екосистемні функції, але зазначено, що подальші дослідження мають бути спрямовані на розроблення екологічно обґрунтованих рекомендацій щодо управління популяціями токсичних рослин у міських екосистемах для зменшення їхнього негативного впливу. Акцентовано на тому, що вуличні та паркові насадження відіграють важливу роль у покращенні стану міського довкілля та його безпеці, тому правильний підбір деревних і чагарникових рослин для озеленення може значно покращити умови життя та праці.

У роботі [37] наведено досягнення взаємовигідних результатів між зростанням міст та їх озелененням, насамперед охарактеризовано роль екологічного управління. Автори вважають, що конфлікт між зростанням міст та екологічною стійкістю є нагальною проблемою. Швидке розширення міст перетворює природні ландшафти на міське середовище, що призводить до виснаження ресурсів, втрати біорізноманіття та збільшення забруднення. Країни, що розвиваються, зараз переживають пришвидшене зростання міст, що загострює напруженість між розвитком міст та захистом навколишнього середовища. Окрім цього, відносно нерозвинені економічні умови в цих країнах часто призводять до пріоритетності економічних питань, тоді як екологічні проблеми часто відходять на другий план. Така динаміка робить навколишнє середовище країн, що розвиваються, особливо вразливим до негативного впливу зростання міст. Ця ситуація вказує на нагальну потребу в стратегіях, які б збалансували розширення міст з екологічною відповідальністю. Міська зелень є важливим показником екологічного благополуччя, що сприяє більшій стійкості в міських районах. Отже, пріоритетність озеленення міст поряд із їх зростанням є важливою для сприяння сталому розвитку, особливо в країнах, що розвиваються. Ці результати свідчать про те, що ефективне екологічне управління може пом'якшити негативні наслідки економічного розширення, сприяючи

"взаємно вигідному" взаємозв'язку між розвитком міст та озелененням. Політики повинні надавати пріоритет розбудові управлінського потенціалу, адаптивним до етапів втручання та міжміській співпраці для збалансування розвитку та сталого розвитку.

У роботі [31] автори, спираючись на аналіз вітчизняних та зарубіжних наукових робіт, розглянули поняття, ключові компоненти та класифікацію екологічної інфраструктури (на прикладі Львова), доводячи її роль як основного засобу для досягнення сталого розвитку.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – отримала подальший розвиток методика оцінювання фітомеліоративної ефективності зелених насаджень, які мають потужний потенціал для відновлення екологічних функцій міського середовища та винятково важливого значення зеленої інфраструктури за умов кліматичних змін.

Практична значущість результатів дослідження – результати дослідження можна використати під час планування міського озеленення для врахування всіх функцій міських фітоценозів-меліорантів, зокрема – санувальної, інженерно-захисної, рекреаційної, етико-естетичної та архітектурно-планувальної функцій.

Висновки / Conclusions

Розроблено систему оцінювання фітомеліоративної ефективності елементів зеленої інфраструктури міста на підставі властивостей і функціональних можливостей міських фітоценозів-меліорантів, що дало змогу покращити екологічний стан урбогенного середовища та забезпечило формування конструктивних моделей насаджень із прогнозованим фітомеліоративним впливом. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Проведений аналіз показав, що поняття "зелена інфраструктура міста" та "комплексна зелена зона міста" мають споріднений зміст і спрямовані на формування екологічно збалансованого, здорового і функціонально повноцінного міського середовища. Водночас вітчизняна наукова і практична традиція зеленого будівництва, що розвивалася у 1950–1980-х роках, залишається маловивченою та недостатньо інтегрованою у сучасні підходи.
2. З'ясовано, що фітомеліорація є ефективним інструментом покращення урбанізованого середовища, здатним впливати на геофізичні потоки, мікроклімат, якість повітря, рівень шуму, бактеріальне забруднення та загальний екологічний стан міста. Запропонована система оцінювання фітомеліоративної ефективності дає змогу визначати функціональну придатність міських фітоценозів для виконання конкретних меліоративних завдань.
3. Встановлено, що ефективність фітомеліорантів залежить від їхньої структури та конструкції, зокрема видового складу, густоти, ярусності, текстури, парцелярності та морфологічних особливостей. Формалізація цих характеристик у математичних моделях дає змогу обґрунтовано прогнозувати санувальний, шумо-захисний, пилофільтрувальний та інші ефекти рослинних угруповань.
4. Результати дослідження підтвердили доцільність системного, науково обґрунтованого підходу до планування зеленої інфраструктури міст з урахуванням фітомеліоративних властивостей насаджень. Особливо важливою є потреба в узгодженні теоретичних підходів з ре-

альними практиками озеленення, що базуються на принципах просторової інтеграції, доступності, багатофункціональності та екологічної ефективності.

Отримані результати можна використати для вдосконалення архітектурно-планувальної структури зеленої інфраструктури міста, обґрунтування нормативно-правових рішень у сфері міського озеленення, а також для підготовки практичних рекомендацій зі створення та реконструкції зелених зон з підвищеним фітомеліоративним потенціалом.

References

1. Bilous, V. I. (2001). Garden and park art. Kyiv: Scientific World, 299 p. [In Ukrainian].
2. Byallovich, Y. P. (1973). Bioecological bases of the theory of forest systems. In: *Problems of biogeocoecology*, 47–57. [In Russian].
3. Chatzimontor, A., Apostolopoulou, E., & Mazaris, A. D. (2020). A review of green infrastructure research in Europe: challenges and opportunities. *Landscape and Urban Planning*, 198, article ID 103775. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103775>
4. Complex greening of settlements (1964). Kiev: Budivelnik, 48 p. [In Russian].
5. Gnativ, P. S. (2003). Adaptation of woody plants in the urban ecosystem of Lviv. *Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 2, 108–113. [In Ukrainian]. URL: http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Nauk-Praci-LAN-NU/2003_2/LAN_2_All.pdf
6. Hussein, J., Kumble, P., & Hanson IV, H. W. (2023). A Study of Green Infrastructure in European Cities: Opportunities and possibilities: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Regional and City Planning*, 34(3), 270–285. <https://doi.org/10.5614/jpwk.2023.34.3.3>
7. Kucheriavii, V. P., Henyk, Y. V., Kucheriavii, V. S., Shuplat, T. I., & Hotsii, N. D. (2023). Ecospatial and thermophysical features of the formation of the "heat island; Lviv city center and the vitality of woody plants. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(3), 23–33. <https://doi.org/10.36930/40330304>
8. Kucheryavii, V. A. (1981). Green zone of the city. Kiev: Scientific thought, 248 p. [In Russian].
9. Kucheryavii, V. A. (1984). Natural environment of the city. Lviv: Higher school, 142 p. [In Russian].
10. Kucheryavii, V. A. (1991). Urboecological foundations of phytomelioration. T II. Phytomelioration. Moscow: NT "Information. 288 p. [In Ukrainian].
11. Kucheryavii, V. P. (2003). Phytomelioration. Lviv: Svit, 540 p. [In Ukrainian].
12. Kucheryavii, V. P. (2008). Gardens and parks of Lviv. Lviv: Svit, 360 p. [In Ukrainian].
13. Kucheryavii, V. P. (2017). Landscape architecture. Lviv: Novyi Svit – 2000, 520 p. [In Ukrainian].
14. Kucheryavii, V. P. (2018). History of landscape architecture. Textbook. Lviv: Novyi Svit – 2000, 720 p. [In Ukrainian].
15. Kucheryavii, V. P. (2020). Urban ecology. Lviv: Novyi Svit – 2000, 460 p. [In Ukrainian].
16. Kucheryavii, V. P. (2023). General ecology: a textbook. Part 1. Lviv: Novyi Svit – 2000, 290 p. [In Ukrainian].
17. Kucheryavii, V. P. (2023). General ecology: a textbook. Part 2. Lviv: Novyi Svit – 2000, 340 p. [In Ukrainian].
18. Kucheryavii, V. P., & Kucheryavii, V. S. (2019). Greening of settlements. Lviv: Novyi Svit – 2000, 666 p. [In Ukrainian].
19. Landsberg, G. E. (1983). Climate of the city. Lvov: Gidrometeoizdat, 248 p. [In Russian].
20. Laptev, A. A. (1985). Protection and optimization of the environment by the method of landscape architecture and phytomelioration. Moscow: NTO of communal services and household services, 50 p. [In Russian].
21. Lukyanchuk, N., & Martynyuk, H. (2018). Vegetative reclamation efficiency of street phytocoenoses as one of the parameters of the environmental measurement of balanced development of the city. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 14, 217–222. <https://doi.org/10.15421/411630>
22. Makarchuk, V. V. (2024). Legal aspects of environmental safety in horticulture. Current problems, paths and prospects of the development of landscape architecture, gardening and park management, urban ecology and phytomelioration. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference (26 September 2024). Bila Tserkva, 133–135. [In Ukrainian]. URL: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/12601/1/Pravovi_aspekty_e.pdf
23. Maksymenko, N. V. (Ed.), & Shkaruba, A. D. (2022). Green & Blue Infrastructure in Post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience: collective monograph. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 400 p. [In Ukrainian]. URL: https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2022/12/kolektivna_monografiya_zeleno-blakitna_infrastruktura_v_mistah_postradjanskogo.pdf
24. Maksymenko, N. V., & Burchenko, S. V. (2019). Theoretical Basis of the Green Infrastructure Strategy: International Experience. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, 31, 16–25. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-02>
25. Maksymenko, N. V., Gololobova, O. O., Shcherban, V. I., & Pohorila, M. V. (2021). Introduction of sustainable plant components in green infrastructure in the context of nature-oriented solutions. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, 35, 58–71. [In Ukrainian]. URL: https://journals.urau.ua/ludina_dov/article/view/252024
26. Oloś, G. (2023). Green facades support biodiversity in urban environment – A case study from Poland. *Journal of Water and Land Development*, 59 (X – XII), 257–266. <https://doi.org/10.24425/jwld.2023.148450>
27. Polevii, A. M., Bozhko, L. Yu., & Volvach, O. V. (2004). Fundamentals of agrometeorology: Lecture notes. Odesa: TES Publishing House, 150. [In Ukrainian]. URL http://eprints.library.odessu.edu.ua/id/eprint/4498/1/PolevoyAM_BozkoLY_VolvachOV_Osnovi_agrometeorologii_KL_2004.pdf
28. Protective zone of the Dnipro River. (1962). Kiev: UASN, 192 p. [In Russian].
29. Rodichkin, I. D. (Ed.). (1990). Landscape architecture. Architects brief guide. Kiev: Budivelnik, 336. [In Russian].
30. Rubtsov, L. I., & Laptev, A. A. (1968). Handbook on green building. Kyiv: Stroitel, 280 p. [In Russian].
31. Shcherba, V., & Pylypovych, O. (2023). Ecological infrastructure as a tool for sustainable development of cities. Geographical education and science: challenges and advancement. Proceedings the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 140th Anniversary of Geography at Lviv University (Lviv, 18–20 May 2023). Lviv: Prostir-M, 3, 68–72. [In Ukrainian]. URL: https://www.researchgate.net/publication/371013099_ekologichna_infrastruktura_ak_instrument_dosagnenna_stalogo_rozvitku_u_mistah_ecological_infrastruktura_as_a_tool_for_sustainable_development_of_cities
32. Storozhuk, V. M., Batluk, V. A., Nazaruk, M. M. (2006). Industrial ecology: Textbook. Lviv: Ukrainian Academy of Printing, 574 p. URL: http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/2618/6_Promislova_ekologiya_chast_1.pdf
33. Suárez, M., Rieiro-Díaz, A. M., Alba, D., Langemeyer, J., Gómez-Baggethun, E., & Ametzaga-Arregi, I. (2024). Urban resilience through green infrastructure: A framework for policy analysis applied to Madrid, Spain. *Landscape and Urban Planning*, 241, article ID 104923. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104923>
34. Urban planning. (2002). Planning and development of urban and rural settlements: DBN 360-92. Kyiv: State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine. State Construction Norms of Ukraine, 108 p. [In Ukrainian]. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_360_92_ua/1-1-0-116
35. Viktorova, V. V. (2021). Justification of the phyto-reclamation role of plantations and phyto-indication of air quality in parks on the right bank of the city of Dnipro: Masters thesis. Dnipro State Agrarian and Economic University, 83 p. [In Ukrainian]. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/6309/1/%D0%92%D1%96%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%92.%D0%94.%20%28pdf.io%29.pdf>

36. von Post, M., Knaggard, A., Alkan Olsson, J., Olsson, O., Persson, A. S., & Ekroos, J. (2023). The Swedish green infrastructure policy as a policy assemblage: What does it do for biodiversity conservation? *People and Nature*, 5(2), 839–851. <https://doi.org/10.1002/pan3.10456>
37. Wang, Jie, Kong, Weilong, & Han, Wenjing. (2025, October). Achieving win-win outcomes between urban growth and urban greening: The role of environmental governance. *Applied Geography*, Vol. 183, article ID 103735. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2025.103735>
38. Zibtseva, O. V. (2021). Conceptual Foundations of Green Space Systems of Small Towns of the Kyiv Region in the Context of Sustainable Development. Abstract of the dissertation of the Doctor of Agricultural Sciences. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 45. [In Ukrainian]. URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/9886>

V. P. Kucheryavyj¹, Ya. V. Henyk¹, V. S. Kucheryavyj¹, N. Z. Kendziora¹, N. D. Hotsii², B. M. Ianyshyn²

¹ National Forestry University of Ukraine, Lviv, Ukraine

² Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

SCIENTIFIC BASIS OF PHYTOMELIORATION EFFICIENCY OF GREEN INFRASTRUCTURE OF THE CITY

The article substantiates the scientific principles of assessing the phyto-reclamation efficiency of the city's green infrastructure as a key factor in improving the urban environment. The relevance of the study is due to the growing environmental, social and spatial challenges associated with the degradation of urban green space, especially in the context of the loss of the traditions of planned greening in Ukraine since the 1990 s. The authors offer a theoretical and methodological basis for a comprehensive analysis of the functions of urban phytocenoses-reclamations, in particular, remedial, engineering-protective, recreational, ethical-aesthetic and architectural-planning. The work provides a critical analysis of domestic and foreign concepts of "green infrastructure of the city" and "complex green zone of the city", traces the historical features of the formation of greening in Ukrainian cities in the 1950 s–1980 s. It was found that despite the active borrowing of European approaches, in particular the concept of "Green Infrastructure", most modern domestic projects do not take into account the accumulated experience, do not have a systematic approach to the organization of green zones and do not rely on phytomeliorative science. The study used a set of methods: analytical, iconographic, cartographic, ecological-comparative, mathematical-statistical. Particular attention was paid to the study of geophysical flows within phytocenoses and the possibilities of their regulation using appropriate phytomeliorants. The differentiation of plant stands by lateral and radial structure is described, the effectiveness of which was assessed by indicators of illumination, dustiness, humidity, noise pressure, etc. Examples of statistical modeling and formalization of phytomeliorative action are given on the example of green stands in Lviv, in particular in the I. Franko Park and Vynnyky Forest. It was found that phytomelioration as a scientific discipline has a powerful potential for restoring the ecological functions of the urban environment. In particular, tree phytocenoses are able to reduce the concentration of dust in the air by more than 40 %, reduce noise pressure to regulatory permissible levels, and suppress the development of pathogenic bacteria due to phytocidity. The developed formulas allow modeling the structural parameters of plantations depending on the set phytomelioration tasks, taking into account the structure of the crown, density, species composition, etc. The generalized results allow us to proceed to the formation of a scientifically sound system for designing the city's green infrastructure based on the principles of phytomelioration. The article demonstrates the feasibility of returning to the traditions of a scientific and planning approach in the landscaping of Ukrainian cities, taking into account the latest challenges, urban loads and climate change. The practical implementation of the results obtained can become the basis for developing effective solutions to improve the quality of the urban environment, protect the health of the population and ensure the environmental safety of urbanized areas.

Keywords: phytomelioration; green infrastructure; urban greening; geophysical flows; phytocenosis-meliorant; sanitary and hygienic function; environmental safety; urban environment.