

DOI: 10.18372/2415-8151.25.16801

УДК 712.4.01

РОСЛИНИ ДЛЯ БІОФІЛЬНОГО ДИЗАЙНУ В ЗЕЛЕНОМУ БУДІВНИЦТВІ

Кривомаз Тетяна Іванівна ¹, Тищенко Оксана Василівна ²,
Сулейманов Ісмет Емільович ²

¹ докт. техн. наук, професор,

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна
e-mail: ecol@i.ua, orcid: 0000-0002-4161-9702

² к.б.н., доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННЦ «Інститут біології та медицини», Київ, Україна
e-mail: oksana_t@ukr.net, orcid: 0000-0002-5709-1252

³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННЦ «Інститут біології та медицини», Київ, Україна,
e-mail: yungleprechaun@gmail.com, orcid: 0000-0003-2201-4983

Анотація. Досліджено шляхи використання рослин для біофільного дизайну в зеленому будівництві. **Мета.** Визначити актуальні напрямки практичного застосування принципів біофільного дизайну в контексті зеленого будівництва фахівцями у галузях будівництва, архітектури та садово-паркового господарства для покращення побудованого середовища та урбанізованого простору.

Методологія. Інноваційні технології зеленого будівництва та принципи біофільного дизайну.

Результати. Проаналізовано сучасні напрямки розвитку зеленого будівництва і біофільного дизайну та виявлено сфери перетину обох концепцій. Вони тісно пов'язані із захистом здоров'я та безпеки людей, підвищенням якості та комфорту побудованого середовища, збереженням довкілля. Обидві технології також передбачають функціональне та естетичне використання рослин. Оцінено перспективи та ризики застосування рослин на урбанізованих територіях. Встановлено перспективні напрямки розвитку біофільного дизайну в узгодженні з концепцією зеленого будівництва.

Наукова новизна. Визначено спільні соціальні, екологічні та економічні переваги зеленого будівництва та біофільного дизайну. Встановлено, що внаслідок застосування цих технологій підвищується комфортність проживання навіть в умовах підвищеної щільності на урбанізованих територіях. Виявлено перспективні напрямки біофільних методик в узгодженні з міжнародною тенденцією зеленої трансформації міст внаслідок пандемічних загроз.

Практична значущість. Наведено переліки видів рослин для покращення мікроклімату та очищення повітря урбаністичних просторів, для вертикального озеленення інтер'єрів та екстер'єрів. Охарактеризовано закономірності впливу рослин на здоров'я та самопочуття людей. Рекомендовано керуватись вимогами функціональності та безпеки, дотримуватись раціонального балансу між місцевими рослинами та видами з інших регіонів на користь перших.

Ключові слова: біофільний дизайн; зелене будівництво; побудоване середовище; урбаністичний простір; екологічна безпека; кліматичні зміни.

ВСТУП

Будівельна галузь відіграє ключову роль у забезпеченні цілей ООН, враховуючи значні економічні, екологічні та соціальні наслідки, пов'язані з побудованим середовищем [28]. За прогнозами Світової ради зеленого будівництва до 2060 року будівельний фонд подвоїться, і 70% населення планети проживатимуть у містах [30]. Сектор будівництва відповідальний за 40% глобальних викидів вуглецю та 50% відходів на звалищах [27]. Будівлі використовують 14% питної води, 40% енергії та сировини, що видобувається у світових масштабах [13]. Зростаючий попит будівельного сектора на природні ресурси прискорює кліматичні зміни, а неякісне побудоване середовище негативно впливає на здоров'я та добробут людей. Тому вже до 2030 року заплановано вдвічі скоротити вуглецеві викиди побудованого середовища, а від будівельної галузі очікують конкретні рішення для боротьби з кліматичною кризою [27]. Зелене будівництво (green construction, green building, ecological building) є дієвим інструментом для досягнення цієї амбітної мети, адже всі його аспекти націлені на мінімізацію негативного впливу будівельної галузі на навколишнє середовище. У тісному взаємозв'язку із концепцією зеленого будівництва сформувались принципи біофільного дизайну (biophilic design), що передбачає інтеграцію природних елементів в будівлі для позитивного впливу на здоров'я та добробут людей.

Концепції зеленого будівництва та біофільного дизайну набули особливої актуальності внаслідок пандемії COVID-19, яка показала вразливість людей в урбанізованому просторі та виявила необхідність змін у побудованому середовищі. Наразі висувуються особливі вимоги до будівель та облаштування громадських просторів для уникнення скупчень людей та дотримання соціальної дистанції. Протипандемічні заходи в різних країнах світу свідчать про загальну міжнародну тенденцію «зеленого відновлення міст». Міська рада Монреалю розглядає кризу COVID-19, як стимул для поліпшення привабливості центральних районів шляхом розширення тротуарів, пішохідних зон та зелених насаджень для забезпечення соціального дистанціювання. Зелені зони у Парижі виступали у ролі «сховищ» під час карантину. У США кількість відвідувачів парків різко зросла у цей період: у Далласі на 35%, а у Пенсільванії — на 165% [5]. У зв'язку зі збільшенням щільності міст, зміною стилю взаємодії людей, кліматичними змінами та погіршенням стану довкілля актуальними стають високі критерії

якості параметрів будівель та створення максимально комфортних умов для їх користувачів. В цьому контексті найефективнішим інструментом трансформації урбанізованого середовища відповідно до екобезпеки та нового способу існування людей стають стандарти зеленого будівництва та принципи біофільного дизайну.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Назва «зелене будівництво» викликає прямі асоціації з рослинами та озелененням, але концепція зеленого будівництва охоплює всі етапи реалізації проєктів будівництва та життєвого циклу будівель. Узагальнені категорії стійкості зеленого будівництва включають: 1) планування і управління; 2) економічне обґрунтування; 3) архітектура і функціональність; 4) землекористування і екологія; 5) транспорт та інфраструктура; 6) здоров'я і безпека; 7) якість і комфорт; 8) енергоефективність і ресурсозбереження; 9) мінімізація забруднень; 10) утилізація та рециклізація відходів; 11) соціально-культурні аспекти; 12) інновації [13, 14, 24].

Останні дослідження та аналіз міжнародного досвіду свідчать про необхідність запровадження національної методики сертифікації будівель та споруд за зеленими стандартами [9, 10]. Впровадження стандартів зеленого будівництва передбачає використання інноваційних технологій, надійність будівельних конструкцій, інклюзивний і доступний дизайн будівельних проєктів, управління експлуатаційними ризиками, забезпечення ергономічності всіх складових будівлі, сприяння зручності та комфорту споживачів [5]. В сучасній практиці зеленого будівництва застосовуються оптимальні архітектурні рішення, передові інженерні системи та матеріали для зниження рівня споживання енергетичних і матеріальних ресурсів [7]. Методику геотехнічного зеленого будівництва застосовують для проєктування, розрахунку та реалізації протизсувних споруд на зсувонебезпечних схилах, що дозволяє знизити енерго- і матеріальність. Завдяки такому підходу зменшується площа відведених під будівництво земельних ділянок та знижуються ризики шкоди для здоров'я і життя людей у випадку виникнення аварій і небажаних подій [3]. Останнім часом велика увага приділяється дослідженню енергоефективного, екологічного, економічного та соціального потенціалу зелених покрівель, які розглядають в якості альтернативних форм озеленення в сучасних урбоценозах з ущільненою забудовою [2, 11].

Термін «біофілія» запропоновано лауреатом Нобелівської премії біологом Едвардом Осборном Вілсоном виходячи з еволюційної потреби людей у взаємодії з природним середовищем, що обумовлює необхідність впровадження природних елементів у побудоване середовище [18]. Біофільний дизайн дуже тісно перекликається із поняттями «сталого дизайну» (sustainable design) та «екостилю» (ecostyle) у інтер'єрах [19, 15]. Урбанізоване середовище віддаляє людей від природи, а завдяки біофільному дизайну можливо скоротити цей розрив. Сучасні дослідження виявили низку позитивних впливів біофільного дизайну на людей. Зокрема, відмічають підвищення продуктивності праці та концентрації уваги, позитивні емоції, зменшення стресу, нормалізацію артеріального тиску та рівня гормону стресу кортизолу у кровотоці [21].

Спеціалісти рекомендують застосовувати біофільний дизайн в офісах та навчальних закладах. Тривала концентрація викликає втому, що призводить до агресивної та дратівливої поведінки, а біофільний дизайн сприяє відновленню після стресу, про що свідчать фізіологічні тести і результати опитування [22]. Під впливом природного оточення зменшується варіабельність серцевого ритму та частота пульсу, підвищується активність парасимпатичної нервової системи з одночасним зниженням активності симпатичної нервової системи [26]. Ці реакції сприяють покращенню когнітивних функцій, ефективності запам'ятовування та швидкості навчання. Навіть перегляд фотографій природи збільшує активність парасимпатичної нервової системи, що вказує на зниження рівня стресу та покращення самопочуття [17]. У зелених офісах, де використано ідеї біофільного дизайну, рівень працездатності працівників підвищується на 8-11% за рахунок зменшення захворюваності та поліпшення умов праці [6]. Співробітники офісів з зеленими рослинами і природним освітленням працюють на 6% продуктивніше. У них на 15% збільшується креативність, покращується стан здоров'я та зменшується кількість вимушено неробочих днів [13]. Опитування 1000 французьких студентів покоління Y виявило, що 42% можуть відмовитись від запропонованої роботи, якщо офісне середовище буде недостатньо «зеленим» [6].

Природні елементи інтер'єру у лікарнях можуть бути дієвим засобом у ході лікування депресії та інших розладів [26]. У пацієнтів лікарень з природним краєвидом з вікон або з рослинами у палаті відмічене зменшення болю та занепокоєння у поєднанні з більш позитивним налаштуванням на одужання [22].

Рослини здатні позитивно впливати на фізичний та психоемоційний стан людей, зокрема, ставати головною причиною зниження симптомів дискомфорту та кров'яного тиску, нормалізації серцебиття, пришвидшеного реабілітаційного періоду після операційних втручань тощо [16].

Збільшення зелених насаджень у житлових кварталах призвело до зменшення насильства та злочинності, кращих міжособистісних стосунків та альтруїстичнішої поведінки мешканців у поєднанні з підвищеною комунікабельністю, емпатією [22]. У районах з красивою архітектурою люди почуваються вдоволеними, спокійними і щасливими, а екологічна естетика та гармонійний природний дизайн створюють умови для натхнення та успіху [4].

Позитивний вплив біофільного дизайну доведено не тільки для житлових зон та лікарень, офісів та навчальних закладів, але навіть для пенітенціарних установ. Масштабне дослідження на великих вибірках в Австралії та інших країнах виявило, що збільшення природних елементів у облаштуванні в'язниць призвело до зниження стресу та кількості конфліктів, покращення психічного здоров'я та когнітивних функцій, зменшення злочинних рецидивів та кримінальної поведінки [22].

Вже не виникає сумнівів, що зелене будівництво та біофільний дизайн підвищують якість споруд та комфорт їх внутрішнього середовища. Біофільний дизайн і біофільний урбанізм перейшли від академічної та професійної літератури до статусу нового соціального руху в багатьох професіях [21]. Проте, на фоні гострого попиту та популярності цих напрямків, відчувається брак рекомендацій спеціалістів щодо ефективного і безпечного використання рослин у побудованому середовищі. Тому професіонали будівельних та біологічних галузей повинні активно обмінюватись сучасними науковими знаннями та практичними досягненнями задля покращення якості і комфорту побудованого середовища, збереження здоров'я людей та забезпечення їх благополуччя.

МЕТА

Визначити актуальні напрямки практичного застосування принципів біофільного дизайну в контексті зеленого будівництва фахівцями у галузях будівництва, архітектури та садово-паркового господарства для покращення побудованого середовища та урбанізованого простору. В узгодженні із визначеною метою сформульовано такі завдання:

- 1) виявити спільні риси для кон-

цепцій зеленого будівництва та біофільного дизайну;

2) сформувавши рекомендації щодо спектру рослин, які доцільно використовувати в інтер'єрах та інфраструктурі побудованого середовища;

3) проаналізувати перспективні традиційні та інноваційні технології застосування рослин у зеленому будівництві та біофільному дизайні.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Головна мета зеленого будівництва — це мінімізація негативного впливу будівельної галузі на довкілля, а біофільний дизайн передбачає інтеграцію природи в побудоване середовище. Незважаючи на те, що і зелене будівництво, і біофільний дизайн характеризуються спеціалізованим комплексним підходом до покращення побудованого середовища, для обох концепцій виявлено спільні риси (табл. 1).

Таблиця 1.
Спільні риси концепцій зеленого будівництва та біофільного дизайну

Соціальний ефект
Збереження здоров'я Підвищення якості життя та безпеки Стабілізація емоційного та психічного стану Покращення теплового, світлового та акустичного комфорту Оптимальні мікрокліматичні умови приміщень: якість повітря, вологість, вентиляція тощо Контроль шкідливих речовин та запахів Мікробіологічна безпека Приваблива естетика і якість дизайну Гігієна і чистота Соціально-культурні аспекти
Переваги для навколишнього середовища
Скорочення обсягу викидів парникових газів та шкідливих речовин Збереження природних ресурсів Захист довкілля Підтримка біологічного різноманіття Розширення спектру екосистемних послуг Зменшення ефекту міського теплового острова
Економічні переваги
Оптимальна функціональність будівель Підвищення продуктивності праці Зменшення витрат на лікарняні виплати Зниження споживання енергії Зменшення насильства та злочинності Підвищення вартості майна

Зелена архітектура залучає природні компоненти до формотворення, втілюється у проєктах еко-будівель та інтегрує природний ландшафт в архітектуру [1]. Прийоми залучення природних елементів в архітектуру практикують багато сучасних науковців, архітекторів та дизайнерів, використовуючи у своїх проєктах різні способи озеленення дахів, фасадів, балконів, терас, прийоми вертикального озеленення, вирощування "живих" споруд, мистецьких об'єктів та окремих конструктивних елементів з рослин. Живі рослини, інтегровані в зелену архітектуру, зростають і змінюються відповідно до сезонів року та умов довкілля. У проєктах зеленої архітектури основу складають фанерофіти. Для різних потреб зеленої архітектури можуть застосовуватись деревні і кущові рослини: *Acer campestre L.*, *A. ginnala (Maxim.) Maxim.*, *A. platanoides L.*, *A. tataricum L.*, *Alnus glutinosa (L.) Gaerth.*, *Caragana arborescens Lam.*, *Cercis canadensis L.*, *Cornus alba L.*, *Euonymus europaeus L.*, *Frangula alnus Mill.*, *Fraxinus excelsior L.*, *Juniperus communis L.*, *J. horizontalis Moenc.*, *Lonicera caprifolium L.*, *L. periclymenum L.*, *L. tatarica L.*, *Neillia incisa (Thunb.) S.H. Oh.*, *Quercus robur L.*, види роду *Salix L.*, *Spiraea bumalda Burv.*, *S. japonica L.f.*, *S. salicifolia L.*, *S. x vanhouttei (Briot) Zabel*, *Syringa vulgaris L.*, *Thuja occidentalis L.*, *Tilia platyphyllos Scop.*, *Viburnum lantana L.*, *V. opulus L.*, їх різновиди, форми і сорти, а також багато інших видів рослин.

Роль рослин у формуванні мікроклімату урбаністичного простору. Планування зелених насаджень дозволяє поліпшити мікрокліматичні умови міських територій за рахунок регуляції руху потоків повітряних мас — зміни їх напрямків, послаблення чи збільшення швидкості, захисту від несприятливих вітрів, підвищення якісного провітрювання. Ефективними у містах є компактні вітрозахисні насадження — масиви, огорожі, живоплоти — із дерев (*Abies Mill.*, *Acer L.*, *Carpinus L.*, *Cornus L.*, *Fagus L.*, *Larix Mill.*, *Picea A. Dietr.*, *Pinus L.*, *Platanus L.*, *Quercus L.*, *Salix*, *Sorbus L.*, *Tilia L.*, *Ulmus L.*), кущів (*Aronia Medik.*, *Berberis L.*, *Cornus*, *Crataegus Tourn. ex L.*, *Euonymus L.*, *Forsythia Vahl*, *Ilex L.*, *Lonicera L.*, *Philadelphus L.*, *Prunus L.*, *Rosa L.*, *Physocarpus (Cambess.) Raf.*, *Pyracantha M. Roem.*, високорослих *Spiraea L.*, *Syringa L.*, *Taxus L.*), витких рослин (*Hedera*, *Parthenocissus Planch.*, *Vitis L.*), що здатні розбивати стрімкі повітряні маси на дрібніші слабкі потоки.

Зелені насадження здатні регулювати аераційний режим території шляхом очищення міського повітря від викидів промисловості та

автотранспорту. При цьому якість переміщуваних повітряних мас значно поліпшується, якщо вони просуваються над значними масивами лісопарків і парків. Поліпшення якості повітря у містах пов'язане із затриманням чи поглинанням рослинами дрібних частинок пилу, сажі, попелу, аерозолів, газів (CO₂, NO₂ та SO₂), алергенного квіткового пилку тощо. Вуглекислий газ використовується рослинами в ході фотосинтезу, створюючи кисень та біомасу; діоксиди азоту та сірки перетворюються в нітрати та сульфати в тканинах рослин; пил осідає на листках та змивається атмосферними опадами тощо. Найкраще для очистки міського повітря підходять окремі види з родів *Abies*, *Acer*, *Aesculus L.*, *Fraxinus L.*, *Gleditsia J. Clayton*, *Juglans L.*, *Juniperus*, *Larix*, *Morus L.*, *Picea*, *Pinus*, *Spiraea*, *Syringa*, *Rosa*, *Platanus*, *Populus L.*, *Quercus*, *Salix*, *Thuja L.*, *Tsuga (Endl.) Carrière*, *Ulmus* та ін. При цьому варто уникати одноманітності висаджених рослин (для запобігання одночасному пошкодженню шкідниками і хворобами), при висадженні тополь бажано використовувати лише чоловічі особини, на вузьких вулицях з високими будівлями доцільніше використовувати живоплоти, а високі дерева з розлогою кроною — на ширших вулицях.

Боротьба з шумом у містах стала гострою гігієнічною проблемою людства, адже шум здатний травмувати ментальне здоров'я людей. Захист від шуму у містах забезпечують спеціальні шумозахисні багатоярусні насадження, де деревні рослини мають щільну, густу крону, швидкий ріст і низький штаб, щільну зімкненість, а ярус чагарників допомагає повністю закрити простір від джерела шуму. Для цього добре підходять фанерофіти *Acer platanoides*, *A. rubrum L.*, *Caragana arborescens*, *Carpinus betulus L.*, *Corylus avellana L.*, *Cotinus coggygria Scop.*, *Crataegus sanguinea Pall.*, *Fraxinus excelsior*, *Forsythia europaea Deg. et Bald*, *Larix decidua Mill.*, *L. sibirica Ledeb.*, *Lonicera tatarica L.*, *Physocarpus opulifolius (L.) Maxim.*, *Picea abies (L.) H. Karst.*, *Prunus laurocerasus L.*, *P. padus L.*, *Sambucus nigra L.*, *Spiraea × vanhouttei*, *Symphoricarpos albus Blake.*, *Syringa amurensis Rupr.*, *S. josikaea J. Jacq. ex Rchb.*, *S. vulgaris*, *Tilia cordata Mill.*, *Ulmus laevis Pall.*, *Viburnum opulus*, *V. rhytidophyllum Hemsl.*, види родів *Cotoneaster Medik.*, *Crataegus*, *Salix* та ін., а також їх різновиди, форми і сорти.

Вплив зелених насаджень на формування теплового режиму в місті визначається наявністю температурного перепаду між створеними ними затіненими ділянками і тими, що позбавлені рослин та відкрито піддаються

впливу сонячної радіації. Найвищі температури характерні для центральних частин міста, які мають щільну забудову, значні площі асфальтобетонного покриття (ефект «міського теплового острова») та брак зелених насаджень. У регулюванні температурного та радіаційного режиму ефективними є рослини з великими листками — види родів *Aesculus*, *Acer*, *Magnolia L.*, *Platanus* та ін. Зелені зони захищають місто від паводків та інших екстремальних погодних явищ пов'язаних з кліматичними змінами.

Роль рослин у формуванні мікроклімату приміщень. Зважаючи на те, що переважна більшість людей проводить 90% свого життя у будівлях, їх здоров'я та благополуччя знаходиться під впливом довкілля, яке створюється всередині будівель [30]. Згідно оцінок ВОЗ, 12,7% смертей можна уникнути, якщо підвищити якість повітря у будівлях [31].

Покращення якості повітря рослинами проявляється через поглинання токсичних речовин, в т.ч. важких металів. Хоча й досі відчувається брак надійних наукових даних щодо розуміння всіх механізмів видалення забруднюючих речовин рослинами, відомо, що у приміщеннях, наповнених рослинами, зменшується вірогідність виникнення плісняви чи бактеріального забруднення на 50-60% [25]. Дослідження, проведені Джерсі Сова та Галіною Камінською [23] показують, що у т.з. «активній рослинній системі» (рослинні об'єкти, зокрема, *Monstera deliciosa Liebm.*, *Ficus elastica Roxb. ex Hornem.*, *F. lyrata Warb.*, *Epipremnum aureum (Lindl. et Andre) Bunt*, вирощені у спеціальних «повітряних горщиках» — на субстраті із домішкою вугільних фільтрів та примусовою механічною вентиляцією, що забезпечує посилену фільтрацію летких органічних сполук, показники очищення повітря є значно вищими, ніж у «пасивній рослинній системі» (ті ж кімнатні рослини, але у звичайних горщиках).

Повітряний простір приміщень, особливо тих, де присутнє велике скупчення людей, зазвичай характеризується присутністю значної кількості патогенних мікроорганізмів. Для їх природного знешкодження можна вирощувати кімнатні рослини, які виробили здатність виділяти у навколишній простір біологічно активні речовини - фітонциди, які є комплексом вторинних метаболітів - ефірних олій, дубильних речовин, терпеноїдів, глікозидів. Рослини виділяють фітонциди для стерилізації свого оточення з метою підтримання власного гомеостазу та запобігання зовнішній дії патогенних мікроорганізмів. Кімнатні рослини виробляють фітонциди, які здатні руйнувати молекули

аміаку, бензолу, ксилолу, трихлоретилену та формальдегіду, що зазвичай містяться в повсякденних предметах побуту всередині приміщень. Найкраще ці функції виконують види із родин *Arocynaceae* Juss. (*Ochrosia* Juss), *Araceae* Juss. (*Aglaonema* Schott, *Dieffenbachia* Schott, *Epipremnum* Schott, *Monstera* Adans., *Spathiphyllum* Schott), *Araliaceae* Juss. (*Hedera* L., *Schefflera* J.R.Forst. & G.Forst.), *Araucariaceae* Henkel & W. Hochst. (*Araucaria* Juss.), *Asparagaceae* Juss. (*Asparagus* L., *Bowiea* Harv. ex Hook.f., *Chlorophytum* Ker Gawl., *Cordyline* Comm. ex R.Br., *Dracaena* Vand. ex L., *Sansevieria* Thunb.), *Asphodelaceae* Juss. (*Aloe* L.), *Begoniaceae* C.Agardh (*Begonia* L.), *Buxaceae* Dumort. (*Buxus* L.), *Moraceae* Gaudich. (*Ficus* L.), *Commelinaceae* Mirb. (*Tradescantia* Ruppis ex L.), *Crassulaceae* J.St.-Hil. (*Crassula* L., *Kalanchoe* Adans.), *Cupressaceae* Gray (*Cupressus* L., *Juniperus* L.), *Cyperaceae* Juss. (*Cyperus* L.), *Garryaceae* Lindl. (*Aucuba* Thunb.), *Geraniaceae* Juss. (*Geranium* L., *Pelargonium* L'Hér. ex Ait.), *Lamiaceae* Martinov (*Coleus* Lour.), *Lauraceae* Juss. (*Laurus* L.), *Malvaceae* Juss. (*Hibiscus* L.), *Myrtaceae* (Agonis (DC.) Sweet, *Eucalyptus* L'Hér., *Myrtus* L., *Psidium* L.), *Piperaceae* Giseke (*Peperomia* Ruiz & Pav.), *Pittosporaceae* R.Br. (*Pittosporum* Banks ex Gaertn.), *Podocarpaceae* Endl. (*Podocarpus* Labill.), *Rubiaceae* Juss. (*Coffea* L.), *Rutaceae* Juss. (*Citrus* L., *Murraya* J.Koenig ex L.), *Vitaceae* Juss. (*Cissus* L.) та багато інших.

Елементами біофільного дизайну є продукування приємних запахів ефіроолійними чи пряно-ароматичними рослинами, які водночас виконуватимуть функцію очищення повітря (наприклад, *Hyssopus officinalis* L., *Jasminum sambac* (L.) Aiton, *Lavandula angustifolia* Mill, *Melissa officinalis* L., *Myrtus communis* L., *Origanum vulgare* L., *Pelargonium graveolens* L'Hér., *Psidium littorale* Raddi, *Rosmarinus officinalis* L., *Salvia officinalis* L., види родів *Plectranthus* L'Hér., *Satureja* L., *Thymus* L. тощо).

Всередині приміщень звукове забруднення є вагомим фактором впливу на людську психіку. Спеціалісти з психоакустики вважають, що створення комфортного акустичного середовища у приміщенні досягається не завдяки повній тиші, а при відтворенні природного оточення, яке імітує звуки природи [15]. Біофільний дизайн забезпечує звуковий комфорт за рахунок використання звукоізоляційних матеріалів природного походження та зонування внутрішнього простору за допомогою фітостін. В умовах інфекційних загроз фітобар'єри у заспокійливій та есте-

тичній манері допомагають дотримуватись соціальної дистанції.

Біофільний офіс. Біофільний дизайн широко застосовується в офісних приміщеннях для покращення самопочуття на робочому місці, стимуляції креативності працівників та розширення можливостей творчої співпраці. Архітектурні проекти із залученням біофільного дизайну дозволяють проєктувати офіси як об'єкти терапевтичної архітектури з персоналізованим робочим простором. Біофільні художні інтерфейси дозволяють формувати нові моделі соціальних відносин за рахунок поєднання трьох компонентів: природні елементи, мистецький дизайн, медіа технології [12]. За допомогою вдалого поєднання живих рослин з іншими елементами біофільного дизайну можна суттєво вдосконалити функціональну організацію інтер'єру, підвищити його естетичний рівень — задекорувати недоліки, підкреслити вдалі конструктивні рішення, створити унікальний стиль.

Зонування сучасного офісу передбачає планування просторів для офіційних зустрічей, неформальних переговорів, візуальної конфіденційності, напруженої інтелектуальної праці, усамітнення тощо. Для озеленення зонованих інтер'єрів застосовують декоративно-листяні, декоративно-квіткові, в'юнкі, ампельні рослини та сукуленти. Їх асортимент надзвичайно широкий і обумовлюється конкретними вимогами залежно від об'єкту проєктування. За допомогою рослин можна у стандартних приміщеннях зімітувати квітучий сад, непрохідні тропічні джунглі чи навіть дощовий ліс [12]. Вдалими елементами біофільного дизайну можуть стати підвісні декоративні горщики з кімнатними рослинами, кокедама, флораріуми, палюдаріуми, фітомодульні композиції, живі картини та кімнатні рослини у вазонах.

Набувають популярності ефектні підвісні кокедами (у перекладі з японської «мохова куля») та декоративні інсталяції із багатьох кокедам. Їх використовують як акцентні рослини інтер'єрів, оскільки вони виглядають естетично, економлять площу приміщення та кошти на їх облаштування. Для створення кокедами кореневу систему рослини занурюють у ґрунтову суміш на основі глинистого сапропелю та покривають мохом, надаючи округлої форми. Кокедаму виготовляють з різноманітних видів рослин, зазвичай невеликих за розмірами багаторічників — ампельних, повітряних епіфітів, цибулинних, бульбоцибулинних, декоративних фруктових тощо. Для цього добре підходять окремі види, внутрішньовидові таксони та сорти із родів *Anthurium*,

Asparagus, Cyclamen L., Echeveria DC., Eleocharis R.Br., Geranium, Grewia L., Hedera, Nephrolepis Schott, Muscari Mill., Nepenthes L., Oxalis L., Paphiopedilum Pfitzer, Pelargonium, Peperomia, Plectranthus, Rosa, Saxifraga Tourn. ex L., Viola L. та багато ін.

У закритих склом просторах створюють кімнатні міні-сади — флораріуми, палюдаріуми та акваріуми. Створення закритих екосистем, які імітують повноцінні суходільні, перезволожені чи водні природні об'єкти, потребує чималих зусиль, які цілком виправдовуються, оскільки це один із найоригінальніших способів привнести живі рослини в інтер'єр. Для облаштування таких об'єктів підходить досить обмежений асортимент, серед яких види родів квіткових рослин: *Aciotis D.Don, Acorus L., Aeschynomene L., Aldrovanda L., Ammannia L., Anubias Schott, Aponogeton L.f., Baldellia Parl., Barclaya Wall., Bucephalandra Schott, Cabomba Aubl., Callitriche L., Ceratophyllum L., Cissus, Crinum L., Cryptocoryne Fisch. ex Wydler, Cyperus, Eleocharis R.Br., Echinodorus Rich. & Engelm. ex A.Gray, Elatine L., Eriocaulon L., Hottonia L., Hydrilla Rich., Hydrocharis L., Hygrophila R.Br., Lagenandra Dalzell, Lilaeopsis Greene, Lindernia Allioni, Limnophila R.Br., Littorella (L.) Asch., Ludwigia L., Myriophyllum L., Najas L., Ottelia Pers., Pistia L., Potamogeton L., Ranalisma Stapf, Rorippa Scop., Sagittaria L., Samolus L., Spathiphyllum, Spiranthes Rich., Spirodela Schleid., Tillandsia L., Utricularia L., Vallisneria L., Wolffia Horkel ex Schleid.;* лікофітів та птеридофітів: *Aglaonema, Azolla Lam., Ceratopteris Brongniart, Bolbitis Schott, Hymenasplenium Hayata, Isoetes L., Marsilea L., Lomariopsis Fée, Microsorium Link, Salvinia Ség., Selaginella P.Beauv.*; несудинних вищих рослин: *Heteroscyphus Schiffn., Plagiochila (Dumort.) Dumort., Riccia L., Ricciocarpos Corda, Amblystegium Schimp., Barbula Hedw., Calliergonella Loeske, Drepanocladus (Müll. Hal.) G.Roth, Fissidens Hedw., Fontinalis Hedw., Hyophila Brid., Isopterygium Mitt., Philonotis Brid., Plagiomnium T. J. Koponen, Riccardia Gray, Taxiphyllum M.Fleisch., Vesicularia L.* та ін.

Вертикальне озеленення. У біофільному дизайні широко використовується вертикальне озеленення інтер'єрів та екстер'єрів будівель, оскільки дозволяє збільшити концентрацію зелених площ без необхідності створення горизонтальних зелених зон. Ідея вертикального озеленення була запозичена у природних екосистемах, де види рослин природних фітоценозів здатні формувати ярусність і ефективно заселяти весь вільний простір. Нині вертикальне озеленення прикрашає будівлі та підкреслює їх архітектурну вираз-

ність. Ця технологія здатна значно компенсувати втрату зелених зон в умовах обмеженого простору, зменшити відтік дощової води в каналізаційну систему й знизити експлуатаційну вартість будівлі. Вертикальний сад не лише впливає на зміну зовнішнього вигляду будівлі залежно від пори року, але і створює сприятливий мікроклімат, поглинає шум, виробляє кисень, вловлює частинки пилу, бруду та мікроорганізми.

Для збереження приміщень від перегріву влітку та переохолодження взимку ефективно використовують фасадне озеленення. Зелені фасади забезпечують теплоізоляцію в будь-яку пору року, позитивно впливають на показники енергоспоживання та вирішують питання скорочення об'єму викидів парникових газів у атмосферу. Для зелених стін бажано використовувати невибагливі рослини, які не потребують особливого догляду.

Концептуальний приклад зеленої стіни інстальовано в одному з офісів Міжнародної спілки охорони природи (IUCN) у Кембриджі (Велика Британія). Зелена стіна заввишки 7 м та заввишки 13 м складається з 24 видів та 8736 одиниць рослин, що представляють 11 регіонів світу, де активно працюють у напрямку охорони біорізноманіття (рис. 1).



Рис. 1. Зелена стіна в офісі Міжнародної спілки охорони природи (IUCN) у Кембриджі (Велика Британія)

В Україні ідея вертикального озеленення поступово знаходить втілення у громадських просторах, наприклад, вдало реалізована у приміщеннях терміналу Д міжнародного аеропорту «Бориспіль» (рис. 2).

Для вертикального озеленення екстер'єрів придатна велика кількість видів рослин, серед яких *Akebia quinata* (Houtt.) Decne., *Actinidia kolomikta* (Rupr. et Maxim.) Maxim., *Ampelopsis aconitifolia* Bunge, *Aristolochia macrophylla* Lam., *Calystegia sepium* (L.) R.Br., *Campsis grandiflora* (Thunb.) K.Schum., *Clematis alpina* (L.) Mill., *Clematis montana* Buch.-Ham. ex DC., *Euonymus fortunei* (Turcz.) Hand.-Maz., *Hedera helix* L., *Hydrangea hydrangeoides* (Siebold & Zucc.) Bernd Schulz, *H. petiolaris* Siebold & Zucc., *Lathyrus odoratus* L., *Lonicera acuminata* Wall., *L. caprifolium*, *L. japonica* Thunb., *Menispermum canadense* L., *M. dauricum* DC., *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch., *P. tricuspidata* (Siebold & Zucc.) Planch., *Periploca sepium* Bunge, *Rosa banksiae* W. T. Aiton, *R. laevigata* Michx., *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill., *Vitis vinifera* L. тощо, та їх різновиди, форми і сорти.



Рис. 2. Елементи вертикального озеленення з використанням рослин з родів *Asplenium* L., *Chlorophytum*, *Epipremnum*, *Philodendron* Schott та ін. у приміщеннях міжнародного аеропорту "Бориспіль" (Україна)

Сучасна галузь озеленення працює в умовах повністю чи квазітрансформованих міських екосистем, і криза взаємовідносин між навколишнім природним та докорінно трансформованим оточенням поглиблю-

ється, якщо в екстер'єрах застосовують інвазійні види рослин. Особливо небезпечними є види із високою інвазійною активністю, які подекуди продовжують застосовувати в озелененні населених пунктів. Серед них варто відмітити *Acer negundo* L., *Ailanthus altissima* (Mill.), *Amelanchier spicata* (Lam.) K. Koch, *Amorpha fruticosa* L., *Elaeagnus angustifolia* L., *Fraxinus ornus* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall Swingle., *Padus serotina* (Ehrh.) Ag., *Parthenocissus inserta* (A. Kern.) Fritsch., *Quercus rubra* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Salix fragilis* L., *Ulmus pumila* L. та ін. [8]. Тому, застосовуючи різні види рослин в екстер'єрах, слід дотримуватись вимог не лише функціональності, але й біобезпеки, надаючи перевагу місцевим видам за найменшої можливості та дотримуючись раціонального балансу між місцевими рослинами та видами з інших регіонів на користь перших.

Асортимент рослин для вертикального озеленення інтер'єрів є дуже широким, адже сучасні технології, які забезпечують відповідну вологість, полив, температурний режим та фотоперіодизацію, дозволяють надати рослинам всередині приміщень саме ті умови, яких вони потребують. Відомий ландшафтний дизайнер та ботанік Патрик Бланк, якого вважають першопрохідцем у створенні вертикальних садів, у своїх роботах використовує величезну кількість родів та видів рослин, які додає до свого арсеналу під час подорожей різними країнами. Наприклад, відомо, що для озеленення фасаду Музею на набережній Бранлі в Парижі (екстер'єру в умовах помірного клімату), він використав щонайменше 150 видів рослин [20].

Для рослин у контрольованих умовах інтер'єрів відкриваються набагато ширші можливості, ніж у відкритому ґрунті. У вертикальному озелененні інтер'єрів часто використовують види та внутрішньовидові таксони і сорти рослин з родів *Adiantum* L., *Aeonium* Webb & Berthel., *Alocasia* (Schott) G.Don, *Alstroemeria* L., *Anthurium* Schott, *Asparagus*, *Asplenium*, *Bromelia* L., *Chlorophytum*, *Davallia* (L.) Sm., *Crassula*, *Dioscorea* L., *Echeveria* DC., *Epipremnum*, *Fatsia* Decne. & Planch, *Fittonia* Coem., *Haworthia* Duval, *Hedera*, *Hoya* R.Br., *Ipomoea* L., *Maranta* L., *Medinilla* Gaudich., *Monstera*, *Nephrolepis* Schott, *Passiflora* L., *Philodendron*, *Pilea* Lindl., *Pseudorhizalis* Britton & Rose, *Rhipsalis* Gaertn., *Pteridium* Gleditsch, *Sedum* L., *Sempervivum* L., *Sinocrassula* A. Berger, *Spathiphyllum*, *Syngonium* Schott, *Tradescantia* та багато інших.

Перспективні напрямки використання рослин у побудованому середовищі. Вже зараз біофільний дизайн супроводжують біонічними елементами, а в перспективі набуде широкого поширення архітектурна біоніка, заснована на використанні в архітектурних структурах принципів організації, властивостей, функцій і структур живої природи. За допомогою комп'ютерного моделювання та традиційних методів декоративного садівництва дизайнер-урбаніст Мітчел Джоакум створює дерева-будинки (Fab Tree Hab), які водночас здатні виконувати роль житла, природного середовища і ландшафту. Біотектоніка вивчає закономірності, форми і будову живої матерії для створення нових архітектурних конструкцій. Професор Ньюкаслського університету Мартін Дейд-Робертсон створив дослідницький центр для вивчення можливості злиття будівельних технологій та біології. У провідних науково-дослідних центрах університетів Євросоюзу розвивається напрям «Жива архітектура» (living architecture). Біоматеріалознавство вивчає властивості біооб'єктів та їх компонентів для створення на їх основі нових будівельних матеріалів. У Лондонському університеті (University College London) проходять дослідні роботи по створенню матеріалів, стійких до хвороботворних бактерій.

Розвивається арбоскульптура — вирощування "живих" споруд, мистецьких об'єктів та окремих конструктивних елементів з рослин. В Індії та Китаї «живі мости» створюють зі скелетних осей *Nevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll. Arg., перевитих між собою і перекинутих через воду. На фермі із закінченим циклом виробництва Full Grown, заснованій британцем Гевіном Манро, вирощують меблі і предмети інтер'єру з фанерофітів з родів *Acer*, *Corylus*, *Fraxinus*, *Malus* Mill., *Quercus* [29]. Найшвидші результати отримують при застосуванні видів роду *Salix*, при цьому процес формування заданої форми крони займає 4-5 років. Біонічна та біофільна урбаністика досліджують перспективи використання закономірностей живої природи в містобудуванні. Архітектурно-біонічна екологія спрямована на забезпечення екологічної рівноваги архітектури та природи.

Активно розвивається напрямок урбаністичного фермерства (urban farming, urban garden, free food, own food, real food), яке передбачає вирощування їстівних рослин у межах міста. Це дозволяє максимально скоротити шлях «від лану до столу», завдяки чому знижуються шкідливі транспортні викиди та витрати енергії для зберігання продуктів.

Японська компанія Spread Co побудувала найбільшу в світі роботизовану ферму-хмарочос Techno Farm для вирощування овочів в герметичних приміщеннях з оптимальною температурою і вологістю з постійним освітленням світлодіодними лампами. Ферма виробляє стабільну кількість овочів за фіксованою ціною цілий рік, оскільки продуктивність не залежить від погодних умов. У господарстві не використовуються пестициди, тому що стерильні умови захищають рослини від шкідників, хвороб та бруду. Технологія дозволяє значно економити воду, але споживає дуже багато електроенергії.

В останні десятиріччя регулярно анонсуються проекти ферм-хмарочосів в ОАЕ, США, Китаї, Австралії, Швеції, Голандії та інших країнах. Такі будівлі об'єднують під одним дахом не тільки ферми і теплиці, але й житло, офіси, дослідницькі центри, освітні заклади, місця для спорту та відпочинку, джерела відновлюваної енергії. Наразі кошториси таких проектів надзвичайно дорогі, але з розвитком технологій ціни ставатимуть доступнішими і ферми-хмарочоси набудуть масового поширення, що дозволить вирішити основні проблеми мегаполісів. А поки що ентузіасти убраністичного фермерства облаштовують городи в офісах, на балконах, підвіконнях, дахах, споруджують аквапонічні теплиці та плавучі сади. Однак, при нераціональному підході можуть трапитись аварійні ситуації, як це сталося у червні 2021 р. в Дарницькому районі м. Києва, коли обірвався балкон багатоповерхівки під вагою тонни землі, яку господар розмістив там для вирощування полуниці. Інший приклад невдалого убраністичного фермерства стосується Маямі (США), де девелопер обіцяв мешканцям 50-поверхового кондомініуму обладнати цілий поверх для вирощування органічної городини, але на 690 апартаментів виділив три невеличких грядочки із обслуговуванням ландшафтною компанією за 500\$ на місяць, тому мешканці відмовились від такої послуги і зараз там ростуть декоративні трав'янисті рослини (рис. 3).

Позитивним прикладом озеленення міських площ для вирощування продуктів харчування є місто Нант (Франція), де 50 ділянок міських зелених насаджень, спільних садів та незайманих зелених площ (загалом 25000 м²) відведено для вирощування овочів, зелені та фруктів. Під час карантину внаслідок пандемії COVID19 зелений пояс насаджень навколо Валенсії (Іспанія) не тільки забезпечував мешканців міста чистим повітрям та захищав від повеней, але й слугував джерелом свіжих продуктів.



Рис. 3. Невдала спроба убраністичного фермерства у кондомініумі в Маямі (США)

Біофілія міцно укорінена у людській свідомості, а рослини завжди відігравали вагомую роль у історії та еволюції людства. Тому цілком реалістичними видаються сподівання, що біофільний дизайн набуде широкого розповсюдження не тільки у галузі зеленого будівництва, але й охопить переважну більшість сфер людського життя.

ВИСНОВКИ

Незважаючи на те, що і зелене будівництво, і біофільний дизайн характеризуються спеціалізованим комплексним підходом до поліпшення побудованого середовища, для обох концепцій виявлено спільні риси. По-перше, велика увага приділяється підвищенню якості та комфорту будівель та інфраструктури. По-друге, головний лейтмотив полягає у покращенні стану здоров'я та безпеки людей. По-третє, всі аспекти тісно пов'язані з природою, зокрема: інтеграція природних ландшафтів у будівельні проекти, збереження довкілля та використання рослин в дизайні інтер'єрів та екстер'єрів.

Виділено екологічні та економічні переваги біофільного дизайну. До екологічних переваг відносять розширення спектру еко-

системних послуг, збереження біорізноманіття, мінімізацію вуглецевих викидів, очищення повітря та зменшення ефекту міського теплового острова. Економічні вигоди полягають у підвищенні продуктивності праці, зменшенні витрат на лікарняні внаслідок поліпшення стану здоров'я, зниження споживання енергії, зменшення насильства та злочинності, підвищення вартості майна. Завдяки інноваційним зеленим технологіям підвищується комфортність проживання навіть в умовах підвищеної щільності на урбанізованих територіях. Біофільний дизайн міських зон знижує ризики впливу екстремальних погодних явищ на здоров'я та безпеку населення міст.

Рослини відіграють суттєву роль у формуванні мікроклімату приміщень, позитивно впливаючи на фізичний та емоційний стан людей. Наведено переліки видів рослин для покращення мікроклімату у приміщеннях, очищення повітря у містах, для вертикального озеленення інтер'єрів та екстер'єрів, шумозахисту та створення приємних запахів. Стандарти зеленого будівництва для зовнішнього озеленення рекомендують використовувати місцеві види рослин, щоб уникнути поширення агресивних інвазійних видів. Водночас більшість декоративних рослин у біофільному дизайні не належать до представників флори України, однак зарекомендували себе як безпечні види з корисними властивостями. Тому в процесі планування озеленення території необхідно керуватись вимогами функціональності та безпеки, дотримуватись раціонального балансу між місцевими рослинами та видами з інших регіонів на користь перших.

Перспективними інноваційними технологіями застосування рослин для зеленого будівництва та біофільного дизайну є різноманітні напрямки біоніки та урбаністичного фермерства. Крім традиційних зелених рослин біофільний дизайн відкриває широкі перспективи для використання у зеленому будівництві грибів, бактерій та інших біооб'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Гой Б. В., Катола Х. О. Розвиток поняття "зеленої архітектури" в сучасному проектуванні та будівництві. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Архітектура. 2015. № 816. С. 99-108.

[2] Дадіверіна Л. М., Комишня А. В. Інженерні, економічні, соціальні та екологічні переваги зеленої покрівлі. Вісник Придніпровської державної академії

REFERENCES

[1] Hoi, B. V., Katola, Kh. O. (2015). Rozvytok poniattia "zelenoi arkhitektury" v suchasnomu proektuvanni ta budivnytstvi [Development of the concept of "green architecture" in modern design and construction]. Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhni-ka". Arkhitektura, 816, 99-108. [In Ukrainian]

[2] Dadiverina, L. M., Komysheva, A. V. (2018). Inzhenerni, ekonomichni, sotsialni ta ekolohichni perevahy zelenoi pokrivli [Engineering, economic, social and

будівництва та архітектури. 2018. № 5. С. 60–65.

[3] Калюх Ю. І., Фаренюк Г. Г., Іщенко Ю. І. Концепція «зеленого будівництва» та її застосування при проектуванні та розрахунках геотехнічних конструкцій. Наука та будівництво. 2020. № 2. С. 19–43.

[4] Кривомаз Т.І., Варавін Д. В. Шляхи підвищення екобезпеки урбанізованого середовища у зв'язку з пандемією Covid-19. Екологічна безпека та природокористування. 2020. Вип. 4. С. 41-55.

[5] Кривомаз Т.І., Варавін Д. В., Сіпаков Р. В., Кузьмішина Р. С. Оцінка впливу систем вентиляції на мікробіологічну безпеку та мікрокліматичні умови приміщень. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2020. Вип. 35. С. 49-57.

[6] Кривомаз Т.І., Карпенко Н. С. Зелені стандарти для покращення офісної діяльності в нових умовах. Екологічна безпека та природокористування. 2020. Вип. 2. С. 5-21.

[7] Кривомаз Т.І., Савченко А.М. Зниження впливу будівельної галузі на кліматичні зміни шляхом впровадження принципів зеленого будівництва. Екологічна безпека та природокористування. 2021. № 37 (1). С. 55-68.

[8] Протопопова В. В., Шевера М. В. Інвазійні види у флорі України. Група високо активних видів. Geo & Bio. 2019. Т. 17. С. 116-135. DOI: <https://doi.org/10.15407/gb.2019.17.116> (дата звернення: 10.01.2022).

[9] Сердюк В. Р., Франишина С. Ю. Світовий досвід реалізації стандартів "зеленого" будівництва. Нові технології в будівництві. 2017. № 32. С. 49–53.

[10] Тимошенко Е. А., Савицький Н. В. Перспективи сертифікації жилих зданий по "зеленым" стандартам в Украине. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2016. № 4. С. 26–34. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpabia_2016_4_5 (дата звернення: 10.01.2022).

[11] Ткаченко Т. М. Адаптаційний потенціал фітоценозу енергозберігаючих зелених покрівель. Екологічна безпека та природокористування. 2015. № 3 (19). С. 27–32. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/597> (дата звернення: 10.01.2022).

[12] Brown M., Brajkovic J., Loder A., Calabrese E., Andreucci M.-B., Stasiskiene Z. Mind the Green Gap — Access to biophilia shouldn't be a luxury. Wellness & Biophilia Symposium. BRE. Watford, 2019. URL: <https://files.bregroup.com/downloads/Biophilia-Symposium-Programme-Presentations.pdf> (дата звернення: 10.01.2022).

[13] Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM). URL: <https://www.breeam.com> (дата звернення: 10.01.2022).

[14] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB, German Sustainable Building Council). URL: <https://www.dgnb.de> (дата звернення: 10.01.2022).

[15] Fleming R., Roberts S. H. Sustainable Design for the Built Environment. London-NewYork: Routledge Taylor&Francis Group, 2019. 341 p.

environmental benefits of a green roof]. Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury, 5, 60–65. [In Ukrainian]

[3] Kaliukh, Yu. I., Farenjuk, H. H., Ishchenko, Yu. I. (2020). Kontsepsiia «zelenoho budivnytstva» ta yii zastosuvannya pry proektuvanni ta rozrakhunkakh heotekhnichnykh konstruksii [The concept of "green building" and its application in the design and calculation of geotechnical structures]. Nauka ta budivnytstvo, 2, 19–43. [In Ukrainian]

[4] Kryvomaz, T. I., Varavin, D.V. (2020). Shliakhy pidvyshchennia ekobezpeky urbanizovanoho sere-dovyscha u zviazku z pandemiieiu Covid-19 [Ways to increase the environmental safety of the urban environment in connection with the Covid-19 pandemic]. Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia, 4, 41-55. [In Ukrainian]

[5] Kryvomaz, T. I., Varavin, D. V., Sipakov, R. V., Kuzmishyna, R. S. (2020). Otsinka vplyvu system ventylyatsiyi na mikrobiolohichnu bezpeku ta mikroklimatychni umovy prymishchen' [Assessment of the impact of ventilation systems on microbiological safety and microclimatic conditions of premises]. Ventyliatsiia, osviltleniia ta teplohadopostachannia, 2020, Vyp. 35, 49-57. [In Ukrainian]

[6] Kryvomaz, T. I., Karpenko, N. S. (2020). Zeleni standarty dlia pokrashchennia ofisnoi diialnosti v novykh umovakh [Green standards for improving office operations in the new environment] Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia, 2020, 2, 5-21. [In Ukrainian]

[7] Kryvomaz, T.I., Savchenko, A.M. (2021). Znyzhennia vplyvu budivelnoi haluzi na klimatychni zminy shliakhom vprovadzhennia pryntsyypiv zelenoho budivnytstva [Reducing the impact of the construction industry on climate change through the introduction of green building principles]. Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia, 2021, 37 (1), 55-68. [In Ukrainian]

[8] Protopopova, V. V., Shevera, M. V. (2019). In-vaziini vydy u flori Ukrainy. Hrupa vysoko aktyvnykh vydiv [Invasive species in the flora of Ukraine. A group of highly active species]. Geo & Bio, 17, 116-135. - <https://doi.org/10.15407/gb.2019.17.116> [In Ukrainian]

[9] Serdiuk, V. R., Franyshyna, S. Yu. (2017). Svi-tovyi dosvid realizatsii standartiv "zelenoho" budivnytstva [World experience in implementing "green" construction standards] Novi tekhnolohii v budivnytstvi, 32, 49–53. [In Ukrainian]

[10] Tymoshenko, E. A., Savytskyi N. V. (2016). Perspektivy sertyfykatsyy zhylykh zdanyi po "zelenym" standartam v Ukraine [Prospects for certification of residential buildings according to "green" standards in Ukraine] Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury, 4, 26–34. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpabia_2016_4_5 [in Russian]

[11] Tkachenko, T. M. (2015). Adaptatsiyni potentsial fitotsenozu enerhozberihaiuchykh zelenykh pokrivel [Adaptation potential of phytocenosis of energy-saving green roofs] Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia, 3 (19), 27–32. – URL: <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/597>[In Ukrainian]

[12] Brown, M., Brajkovic, J., Loder, A., Calabrese, E., Andreucci, M.-B., Stasiskiene, Z. (2019). Mind the Green Gap – Access to biophilia shouldn't be a luxury. Wellness & Biophilia Symposium. BRE, Watford. <https://files.bregroup.com/downloads/Biophilia-Symposium-Programme-Presentations.pdf> [In English]

- [16] Haas E. M., van Bohemen H. D. The green building envelope: Vertical greening. Sieca Repro, 2011. 270 p. URL:<http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:1e38e393-ca5c-45af-a4fe31496195b88d/The%20Green%20Building%20Envelope%20def.pdf> (дата звернення: 10.01.2022).
- [17] Ikei H., Komatsu M., Song C. R., Himoro E., & Miyazaki Y. The physiological and psychological relaxing effects of viewing rose flowers in office workers. *Journal of Physiological Anthropology*. 2014. 33(6). P. 1-5. DOI: <https://doi:10.1186/1880-6805-33-6> (дата звернення: 10.01.2022).
- [18] Kellert S. R. Dimensions, elements, and attributes of biophilic design. *Biophilic design: the theory, science, and practice of bringing buildings to life*. 2008. P. 3-19.
- [19] McLennan J. F. *The Philosophy of Sustainable Design. The future of architecture*. Missouri, Kansas City: ECOTone Publishing, 2004. 285 p.
- [20] Patrick Blanc — Vertical Gardens. Inexhibit. URL: <https://www.inexhibit.com/case-studies/patrick-blanc-vertical-gardens/> (дата звернення: 10.01.2022).
- [21] Ryan C. O., Browning W. D. *Biophilic design. Sustainable Built Environments*. 2020. P. 43-85.
- [22] Söderlund J., Newman P. Improving mental health in prisons through biophilic design. *The Prison Journal*. 2017. Т. 97. №. 6. P. 750-772.
- [23] Sowa J., Kamińska H. Biophilic design — selected case studies from Poland. *Wellness & Biophilia Symposium. BRE. Watford*, 2019. URL: <https://www.bregroup.com/wp-content/uploads/2019/06/Jerzy.pdf> (дата звернення: 10.01.2022).
- [24] The Leadership in Energy & Environmental Design (LEED). URL: <https://www.usgbc.org/leed> (дата звернення: 10.01.2022).
- [25] Timur O. B., Karaca E. Vertical Gardens. *Intech*. 2013. Pp. 587-621. URL: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/45441.pdf> (дата звернення: 10.01.2022).
- [26] Tyrväinen, L., Ojala, A., Korpela, K., Lanki, T., Tsunetsugu, Y., Kagawa, T. The influence of urban green environments on stress relief measures: A field experiment. *Journal of Environmental Psychology*. 2014. 38. P. 1-9.
- [27] UN Climate Change Conference (COP26) URL: <https://ukcop26.org> (дата звернення: 10.01.2022).
- [28] United Nations (UN). URL: <https://www.un.org> (дата звернення: 10.01.2022).
- [29] Vertical Garden Patrick Blanc. Projects | Vertical Garden Patrick Blanc. URL: <https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations> (дата звернення: 10.01.2022).
- [30] World Green Building Council (WGBC) URL: <http://www.worldgbc.org/what-green-building> (дата звернення: 10.01.2022).
- [31] World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int> (дата звернення: 10.01.2022).
- [13] Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) [Photographs]. <https://www.breeam.com> (accessed: 10.01.2022). [In English]
- [14] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB, German Sustainable Building Council). [Photographs]. <https://www.dgnb.de> (accessed: 10.01.2022). [In Deutsch]
- [15] Fleming, R., Roberts, S. H. (2019) *Sustainable Design for the Built Environment*. Routledge Taylor&Francis Group. [In English]
- [16] Haas, E. M., van Bohemen, H. D. (2011) *The green building envelope: Vertical greening*. Sieca Repro. URL:<http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:1e38e393-ca5c-45af-a4fe31496195b88d/The%20Green%20Building%20Envelope%20def.pdf> [In English]
- [17] Ikei, H., Komatsu, M., Song, C. R., Himoro, E., Miyazaki, Y. (2014). The physiological and psychological relaxing effects of viewing rose flowers in office workers. *Journal of Physiological Anthropology*, 33(6), 1-5. doi:10.1186/1880-6805-33-6 [In English]
- [18] Kellert, S. R. (2008). Dimensions, elements, and attributes of biophilic design. *Biophilic design: the theory, science, and practice of bringing buildings to life*. [In English]
- [19] McLennan, J. F. (2004). *The Philosophy of Sustainable Design. The future of architecture*. ECOTone Publishing. [In English]
- [20] Patrick Blanc - Vertical Gardens. Inexhibit [Photographs]. <https://www.inexhibit.com/case-studies/patrick-blanc-vertical-gardens/> (accessed: 10.01.2022). [In English]
- [21] Ryan, C. O., Browning, W. D. (2020). *Biophilic design. Sustainable Built Environments*. [In English]
- [22] Söderlund J., Newman P. Improving mental health in prisons through biophilic design. *The Prison Journal*, 2017, 97 (6), 750-772. [In English]
- [23] Sowa, J., Kamińska, H. (2019). Biophilic design – selected case studies from Poland. *Wellness & Biophilia Symposium. BRE, Watford*. <https://www.bregroup.com/wp-content/uploads/2019/06/Jerzy.pdf> [In English]
- [24] The Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) [Photographs]. <https://www.usgbc.org/leed> (accessed: 10.01.2022). [In English]
- [25] Timur O. B., Karaca E. (2013). *Vertical Gardens. Intech*, 587-621. <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/45441.pdf> [In English]
- [26] Tyrväinen, L., Ojala, A., Korpela, K., Lanki, T., Tsunetsugu, Y., & Kagawa, T. (2014). The influence of urban green environments on stress relief measures: A field experiment. *Journal of Environmental Psychology*, 38, 1-9. [In English]
- [27] UN Climate Change Conference (COP26) [Photographs and Video]. <https://ukcop26.org> (accessed: 10.01.2022). [In English]
- [28] United Nations (UN) [Photographs]. <https://www.un.org> (accessed: 10.01.2022). [In English]
- [29] Vertical Garden Patrick Blanc. Projects|Vertical Garden Patrick Blanc [Photographs]. <https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations> [In English]
- [30] World Green Building Council (WGBC) [Photographs]. <http://www.worldgbc.org/what-green-building> (accessed: 10.01.2022). [In English]
- [31] World Health Organization (WHO) [Photographs]. <https://www.who.int> (accessed: 10.01.2022). [In English]

ABSTRACT**Krivomaz T. I., Tyshchenko O. V., Suleymanov I. E. Plants for biophilic design in green building.**

The article explores the ways of using plants for biophilic design in green building. **Target.** To identify current directions for the practical application of the biophilic design principles in the context of green building by specialists in the field of construction, architecture and landscape design to improve the built environment and urbanized space.

Methodology. Innovative green building technologies and biophilic design principles.

Results. Modern trends in the development of green building and biophilic design are analyzed and areas of intersection of both concepts are identified. They are closely related to protecting the health and safety of people, improving the quality and comfort of the built environment, and nature protection. Both technologies also imply the functional and aesthetic use of plants. The prospects and risks of using plants in urban areas are assessed. Perspective directions for the development of biophilic design in accordance with the concept of green building have been established.

Scientific significance. The general social, environmental and economic benefits of green building and biophilic design are identified. It has been established that as a result of the use of these technologies, the comfort of living is increased even in conditions of increased density in urban areas. Promising directions of biophilic methods are identified in accordance with the international trend of green transformation of cities due to pandemic threats.

Practical significance. Lists of plant species are presented to improve the microclimate and the air cleaning of urban spaces, for vertical gardening of interiors and exteriors. The regularities of the influence of plants on the health and well-being of people are characterized. It is recommended to be guided by the requirements of functionality and safety, to maintain a rational balance between local plants and species from other regions in favor of the first.

Keywords: biophilic design; green building; built environment; urban space; environmental safety; climate change.

AUTHOR`S NOTE:

Krivomaz Tetiana, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Labour and Environment Protection, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine e-mail: ecol@i.ua, orcid: 0000-0002-4161-9702.

Tyshchenko Oksana, PhD in Biology, 03.00.05 — botany, Associate Professor, Plant Biology Department, Educational and Scientific Center «Institute of Biology and Medicine», Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, e-mail: oksana_t@ukr.net, orcid: 0000-0002-5709-1252

Suleimanov Ismet, undergraduate student in Landscape Design, Plant Biology Department, Educational and Scientific Center «Institute of Biology and Medicine», Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine, e-mail: yungleprechaun@gmail.com, orcid: 0000-0003-2201-4983

Стаття подана до редакції 25.01.2022р.
Стаття прийнята до друку 12.02.2022р.