

В.О. Куцкий¹, І. П. Лакида²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна, <https://orcid.org/0009-0001-0347-4688>

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-1565-8329>

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Із зміною кліматичних умов змінюється і рослинний покрив нашої планети. Лісові екосистеми чутливі до змін клімату, які з часом, внаслідок тривалого впливу кліматичних факторів, відображають даний вплив шляхом помітного зростання активності шкідливих комах, прискоренням природного відпаду та всиханням дерев, появою інвазійних та нетипових видів в лісових екосистемах. В даній публікації зосереджуємо увагу на теоретичних засадах моделювання поширення сосни звичайної в умовах кліматичних змін, як одного з головних лісотвірних деревних видів України, частка за площею якого найбільша серед інших деревних видів на території України. Розглянуті дослідження вітчизняних та іноземних науковців.

Ключові слова: моделювання, сосна звичайна, ареал, кліматичні зміни

Рослини чутливо реагують на зміни клімату, що проявляється в розширенні та скороченні їхнього ареалу. З метою кількісної оцінки показників клімату Я. П. Дідух запропонував проводити такий аналіз за чотирма його складовими. Вони характеризують різні аспекти клімату: терморежим - кількість тепла, яке отримує певна територія поверхні ґрунту за певний період; омброрежим відбиває ступінь аридності-гумідності, що визначається вологістю повітря і пов'язано з кількістю опадів, стоком, випаровуваністю, транспірацією, вологістю; континентальність - вплив континентів та океанів; кріорежим відображає ступінь морозності клімату [7].

Для прогнозування зміни ареалу використовують біоіндикацію та один із найважливіших її напрямів - фітоіндикацію. Основою фітоіндикаційної оцінки є, з одного боку, екологічна специфіка видів, які зростають лише у визначених межах зміни певних екологічних чинників, а з іншого - тісний взаємозв'язок між біотичними і абіотичними складовими в системі, що визначає характер функціонування рослинних угруповань [7].

Методику фітоіндикації екологічних факторів на основі аналізу рослинних угруповань доцільно розглядати як синфітоіндикацію. Оцінка екологічних чинників методами синфітоіндикації дозволяє отримати нові знання, які можна застосовувати для моделювання і прогнозування розвитку екосистем. Методика синфітоіндикації ґрунтується на використанні екологічних шкал, точніше, даних щодо екологічних амплітуд видів відносно різних екологічних факторів. Відомо, що кожен вид характеризується своєю специфічною амплітудою, яка може бути вузькою (стенобіонт) або широкою (еврибіонт) [7].

А. З. Швиденко, І. Ф. Букша та С. В. Краковська у монографії «Уразливість лісів України до змін клімату» навели системну оцінку уразливості лісів України до зміни клімату на основі сценарного аналізу та моделювання динаміки лісокліматичних ресурсів за лісокліматичною моделлю проф. Воробйова та амплітуд толерантності головних лісотвірних порід України за методикою проф. Дідуха, в тому числі для сосни звичайної. Як основний було обрано емісійний сценарій зміни клімату A1B, запропонований Міжурядовою групою експертів з питань зміни клімату (МГЕЗК), який за умови продовження поточних тенденцій у світі є найімовірнішим за рівнем антропогенного впливу на кліматичну систему планети. Вказаний сценарій було модифіковано авторами в напрямі збільшення приземної

температури повітря і зменшення кількості опадів на величину довірчого інтервалу, розрахованого за оптимальними для України ансамблями регіональних кліматичних моделей. Це дало змогу отримати модифікований сценарій A1B+T-P, тобто тепліший і сухіший порівняно зі сценарієм A1B [9].

Останні результати, отримані МГЕЗК в ході підготовки Шостої аналітичної доповіді, в цілому підтвердили існуючі уявлення про ймовірну зміну клімату в Центральній і Східній Європі до середини-кінця XXI століття [1].

На відміну від попередніх проєкцій зміни клімату, заснованих на визначених сценаріях розвитку глобальної економічної системи, підходи, прийняті в П'ятій доповіді МГЕЗК (2013), ґрунтуються на так званих «репрезентативних траєкторіях концентрації» (representative concentration pathways - RCP) парникових газів в атмосфері. Вони безпосередньо задають зміни у часі середнього вмісту парникових газів в атмосфері Землі залежно від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших чинників [8].

Чотири обрані траєкторії - RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 і RCP 8.5 - мають назви згідно зі зміною, при їх реалізації, різниці між випромінюванням, що надходить та що виходить, в системі Земля - атмосфера до кінця XXI століття порівняно з доіндустріальним періодом (відповідно, на 2,6, 4,5, 6,0 і 8,5 ватт на квадратний метр). У разі реалізації RCP 2.6 глобальні викиди парникових газів мають почати зменшуватися після 2010-2020 років. RCP 4.5 припускає зниження викидів з 2040 року, а RCP 6.0 - з 2070 року. У разі реалізації RCP 8.5 викиди мають зростати протягом усього століття [8].

У порівнянні зі сценаріями викидів парникових газів (розробленими для Спеціальної доповіді про сценарії викидів - Special report on emissions scenarios, SRES), що використовувалися МГЕЗК раніше, динаміка викидів для сценарію SRES B1 виявляється близькою до RCP 4.5, для A1B - до RCP 6, а для комбінації A1FI і A2 - співставна з RCP 8.5. Траєкторія RCP 2.6 - найбільш «м'яка» порівняно з будь-яким із сценаріїв SRES, оскільки досягає в результаті негативного балансу між викидами і поглинанням парникових газів [8].

В.І. Придатко та Г.О. Коломицев змоделювали поширення сосни звичайної на території Східної Європи до 2050-го року створивши карту поширення, за допомогою GLM (генералізованих лінійних моделей), що базуються на R-статистиці із використанням MNP. Науковці отримали дані результати працюючи в групі BioModel, яка є частиною глобальної мережі моделювання біорізноманіття GLOBIO [5].

GLOBIO розраховує збереження локального наземного біорізноманіття, яка виражена показником середньої чисельності видів (MSA - mean species abundance, середня чисельність видів), як функцію шести антропогенних чинників: землекористування, дорожнє навантаження, фрагментація, полювання, відкладення атмосферного азоту та зміна клімату. Ядро моделі складається з кількісних взаємозв'язків тиску та впливу, які були встановлені на основі обширних баз даних біорізноманіття суші [6].

GLOBIO поєднує взаємовідношення тиску та впливу з даними про минулі, теперішні та майбутні рівні впливу, які зазвичай отримують із моделі IMAGE . Це призводить до створення карт зі значеннями MSA, що відповідають кожному впливу. Потім ці карти об'єднуються, щоб отримати загальні значення MSA. Далі значення MSA агрегуються до більших (визначених дослідником) регіонів. Крім того, для кожного регіону кількісно визначається внесок різних впливів у втрати в MSA [6].

В результаті співпраці між JRC (об'єднаним дослідницьким центром Європейської комісії) та Університетом Гельсінкі було створено EU-Trees4F - набір даних, що описує поточне та майбутнє потенційне поширення 67 деревних видів у Європі [3], у тому числі й для сосни звичайної [4].

EU-Trees4F відображає на карті території Європи, де клімат і ґрунт наразі придатні для росту певних деревних видів. Він також моделює, де кліматичні зміни теоретично можуть дозволити даним видам рости в майбутньому і які з цих територій деревні види могли б охопити, якби поширювалися лише природним шляхом. Прогнози побудовані для чотирьох періодів: 1991-2020 pp., 2021-2050 pp., 2051-2080 pp. і 2081-2110 pp. та отримані

шляхом моделювання 11 регіональних кліматичних моделей, отриманих від EURO-CORDEX з використанням двох репрезентативних траєкторій концентрації (RCP 4.5 і RCP 8.5) [3].

Моделі розподілу деревних видів дерев були побудовані на основі набору з дев'яти екологічних параметрів, що описують ключові характеристики клімату (сезонність опадів, середні зимові опади, загальна річна кількість опадів, середні літні опади, континентальність, літня температура, середня річна температура) та ґрунтів (вміст органічного вуглецю, кислотність ґрунту) [2].

Моделі були відкалібровані за допомогою платформи Biomod2 з використанням даних про поширення деревних видів з набору даних EU-Forest, який є комплексною базою даних про поширення деревних видів у Європі, що складається з даних 21-ої Національної лісової інвентаризації, складеної та узгодженої ENFIN, а також даних Forest Focus та BioSoil [3].

Варто зазначити, що підходи до моделювання поширення сосни звичайної, як і для інших деревних видів відрізняються. Починаючи від обраної проєкції зміни клімату та його сценаріїв, що зумовлено періодом дослідження та закінчуючи визначенням головних факторів впливу та їхньої значущості на поширення деревних видів із використанням програмного забезпечення для його прогнозування та обробки даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (дата звернення: 21.10.2024).
2. EU-Trees4F, a dataset on the future distribution of European tree species / A. Mauri та ін. Scientific Data. 2022. Т. 9, № 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01128-5> (дата звернення: 27.10.2024).
3. Forests and Climate Change. Forest. URL: <https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/forests-and-climate-change/> (дата звернення: 21.10.2024).
4. Pinus sylvestris - model projections from EU-Trees4F. Forest. URL: https://forest.jrc.ec.europa.eu/media/EU-Trees4F/EU-Trees4F_Pinus_sylvestris.html (дата звернення: 21.10.2024).
5. Scotch Pine (Pinus sylvestris), GLM. BioModel.info: Моделювання біорізноманіття, Моделі розповсюдження видів (SDM), Просторовий аналіз, Освіта - East Europe, Ukraine region: Biodiversity modelling, Species distribution models, Climate change, Education. URL: <https://biomodel.info/ua/species/pinus-sylvestris-scotch-pine/> (дата звернення: 21.10.2024).
6. What is GLOBIO?. GLOBIO - Global biodiversity model for policy support. URL: <https://www.globio.info/what-is-globio> (дата звернення: 21.10.2024).
7. Дідух Я. П. Основи біоіндикації : монографія. Київ : Наук. думка, 2012. 334 с.
8. Стратегічні напрями адаптації до зміни клімату в басейні Дністра. Organization for Security and Cooperation in Europe | OSCE. URL: <https://www.osce.org/files/f/documents/4/d/320221.pdf> (дата звернення: 21.10.2024).
9. Швиденко А. З., Букиа І. Ф., Краковська С. В. Уразливість лісів України : монографія. Київ : Ніка-Центр, 2018. 184 с.