



УДК 581.9:574:630(477.82/.86)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.31>

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ АСОЦІАЦІЇ *DICRANO-PINETUM* НА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

О. М. Василенко¹, І. В. Хом'як², В. І. Тіт³

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю прогнозування змін лісових екосистем Полісся в умовах зростання антропогенного впливу та глобальних кліматичних змін. Одним із важливих складників лісових екосистем регіону є асоціація *Dicrano-Pinetum*, яка представлена переважно сосновими лісами з характерним мохово-лишайниковим покривом. Вивчення динаміки цієї асоціації під впливом комплексу екологічних чинників є важливим науковим завданням, результати якого дозволяють оцінити вплив змін навколишнього середовища на структуру та функціонування екосистем, що є основою для ухвалення рішень з управління природними ресурсами. Мета роботи полягає у проведенні аналізу фітоценотичного розмаїття та прогнозуванні динаміки асоціації *Dicrano-Pinetum* на території Житомирського Полісся в умовах кліматичних змін і антропогенного впливу.

Для досягнення поставленої мети було застосовано комплекс методів: маршрутно-експедиційний метод геоботанічних досліджень, синфітоіндикаційний аналіз (за шкалою Дідуха – Плюти), кластерний аналіз із використанням програмних засобів “Turboveg” та “Juice”, математичні методи прогнозування на основі марковських ланцюгів і програмний комплекс “Simargl”. Було проведено аналіз екологічних чинників, як-от вологість ґрунтів, термальний режим, рівень континентальності клімату й антропогенне навантаження.

Результати дослідження свідчать про високу біологічну різноманітність асоціації *Dicrano-Pinetum* із типовим домінуванням сосни звичайної та мохів (*Dicranum polysetum*, *Polytrichum commune*). Виявлено, що склад асоціації суттєво залежить від термального режиму, вологості й антропогенного навантаження. Розроблено три основні сценарії можливих змін асоціації в майбутньому: збереження структурної стабільності, трансформація до змішаних лісів за умов підвищення

¹ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Vasylenko-O@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3283-6980

² кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Khomiak-I@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-0080-0019

³ студентка кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: titvictoria92@gmail.com
ORCID: 0009-0000-9140-8500

вологості та температури, деградація мохового покриву в умовах підвищеної континентальності клімату.

Наукова новизна роботи полягає в інтегрованому використанні сучасних методологічних підходів до прогнозування суцесійних змін асоціації *Dicrano-Pinetum* із застосуванням марковського моделювання та синфітоіндикаційного аналізу.

Практична значущість полягає в можливості використання отриманих результатів для розроблення ефективних природоохоронних стратегій і раціонального управління лісовими екосистемами Полісся.

Ключові слова: суцесійне прогнозування, моховий покрив, синфітоіндикація, антропогенний вплив, кліматичні зміни, охорона природи.

MODELING THE DYNAMICS OF THE DICRANO-PINETUM ASSOCIATION IN THE TERRITORY OF ZHYTOMYR POLISSYA

O. M. Vasylenko, I. V. Khomyak, V. I. Tit

The relevance of the study is due to the need to predict changes in forest ecosystems of Polissya in conditions of increasing anthropogenic impact and global climate change. One of the important components of the forest ecosystems of the region is the Dicrano-Pinetum association, which is represented mainly by pine forests with a characteristic moss-lichen cover. Studying the dynamics of this association under the influence of a complex of ecological factors is an important scientific task, the results of which allow us to assess the impact of environmental changes on the structure and functioning of ecosystems, which is the basis for making decisions on natural resource management. The purpose of the work is to analyze phytocenotic diversity and predict the dynamics of the Dicrano-Pinetum association in the territory of Zhytomyr Polissya in conditions of climate change and anthropogenic impact.

To achieve the set goal, a set of methods was applied: route-expedition method of geobotanical research, synphytoindication analysis (according to the Didukh-Plyuta scale), cluster analysis using Turboveg and Juice software tools, mathematical forecasting methods based on Markov chains and the Simargl software package. An analysis of environmental factors, such as soil moisture, thermal regime, level of climate continentality and anthropogenic load was conducted.

*The results of the study indicate a high biological diversity of the Dicrano-Pinetum association with a typical dominance of Scots pine and mosses (*Dicranum polysetum*, *Polytrichum commune*). It was found that the composition of the association significantly depends on the thermal regime, humidity and anthropogenic load. Three main scenarios of possible changes in the association in the future were developed: preservation of structural stability, transformation to mixed forests under conditions of increased humidity and temperature, degradation of moss cover under conditions of increased climate continentality.*

The scientific novelty of the work lies in the integrated use of modern methodological approaches to predicting successional changes in the Dicrano-Pinetum association using Markov modeling and synphytoindication analysis.

The practical significance lies in the possibility of using the obtained results to develop effective environmental protection strategies and rational management of forest ecosystems of Polissya.

Key words: successional forecasting, moss cover, synphytoindication, anthropogenic impact, climate change, nature conservation.

Вступ

Лісові екосистеми Полісся є важливими природними комплексами, які відіграють ключову роль у підтриманні екологічної рівноваги регіону. Однією з панівних фітоценотичних одиниць цього регіону є асоціація *Dicrano-Pinetum*, що представлена сосновими лісами на бідних, піщаних і супіщаних ґрунтах із характерним мохово-лишайниковим покривом. Динаміка цієї асоціації під впливом природних і антропогенних чинників є складним процесом, який впливає на

біорозмаїття, стійкість екосистеми, її здатність до самовідновлення.

Одним з актуальних питань сучасної екології є моделювання змін у лісових фітоценозах для прогнозування наслідків антропогенного втручання та зміни клімату. З огляду на глобальні екологічні виклики, як-от підвищення середньорічних температур, збільшення частоти лісових пожеж, зміни в режимі зволоження та рівні ґрунтових вод, необхідним є детальне дослідження тенденцій динаміки *Dicrano-Pinetum*. Це

дозволить не лише розуміти механізми сукцесійних змін, але й розробити науково обґрунтовані заходи збереження і адаптації лісових екосистем Полісся.

Також особливого значення набуває проблема деградації лісів у зв'язку зі збільшенням антропогенного навантаження, зокрема через вирубування, рекреаційний вплив, промислові забруднення та зміну лісокористування. Моделювання динаміки асоціації *Dicrano-Pinetum* дозволить оцінити стійкість її структурних компонентів, визначити ключові чинники, що спричиняють трансформацію екосистеми, та передбачити потенційні сценарії її розвитку.

Дослідження асоціації *Dicrano-Pinetum* також важливе для розроблення природоохоронних стратегій, адже ця екосистема відіграє вагомую роль у підтримці біологічного розмаїття Полісся, слугує середовищем існування для численних видів флори і фауни. Деякі представники мохово-лишайникового покриву, зокрема лишайники роду *Cladonia*, є чутливими біоіндикаторами змін у навколишньому середовищі, що робить їх цінним інструментом для екологічного моніторингу.

Отже, актуальність цього дослідження зумовлена необхідністю прогнозування змін у соснових лісах Полісся, збереження їхньої стійкості в умовах змін клімату й антропогенного впливу, а також розвитком науково обґрунтованих підходів до управління цими екосистемами. Використання математичних і комп'ютерних моделей у вивченні динаміки лісових угруповань дозволить отримати точніші прогнози щодо їхнього майбутнього стану та сприятиме ефективній природоохоронній діяльності.

Аналіз сучасних літературних джерел показує, що питання динаміки та моделювання лісових угруповань на території Полісся є актуальним і широко обговорюваним у науковій спільноті.

Останніми роками суттєву увагу приділено вивченню природних і антропогенних чинників, що впливають на динаміку рослинних асоціацій (Хом'як та ін., 2020). Дослідники підкреслюють необхідність застосування інтегрованих синфітоіндикаційних показників для оцінювання ступеня антропогенної трансформації, які дозволяють комплексно оцінити зміну рослинних угруповань (Хом'як та ін., 2020).

Одним із напрямів, які активно розвиваються в сучасних дослідженнях, є оцінювання впливу зарегулювання гідрологічного режиму на екосистеми малих річок,

які тісно взаємодіють із сосновими лісами типу *Dicrano-Pinetum* (Хом'як та ін., 2021a). Установлено, що порушення природного режиму течії істотно впливає на структуру рослинності й біорозмаїття долини річки Лісної, призводять до трансформації рослинних угруповань і порушення природного стану екосистем.

Значну увагу приділяють також методологічним підходам до моделювання рослинних сукцесій (Хом'як та ін., 2021b). Зокрема, дослідження на території піщаних кар'єрів Житомирського Полісся свідчать про високу ефективність моделювання та прогнозування динаміки рослинності із застосуванням комплексного підходу до визначення структурних і динамічних параметрів екосистем (Хом'як та ін., 2021a).

Окрім цього, з огляду на регіональний аспект, суттєву цінність має узагальнене дослідження природних умов і тенденцій змін екосистем Полісся. Серед іншого, важливим є врахування специфіки антропогенних перетворень, що відбуваються в регіоні останні десятиліття (Українське Полісся, 2022). Сучасні публікації акцентують на необхідності охорони екологічно чутливих зон і окремих природних комплексів, як-от витoki малих річок, що забезпечують збереження унікальних типів рослинності, зокрема й *Dicrano-Pinetum* (Хом'як та ін., 2022).

На міжнародному рівні активно вивчаються питання впливу чинників середовища на динаміку соснових лісів (Bartkowiak et al., 2016; Sienkiewicz et al., 2021). У дослідженні історії соснових угруповань, проведеному в Північній Польщі, доведено значення палеоекологічних чинників для формування сучасної структури соснових лісів (Sienkiewicz et al., 2021). Це дозволяє застосовувати ці дані як важливий компонент для моделювання сучасних змін аналогічних угруповань на території українського Полісся.

Також вагомими є праці, присвячені детальному опису та класифікації рослинних асоціацій, їхньому місцю в загальноєвропейській системі фітоценозів (Chytrý et al., 2020). Ці дослідження значно полегшують процес моделювання, надають стандартизовані методичні підходи до вивчення та класифікації рослинності, зокрема соснових лісів типу *Dicrano-Pinetum*.

Отже, сучасні дослідження формують надійне методологічне підґрунтя для моделювання динаміки рослинних асоціацій,

зокрема *Dicrano-Pinetum*, з урахуванням як регіональних умов, так і глобальних екологічних викликів. Подальші дослідження сприятимуть уточненню моделей, що є необхідним для раціонального управління лісовими екосистемами Полісся та збереження їхнього біорозмаїття та стійкості в умовах сучасних змін довкілля.

Незважаючи на значні досягнення у вивченні динаміки рослинних асоціацій на території Полісся, низка питань залишається не досить дослідженою. Зокрема, актуальними є питання впливу змін клімату й антропогенного навантаження на структуру та стабільність цього угруповання, а також оцінювання його сукцесійних змін у довгостроковій перспективі. Не досить вивченими залишаються гідрологічні чинники, зокрема зміни рівня ґрунтових вод, які можуть суттєво впливати на розвиток досліджуваної асоціації. Важливим напрямом подальших досліджень є проведення аналізу мікоризних взаємозв'язків, що визначають стійкість екосистеми, та застосування методів дистанційного зондування для оцінювання її стану та прогнозування можливих змін. Окрім того, відсутність адаптивних моделей реагування асоціації *Dicrano-Pinetum* на екстремальні погодні явища та зміни клімату ускладнює прогнозування її майбутнього розвитку. Не досить вивченими залишаються біоценотичні зв'язки між рослинними угрупованнями та популяціями тварин, які можуть впливати на процеси природного поновлення лісів. Також відсутні комплексні природоохоронні заходи, що враховували б сучасні виклики та ризики для збереження цього фітоценозу. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розроблення інтегрованих моделей прогнозування змін екосистеми, упровадження дистанційного моніторингу та розроблення адаптивних природоохоронних стратегій, що дозволить ефективно управляти лісовими ресурсами Полісся та забезпечити збереження біорозмаїття регіону.

Мета дослідження – проведення аналізу фітоценотичного розмаїття та моделювання динаміки розвитку асоціації *Dicrano-Pinetum* на території Житомирського Полісся в умовах кліматичних змін і антропогенного впливу.

Для досягнення мети дослідження було поставлено такі завдання: здійснити довгостроковий комплексний моніторинг сукцесійних змін асоціації *Dicrano-Pinetum* на території Житомирського Полісся, що

передбачає регулярні геоботанічні описи з визначенням змін флористичного складу та частоти зустрічальності домінантних і співдомінантних видів (*Pinus sylvestris*, *Dicranum polysetum*, *Polytrichum commune* та інші) в умовах зміни кліматичних показників (термальний режим, вологість ґрунту та континентальність клімату) і посилення антропогенного навантаження. У межах дослідження застосувати синфітоіндикаційний аналіз за шкалами Дідуха – Плюти та Дідуха – Хом'яка з метою оцінювання стану екологічних чинників і ступеня антропогенної трансформації рослинних угруповань, а також виконати прогнозування розвитку асоціації *Dicrano-Pinetum* із використанням математичних моделей на основі марковських ланцюгів і програмного комплексу “Simargl”, що дозволить визначити ймовірні сценарії динаміки структури фітоценозу в умовах різних кліматичних ситуацій.

Матеріал і методи

Матеріалами дослідження є геоботанічні описи, зроблені загальноприйнятим маршрутно-експедиційним методом (Westhoff, Maarel, 1973), доповнені застосуванням класифікаційних одиниць, визначених у Національному каталозі біотопів України (Національний..., 2018). Використання цього каталогу дозволило здійснити чітке типологічне розмежування досліджуваних біотопів, а також забезпечити стандартизацію опису природних оселищ згідно з національними та європейськими підходами до класифікації середовищ існування. Дослідження здійснено на території Житомирського Полісся у 2024 р. Геоботанічний опис охоплював характеристики умов середовища та проєктивне покриття вищих судинних рослин за модифікованою шкалою Ж. Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1965). Для синфітоіндикаційного аналізу класичну семибальну шкалу було перетворено на п'ятибальну, де покриття понад 75% відповідало 5 балам, 50–75% – 4 балам, 25–50% – 3 балам, 5–25% – 2 балам, а менше ніж 5% – 1 балу. Категорії «+» та “r” у модифікованій шкалі отримали значення «1 бал» (Дідух, 2012).

Дослідження передбачало рекогносцирувальні обстеження, фітоценотичний аналіз і оцінювання основних чинників середовища (Khomiak et al., 2020). Закладення пробних площ розміром 25 × 25 та 50 × 50 м дозволило детально дослідити структуру рослинного покриву. Координати встановлювали за допомогою GPS-навігації або мобільного застосунку “GPSTest” (Hennekens &

Schaminée, 2009). Фітоіндикаційний аналіз застосовувався для визначення таких параметрів, як вологість, кислотність ґрунту, освітленість і зміни сукцесійних процесів. Спостереження за динамікою рослинного покриву сприяло визначенню особливостей його розвитку в часі (Дубина та ін., 2019).

Камеральний етап дослідження передбачав обробку й аналіз польових даних за допомогою спеціалізованих програмних засобів. Для систематизації геоботанічних описів використовувалася база даних “Turboveg”, а кластерний аналіз фітоценозів проводився за допомогою програмного забезпечення “Juice” (Hennekens & Schaminée, 2009). Групування описів у кластери здійснювалося методом TWINSpan на основі їхньої правильності в синтаксономічній таблиці (Дідух, Плюта, 1994).

Для прогнозування розвитку асоціації *Dicrano-Pinetum* застосовувалося сукцесійне моделювання на основі марковських ланцюгів, що дозволяло прогнозувати зміни у структурі фітоценозів (Khomiak et al., 2020). Екосистемне моделювання проводилося з використанням програмного пакету “Simargl” (Хом’як і Хом’як, 2014), що дозволяло оцінити стабільність асоціації в умовах різних екологічних сценаріїв. Синфітоіндикаційний аналіз проводився на основі оцінювання середовищних показників відповідно до шкали Дідуха – Плюти, а рівень антропогенної трансформації

визначався за шкалою Дідуха – Хом’яка (Дідух і Хом’як, 2015). Динамічні зміни екосистеми та вплив кліматичних чинників оцінювалися за допомогою математичних методів аналізу.

Результати

Опис результатів дослідження фітоценотичного розмаїття лісів Житомирського Полісся свідчить про високу видову різноманітність із домінуванням соснових угруповань. Основу фітоценозу формує асоціація *Dicrano-Pinetum* Preising et Knapp ex Oberdorfer 1957, яка є типовою для бореальних лісів. Вона характеризується переважанням *Pinus sylvestris* L. у деревному ярусі, мохів *Dicranum polysetum* Swartz та *Polytrichum commune* Hedw. у ґрунтовому покриві, а також злакових і вересових видів у трав’яному ярусі.

Аналіз флористичного складу засвідчив значне поширення таких видів: *Dicranum polysetum* Swartz (72,7%), *Pinus sylvestris* L. (69,7%), *Festuca ovina* L. (66,7%), *Melampyrum pratense* L. (63,6%), *Sorbus aucuparia* L. (54,5%). Вони формують стійке ядро угруповання, забезпечують його екологічну стабільність. Інші види, як-от *Frangula alnus* Mill., *Calluna vulgaris* (L.) Hull та *Vaccinium myrtillus* L., трапляються рідше, проте виконують важливу роль у процесах регенерації лісу (рис. 1).

Це підтверджує природність бореальних лісів і домінування хвойних порід із харак-

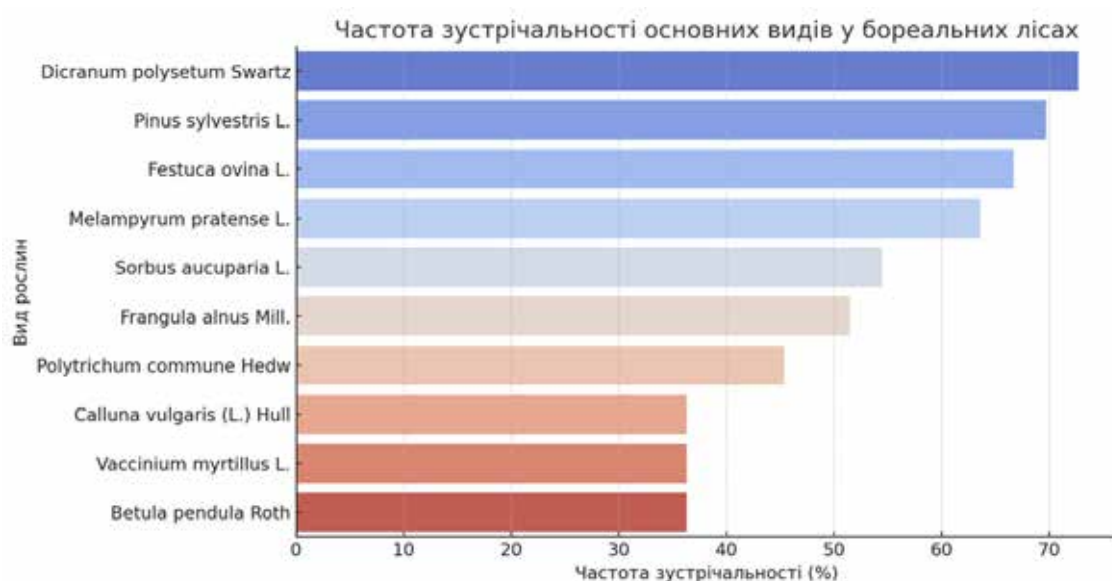


Рис. 1. Частота зустрічальності основних видів у бореальних лісах Житомирського Полісся (%)

терним моховим покривом. Висока частота зустрічальності *Festuca ovina* L. (66,7%) свідчить про значний розвиток трав'янистого покриву, що є характерною рисою цього типу лісів.

Дослідження також виявило варіативність фітоценотичного складу на різних ділянках (рис. 2). Кількість видів на досліджених ділянках змінюється від 8 до 30, що вказує на екологічну неоднорідність середовища.

Спостерігається тенденція до зменшення розмаїття на ділянках з меншою вологістю та підвищеним антропогенним впливом. Найбільше видове багатство (24 види) зафіксовано на другій ділянці, тоді як у найбільшій екосистемі кількість видів не перевищує 14.

Аналіз таксономічного складу досліджуваних лісів свідчить про їхню належність до класів *Pyrolo-Pinetea*, *Quercetea roboreticae* та *Vaccinio-Piceetea*. Це підтверджує наявність як бореальних, так і перехідних хвойно-дубових угруповань. У межах цих класів виділено 4 порядки, 5 союзів і 17 асоціацій, серед яких найпоширенішими є *Dicrano-Pinetum* і *Quercus roboris-Pinetum*.

На основі отриманих результатів і сучасних підходів до екосистемного моделювання було проведено прогноз розвитку асоціації *Dicrano-Pinetum* із використанням суцесійного моделювання на основі марковських ланцюгів. Цей підхід дозволяє оцінити ймовірні зміни у структурі фітоценозу залежно від динаміки середовищних показників (Khomiak et al., 2020).

Для прогнозування використовувався програмний пакет "Simargl", що дозволив змоделювати можливі сценарії розвитку асоціації *Dicrano-Pinetum* за різних екологічних умов. Основна увага приділялася стабільності асоціації в умовах кліматичних змін, підвищення середньорічної температури та можливих змін у режимі вологості ґрунту.

Результати моделювання свідчать, що за сценарію помірних кліматичних змін асоціація зберігатиме свою структурну стабільність, хоча можливе поступове збільшення участі листяних видів унаслідок підвищення температури та вологості. За сценарію інтенсивних кліматичних змін прогнозується зменшення частки мохів (*Dicranum polysetum*, *Polytrichum commune*) та зростання представленості *Betula pendula* та *Quercus robur*, що може свідчити про перехід до стадії дубово-соснових лісів.

Для оцінювання екологічної стійкості асоціації проведено синфітоіндикаційний аналіз за шкалою Дідуха – Плюти. Аналіз виявив, що серед основних чинників середовища найбільший вплив на зміну складу угруповання мають багаторічний режим зволоження, загальний сольовий режим (табл. 1–2).

Динамічні зміни екосистеми оцінювалися за допомогою математичних методів аналізу. Використання моделювання дозволило спрогнозувати три основні вектори розвитку асоціації *Dicrano-Pinetum*.

Збереження стабільності – у разі незначних змін показників чинників (рис. 3–4) та контролю антропогенного навантаження

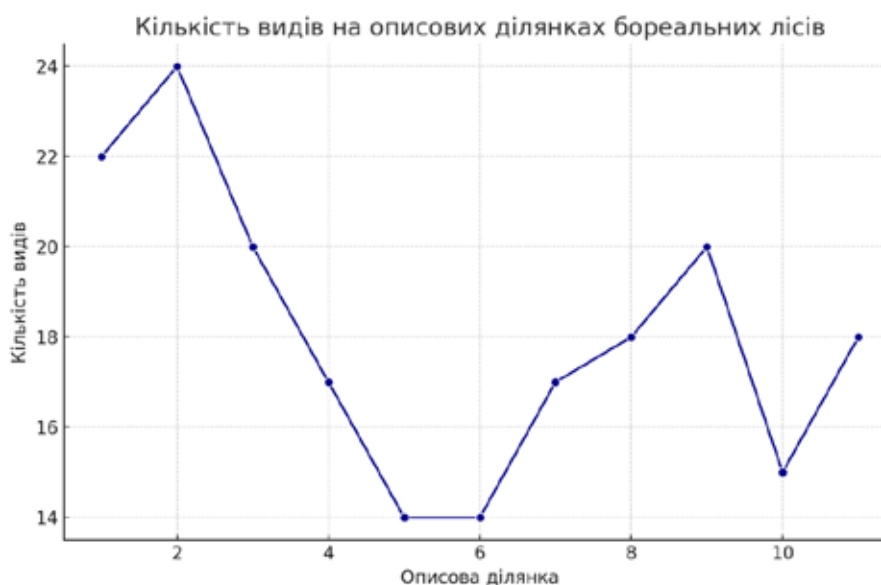


Рис. 2. Фітоценотичний склад на описових ділянках

Таблиця 1

Синфітоіндикаційні показники едафічних факторів

Статистичні показники	HD	FH	RC	SL	CA	NT	AE
середнє	11,65	5,95	5,96	5,63	5,78	4,45	6,17
максимум	12,63	7,19	7,31	7,45	6,75	5,62	7,03
мінімум	10,07	4,90	5,00	4,64	5,00	3,71	5,42
амплітуда	2,56	2,29	2,31	2,81	1,75	1,91	1,61

Таблиця 2

Синфітоіндикаційні показники мікрокліматичних факторів, природної динаміки й антропогенної трансформації

Статистичні показники	TM	OM	KN	CR	LC	ST	HE
середнє	7,77	13,79	8,69	7,78	6,68	11,28	6,53
максимум	8,73	15,00	9,22	8,36	7,66	14,83	9,45
мінімум	7,21	11,78	8,13	7,31	6,06	5,11	4,31
амплітуда	1,52	3,22	1,09	1,05	1,60	9,72	5,14

структура асоціації залишиться майже незмінною (рис. 5).

Перехід до змішаних лісів – із наростанням температури та вологості очікується збільшення листяних видів (*Quercus robur*, *Betula pendula*), що може привести до формування дубово-соснових угруповань.

Деградація мохового покриву – за умови збільшення сухих періодів прогнозується зменшення покриву мохів і поширення злакових видів (*Festuca ovina*, *Agrostis tenuis*), що може вказувати на початкові стадії деградації угруповання.

Обговорення

Результати дослідження фітоценотичного розмаїття бореальних лісів Житомирського Полісся дозволили оцінити структурні та функціональні особливості асоціації *Dicrano-Pinetum*, визначити основні тенденції її розвитку та спрогнозувати можливі сценарії змін у майбутньому. Отримані дані підтверджують стабільність угруповання, хоча спостерігаються окремі ознаки його трансформації під впливом змінних екологічних чинників.

Аналіз фітоценозу показав, що домінантними видами у складі асоціації є *Pinus*

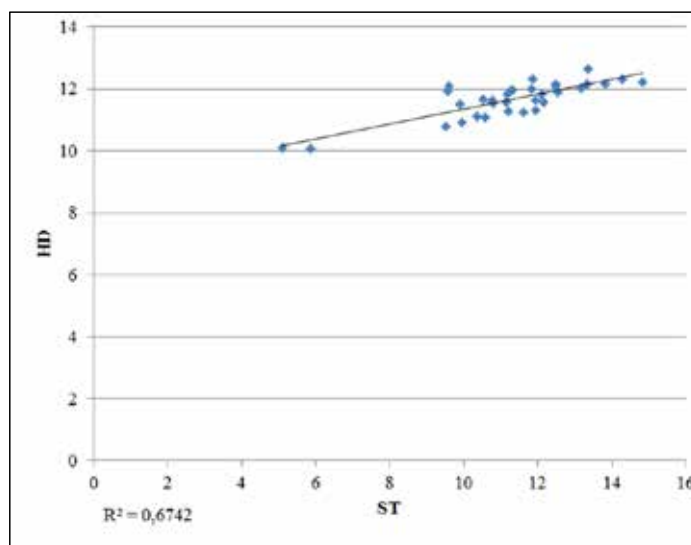


Рис. 3. Співвідношення між показником природної динаміки (ST) та багаторічним режимом динаміки (HD)

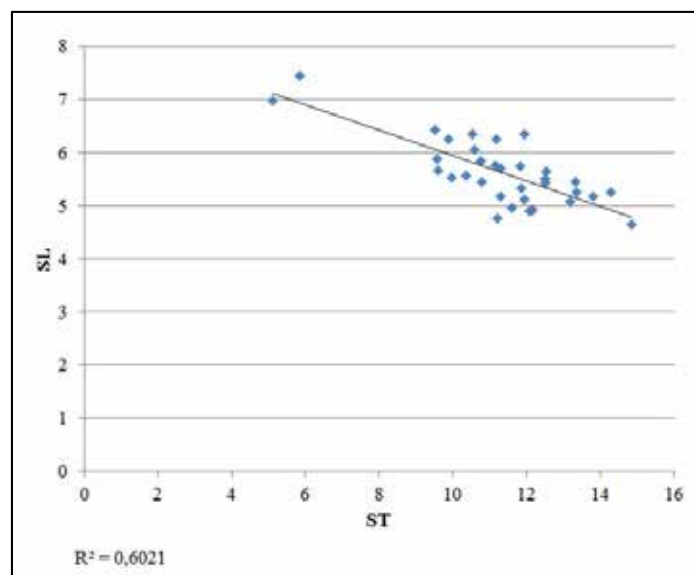


Рис. 4. Співвідношення між показником природної динаміки (ST) та загальним сольовим режимом (SL)

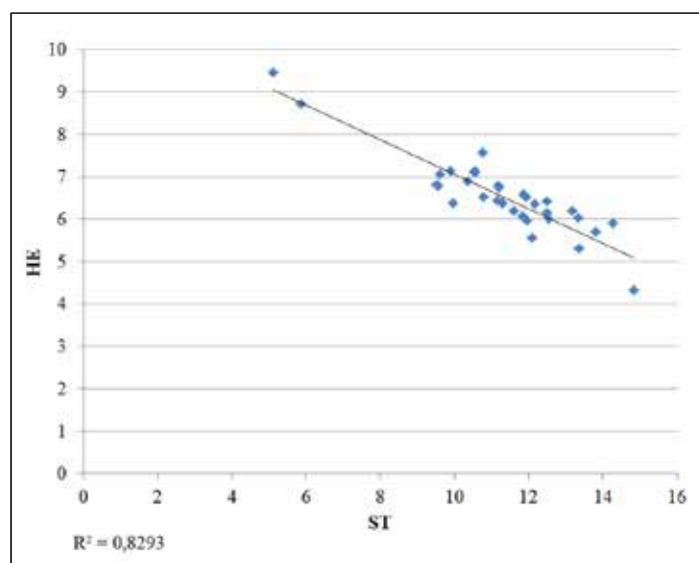


Рис. 5. Співвідношення між показниками природної динаміки (ST) і антропогенної трансформації (HE)

sylvestris L., *Dicranum polysetum* Swartz, *Festuca ovina* L., *Melampyrum pratense* L. і *Sorbus aucuparia* L. Висока частота зустрічальності мохів (*Dicranum polysetum* – 72,7%, *Polytrichum commune* – 45,4%) підтверджує, що досліджуване угруповання характеризується стабільним ґрунтово-рослинним покривом, який сприяє збереженню вологості та підтриманню специфічного мікроклімату лісу. Водночас підвищення участі листяних порід (*Betula pendula*, *Quercus robur*) свідчить про посту-

пові зміни у структурі фітоценозу, що можуть бути наслідком впливу кліматичних і антропогенних чинників.

Кількість видів на окремих дослідницьких ділянках виявила значну варіативність – від 8 до 30 видів, що зумовлено як особливостями ґрунтового покриву, так і рівнем освітленості та вологозабезпеченості. Максимальна видова розмаїтість (24–30 видів) спостерігається в більш зволжених і затінених місцевостях, тоді як найменша (8–14 видів) – у сухих піщаних біотопах, що підтверджує

роль вологості в підтриманні екологічної стабільності асоціації.

Застосування екосистемного моделювання дозволило визначити можливі вектори розвитку асоціації *Dicrano-Pinetum*. Марковське моделювання показало, що за збереження поточних кліматичних умов асоціація залишатиметься стабільною, але зі збільшенням температури та вологості можливе наростання частки листяних видів (*Quercus robur*, *Betula pendula*), що може привести до формування змішаних сосново-дубових угруповань. Найбільший ризик для стабільності асоціації несе сценарій підвищеної континентальності клімату, за якого прогнозується деградація мохового покриву та поширення злакових видів (*Festuca ovina*, *Agrostis tenuis*).

Результати синфітоіндикаційного аналізу за шкалою Дідуха – Плюти (Дідух, Плюта, 1994) підтвердили залежність угруповання від термального режиму, вологості та рівня антропогенного навантаження. Помірний рівень антропогенної трансформації свідчить про відносну стійкість лісових екосистем, однак подальше збільшення рекреаційного навантаження або вирубка можуть стати каталізаторами змін у структурі фітоценозу.

Висновки

Фітоценотична структура асоціації *Dicrano-Pinetum* характеризується стабільністю та типовим складом домінантних видів. У деревному ярусі переважає *Pinus sylvestris* L., у моховому покриві – *Dicranum polysetum* Swartz, а у трав'янистому ярусі значну роль відіграють представники родів *Festuca*, *Melampyrum* і *Sorbus*. Аналіз частоти зустрічальності видів підтвердив значний рівень біорозмаїття, що є характерним для бореальних лісів.

Фітоценоз демонструє просторову варіативність, що проявляється у зміні кількості видів залежно від умов зволоженості, освітленості та рівня антропогенного впливу. Найбільша видова розмаїтість зафіксована в більш зволжених і затінених місцевостях, тоді як у сухих піщаних біотопах її рівень суттєво знижується. Синфітоіндикаційний

аналіз виявив, що основними екологічними чинниками, які визначають стан асоціації, є термальний режим, рівень вологості й антропогенне навантаження. Помірний рівень антропогенної трансформації свідчить про відносну збереженість природних угруповань, однак подальше посилення антропогенного тиску може призвести до їхньої деградації та зміни структурної організації.

Екосистемне моделювання дозволило визначити ймовірні сценарії динаміки асоціації *Dicrano-Pinetum*. За умов помірних кліматичних змін структура угруповання залишається відносно стабільною. У разі підвищення температури та вологості прогнозується поступове збільшення участі листяних видів, що може сприяти формуванню змішаних сосново-дубових лісів. Водночас поширення континентальності клімату та зниження рівня ґрунтової вологи може спричинити деградацію мохового покриву та розширення злакових компонентів, що свідчить про потенційні зміни у структурі фітоценозу.

Подальші дослідження асоціації *Dicrano-Pinetum* мають бути спрямовані на оцінювання довгострокових тенденцій змін у структурі фітоценозів під впливом природних і антропогенних чинників. Важливим завданням є використання сучасних методів дистанційного зондування та геоінформаційних технологій для картографування змін у розподілі рослинних угруповань. Перспективним напрямом є застосування розширеного математичного моделювання з використанням алгоритмів штучного інтелекту для прогнозування динаміки біогеоценозів. Актуальними залишаються дослідження механізмів природного відновлення асоціації після антропогенних порушень, як-от вирубка чи пожежі, а також оцінювання впливу глобальних кліматичних змін на екосистемні функції бореальних лісів. Комплексний підхід до дослідження цих питань сприятиме ефективному збереженню екологічної стабільності бореальних лісів Полісся та розробленню природоохоронних заходів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу зовнішніх чинників.

Список використаної літератури

- Дідух Я.П. Екофлористичний аналіз рослинного покриву України: методологія та методи дослідження. Київ : Наукова думка, 2012. 284 с.
- Дідух Я.П., Плюта П.Г. Синфітоіндикаційний аналіз рослинних угруповань. Київ : Наукова думка, 1994. 192 с.
- Дідух Я.П., Хом'як І.В. Оцінка еколого-флористичних особливостей рослинного покриву: методологія та методи дослідження (на прикладі Українського Полісся). Київ : Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, 2015. 64 с.

Дубина Д.В., Соломаха В.А., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Продромус рослинності України. Київ : Фітосоціоцентр, 2019. 456 с.

Національний каталог біотопів України / за ред. А.А. Куземко та ін. Київ : ФОП Ю.Я. Клименко, 2018. 442 с.

Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку. Луцьк : ЛНТУ, 2022. 310 с. [Електронний ресурс]. URL: https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2022-02/Збірник_Полісся.pdf (дата звернення: 13.03.2025).

Хом'як І.В., Василенко О.М., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П., Шпаковська Л.В., Демчук Н.С., Гарбар О.В., Онищук І.П., Коцюба І.Ю. Методологічні підходи до створення інтегрованого синфітоіндикаційного показника антропогенної трансформації. *Екологічні науки*. 2020. № 5 (32). С. 136–141 [Електронний ресурс]. URL: <http://escoj.dea.kiev.ua/archives/2020/5/21.pdf> (дата звернення: 13.03.2025).

Хом'як І.В., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П. Динаміка відновлюваної рослинності піщаних кар'єрів Житомирського Полісся. *Екологічні науки*. 2021а. № 6 (39). С. 204–207. URL: <http://escoj.dea.kiev.ua/archives/2021/6/20.pdf> (дата звернення: 13.03.2025).

Хом'як І.В., Гарбар Д.А., Василенко О.М., Андрійчук Т.В. Сучасні тенденції змін методологічних підходів до вивчення відновлення природної рослинності на постгірничих територіях. *Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку*. Ніжин : НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 10–12.

Хом'як І.В., Зарічна М.С., Демчук Н.С., Костюк В.С., Василенко О.М., Власенко Р.П., Гарбар Д.А. Вплив зарегулювання течії на динаміку екосистем долини річки Лісна (Житомирська область). *Екологічні науки*. 2021b. № 2 (35). С. 45–48 [Електронний ресурс]. URL: <http://escoj.dea.kiev.ua/archives/2021/2/9.pdf> (дата звернення: 13.03.2025).

Хом'як І.В., Хом'як Д.І. Нова програма екосистемологічного моніторингу "Simargl". *Сучасні проблеми екології та геотехнологій*. Житомир : Вид-во ЖДТУ, 2012. С. 76.

Bartkowiak S., Prusinkiewicz Z., Wawrzyniak J. Growth dynamics of the Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Poland. *Forest Research Papers*. 2016. Vol. 77. Issue 3. P. 209–217. <https://doi.org/10.1515/frp-2016-0024>.

Braun-Blanquet J. *Plant Sociology the Study of Plant Communities*. Springer-Verlag, 1965. 865 p.

Chytrý M., Danihelka J., Kaplan Z., Pyšek P., Tichý L., Danihelka P. European Vegetation Classification A working guide for the European Vegetation Archive. *Applied Vegetation Science*. 2020. Vol. 23. Issue 3. P. 648–675. <https://doi.org/10.1111/avsc.12519>.

Hennekens S.M., Schaminée J.H.J. Turboveg, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science*. 2001. Vol. 12. P. 589–591.

Sienkiewicz J., Kołaczek P., Wacnik A., Głos M., Granoszewski W., Nalepka D., Tylmann W. Holocene history of *Pinus sylvestris* in northern Poland in the light of integrated palaeoecological data. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2021. Vol. 296. P. 104537. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2021.104537>.

Westhoff V., Maarel E. van der. The Braun-Blanquet approach. *Handbook of Vegetation Science. Part V : Ordination and Classification of Vegetation* / ed. by R.H. Whittaker. The Hague, 1973. P. 619–726.

References

Diudukh, Ya.P. (2012). *Ekoflorystychnyy analiz roslynnoho pokryvu Ukrainy: metodolohiia ta metody doslidzhennia* [Ecofloristic analysis of plant cover of Ukraine: Methodology and research methods]. Kyiv : Naukova Dumka. 284 p. [in Ukrainian].

Diudukh, Ya.P., & Pliuta, P.H. (1994). *Syntfitoindykatsiyni analiz roslynnykh uhrupovan* [Synphytocoenotic analysis of plant communities]. Kyiv : Naukova Dumka. 192 p. [in Ukrainian].

Diudukh, Ya.P., & Khomiak, I.V. (2015). *Otsinka ekoloho-florystychnykh osoblyvosti roslynnoho pokryvu: metodolohiia ta metody doslidzhennia (na prykladi Ukrainiskoho Polissia)* [Assessment of ecological-floristic features of plant cover: Methodology and research methods (case study of Ukrainian Polissia)]. Kyiv : Instytut botaniky im. M.H. Kholodnoho NAN Ukrainy. 64 p. [in Ukrainian].

Dubyna, D.V., Solomakha, V.A., & Sheliag-Sosonko, Yu.R. (2019). *Prodromus roslynnosti Ukrainy* [Prodromus of vegetation of Ukraine]. Kyiv : Fitosotsiotsentr. 456 p. [in Ukrainian].

Kuzenko, A.A., Diudukh, Ya.P., Onyshchenko, V.A., & Sheffer, Ya. (Eds.). (2018). *Natsionalnyi katalog biotopiv Ukrainy* [National catalog of biotopes of Ukraine]. Kyiv : FOP Klymenko Yu. Ya. 442 p. [in Ukrainian].

Ukrainske Polissia: problemy ta trendy suchasnoho rozvytku [Ukrainian Polissia: Problems and trends of modern development] (2022). Luts'k: LNTU. 310 p. [Electronic resource] URL: https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2022-02/Zbirnyk_Polissia.pdf (access date 13.03.2025) [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Vasylenko, O.M., Harbar, D.A., Andriichuk, T.V., Kostiuk, V.S., Vlasenko, R.P., Shpakovska, L.V., Demchuk, N.S., Harbar, O.V., Onyshchuk, I.P., & Kotsiuba, I.Yu. (2020). Metodolohichni pidkhody do stvorennia intehrovanooho syntfitoindykatsiinoho pokaznyka antropohennoi transformatsii [Methodological approaches to creating an integrated synphytocoenotic indicator of anthropogenic transformation]. *Ekolohichni nauky* [Ecological Sciences], 5 (32), 136–141. [Electronic resource] URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2020/5/21.pdf> (access date 13.03.2025) [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Harbar, D.A., Andriichuk, T.V., Kostiuk, V.S., & Vlasenko, R.P. (2021a). Dynamika vidnovliuvanoi roslynnosti pishchanykh kar'ieriv Zhytomyrskoho Polissia [Dynamics of restored vegetation in sand quarries of Zhytomyr Polissia]. *Ekolohichni nauky* [Ecological Sciences], 6 (39), 204–207. [Electronic resource] URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2021/6/20.pdf> (access date 13.03.2025) [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Zarichna, M.S., Demchuk, N.S., Kostiuk, V.S., Vasylenko, O.M., Vlasenko, R.P., & Harbar, D.A. (2021b). Vplyv zarehuliuвання techii na dynamiku ekosystem dolyny richky Lisna (Zhytomyrska oblast) [Impact of flow regulation on ecosystem dynamics in the Lisna River valley (Zhytomyr region)]. *Ekolohichni nauky* [Ecological Sciences], 2 (35), 45–48. [Electronic resource] URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2021/2/9.pdf> (access date 13.03.2025) [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., & Khomiak, D.I. (2012). Nova prohrama ekosystemolohichnoho monitorynhu “Simargl” [New program of ecosystem monitoring “Simargl”]. In *Suchasni problemy ekolohii ta heotekhnolohii* [Modern problems of ecology and geotechnologies], p. 76. Zhytomyr : ZhDTU [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Harbar, D.A., Vasylenko, O.M., & Andriichuk, T.V. (2022). Suchasni tendentsii zmin metodolohichnykh pidkhodiv do vyvchennia vidnovlennia pryrodnoi roslynnosti na posthirnychykh terytoriiakh [Current trends in methodological approaches to studying natural vegetation restoration in post-mining areas]. In *Ukrainske Polissia: problemy ta trendy suchasnoho rozvytku* [Ukrainian Polissia: Problems and trends of modern development], 10–12. Nizhyn : NDU im. Hoholia [in Ukrainian].

Bartkowiak, S., Prusinkiewicz, Z., & Wawrzyniak, J. (2016). Growth dynamics of the Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Poland. *Forest Research Papers*, 77 (3), 209–217. <https://doi.org/10.1515/frp-2016-0024> [in English].

Braun-Blanquet, J. (1965). *Plant sociology: The study of plant communities*. Springer-Verlag. 865 p. [in English].

Chytrý, M., Danihelka, J., Kaplan, Z., Pyšek, P., Tichý, L., & Danihelka, P. (2020). European vegetation classification: A working guide for the European Vegetation Archive. *Applied Vegetation Science*, 23 (3), 648–675. <https://doi.org/10.1111/avsc.12519> [in English].

Hennekens, S.M., & Schaminée, J.H.J. (2001). TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science*, 12, 589–591 [in English].

Sienkiewicz, J., Kołaczek, P., Wacnik, A., Głos, M., Granoszewski, W., Nalepka, D., & Tylmann, W. (2021). Holocene history of *Pinus sylvestris* in northern Poland in the light of integrated palaeoecological data. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 296, 104537. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2021.104537> [in English].

Westhoff, V., & van der Maarel, E. (1973). The Braun-Blanquet approach. In R. H. Whittaker (Ed.), *Handbook of vegetation science: Part V – Ordination and classification of vegetation*, 619–726 [in English].

Отримано: 24.04.2025

Прийнято: 15.05.2025