

ОСОБЛИВОСТІ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ПРИРОДНУ ДИНАМІКУ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Хом'як І.В.

Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. Велика Бердичівська 40, 10008, м. Житомир
ecosystem_lab@ukr.net

Діяльність людини в межах природних екосистем вимагає розробки алгоритмів, що дають змогу прогнозувати її наслідки. Ми спостерігаємо два антагоністичних процеси: природну динаміку екосистем, що є процесом самоорганізації, і антропогенну трансформацію, яка здебільшого їй протистоїть. Зміни в екосистемах – це нелінійний процес, який складається з численних біфуркацій із набором векторів розвитку, що мають ймовірнісний характер. Вибір одного з векторів залежить від едафічних умов, антропогенного тиску та зовнішніх впливів (занесення насіння із сусідніх екосистем). *Ключові слова:* автогенна сукцесія, природна динаміка, антропогенна трансформація.

Особенности антропогенного воздействия на природную динамику экосистем Украинского Полесья. Хомьяк И.В. Деятельность человека в пределах природных экосистем требует разработки алгоритмов, позволяющих прогнозировать ее последствия. Мы наблюдаем два антагонистических процесса: естественную динамику экосистем как пример их самоорганизации и антропогенную трансформацию, что ей противостоит. Изменения в экосистемах – это нелинейный процесс, состоящий из множества бифуркаций с набором векторов развития, которые носят вероятностный характер. Выбор одного из векторов зависит от эдафических условий, антропогенного давления и внешних воздействий (занесение семян из соседних экосистем). *Ключевые слова:* автогенная сукцессия, природная динамика, антропогенная трансформация.

Features of anthropogenic impact on natural dynamics of ecosystems of Ukrainian Polesya. Khomyak I. Human activities within the natural ecosystems require the development of algorithms that enable to predict the outcome of these activities. We can observe two opposite processes: the natural dynamics of ecosystems as an example of its self-organization and anthropogenic transformation which shifts it in opposite direction. Changes in ecosystems are a nonlinear process, which consists of many bifurcations with a set of development vectors with probabilistic nature. Choosing one of these vectors depends on edaphic conditions, anthropogenic pressure and external influences (seeding from neighbouring ecosystems). *Key words:* autogenic succession, natural dynamics, anthropogenic transformation.

Організація будь-якої діяльності людини неможлива без прогнозування її наслідків. Коли ми маємо справу з охороною чи експлуатацією екосистем, ця задача стає надзвичайно складною і важливою. Екосистеми є складними багатофакторними системами, для яких характерна нелінійна динаміка, що знаходиться під впливом внутрішніх процесів самоорганізації та трансформації середовища, а також залежить від дії чинників навколишнього середовища. В таких умовах побудова прогнозу із достатньою для практики ймовірністю вимагає не лише оперування великими базами даних про зміни характеристик екосистем із часом, а й наявність теоретичної основи для створення алгоритмів динаміки. Оскільки число факторів та їхніх комбінацій, які діють у межах екосистеми, прямує до нескінченності, використання лише баз даних не дає необхідного результату. Для ефективної роботи необхідно мати теоретичні розробки, які, з одного боку, розділять впливи на провідні та другорядні, що зробить бази даних більш компактними, а, з другого боку, дають змогу побудувати продумані алгоритми прогнозування [1].

Нині такі розробки є надзвичайно актуальними. З одного боку, вони потрібні для ефективного управління діяльністю об'єктів природно-заповідного фонду, адже впровадження певних режимів запові-

дання – це зовнішній вплив на динаміку екосистем, що охороняються. Неправильно вибраний алгоритм призведе до втрати екосозологічної цінності, біорізноманіття природних об'єктів та знизить у них відсоток раритетних компонентів. Непродумані популістські рішення спричиняли такі негативні впливи.

З другого боку, прогностичні алгоритми необхідні для планування експлуатації екосистем: розбудови населених пунктів та об'єктів інфраструктури, розроблення рекреаційних (туристичних) маршрутів, ведення лісового господарства. Третьою сферою використання прогнозів динаміки є відновлення територій, де проводились гірничі роботи (в тому числі нелегальні) чи сталися техногенні катастрофи. Такі алгоритми покликані зробити відновлювані роботи більш ефективними – менш затратними фінансово, коротшими в часі та з прогнозованими наслідками. Розроблення теоретичних основ прогнозування динаміки екосистем – це основна задача лабораторії Теорії екосистем Житомирського державного університету імені Івана Франка [2]. Ці роботи ведуться у співпраці із рядом державних і приватних організацій, зацікавлених в остаточному результаті.

Проблема побудови теорії динаміки екосистем – одна із найстаріших в екологічній науці. Започаткована в 1916 р. Ф. Клементсом [3] вона

викликала гостру дискусію, яка тривала кілька десятиліть [4]. Лише із початку 70-х років стараннями Ю. Одума було знайдено спосіб подолання гострих розбіжностей і спрямувати теоретичні дослідження в конструктивне русло [4]. Було висунуто гіпотезу, що в основі змін екосистем лежать закони термодинаміки. Цьому передували роботи Р. Ліндемана, опубліковані в 1942 р. [5]. Однак особливо активно до цього питання почали звертатися лише в ХХІ ст. Було неодноразово доведено зв'язок між процесами змін в екосистемах та балансом біомаси [6–9]. На основі цього параметра було побудовано методику вирахування основних термодинамічних характеристик, наприклад, ентропії.

Однак у реальності неможливо створити умови, які б ідеально відповідали розробленій моделі. Наприклад, точно важко визначити величину антропогенного фактору через його багатогранність. Спроби його обрахунку [10] призвели до розробки методу визначення антропогенної трансформації екосистем [8; 9; 11]. Це дає нам змогу доволі точно встановити антропогенний вплив на процеси динаміки екосистем, що вперше здійснюється з використанням унікальних фітоіндикаційних методик.

Територією для дослідження є Українське Полісся – регіон, що є унікальним полігоном для дослідження природної динаміки, тому що має екосистеми, які перебувають на різних стадіях розвитку, під антропогенним тиском різного ступеня і сформовані компонентами, що походять із різних зон (бореальної, неморальної, монтанної та середземноморської). За еталон природної динаміки взято автогенні сукцесії, які відбуваються в екосистемах різного типу. Це дасть змогу створити досить уніфіковану методику побудови алгоритмів прогнозування сукцесійних змін та вдосконалення теорії динаміки екосистем.

Матеріалами дослідження є 2009 стандартних геоботанічних описів, зроблених за стандартною методикою [12] на території Українського Полісся в період із 2004 по 2017 рр. Матеріали збиралися маршрутно-експедиційним, напівстаціонарним і стаціонарним способом. Також було закладено 9 еколого-ценотичних профілів та ряд трансект. Рослинність класифікувалася відповідно до принципів Браун-Бланке з використанням програми Turboveg for Windows [13; 14]. Фітоіндикація здійснювалася за допомогою програми Simargl 1.12 з використанням уніфікованої шкали Дідуха-Плюти [15].

Величину антропогенного фактору визначали за рівнем гемеробії угруповання (в межах геоботанічного опису) [11]. Для цього найбільш поширені види людських впливів на екосистему оцінили за 3-бальною системою за силою їхньої дії. Потім розподілили ці показники на шкалі гемеробії Блюме-Сукопа [10]. Кожен клас гемеробії було розбито на три бали, в результаті чого утворилася 18-бальна шкала. Присутність в екосистемі організмів із певною амплітудою гемеробії є індикаторною ознакою

рівня антропогенного впливу на цю систему, що дало змогу перейти до застосування синфітоіндикаційного методу. На основі 852 описів для кожного виду рослин, присутнього в них, було встановлено амплітуди коливання показників гемеробії. Це стало стартовою основою для використання класичної синфітоіндикаційної формули Раменського [15].

Методика визначення показника динаміки є розгортанням ідеї Р. Ліндемана [5] на теоретичних основах, закладених Я.П. Дідухом та Г.М. Лисенком [6]. Виявлено, що під час автогенних сукцесій відбувається накопичення надземної фітомаси [6–9]. Це можна пояснити з позиції другого закону термодинаміки. Його класичне трактування свідчить, що рівень ентропії прямо залежить від різниці внутрішньої енергії та обернено залежить від температури. Для біосистем такий спосіб неприйнятний, бо вони є білковими системами у водних розчинах, що можуть існувати лише в певних температурних межах. Тому екосистеми для зниження ентропії переводять надлишок енергії в фітомасу, а не в температуру. Крім того, у фізичній хімії час на підвищення температури під час хімічних реакцій не враховується, однак в екосистемах накопичення фітомаси може тривати сотні років. Тому ми емпірично вивели показник динаміки через суму добутків надземної фітомаси на її вік. Із цією метою нами проводились виміри надземної фітомаси та встановлення її віку в межах зроблених геоботанічних описів. Це дало змогу розрахувати амплітуди абсолютних показників динаміки для присутніх тут видів і перейти до синфітоіндикаційної методики визначення показника динаміки у спосіб, аналогічний із перетворенням показника антропогенного фактора. Для синфітоіндикаційного показника динаміки екосистем нами застосовується 21-бальна шкала. Еталонним максимальним значенням стали показники в урочищі «Корабель» (державний лісовий заказник «Поясківський») [8; 9]. Отримані дані стали частиною бази даних «EcoBase 5e», яку використовує синфітоіндикаційна програма Simargl [2].

Ординаційний аналіз екотопів у координатах показника динаміки та показника антропогенної трансформації вказує на обернено лінійну залежність (рис. 1–2). Однак на графіку залежності між цими факторами для Словечансько-Овруцького кряжу візуально помітні групи, які значно відхиляються від лінії тренду (рис. 1).

Це зумовлює низький показник достовірності апроксимації 0,18. Для цього аналізу використовувалися усі описи, незалежно від умов середовища та типу сукцесійного процесу. Групи із дуже високим і досить низьким рівнем антропогенного впливу на ранніх стадіях сукцесії сильно віддалені від лінії тренду. Це зумовлено тим, що зміщення в бік піонерних екосистем може бути викликане надмірним антропогенним тиском (вторинні сукцесії) або невідповідністю екотопу до ендоекогенезу (первинні сукцесії).

У порівняно однорідних умовах середовища обернено лінійна залежність посилюється. Дослідження перелогів на восьми стаціонарах Правобережного Полісся (рис. 2), з однорідними едафічними та мікрокліматичними синфітоіндикаційними показниками (відхилення не вище 5%), демонструє достовірність апроксимації 0,89 і показник кореляції 0,94.

Окрім загальної антагоністичної дії людської діяльності на процеси саморозвитку, ми спостерігаємо також її вплив на ймовірність вибору одного з варіантів напряму розвитку екосистеми в точці біфуркації. У такі моменти екосистема найбільш піддається зовнішнім впливам. Вони можуть змінити послідовність сукцесійних серій і за певних обставин призвести до катастрофічного клімаксу. Розглянемо це явище на прикладі автогенної сукцесії на перелогах у межах сірих лісових ґрунтів (рис. 3). Це найбільш поширений випадок із максимальною, порівняно з іншими, різноманітністю антропогенних впливів різної сили [11].

У межах дослідженого нами випадку спостерігаємо систему ймовірних сукцесійних серій. Загальною закономірністю, яка спостерігається у всіх варіантах перебігу автогенної сукцесії, є зростання показника динаміки і зменшення величини антропогенної трансформації. Вибрана модель включає в себе вісім точок біфуркації, катастрофічний клімакс та лінійну серію угруповань, яка закінчується передклімаксічним угрупованням [16]. Остання представлена угрупованнями класу *Quercus-Fagetum* Br.-Bl. Et Vlieg 1937. На сірих лісових ґрунтах нами зафіксовані максимальні показники динаміки 15,17 бала (середнє для класу – 14,64 бала), тоді як показники клімаксу – 20 ± 1 бали за нашою шкалою. Причина в тому, що приваблює для сільськогосподарських робіт ґрунти часто піддавалися антропогенному тиску, що перешкоджало досягненню стадії клімаксу.

Зупинка розвитку також спостерігається після формування угруповання класу *Robinietum Jurco ex Hadač et Sofron* 1980.

Тут ми маємо справу з катастрофічним клімаксом [8], коли показник динаміки не росте вище рівня $10,95 \pm 1,34$. Сукцесія блокується агресивною поведінкою *Robinia pseudoacacia* L. та її нітрофільною світою.

Угрупування класів лісової рослинності вибудовують ряд без розгалужень на цьому рівні: *Vaccinio-Picetea* Br.-Bl. 1939 → *Quercetum robur-petreae* R.Tx 1943, → *Quercus-Fagetum*, що зумовлено потребою не лише в сингенезі, а й в ендекогенезі, під час якого відбувається поступове зростання загального сольового режиму (SL). Такий процес у корінних лісах є лінійним і супроводжується вищенаведеною зміною угруповань.

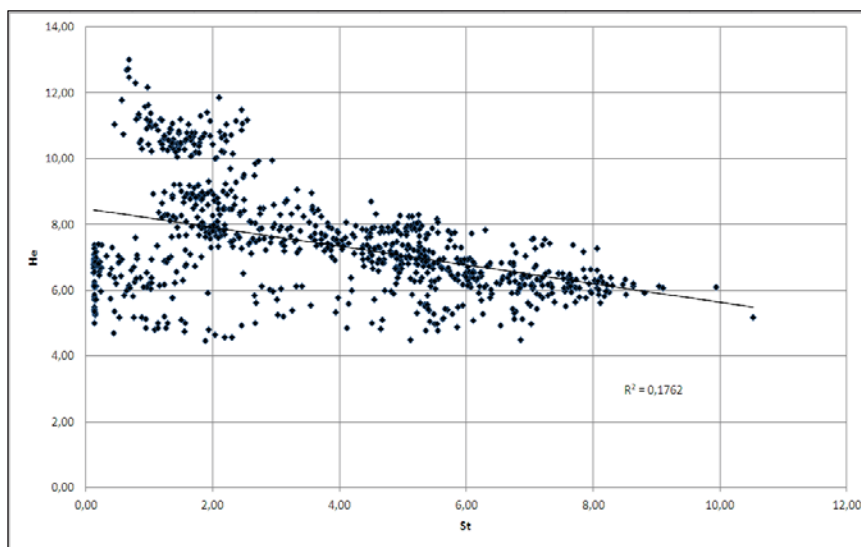


Рис. 1. Залежність між показниками природної динаміки та антропогенної трансформації екосистем Словечансько-Овруцького краю (He – показник антропогенної трансформації, St – показник динаміки)

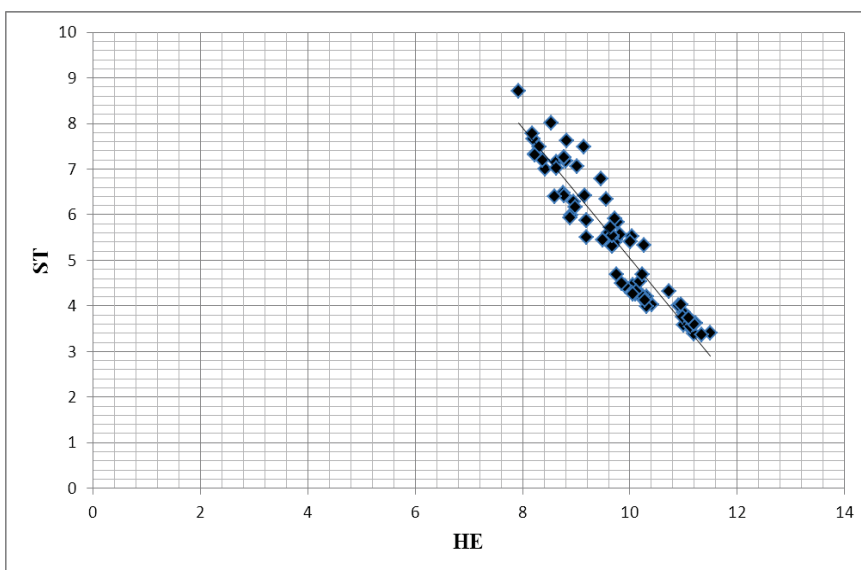


Рис. 2. Залежність між фітомасою і показником антропогенної трансформації на перелогах Правобережного Полісся (He – показник антропогенної трансформації, St – показник динаміки)

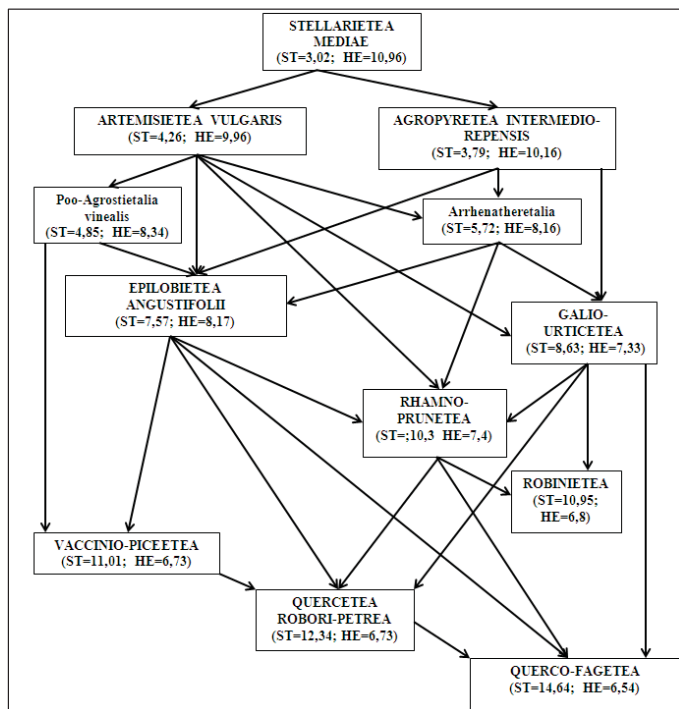


Рис. 3. Зміна рослинних угруповань під час автогенної сукцесії на перелогах на сірих лісових ґрунтах Українського Полісся. Показники є середнім арифметичним для угруповання певного рівня

Для кожної з восьми біфуркацій є ряд причин, що впливають на ймовірність кожного варіанту. На першому етапі заростання перелогів [1; 11] чи зруйнованих водною ерозією ґрунтів перехід від угруповань класу *Stellarietea media* R.Tx., Lohmaer et Preising 1950 до *Agropyreteae intermedio-repensis* Th.Müll et Görs 1969 чи *Artemisietea vulgaris* R.Tx 1950 визначається вищими показниками антропогенної трансформації першого (10,16 проти 9,96 балів).

Біфуркація на стадії рудеральних угруповань визначається умовами багаторічного режиму вологості (HD) (*Poo-Agrostietalia vinealis* Shelag,V.Sl. et Sipalylova 1985, HD=11,12 бала; *Arrhenatheretalia* Pawl 1928, HD=11,52 бала), занесенням насіння специфічних фанерофітів (*Epilobietea angustifolia* R.Tx et Passrge 1950, HD=11,67 бала; *Rhamno-Prunetea* Rivas Goday et Garb 1961, HD=11,83 бала) і накопиченням нітратів чи амонію (NT) (*Galio-Urticetea* Passrge et Kopecký 1969, NT=6,26 бала). Біфуркація на кореневищній ста-

дії заростання перелогів [17; 18] має аналогічні розгалуження за винятком відсутності прямого переходу до чагарників класу *Rhamno-Prunetea* без проміжного формування лук і до відмінного за едафічними характеристиками порядку *Poo-Agrostietalia vinealis*. На лучній та чагарникових стадіях [18] автогенної сукцесії напрям розвитку залежить від занесення або присутності насіння фанерофітів наступних стадій. У більш бідних умовах відбувається поступовий або прямий та більш довготривалий перехід до угруповань класу *Vaccinio-Picetea* (SL=5,97 бала), у помірних до *Quercetea robori-petrea* (SL=6,25 бала), багатих до *Querceto-Fagetea* (SL=6,33 бала). Відсутність такого насіння з часом призводить до формування угруповань *Rhamno-Prunetea* або, у разі інвазії *Robinia pseudoacacia*, до *Robinietea*. Таку ситуацію ми спостерігаємо в Гошанському геоботанічному районі.

Головні висновки. Дослідження автогенних сукцесій екосистем Українського Полісся демонструє добре виражену обернено лінійну залежність між показником динаміки та величиною антропогенної трансформації.

Перебіг автогенних сукцесій не є лінійним, а складається з ряду біфуркацій, що мають кілька варіантів зміни угруповань, ймовірність яких залежить від зовнішніх впливів, антропогенної трансформації та едафічних умов.

На ранніх стадіях сукцесії найбільше значення мають едафічні фактори та антропогенний вплив, на середніх – занесення насіння флори наступних стадій, а на пізніх – від родючості ґрунту (загально сольового режиму).

Накопичення доступного рослинам Нітрогену через особливості рельєфу чи інвазію видів, що перебувають у симбіозі з нітрофікуючими бактеріями, породжує нітрофільну серію, яка закінчується катастрофічним клімаксом після формування рослинності класу *Robinietea*.

Результати дослідження в перспективі можуть стати основою для створення алгоритмів відновлення рослинності на порушених людською діяльністю землях або для корегування заповідного режиму об'єктів ПЗФ.

Література

1. Гончаренко І.В. Фітоіндикація антропогенного навантаження. Дніпро : Середняк Т.К., 2017. 127 с.
2. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз трансформаційних процесів водно-болотних угідь. Заповідна справа в Україні. 2013. вип. 1. С. 38–42.
3. Clements F.E. Plant succession. Washington : Pubs, 1916. 621 p.
4. Одум Ю. Экология: в 2 т. Москва : Мир, 1975. 740 с.
5. Lindeman R.L. The trophic-dynamic aspect of ecology 1942. Ecology. № 4. pp. 399–417.
6. Дідух Я., Лисенко Г. Проблеми термодинамічного оцінювання структури та організації екосистем. Вісник Національної академії наук України. 2010. Вип. 5. С. 16–27.
7. Хаурдінова Г.О. Особливості зміни рослинного покриву в штучних лісових насадженнях. Лісове і садово-паркове господарство. 2014. № 4. 12 с. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgoc_2014_4_13.

8. Хом'як І.В. Фітоіндикаційна характеристика трансформації рослинних угруповань відновлюваної рослинності Центрального Полісся. Екосистеми їх оптимізація та охорона. 2012. Вип. 5. С. 58–65.
9. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз ступеня трансформації екосистем Центрального Полісся. Питання біоіндикації та екології. 2012. Вип. 17. С. 3–11.
10. Дідух Я.П., Бурда Р.І. Застосування методики оцінки антропогенної толерантності видів вищих рослин при створенні «Екофлори України». Укр. фітоцен. Збірник. Серія С. № 1. 2003. С. 34–44.
11. Дідух Я.П., Хом'як І.В. Оцінка енергетичного потенціалу екотопів залежно від ступеня їх гемеробії на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу. Укр. ботан. журн. 2007. № 1. С. 62–77.
12. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. Москва : Логос, 2001. 264 с.
13. Hennekens S.M., Schaminée J.H.J. Turboveg, a comprehensive database management system for vegetation data. J. Veg. Sci. 2001. Vol. 12. P. 589–591.
14. Соломаха В.А. Синтаксономія рослинності України. Третє наближення. Київ : Фітосоціоцентр, 2008. 296 с.
15. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ: Наукова думка, 1994. 280 с.
16. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз передклімаксичних стадій розвитку екосистем. Питання біоіндикації та екології. 2013. Вип. 18. С. 20–29.
17. Хом'як І.В. Динаміка флори перелогів Українського Полісся. ScienceRise:Biological Science. 2018. №1 (10). С. 8–13.
18. Хом'як І.В. Характеристика асоціацій *Agrostio-Populetum tremulae* та *Epilobio-Salicetum capreae* класу *Epilobietea angustifolii* для Правобережного Полісся. УБЖ. 2016. № 4. С. 239–254.
19. Біоморфологічний аналіз флори відновлювальної лучної рослинності Лісостепу України / Б.Є. Якубенко та ін. Інтродукція рослин. 2014. № 4. С. 31–38.