

І. О. Рибалка, асистент

e-mail: Inna.Rybalka@gmail.com

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002, Україна

ДО ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ В УМОВАХ ШВИДКОЇ ІНВАЗІЇ ОМЕЛИ БІЛОЇ (*VISCUM ALBUM L.*)

Досліджено фактори довкілля, які сприяють швидкому розповсюдженню омели білої (*Viscum album L.*) з метою підвищення рівня екологічної безпеки зелених насаджень. Дослідження проведено на території м. Харків (Україна). Ділянки, на яких проводили натурні спостереження, знаходились у північній, північно-східній, центральній, західній і південно-східній частинах міста. Для встановлення кількості кущів омели в кожній окремій дискретній групі мета-популяції застосовували оригінальну методику бальної оцінки чисельності: для кількості кущів від 1 до 5 індекс чисельності становив «1»; для 6–10 – «2»; 11–20 – «3»; 21–40 – «4» і т. д. Для відображення приблизного співвідношення кущів омели за віком у кожній окремій дискретній групі використовували популяційно-демографічний коефіцієнт $K[j-g-s]$, що відображає співвідношення ювенільних кущів (j), кущів 1-го і 2-го генеративного віку (g) та сенільних кущів (s). Записували його, використовуючи символи: 0 (рослини відповідної вікової групи відсутні), 1, 2, і 3 (залежно від частки кущів відповідного віку у дискретній групі). З застосуванням методів багатовимірної статистики встановлено, що щільність омели позитивно корелює із частками семи видів її дерев-живителів: верби білої, кленів гостролистого і сріблястого, робінії несправжньоакацієвої, тополь бальзамічної і чорної, а також яблуні домашньої, що дає вагомий підставу мінімізувати використання цих видів в озелененні. Отримані результати доцільно враховувати під час створення та реконструкції об'єктів зеленого господарства у містах Східного Лісостепу України.

Ключові слова: омела біла, міський ландшафт, аналіз головних компонент, фактори поширення.

Вступ. У наш час у зв'язку з розширенням сфери життєдіяльності людини екологічна обстановка у населених пунктах країни, пов'язана з забрудненням повітря, значно погіршилася [21], що призвело до підвищення рівня захворюваності органів дихання в усіх вікових групах населення. У покращенні становища, що склалося, важлива роль має належати зеленим насадженням. Відповідний добір деревних і чагарникових рослин під час озеленення вулиць, парків і скверів може суттєво покращити умови праці і відпочинку людей. Однак сьогодні потрібно визнати, що до цього часу більшість населених пунктів України озеленюються без будь-якої наукової основи. І якщо інфекційні хвороби деревних рослин певною мірою вивчені, то про вищих квіткових напівпаразитів відомо дуже мало. Це стосується і омели білої (*Viscum album L.*) [6], яка паразитує на багатьох видах листопадних дерев [11].

Вважається, що ця рослина спричиняє суттєве зниження енергії росту дерев-

живителів, втрату декоративності та врожайності деревних культур, а також є причиною зниження довговічності насаджень: призводить до часткової або суцільної сухості та поступового усихання дерев.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Численні публікації у популярній і науковій літературі свідчать [7, 8, 10, 13, 15], що на сьогодні омела біла вже вважається справжнім екологічним лихом для насаджень багатьох міст України: Києва, Івано-Франківська, Харкова, Полтави, Білої Церкви, Черкас, Умані тощо. Єдиним заходом боротьби з омелою в умовах міста залишається механічне видалення уражених нею гілок або повне видалення дерева при дуже сильному ураженні. При інтенсивному розповсюдженні омели догляд за міськими насадженнями стає все більш витратним.

Дослідження, проведені в Чеській Республіці на території Ледницького парку, дозволили визначити фактори, які впливають на поширення омели білої на рівні дерева. До

них відносяться: діаметр дерева на висоті грудей (DBH), вік, висота, ширина, площа проекції і обсяг крони тощо [23]. Подібні дослідження були проведені в Ірані, в лісопарку р. Нур [25].

Численні дослідження у різних країнах світу присвячені визначенню видів деревних рослин, на яких може паразитувати омела біла. Зведений список дерев-живителів омели налічує 411 видів, при цьому в Європі вона виявлена на 384 видах, із яких 190 видів – це інтодуценти. Так, у Польщі омела біла зафіксована на 194 видах дерев, у Хорватії – на 52, у Словенії – на 25, у Чеській Республіці – на 53, у Словаччині – на 35, у Швейцарії – на 17, у Нідерландах – на 12. У межах вторинного ареалу поширення рослини, у США, омела біла зафіксована на 22 видах дерев. Вона зустрічається на представниках родин *Tilia* spp., *Aser* spp., *Populus* spp., *Salix* spp., *Betula* spp., *Pyrus* spp., *Malus* spp., *Quercus* spp., *Sorbus* spp. тощо [27]. Якою мірою ця рослина-напівпаразит віддає перевагу тій чи іншій породі дерев у складі насаджень, невідомо.

У Бельгії зроблено спробу оцінити вплив фрагментації ландшафтів на генетичну структуру популяції омели білої. Для аналізу були обрані два регіони, в яких порівняно недавно почали спостерігатися зміни в лісовій зоні. Чітких закономірностей щодо чутливості генетичної структури популяції до зростання фрагментації місць проживання вчені не виявили, але в цілому аналіз головних компонент показав, що ізольовані популяції омели мали більш високі рівні інбридингу [28]. Деякими дослідниками встановлено, що омела біла розповсюджується у ландшафті плямами [27]. Тобто в цілому фактори, які впливають на розповсюдження омели білої на рівні ландшафту, є недостатньо дослідженими. Можна припустити, що до них належать вік насаджень і щільність вулично-дорожньої мережі, але цю гіпотезу необхідно перевірити.

Визначення факторів довкілля, які сприяють швидкому розповсюдженню омели білої у ландшафті, а також видів дерев, які є найбільш уразливими до впливу цієї рослини, матиме істотне практичне значення для проведення заходів щодо регуляції її чисельності.

Мета дослідження. Мета даного дослідження – оцінювання впливу факторів довкілля на поширення омели білої в урбанізованих ландшафтах для підвищення рівня еко-

логічної безпеки насаджень (на прикладі м. Харків).

Виклад основного матеріалу. Дослідження проведено на території м. Харків. За ландшафтним районуванням вона відноситься до Харківської схилово-височинної області Середньоруської лісостепової провінції Східноєвропейської рівнинної ландшафтно-країни і розташована на південному заході Середньоруської височини. Клімат помірний, із середньорічною кількістю опадів 500–570 мм і середніми температурами січня – -8°C , липня – понад 20°C . Основні генетичні типи ґрунтів – чорноземи (які утворилися на лесах різного механічного складу) і сірі опідзолені лісові ґрунти, які на території міста зазнали істотної антропогенної трансформації [14].

Ділянки ($N = 15$), на яких проводили дослідження (2006–2010 рр., грудень 2016 р, січень 2017 р.), знаходилися в північній (1 ділянка), північно-східній (6 ділянок), центральній (6 ділянок), західній (1 ділянка) та південно-східній (1 ділянка) частинах м. Харків, рис. 1.

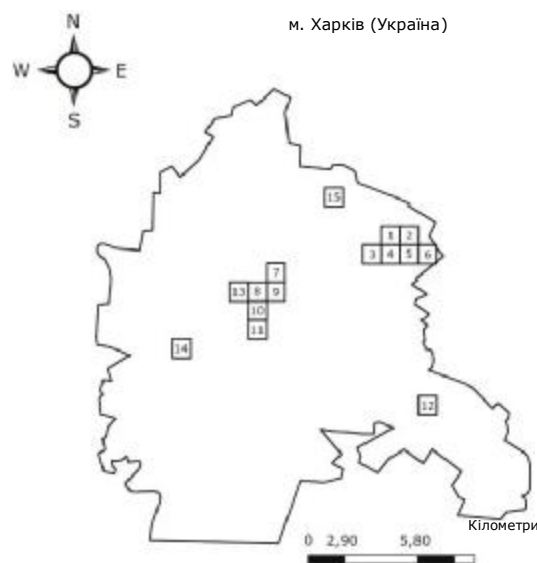


Рис. 1. Розміщення досліджуваних ділянок на території м. Харків

Ділянки представляють собою геометричні квадрати площею 40 га, які вибиралися по карті в межах міського сільбищного ландшафту.

У польових дослідженнях визначали чисельність омели білої, переважаючий вік деревних рослин (табл. 1) у насадженнях, відстань між деревами.

Таблиця 1

Класифікація деревних рослин за віком

№	Вік	Тип деревостану
1	від 1 до 20 років	молоді
2	від 21 до 40 років	жердняк
3	від 41 до 60 років	середньовікові
4	від 61 до 80 років	приспіваючі
5	від 81 до 100 років	спілі
6	більш ніж 100 років	перестійні

Натурні спостереження за омелою проведено за оригінальною методикою. Всі куші омели на окремому дереві з одним головним стовбуром або на дереві з декількома головними стовбурами, які за вживаними в лісівництві критеріями вважаються окремими деревами, або на кількох деревах, які утворюють групу (тобто щонайменш два дерева, відстань між якими є меншою за діаметр крони кожного із них) вважалися "дискретною групою". Для відображення кількості кушів омели в кожній окремій дискретній групі застосовували шкалу чисельності: для кількості кушів від 1 до 5 індекс чисельності становив "1"; для 6–10 – "2"; 11–20 – "3"; 21–40 – "4"; 41–80 – "5"; 81–160 – "6"; 161–320 – "7"; 321–640 – "8". Для відображення приблизного співвідношення кушів омели за віком у кожній окремій дискретній групі використовували популяційно-демографічний коефіцієнт

$K[j-g-s]$, який відображає зв'язок між співвідношенням ювенільних рослин (j), рослин 1-го і 2-го генеративного віку (g) та сенільних (s). Записували його, використовуючи символи: 0 (рослини відповідної вікової групи відсутні), 1, 2, і 3 (залежно від долі кушів відповідного віку у дискретній групі).

Для аналізу ландшафтних характеристик у межах досліджуваних ділянок були використані супутникові знімки земної поверхні (джерело – мережева вкладка *Google Maps*, програмне забезпечення – *SAS.Планета 100120*), які були просторово прив'язані в геоінформаційній системі (ГІС) *ArcGIS Desktop 10.1*. У ході роботи для кожного досліджуваного квадрата було створено цифрову модель ландшафту. Для цього в середовищі ГІС-додатку створювали набір тематичних шарів із певним набором просторових об'єктів: будівель, насаджень (однорідні колекції географічних об'єктів були представлені у вигляді полігонів); вулично-дорожньої мережі (просторові об'єкти були представлені у вигляді ліній), рис. 2. За допомогою ГІС для кожного досліджуваного квадрата були визначені такі параметри (ознаки або змінні), як сумарна площа забудови і насаджень, сумарна довжина вулично-дорожньої мережі, кількість окремих фрагментів (або сегментів) насаджень.

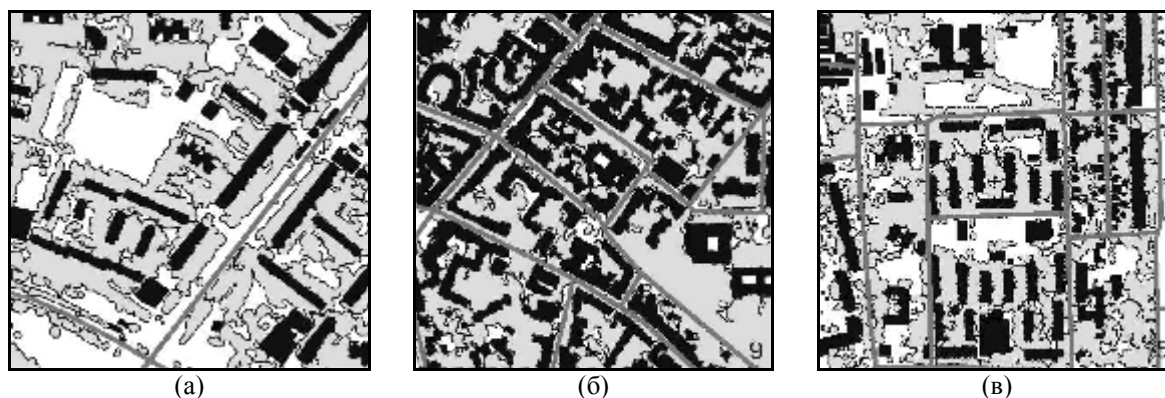


Рис. 2. Приклад відмінності досліджуваних ділянок у різних частинах м. Харків:
(а) – квадрат № 5, район Північна Салтівка; (б) – квадрат № 9, центральна частина міста;
(в) – квадрат № 15, район Олексіївка

За результатами натурних спостережень за омелою для кожної досліджуваної ділянки визначали загальну кількість кушів рослини із застосуванням індексу чисельності за формулою середнього геометричного. Далі розраховували показники щільності кушів омели (куш./км²). Після цього визначали частку кожного виду дерев-живителів омели, які були

виявлені у насадженнях. За результатами досліджень насаджень визначали середню відстань між деревами. На підставі даних, отриманих за допомогою ГІС, розраховували показники "Частка забудови", "Частка насаджень", "Плямистість насаджень" (відношення сумарного периметра насаджень до площі квадрата), "Щільність вулично-дорожньої ме-

режі, м/км²". При встановленні переважаючого віку дерев у насадженнях у межах 15 квадратів брали до уваги експерти оцінки, представлені у відповідних літературних джерелах [5].

Враховуючи, що за даними польових спостережень за омелою у період із вересня 2006 р. по квітень 2010 р. в межах квадратів № 7–№ 11 і № 13 (центральна частина міста) таксономічна приналежність для кленів, тополь та ясенів була визначена до роду, а в межах квадрату № 12 (південно-східна частина міста) – таксономічна приналежність була визначена до роду для тополь, у грудні 2016 року та у січні 2017 року було проведено додаткове дослідження, яке дозволило скоригувати вибіркові дані за 2006–2010 рр. Для цього в межах ділянок № 7–№ 11, № 13 і № 12 було сформовано випадкові вибірки дерев-живителів омели із застосуванням маршрутного методу досліджень. При зборі фіксувались усі дерева-живителі омели, які траплялися на маршруті у смузі 100 м завширшки. Для кожного дерева-живителя було визначено вид, індекс чисельності омели та популяційно-демографічний коефіцієнт. За даними маршрутного обліку було визначено частоти кожного виду дерев-живителів омели у збірній вибірці. Перш ніж скоригувати дані спостережень за 2006–2010 рр., дані маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2016 р. та 2017 р. були перевірені на достовірність, тобто частоти, розраховані для представників родів клен, тополя та ясен за даними маршрутного обліку, не повинні були достовірно відрізнятися від тих частот, які були по них розраховані за даними спостережень у 2006–2010 рр. Нуль-гіпотезу (тобто припущення, що різниця між генеральними параметрами порівнюваних груп рівна нулю і що відмінності, які спостерігаються між вибірковими характеристиками, носять не систематичний, а виключно випадковий характер) було перевірено з застосуванням t-критерію Стьюдента [12]. *Вибір оптимальних методів багатовимірного статистичного аналізу статистичного комплексу.* Поряд із відносно простими способами порівняння однієї вибірки з іншою в даному дослідженні виникло більш складне завдання, що полягало у порівнянні одночасно декількох вибірок, які об'єднувалися в єдиний статистичний комплекс: якщо проаналізувати досліджувані ознаки ("Щільність омели білої (кущ./км²)", "Щільність дискрет-

них омели білої (1/км²)", "Частка забудови", "Частка насаджень" тощо) окремо, ми не побачимо того спільного, що їх об'єднує. Охопити всю картину разом дозволяють багатовимірні методи статистики, надаючи для цього деякі додаткові можливості.

Так, кожен досліджуваний об'єкт через значення виміряних у нього ознак можна представити у вигляді точки в багатовимірному просторі. Кожна ознака є в цьому просторі окремою координатною віссю, ортогональною всім іншим. Усі об'єкти утворюють в цьому просторі деяку "хмару". Координатами точок є значення ознак [3].

У публікації [3] відзначено, що до класичних методів багатовимірного статистичного аналізу відноситься (1) дискримінантний аналіз, (2) множинна регресія, (3) канонічний аналіз і (4) метод головних компонент. Дискримінантний аналіз і множинна регресія використовують такі лінійні перетворення простору, які змінюють відстані між об'єктами в ході обробки і, відповідно, спотворюють змістовний сенс отриманих результатів. Залишаючись бездоганно правильними з математичної точки зору, ці методи разом із розрахованою ними достовірністю не зовсім адекватні тій реальності, для вивчення якої призначені. Канонічний кореляційний аналіз (запропонував Гарольд Хотеллінг) у загальному вигляді не знайшов свого застосування через труднощі в інтерпретації (іноді канонічним називається дискримінантний аналіз Фішера, який є окремим випадком канонічного аналізу Хотеллінга, а іноді – зовсім інші методи).

Метод головних компонент (МГК) у наш час застосовується найбільш широко з усіх багатовимірних методів і має на їхньому фоні ряд переваг. Зокрема він не вимагає перевірки вихідних даних на нормальність. У літературі було знайдено приклади заснування цього підходу для вирішення задач екології. Прикладом використання цього підходу є дослідження морського фітопланктону, спрямовані на виявлення спільної дії різних факторів середовища на якісний і кількісний склад фітопланктону, які було проведено в прибережній частині південної Каліфорнії, в районі узбережжя північно-західної Африки та у Севастопольській бухті. Аналогічні дослідження також було проведено і для прісноводних водоемів. У дослідженнях весняного цвітіння діатомових водоростей з урахуванням характеристик фізіологічного стану (фо-

тосинтезу, дихання і швидкості поділу клітин) компонентний аналіз дозволив виявити функціональну роль окремих популяцій водоростей на різних стадіях цвітіння. МГК було застосовано при вивченні впливу деяких абіотичних факторів на рівень первинної продукції в районах Саргасового моря. Із застосуванням МГК були оброблені дані щорічної гідрохімічної зйомки в Каспійському морі. Також аналіз головних компонент широко використовують при визначенні ступеня забруднення водойм. Тобто МГК дозволяє об'єднати різномірні відомості в єдину цілісну систему [16].

Тому функціональну залежність між щільністю омели і набором ландшафтних характеристик визначали за допомогою аналізу головних компонент (прикладний комп'ютерний пакет *Statistica 10.0*).

Аналіз головних компонент (вважається як одним із самостійних варіантів, так і одним із методів факторного аналізу) виконує задачу скорочення розмірності набору змінних із мінімальною втратою вихідної інформації. Так, він дозволяє розділити масив змінних на невелике число груп, які називаються компонентами. В одну компоненту (інтерпретується як причина спільної мінливості декількох вихідних змінних) об'єднуються декілька змінних, які тісно корелюють між собою і не корелюють або слабо корелюють із іншими змінними, що утворюють інші компоненти. У результаті компонентного аналізу із несистематизованого масиву даних (кореляційна або коваріаційна матриця) отримуємо декілька макрозмінних – узагальнених комбінацій вихідних ознак. Таким чином, застосування цього методу аналізу дозволяє отримати сукупність некорельованих (ортогональних) інтегральних змінних (або компонент) [17, 22].

У багатьох посібниках, підручниках і статистичних довідниках викладено теоретичні основи і алгоритм проведення аналізу за МГК. Класична схема проведення аналізу передбачає (1) стандартизацію вихідних даних (застосовується, якщо досліджувані ознаки мають різні одиниці вимірювання), (2) побудову кореляційної матриці ознак, (3) розрахунок власних чисел (*eigenvalues*) і власних векторів (*eigenvectors*) кореляційної матриці, а також (4) визначення коефіцієнтів кореляції ознак із головними компонентами, що дає змогу проаналізувати отриману структуру факторів і зробити відповідні висновки [3, 9].

Спосіб обробки даних, застосований в аналізі за МГК – "Raw Data" ("неопрацьовані дані"), спосіб обробки пропущених значень – "Casewise" (тобто у таблиці вихідних даних ігноруються усі рядки, в яких є хоча б одне пропущене значення).

Максимально можливе число факторів m , яке може бути виділене в аналізі при заданому числі ознак p , визначалося нерівністю [3, 17]:

$$(p + m) < (p - m)^2. \quad (1)$$

Факторна модель вважається досить вдалою, якщо число уже знайдених компонент не більше, ніж:

$$F_n = \frac{m_{\max}}{2} \quad (2)$$

де $m_{\max}$ – максимально можлива кількість факторів, а дисперсія, яку вони пояснюють, становить не менш ніж 70 %, при цьому наступна компонента дає вклад у сумарну дисперсію не більш ніж 5 %. Так, якщо в розподілі об'єктів у вихідному просторі ознак існує сенс, при втраті 20–30% загальної мінливості ми втрачаємо його в мінімально можливій мірі, причому, швидше за все, втратили не стільки інформацію, скільки "шум", неминуче присутній в реальних даних через дію малозначущих або випадкових причин.

На підготовчому етапі роботи вихідні дані були відцентровані. З геометричної точки зору це означає перенос початку координат у «центр ваги хмари» – точку із середнім значенням усіх ознак, яка називається центроїдом [3] (при цьому вихідні ознаки отримала нові позначення: « x_1 » – « x'_1 », « x_2 » – « x'_2 » і т. д.).

Перша досліджувана вибірка представляла собою дані польових спостережень за омелою у період із вересня 2006 р. по квітень 2010 р. (загальна кількість виявлених дерев-живителів омели $N = 1095$), друга – дані маршрутного обліку дерев-живителів омели, зібрані у 2016 р. ($N = 107$), третя – дані маршрутного обліку дерев-живителів омели, зібрані у 2017 р. ($N = 40$). Результати визначення частот для трьох видів дерев (клен, тополя, ясен), таксономічна приналежність яких була визначена до роду (квадрати № 7–№ 11 і № 13) представлено у табл. 2, у ній же відображено результати перевірки даних маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2016 р. на достовірність. Із табл. 2 зрозуміло, що різ-

ниці між частотами, розрахованими для представників родів клен, тополя та ясен за даними спостережень у 2006–2010 рр. та за даними

маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2016 р. не є статистично достовірною, це дозволяє уточнити зібрані раніше дані.

Таблиця 2

Результати статистичного аналізу дерев-живителів омели, таксономічна приналежність яких була визначена до роду на ділянках № 7–№ 11 і № 13

Родова назва деревної рослини	Вибірка, №	Об'єм вибірки	Частка деревних рослин	Помилка різниці між частками, S_{dp}	Достовірність різниці між даними польових спостережень за деревами-живителями омели	
					$t_{факт.}$	$t_{0,05}$
Клен	1	126	0,239	0,083	1,18	1,96
	2	36	0,336			
Тополь	1	202	0,383	0,092	0,91	1,96
	2	32	0,299			
Ясен	1	153	0,290	0,085	0,55	1,96
	2	36	0,336			

Результати визначення частоти дерев-живителів омели з таксономічною приналежністю до роду *Populus* за даними маршрутного спостереження в межах ділянки № 12 представлено у табл. 3, у ній же відображено результати перевірки даних маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2017 р. на достовір-

ність. Із табл. 3 зрозуміло, що різниця між частотами, розрахованими для дерев-живителів омели за даними спостережень у 2006–2010 рр. та за даними маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2017 р. не є статистично достовірною, що дозволяє уточнити зібрані раніше дані на ділянці № 12.

Таблиця 3

Результати статистичного аналізу дерев-живителів омели, таксономічна приналежність яких була визначена до роду на ділянці № 12

Родова назва деревної рослини	Вибірка, №	Об'єм вибірки	Частка деревних рослин	Помилка різниці між частками, S_{dp}	Достовірність різниці між даними польових спостережень за деревами-живителями омели	
					$t_{факт.}$	$t_{0,05}$
Тополь	1	147	0,368	0,127	0,26	1,96
	3	16	0,400			

За даними натурних спостережень у межах 15 досліджуваних ділянок омела біла була виявлена на 20 видах дерев: березі повислій (0,4 % від загальної кількості вражених омелою дерев), груші звичайній (0,1 %), вербі білій (0,4 %), каштані кінській (0,4 %), клені гостролистім (29,8 %), клені сріблястім (11,3 %), клені ясенелистім (0,5 %), липі європейській (0,5 %), липі серцелистій (1,8 %), осиці (3,6 %), робінії несправжньоакацієвій (4,6 %), горобині звичайній (1,6 %), тополі бальзамічній (8,2 %), тополі білій (0,2 %); тополі пірамідальній (гібридах) (0,6 %), тополі чорній (19,6 %), яблуні домашній (0,3 %), ясені американським (15,1 %), ясені високім (0,5 %), тополі Болле (0,8 %).

Досліджувана за МГК вибірка складалася з 15 об'єктів (квадратів), для кожного з яких було визначено значення 29 ознак: x_1 – щільність омели білої, куц./км²; x_2 – кількість дискретних груп омели, 1/км²; x_3 – середня відстань між деревами, м; x_4 – частка забудови; x_5 – кількість окремих сегментів насаджень; x_6 – частка зелених насаджень; x_7 – плямистість насаджень; x_8 – щільність вулично-дорожньої мережі, м/км²; x_9 – переважаючий вік дерев у насадженнях, р.; x_{10} – частка берези повислої від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{11} – частка груші звичайної від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{12} – частка верби білої від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{13} –

частка каштану кінського від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{14} – частка клену гостролистого від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{15} – частка клену сріблястого від загальної кількості вражених омелою дерев і т. д. (перелік включає усі види дерев-живителів, які було виявлено на ділянках, у тій послідовності, в якій їх наведено вище).

Аналіз за методом головних компонент.

На першому етапі аналізу по вихідним даним було побудовано матрицю кореляцій вимірюваних ознак. Для значимих відмінностей від нуля з $\alpha = 5\%$ коефіцієнти кореляції за абсолютною величиною повинні перевищувати 0,51 [12]. Беручи до уваги мету даного дослідження, розглянемо змінні, з якими корелює щільність омели білої, для яких коефіцієнти кореляції задовольняють такій властивості. Це виявилися 13 ознак: x'_2 (характеризує щіль-

ність дискретних груп омели), x'_8, x'_9 (характеризують ландшафтні особливості), $x'_{12}-x'_{17}, x'_{20}, x'_{22}, x'_{25}, x'_{26}, x'_{28}$ (характеризують дерев-живителів омели). Проаналізуємо отримані кореляції за допомогою методу головних компонент.

Визначення головних компонент здійснювалося по кореляційній матриці ознак, власні значення якої виявилися рівними 11,131, 5,833, 5,316, 2,008, 1,398, 1,385, 0,670, 0,483, 0,343, 0,231, 0,113, 0,066, 0,017 і 0,006.

Для визначення розмірності факторного простору був застосований критерій Кайзера: число компонент (факторів або осей) дорівнює числу власних чисел, які мають значення більше "1". Таким чином, доцільно розглянути перші шість головних компоненти, які спільно пояснювали 93,35 % загальної дисперсії, табл. 4 (нерівність (1) у такому разі виконується).

Таблиця 4

Статистичні характеристики головних компонент

№	Власні значення	Частка загальної дисперсії, %	Кумулятивне власне значення	Кумулятивна дисперсія, %
1	11,131	38,382	11,131	38,382
2	5,833	20,114	16,964	58,496
3	5,316	18,332	22,280	76,828
4	2,008	6,925	24,289	83,754
5	1,398	4,820	25,686	88,574
6	1,385	4,777	27,072	93,351

Далі було визначено перші шість власних векторів досліджуваної кореляційної матриці та коефіцієнти кореляції ознак (факторні координати, або навантаження) із головними компонентами. Факторні навантаження є аналогами парних коефіцієнтів кореляції. Вони характеризують міру взаємозв'язку між відповідними ознаками та факторами: чим більшою є абсолютна величина факторного навантаження, тим сильніший зв'язок між ознакою і фактором, тим більший внесок ознаки в фактор і тим більше цей показник зумовлює дію відповідного фактору. Особлива цінність отриманих факторних координат полягає в тому, що вони дозволяють визначити структуру головних компонент. Проаналізуємо отриману структуру факторів.

Перша виділена вісь F_1 є найбільш вагомою і пояснює 38,38 % загальної дисперсії. Вона має високі коефіцієнти кореляції (від 0,7 до 1) з ознаками 1, 2, 12–17, 20, 22, 25 і 26. Ці ознаки легко розбиваються на 2 групи показ-

ників: ознаки 1 і 2 характеризують поширеність омели білої у ландшафті, ознаки 12–17, 20, 22, 25 і 26 – дерев-живителів рослини. Друга виділена вісь F_2 пояснює 20,11 % загальної дисперсії і має високі коефіцієнти кореляції з ознаками 4, 6 (характеризують частку забудови і насаджень відповідно) і 29 (характеризує частку тополі Болле від загальної кількості уражених омелою дерев). Третя виділена вісь F_3 пояснює 18,33 % загальної дисперсії і має високий коефіцієнт кореляції з ознакою 5 (або кількістю окремих сегментів насаджень), 11, 18 і 19 (які характеризують дерев-живителів омели). Четверта виділена вісь F_4 пояснює 6,93 % загальної дисперсії і має високий коефіцієнт кореляції з ознакою 23 або часткою тополя білої від загальної кількості уражених омелою дерев. Для решти двох осей, які було виділено в аналізі, високих кореляцій з досліджуваними ознаками виявлено не було.

Результати перевірки факторної моделі на вдалість (2): при $m = 6$, $F_n = 3$, при цьому

перші три головні компоненти пояснюють 76,83 % дисперсії, а наступна компонента дає вклад у сумарну загальну дисперсію в 6,93 %. Це вказує на те, що дана факторна модель є задовільною.

Зупинимось детальніше на першій осі, яка враховує показник "Щільність омели білої, кущ./км²", а тому є найбільш цікавою. На основі значень факторних координат і знаків цих кореляцій її можна суб'єктивно позначити як "Параметри ландшафту, які тісно пов'язані зі щільністю омели білої".

На рис. 3 представлено графік факторних координат для першої та другої виділених осей. Оскільки поточний аналіз заснований на кореляціях, максимальне значення координати не може перевищувати 1,0. Крім того, квадрати всіх факторних координат для всіх змінних (тобто квадрати кореляцій між змінною та всіма факторами) не можуть перевищувати значення 1,0. Таким чином, всі факторні координати потрапляють в одиничну окружність, виведену на графіку. Дане коло є візуальним індикатором того, наскільки добре кожна змінна відтворюється поточним набором факторів.

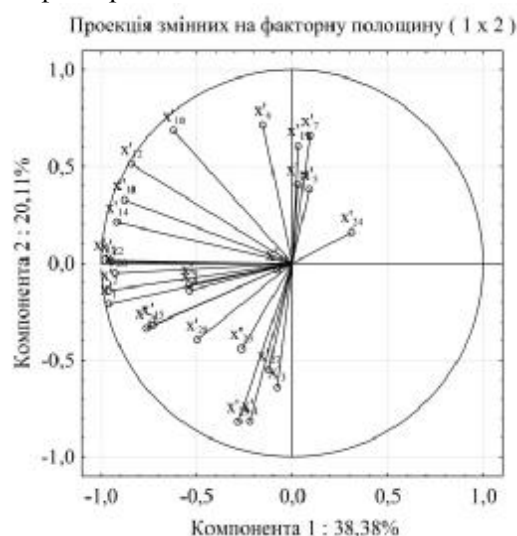


Рис. 3. Графік факторних координат

Так як змінні x'_1 , x'_2 , x'_{12} – x'_{17} , x'_{20} , x'_{22} , x'_{25} і x'_{26} розміщені досить близько до лінії одиничного кола, можна зробити висновок, що в системі знайдених координат вони відтворені досить добре.

На основі аналізу можна зробити висновок, що на фоні інших дерев-живителів, чисельність омели білої в ландшафті особливо тісно пов'язана з десятьма видами деревних рослин: верба біла, каштан кінський, клени

гостролистий, сріблястий та ясенелистий, липа європейська, робінія несправжньоакацієва, тополі бальзамічна і чорна, яблуня домашня.

Представники кожного із зазначених видів деревних рослин мають свою специфічну архітектуру і щільність крони, твердість деревини тощо. У той же час, отримані результати можна пояснити наступним чином. Верба біла є одним із видів, який досить часто зустрічається в прирічкових насадженнях, що виконують роль природного біокоридору для омелюхів, які, в свою чергу, є основним агентом розповсюдження омели білої в антропогенних ландшафтах регіону. Так, окрім ягід омели білої птахи цього виду можуть житися плодами горобини (*Sorbus* spp.), глоду (*Crataegus* spp.), шипшини (*Rosa* spp.), а також яблунь (*Malus* spp.), що в деякій мірі пояснює взаємозв'язки між омелою і яблунею на рівні ландшафту.

Тісна кореляція між щільністю омели білої і часткою тополі чорної від загальної кількості вражених омелою дерев узгоджується з результатами досліджень, опублікованих у [4, 6]. Так, після обстеження типових біотопів м. Луцьк В. В. Іванців та ін. [6] виявили значну кількість омели білої у Парку культури та відпочинку імені Лесі Українки. При цьому найвищий ступінь ураження напівпаразитом спостерігався у тополі чорної, яка вступила в сенільну фазу розвитку. Аналогічно дослідження особливостей ураження тополь у насадженнях м. Біла Церква [2] та його околицях [4] омелою білою також показали, що від впливу омели білої потерпає тополя чорна, яка досягає зрілої фази розвитку. Це можна пояснити тим, що тополя чорна, досягаючи зрілого та старого етапів розвитку, займає в насадженнях перший ярус, а тому досить помітна для численних птахів, які зупиняючись на дереві, сприяють поширенню омели. Так, за літературними даними [19], дерево може сягати 35 м заввишки та має потужну шатроподібну (або наметоподібну) крону.

Тополя бальзамічна та робінія несправжньоакацієва, аналогічно до тополі чорної, належать до великорозмірних деревних рослин. При цьому тополя бальзамічна може вирости до 25 – 30 м заввишки [18], набуваючи широкояйцевидної малогіллястої крони [20], а робінія несправжньоакацієва – до 20–35 м заввишки, набуваючи ажурної, розкидистої, широкоциліндричної крони [1]. Тісний взаємозв'язок між щільністю омели білої і

часткою клена сріблястого від загальної кількості вражених омелою дерев узгоджується з результатами польських [26] та американських [24] дослідників, а тісні кореляції між омелою та кленом гостролистим не суперечать результатам, опублікованим вітчизняними дослідниками у статті [7].

Дуже нечасто омела трапляється на 3 видах дерев: каштані кінським, клені ясенелистим і липі європейській (зазначені види дерев-живителів були виявлені лише на одному із 15 досліджуваних квадратів), тобто на фоні інших видів дерев-живителів ці види є найменш уразливими до впливу омели білої.

У цілому за результатами проведеного дослідження можна зробити висновок, що для підвищення рівня екологічної безпеки насаджень в умовах стрімкої інвазії омели білої доцільно мінімізувати використання в озелененні населених пунктів Східного Лісостепу України верби білої, кленів гостролистого і сріблястого, робінії несправжньоакацієвої, тополь бальзамічної і чорної, а також яблуні домашньої.

Висновки. Із засновуванням методів багатовимірної статистики визначено фактори довкілля, які сприяють поширенню омели на рівні ландшафту. Так, для підвищення рівня екологічної безпеки насаджень в умовах стрімкої інвазії омели білої слід мінімізувати використання в озелененні верби білої, кленів гостролистого і сріблястого, робінії несправжньоакацієвої, тополь бальзамічної і чорної, а також яблуні домашньої. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку комплексних екологічно обґрунтованих рекомендацій щодо управління популяцією омели білої в урбоекосистемах.

Отримані результати доцільно враховувати при створенні та реконструкції об'єктів зеленого господарства міст Східного Лісостепу України.

Подяки. Автор висловлює подяку Ю. І. Вергелесу за безцінну допомогу у вигляді консультацій і практичних рекомендацій по збору і систематизації зібраного в ході досліджень матеріалу.

Список літератури

1. Белая акация или робиния ложноакациевая, как правильно? [Електронний ресурс]. Режим доступу:

http://www.bestgardener.ru/flower/bel_akacii_a.shtml.

2. Василенко І. Д. Боротьба з омелою на деревах тополі у зеленій зоні Білої Церкви. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. № 23 (12). С. 31–38.
3. Ефимов В. М. Многомерный анализ биологических данных : учебное пособие. Санкт-Петербург: Rizo-печать, 2008. 87 с.
4. Житово А. В. Стан полезахисних смуг в агроландшафтах півдня Київщини. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. № 26 (1). С. 12–18.
5. История и архитектура Харькова. Основные этапы развития города. Формирование городской структуры [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kharkov.ua/culture/1.html>.
6. Иванців В. В. Екологічні чинники погіршення стану деревних насаджень міста Луцька. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. праць*. 2013. № 10. С. 94–100.
7. Левон Ф. М. Створення зелених насаджень в умовах урбанізованого середовища: вимоги, лімітуючі чинники, шляхи оптимізації. *Науковий вісник Державного лісотехнічного університету України*. 2003. № 13 (5). С. 157–162.
8. Лисенко М. Зелені насадження в урбанізованому середовищі міста Івано-Франківська. *Вісник Прикарпатського національного університету імені В. Стефаника. Сер. «Біологія»*. 2007. № 7. С. 236–240.
9. Никитин А. Я. Анализ и прогноз временных рядов в экологических наблюдениях и экспериментах : учебно-методическое пособие. Иркутск: Иркутский государственный педагогический университет, 2003. 88 с.
10. Нікітенко Л. Омела дерева замела [Електронний ресурс]. *Україна молода: щоденна інформаційно-політична газета*. 2004. № 89. Режим доступу: <http://www.umoloda.kiev.ua/number/181/116/6274/>.
11. Доброчаева Д. Н., Котов М. И., Прокудин Ю. Н. и др. Определитель высших растений Украины. Киев: Наукова думка, 1987. 548 с.

12. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. Москва : Наука, 1982. 287 с.
13. Радова В. Поширення омели в Умані вивчатиме спеціальна комісія [Електронний ресурс]. Умань інфо – інформаційний сайт м. Умань. 2013. Режим доступу: <http://uman.info/ua/news/poshyrenn-ya-omely-v-umani-vyvchatyme-spetsialna-komisiya--3011>.
14. Рибалка І. О. Вплив омели білої (*Viscum album* L.) на динаміку радіального приросту клена сріблястого (*Acer saccharinum* L.) в Лісостеповій зоні України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. № 22 (15). С. 57–63.
15. Роговський С. В. Вікові дерева в зелених насадженнях Білої Церкви та їх роль у формуванні сучасного образу міста. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. № 24 (5). С. 46–51.
16. Рузова А. И. Использование метода главных компонент в экологии морского фитопланктона (обзор) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.vuzlib.com.ua/articles/book/21614-Ispolzovanie_metoda_glavnykh_k/1.html.
17. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск: Институт почвоведения и агрохимии, 2008. 223 с.
18. Тополь бальзамический – *Populus balsamifera* L. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/68.htm>.
19. Тополь чёрный, или осокорь – *Populus nigra* L. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/71.htm>.
20. Тополя бальзамічна (*Populus balsamifera*) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://fitoapteka.org/herbs-t/2251-populus-balsamifera>.
21. Фірсова А. А. Вплив забрудненої атмосфери на здоров'я людини [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.udau.edu.ua/assets/files/zbirniki/conference/ekologiya/Firsova.pdf>.
22. Шевчук І. Б. Моделі компонентного та факторного аналізу розвитку системи дитячого оздоровлення в Україні. *Сталий розвиток економіки: міжнар. наук.-вироб. журн. Хмельницький*. 2013. № 3 (20). С. 12–17.
23. Baltazár, T. Modelling of the distribution of european mistletoe (*Viscum album*) with dependence on local factors in the Castle Park in Lednice. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2015. Vol. 63 (5). P. 1441–1452.
24. Hawksworth, F. G. Spread of European mistletoe (*Viscum album*) in California, U.S.A. *European Journal of Plant Pathology*. 1986. Vol. 16. P. 1–5.
25. Kartoolinejad, D. The relationship among infection intensity of *Viscum album* with some ecological parameters of host trees. *International Journal of Environmental Research*. 2007. Vol. 1. P. 143–149.
26. Kolodziejek, J. Distribution, frequency and host patterns of European mistletoe (*Viscum album* subsp. *album*) in the major city of Lodz, Poland. *Biologia*. 2013. Vol. 68. P. 55–64.
27. Zuber, D. Biological flora of Central Europe: *Viscum album* L. *Flora*. 2004. Vol. 199. P. 181–203.
28. Stanton, S. A comparison of the population genetic structure of parasitic *Viscum album* from two landscapes differing in degree of fragmentation. *Plant Systematics and Evolution*. 2009. Vol. 281. P. 161–169.

References

1. How is right: Robinia Pseudoacacia or White Acacia? URL: http://www.bestgardener.ru/flower/bel_akaciia.shtml (in Rus.).
2. Vasylenko, I. D., Filipova, L. M., Fuchylo, Ja. D. (2013) Fighting of the mistletoe on poplar trees in the green area of the city of Bila Cerkva. *Scientific Journal of NLTU Ukraine*, Vol. 23, No. 12, pp. 31–38 (in Ukr.).
3. Efimov, V. M., Kovaleva, V. Ju. (2008) Multivariate analysis of biological data. Sankt-Peterburg: Rizo-pechat' (in Ukr.).
4. Zhytovo, A. V. The State of forest shelter belts in agricultural landscapes of the south of Kyiv region. *Scientific Journal of NLTU Ukraine*, Vol. 26, No 1, pp. 12–18 (in Ukr.).

5. History and architecture of Kharkiv. The main stages of development of formation of the city. URL: <http://www.kharkov.ua/culture/1.html> (in Ukr.).
6. Ivantsiv, V. V., Ivantsiv, O. Ya. (2013) Ecological factors deterioration of wood plantations in town Lutsk. *Nature of Western Polissya and surrounding areas*, Vol. 10, pp. 94–100 (in Ukr.).
7. Levon, F. M. (2003) Creation of the green spaces in urban environment: requirements, limiting factors and ways of optimization. *Scientific Journal of NLTU Ukraine*, Vol. 13, No 5, pp. 157–162 (in Ukr.).
8. Lysenko, M. (2007) Green areas in the urban environment of the city of Ivano-Frankivsk. *Scientific Journal of V. Stefanik Carpathian National University*, Vol. 7, pp. 236–240 (in Ukr.).
9. Nikitin, A. Ja., Sosunova, Y. A. (2003) Analysis and forecast of time series for environmental observations and experiments. Irkutsk: Irkutsk State Pedagogical University (in Rus.).
10. Nikitenko, L. (2004) Mistletoe widely spreads on hosts. *Ukraine is young – the daily information & political newspaper*. URL: <http://www.umoloda.kiev.ua/number/181/116/6274/> (in Ukr.).
11. Prokudin, Yu. N., ed. (1987) Identification guide of the higher vascular plants of Ukraine. Kyiv: Naukova dumka (in Rus.).
12. Pesenko, Yu. A. (1982) Principles and methods of numerical analysis in the faunistic research. Moscow: Nauka (in Rus.).
13. Radova, V. (2013) Mistletoe distribution will investigate a special commission in the city of Uman. Uman info – an information site of the city of Uman. URL: <http://uman.info/ua/news/poшыrennya-omely-v-umani-vyvchatyme-spetsialna-komisiya--3011> (in Ukr.).
14. Rybalka, I. O., Vergeles, Yu. I., Koval, I. M. (2012) Effect of the White Mistletoe (*Viscum album* L.) on dynamics of radial increment of the Silver Maple (*Acer saccharinum* L.) in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Scientific Journal of NLTU Ukraine*, Vol. 7, No 15, pp. 57–63 (in Ukr.).
15. Rohovskyi, S. V. (2008). Features of the introduction optimization of recreational landscape at the sanatorium «Kvitka Polonyny». *Scientific Journal of NLTU Ukraine*, Vol. 18, No 12, pp. 50–59 (in Ukr.).
16. Ruzova, A. I., Krupatkina, K. Application of PCA in the ecology of marine phytoplankton (review). URL: http://www.vuzlib.com.ua/articles/book/21614_Ispolzovanie_metoda_glavny_kh_k/1.html (in Rus.).
17. Sorokin, O. D. (2008) Applied statistics on the computer. Novosibirsk: Institut pochvovedeniya i agrohimii (in Rus.).
18. Balsam Poplar (*Populus balsamifera* L.). URL: <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/68.htm>. (in Rus.).
19. Black Poplar (*Populus nigra* L.). URL: <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/71.htm> (in Rus.).
20. Balsam Poplar (*Populus balsamifera* L.) URL: <http://fitoapteka.org/herbs-t/2251-populus-balsamifera>. (in Ukr.).
21. Firsova, A. A. The impact of polluted air on human health. URL: <http://www.udau.edu.ua/assets/files/zbirniki/conference/ekologiya/Firsova.pdf> (in Ukr.).
22. Shevchuk, I. B. (2013) Models of a component factor analysis and development of children's health in Ukraine. *Sustainable development of economics*, Vol. 3, No 20, pp. 12–17 (in Ukr.).
23. Baltazár, T., Pejcha, M., Varga, I. (2015) Modelling of the distribution of european mistletoe (*Viscum album*) with dependence on local factors in the Castle Park in Lednice. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, Vol. 63, No 5, pp. 1441–1452.
24. Hawksworth, F. G., Scharpf, R. F. (1986) Spread of European mistletoe (*Viscum album*) in California, U.S.A. *European Journal of Plant Pathology*, Vol. 16, pp. 1–5.
25. Kartoolinejad, D., Hosseini, S. M., Mirnia, S. K., Akbarinia, M., Shayanmehr, F. (2007) The relationship among infection intensity of *Viscum album* with some ecological parameters of host trees. *International Journal of Environmental Research*, Vol. 1, pp. 143–149.
26. Kolodziejek, J., Patykowski, J., Kolodziejek, R. (2013). Distribution frequency and host patterns of European

- mistletoe (*Viscum album* subsp. *album*) in the major city of Lodz, Poland. *Biologia*, Vol. 68, pp. 55–64.
27. Zuber, D. (2004). Biological flora of Central Europe: *Viscum album* L. Flora, Vol. 199, pp. 181–203.
28. Stanton, S. A., Honnay, O., Jacquemyn, H. (2009). Roldan-Ruiz comparison of the population genetic structure of parasitic *Viscum album* from two landscapes differing in degree of fragmentation. *Plant Systematics and Evolution*, Vol. 281, pp. 161–169.

I. O. Rybalka, assistant

O. M. Beketov Kharkiv National University of Municipal Economy
Revoliutsii str., 12, Kharkiv, 61002, Ukraine

TO ECOLOGICAL SAFETY OF GREEN PLANTATIONS UNDER THE RAPID INVASION OF THE WHITE MISTLETOE (*VISCUM ALBUM* L.)

A short description of the issue. Environmental factors that contribute to the rapid spread of the White Mistletoe (*Viscum album* L.) have been investigated for increase in the level of the ecological safety of green plantations.

The White Mistletoe is an evergreen hemiparasitic dwarf shrub with persistent haustoria. A dwarf's diameter may reach up to 90 (100) cm, and the lifespan – over 40 years. The Mistletoe is known to cause deterioration of tree health (i.e. trees infested by the White Mistletoe show increased defoliation and dieback, reduced growth and productivity) as well as aesthetic appearance.

A number of fruit-eating birds such as the Waxwing and the Mistle Thrush disperse this dwarf shrub. Mistletoe «seeds» survive the passage through the digestive tract of birds unharmed and are released with the faeces.

Modern distribution range of the White Mistletoe in Europe extends from 10° W to 80° E and from about 35° S to 60° N. The limiting factor for the northern and eastern distribution of mistletoe is mean annual temperature.

Nowadays due to global climate change the range of the White Mistletoe's distribution is expanding both northward by latitude and upward by altitude in mountain areas. In many cities of Ukraine the White Mistletoe has been a common and widely distributed species.

The aim of the study is to determine the relationship between the White Mistletoe density and environmental factors in urban landscapes to provide the ecological safety of green plantations.

Materials and methods. Field surveys were carried out in the city of Kharkiv (Ukraine). Sample plots were located within north, northeast, central, west and southeast parts of the city. We used semi-quantitative indexes as a proxy of the White Mistletoe abundance at individual infested tree as follows: "1" was assigned for the range of the Mistletoe individual dwarves from 1 to 5, "2" – from 6 to 10, "3" – from 11 to 20, "4" – from 21 to 40, etc.

For determination of the White Mistletoe populations' age structure we established three age classes determined visually. When the White Mistletoe did not produce fruits and its diameter was from 0 to 25 cm, the plant was considered as «juvenile», for the plants with flowers or fruits and diameter from 25 to 50 cm the «generative» age class was assigned, and the shrubs with diameters over 51 cm were considered as "senile".

Depending on the actual age structure of local populations their population trends ("stable", "growing", "declining") were established.

The principal component analysis was conducted in order to determine relationships between The White Mistletoe density and landscape characteristics.

Research results. *With the use of principal component analysis environmental variables which influence rapid spread of the White Mistletoe on the level of landscape were evaluated. The White Mistletoe depending prevailing shares of the White Mistletoe hosts: White Willow, Norway Maple, Silver Maple, Robinia Pseudoacacia, Balsamic Poplar and Black Poplar and Garden Apple.*

Research results should be considered when developing and reconstructing gardening in cities Eastern Forest-Steppe of Ukraine.

Further research should be directed to the developing of environmentally sound recommendations on the White Mistletoe population management in urban ecosystems.

Acknowledgements. *The author sincerely acknowledges Mr Yuri Vergeles (O. M. Beketov NUUEK) for invaluable assistance in consultations and practical recommendations on the collection and systematization of research material and participation in some field observations.*

Keywords: *the White Mistletoe, urban landscape, principal component analysis, factors of dissemination.*

Рецензенти: Аніщенко Л. Я., д.т.н., доцент,
Стольберг Ф. В., д.т.н., професор.