

moderate rich and wet soil conditions, with conditions B₂, B₃ and C₃ most common. Vegetable stands are dominant in origin (54.1% of the total area). By age structure prevails middle-aged stands. Alder stands grow more often in more wet and more fertile conditions (most often found in the conditions of C₃ and C₄), mainly of vegetative origin (77.8% of the area), dominated middle-aged stands by the age of the fifth class. The mean site index for the birch and alder stands of Ukraine is respectively 1,5 and 1,8, mean relative stocking is 0.72 and 0.69, mean growing stock 155 and 169 m³, mean stand composition of the mixed forest stands is 5.5 and 7.2.

Keywords: *Silver birch, Black alder, modal stands, climate zones, origin of stands, type of site conditions, site index class, relative stocking.*

УДК 630*182.21; 630*182.47

МЕТОДОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ЛІСОВІ ФІТОЦЕНОЗИ УКРАЇНИ

І. Ф. БУКША, кандидат сільськогосподарських наук,
Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького Держлісагентства та НАН України (УкрНДІЛГА), м. Харків, Україна

А. З. ШВИДЕНКО, доктор сільськогосподарських наук
Міжнародний інститут прикладного системного аналізу (IIASA), м. Люксембург, Австрія

М. А. БОНДАРУК, кандидат біологічних наук

О. Г. ЦЕЛІЩЕВ,

Т. С. ПИВОВАР, кандидат сільськогосподарських наук

М. І. БУКША,

В. П. ПАСТЕРНАК, доктор сільськогосподарських наук
Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького Держлісагентства та НАН України (УкрНДІЛГА), м. Харків, Україна

С. В. КРАКОВСЬКА, кандидат фізико-математичних наук
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України (УкрГМІ), м. Київ, Україна

E-mails: buksha@uriffm.org.ua

Анотація. *Розроблено методологію та методику оцінювання уразливості лісових фітоценозів України до впливу зміни клімату. Змодельовано вплив зміни клімату в XXI ст. за сценарієм МГЕЗК А1В на життєздатність ценопопуляцій шести головних лісотвірних видів на основі оцінки їхніх біоекологічних характеристик за показниками вологості, континентальності та криоклімату. Виявлено, що очікуване*

зменшення вологості клімату є основним лімітуючим фактором для росту і розвитку лісотвірних видів. Погіршення режиму вологості клімату, а також зміна його континентальності та морозності призведе до значного звуження зони оптимального росту лісотвірних видів-едифікаторів, появи значних площ з несприятливими для розвитку лісів умовами, що спричинить зменшення продуктивності деревостанів, ослаблення їхньої репродуктивної здатності, зменшення стійкості до шкідників і хвороб та збільшення загрози лісових пожеж у XXI ст.

Ключові слова: зміна клімату, лісові фітоценози, головні лісотвірні види, амплітуди толерантності, задовільність умов середовища, кліматичні фактори.

Постановка проблеми. Однією з найактуальніших екологічних проблем сьогодення стала глобальна зміна клімату [11]. Стрімка зміна клімату може негативно вплинути на ліси і в Україні також [22]. Найуразливішими є деревостани на південній межі поширення лісів: у степу і в південному лісостепу, де існує висока ймовірність деградації і загибелі лісових екосистем на великих територіях [16]. Однак такий сценарій можливий і для лісів в інших районах. Існує висока ймовірність того, що певні види не зможуть рости в нових кліматичних умовах [7]. Якщо такими видами стануть головні лісотвірні види, це призведе до елімінації едифікаторів лісових фітоценозів, трансформації структури ценозів і загибелі лісових екосистем.

Актуальність досліджень. Уразливість лісів України може бути суттєво зменшено за рахунок розробки і впровадження стратегій, спрямованих на адаптацію лісів до зміни клімату [18]. Адаптаційні стратегії мають ґрунтуватися на засадах сталого (невиснажливого) ведення лісового господарства з урахуванням біоекологічних характеристик головних лісотвірних видів.

В Україні вплив зміни клімату на ліси досліджували науковці УкрНДІЛГА [2; 3; 16; 18; 19] та Інституту екології Карпат [15], зокрема моделювання уразливості лісових екосистем на регіональному рівні [19]. Проте методи моделювання та оцінювання впливу зміни клімату на життєздатність лісових порід розроблено ще недостатньо для отримання кількісних оцінок можливих наслідків у часі й просторі.

Метою досліджень є розробка методології та методики моделювання впливу зміни клімату на життєздатність ценопопуляцій головних лісотвірних видів та оцінювання уразливості фітоценозів рівнинних лісів України до зміни клімату за сценарієм МГЕЗК А1В у XXI ст. порівняно із кліматичною нормою (1961–1990 рр.).

Методологія досліджень базується на оцінці екологічних амплітуд толерантності (біоекологічних характеристик) деревних лісотвірних видів. Загальновідомо, що відносно градієнта того чи того екологічного фактора кожен вид займає певний відрізок (амплітуду толерантності), що відповідає екологічній ніші виду, за межами якої організм існувати не

може [6].

Екологічні амплітуди лісових видів за показниками як едафічних, так і кліматичних факторів значно вужчі порівняно із амплітудами видів інших екогруп [7], що пояснюється особливістю лісових екосистем, в яких едифікатори відіграють велику екологічну роль у нівелюванні контрастності впливу зовнішніх екологічних чинників та підтриманні своєрідності умов лісового середовища. У межах екологічної амплітуди практично кожного лісового виду виділяють центральну третину – екологічний оптимум, де умови є найбільш комфортними для виду. Індикаторами екологічного оптимуму є життєвість, продуктивність, біомаса, висота, приріст, густота, рясність, площа листової поверхні [7]. Якщо межі екологічного оптимуму виду на градієнті певного екологічного фактора вкладаються в межі амплітуд екологічних факторів регіону, то можна прогнозувати розростання виду і розширення територіальних меж популяції; у разі виходу за межі зони оптимуму, може очікуватися певне зменшення рясності-покриття (фітомаси, приросту тощо) виду на фоні його достатньо стійкого існування [1]. У разі межування і, навіть, інколи, розриву екологічних амплітуд виду і меж амплітуд екологічних факторів виділяють лімітуючі екофактори і прогнозують регресію популяції тим більшу, чим більша відстань розходження крайніх значень амплітуд [1]. Отже, кожен регіон України можна охарактеризувати як з точки зору його придатності для стійкого існування та розповсюдження ценопопуляцій головних лісотвірних видів, так і якості умов середовища для розвитку лісових фітоценозів, у яких ці породи є едифікаторами.

Матеріал і методика досліджень. Використовували сценарій зміни клімату МГЕЗК А1В [23], який вважається найімовірнішим сценарієм подальшого світового розвитку за рівнем антропогенного впливу на кліматичну систему планети. Для оцінки кліматичних впливів на ліси були визначені біоекологічні характеристики для шести найбільш поширених [13] головних лісотвірних видів України: сосни звичайної (*Pinus silvestris* L.), дуба звичайного (*Quercus robur* L.), бука лісового (*Fagus sylvatica* L.), ялини європейської (*Picea abies* (L.) Karst.), берези повислої (*Betula pendula* Roth), вільхи чорної (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) у регіональному аспекті. Згідно з підходом науковців Українського гідрометеорологічного інституту, на території країни виділено п'ять регіонів (Центральний, Західний, Південний, Східний, Північний) за подібністю фізико-географічних умов, факторів кліматоутворення, відносною однорідністю полів температури і опадів та з урахуванням адміністративно-територіального поділу.

На основі відібраних регіональних кліматичних моделей проекту EU-FP6 ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) та [12], даних температури і опадів E-OBS (проект ECA&D (<http://www.ecad.eu>)) [21] за допомогою гео-інформаційної системи Q-GIS було розраховано та проаналізовано індекси континентальності та вологості за Івановим і показник кріоклімату.

Континентальність клімату розраховували за формулою Іванова [9]:

$$Kn = \frac{(A_p + A_d + 0.25D_0) \cdot 100\%}{0,36\varphi + 14},$$

де A_p – річна амплітуда температури повітря (різниця між найтеплішим і найхолоднішим місяцями), $^{\circ}\text{C}$; A_d – денна амплітуда температури (середня упродовж року), визначена як різниця між середньою річною максимальною і мінімальною температурами, $^{\circ}\text{C}$; D_0 – дефіцит відносної вологості повітря у найсухіший місяць року, %; $0,36\varphi$ – лінійна залежність компонентів географічної широти φ , градусів; 14 – сума компонентів чисельника на екваторі.

Дефіцит вологості (Om) відображає аридність (гумідність) клімату [10; 14] та інтегрує вплив опадів і термальних ресурсів території. Визначають як різницю між річною кількістю опадів (W) і випаровуванням (E_0) за Івановим [8]:

$$Om = W - E_0, \text{ мм}$$

$$E_0 = 0,018 \cdot (t + 25)^2 \cdot (100 - f), \text{ мм},$$

де t – середньомісячна температура ($^{\circ}\text{C}$), f – відносна вологість повітря (%).

Показник кріоклімат (Cr) відображає кріорежим клімату і визначається як середня температура найхолоднішого місяця (в Україні це січень або лютий).

З метою дослідження біоекологічних характеристик основних лісотвірних видів було застосовано шкали екологічних амплітуд видів природної флори України [7; 20]. При розрахунку кліматичних моделей ми використали ті самі формули, що і Я. П. Дідух при побудові шкал кліматичних амплітуд видів рослин за вищевказаними кліматичними показниками. Це було необхідною умовою коректної оцінки толерантності основних лісотвірних видів до прогнозних кліматичних показників, прогнозної оцінки стану і продуктивності лісових фітоценозів. Показники біоекологічних характеристик (величина і положення медіани амплітуди толерантності) досліджених порід використовували для визначення їхніх екогруп та місць знаходження значень зон оптимуму, субоптимуму і зон песимуму відносно значень кліматичних показників [1], а також для створення оціночної шкали задовільності умов середовища для головних лісотвірних видів.

Використано модифіковану нами формулу коефіцієнта задовільності умов середовища (KC) Д. Н. Циганова [17]:

$$KC_{med} = \frac{2d-1}{a} \cdot 100\%$$

де KC_{med} – середнє значення коефіцієнта задовільності умов середовища; d – відстань (у балах) від значення режиму цього екологічного фактора до найближчої межі амплітуди толерантності виду; a – кількість елементарних режимів даного екологічного фактора, які охоплює амплітуда толерантності виду.

$$a = x_{max} - x_{min} + 1,$$

де x_{max} – максимальне значення (у балах) амплітуди толерантності

виду для цього екологічного фактора; x_{min} – його мінімальне значення (у балах).

Відстань від значення режиму фактора, для якого розраховують КС, до мінімальної (d_1) або максимальної (d_2) межі амплітуди толерантності виду визначали за формулами:

$$d_1 = x - x_{min} + 1; \quad d_2 = x_{max} - x + 1,$$

де x – значення режиму фактора (у балах), для якого розраховують КС; x_{max} – максимальне, x_{min} – мінімальне значення (у балах) амплітуди толерантності виду для цього екологічного фактора.

Для розрахунку коефіцієнта КС для певного значення (x) режиму фактора використовували значення d_1 або d_2 , залежно від того, яка межа амплітуди толерантності виду для цього значення режиму була найближчою.

Ступінь задовільності кліматичних умов середовища для досліджених порід за окремими кліматичними факторами визначали з використанням коефіцієнтів задовільності умов середовища (КС) за шкалою:

91–100 % – оптимальні умови для виду (висока життєздатність популяції, максимальна продуктивність, умовно Ia – I бонітет);

71–90 % – наближені до оптимальних умови для виду (зменшення продуктивності до I–II бонітету за достатньо високої життєздатності);

51–70 % – задовільні умови (зменшення продуктивності виду до II–III бонітету на фоні його стійкого існування);

21–50 % – мало задовільні (зменшення продуктивності до III, інколи до III–IV бонітету, погіршення санітарного стану, зменшення конкурентоспроможності);

1–20 % – екстремальні умови (істотне зменшення продуктивності до III–IV (інколи до IV–V), подальше погіршення санітарного стану, порушення циклу фенологічного розвитку, поступова втрата репродуктивної здатності, природного відновлення, стійкості до шкідників і хвороб, конкурентоспроможності);

до 1 % – умови межування і розриву екологічних амплітуд виду і меж амплітуд екологічних факторів (регресія популяції тим більша, чим більша відстань розходження крайніх значень амплітуд, продуктивність IV–V бонітету, незадовільний санітарний стан, ушкодження шкідниками і хворобами, втрата репродуктивної здатності, порушення циклу онтогенезу та втрата ценозоутворювальної функції). В таких випадках виділяють лімітуючі кліматичні фактори (рівень яких наближається до меж або виходить за межі толерантності виду). Якщо розраховані КС мали від'ємне значення (<0), тобто лежали поза межами екологічної амплітуди толерантності виду, умови середовища для виду ми зазначали як умовно непридатні.

Для зіставлення масштабності і спрямованості впливу хронологічних і хорологічних зміни клімату на лісові фітоценози здійснено картографічне моделювання змін співвідношення площ із різними за задовільністю кліматичними умовами для кожного з шести головних

лісотвірних видів за наведеними вище кліматичними індексами за сценарієм МГЕЗК А1В у XXI ст. порівняно із кліматичною нормою (1961–1990 рр.). Проведено прогнозу оцінку позитивності / негативності динаміки кліматичних умов для основних едифікаторів лісів, встановлено тенденції розвитку лісових фітоценозів України на національному та регіональних рівнях.

Результати досліджень. За кліматичним сценарієм МГЕЗК А1В у XXI ст. відбуватиметься потепління та аридизація клімату України. У середині століття кліматичні умови на заході та півночі України будуть подібними до умов, які були у центрі у 1961–1990 рр., в той час як у центрі та на сході умови будуть схожі на сучасний клімат на півдні [12].

Для всіх досліджених головних лісотвірних видів (дуба звичайного, сосни звичайної, берези повислої, вільхи чорної, бука лісового, ялини європейської) лімітуючим фактором виявилась вологість клімату, оскільки за цим фактором прогнозують найбільш різкі зміни у площах задовільності умов (рис.), тому результати прогнозування у цій роботі розглянемо за цим показником.

У 1961–1990 рр. зона оптимальних умов за вологістю для дуба звичайного була досить широкою і охоплювала західний регіон, північ та частково центр, а субоптимальна зона збігалася з південною межею лісостепу (рис.). За сценарієм А1В у XXI ст. відбуватиметься зсув меж зон у північно-західному напрямку, і вже у середині століття площа незадовільних для дуба умов займатиме 26 % території України. Наприкінці XXI ст. очікується, що сприятливі для росту дуба умови (оптимальні та субоптимальні) залишаться лише на заході – у Карпатах та передгір'ї, а задовільні – на Львівщині, на решті території сучасної зони мішано-широколистяних лісів умови для дуба будуть малозадовільними і навіть екстремальними.

У 1961–1990 рр. зони оптимуму та субоптимуму амплітуди толерантності ялини європейської за вологістю були дуже вузькі і розміщувались у Карпатах, малозадовільні та екстремальні умови – на передгір'ї, на решті території – умови, непридатні для росту ялини. За прогнозом, відбуватиметься ще більше звуження зони придатних для цієї породи умов, фактично в Україні не залишиться сприятливих умов для її росту.

У 1961–1990 рр. за вологістю клімату субоптимальні умови для сосни звичайної були у Карпатах, задовільні умови – на заході, і незначна площа – на півночі, у степовій зоні – малозадовільні та екстремальні умови; а на півдні країни – непридатні умови. Внаслідок зміни клімату подальша аридизація призведе до звуження зони субоптимальних умов на заході і розширення зони непридатних умов на схід та центр. На кінець століття умови, придатні для росту сосни (переважно екстремальні та малозадовільні), збережуться лише на заході і на незначній площі на півночі, що призведе до суттєвого погіршення стану соснових лісів в Україні, зменшення їхньої площі.

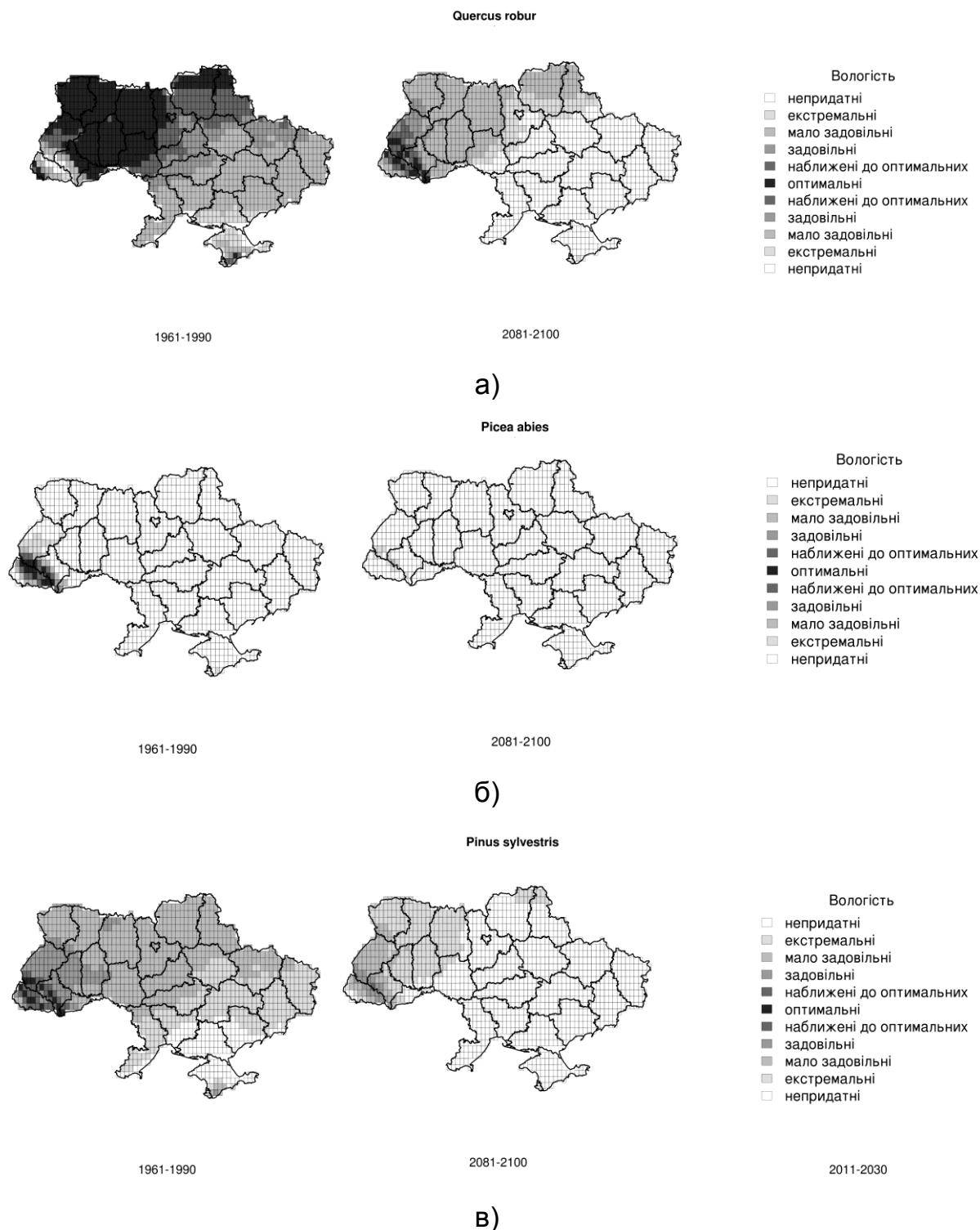


Рис. Моделювання задовільності умов кліматичного середовища для дуба звичайного (а), ялини європейської (б), сосни звичайної (в) за вологістю клімату на кінець XXI ст. (сценарій А1В) порівняно з кліматичною нормою (1961–1990 рр.)

Ріст бука лісового лімітований дією всіх трьох факторів – дефіцитом вологості та континентальністю на заході та на півночі і кріокліматом, але найбільш різкі зміни відбуваються у розподілі зон задовільності умов середовища за показником вологості клімату. На кінець XXI ст. за сценарієм

A1B прогнозують, що умови, придатні для росту бука, будуть лише у Карпатах та передгір'ї. Що ж до задовільності умов середовища для берези повислої та вільхи чорної, то поступово відбуватиметься звуження і зміщення зон з умовами, придатними для росту цих порід (особливо берези). Оптимальні для вільхи та субоптимальні для берези умови збережуться лише у Передкарпатті (басейн Дністра).

Унаслідок зміни клімату наприкінці ХХІ ст. очікують появу значних площ із несприятливими умовами для росту досліджених головних лісотвірних видів, що спричинить суттєві зміни у стані лісових екосистем, у яких ці породи є едифікаторами. Існує висока вірогідність зміни зональних типів рослинності плакорів. У місцях із несприятливими кліматичними умовами прогнозують істотне зменшення продуктивності досліджених деревних порід, поступову втрату ними репродуктивної здатності та можливості природного відновлення, порушення циклу сезонного розвитку і, навіть, онтогенезу, зменшення стійкості до шкідників і хвороб та збільшення загрози виникнення лісових пожеж. Серед досліджених деревних порід менші зміни у площах із задовільними кліматичними умовами очікують для дуба звичайного, а найбільші – для ялини звичайної та бука лісового.

Висновки. Встановлено, що для досліджених деревних порід найбільш критичним (лімітуючим) фактором є вологість клімату. Згідно з прогнозом за сценарієм А1В у 2081–2100 рр. очікують значне звуження зони оптимального росту едифікаторів лісових фітоценозів і появу значних площ з умовами, несприятливими для розвитку лісів, та ймовірність зміни зональних типів рослинності України. Найменші зміни щодо сприятливих для росту і розвитку площ спостерігатимуться для лісів із дуба звичайного та вільхи чорної, а найбільші – ялини європейської та бука лісового. У регіонах із несприятливими кліматичними умовами прогнозують істотне зменшення продуктивності досліджених деревних порід, поступову втрату ними репродуктивної здатності та можливості природного відновлення, порушення циклу сезонного розвитку, зменшення стійкості до шкідників і хвороб та збільшення загрози виникнення лісових пожеж.

Розроблена методика та методологія оцінки кліматичних впливів на уразливість лісів на основі біоекологічних характеристик основних лісотвірних видів і проєкцій за сценаріями ансамблів регіональних кліматичних моделей є перспективною для прогнозування стану лісових фітоценозів, розробки і впровадження стратегій і системи дій, спрямованих на адаптацію лісів України до зміни клімату.

Подяка: Автори висловлюють подяку Службі експертної підтримки проекту Європейського Союзу ClimaEast CEEF2015-036-UA та національному координатору проекту ClimaEast в Україні Владиславу Жежеріну за підтримку при проведенні досліджень впливу зміни клімату на ліси України.

Список використаних джерел

1. Бондарук М. А. Оцінка задовільності умов середовища екотопів та прогнозне моделювання стану ценопопуляцій видів раритетної лісової

- флори (на прикладі тюльпана дібровного) / М. А. Бондарук, О. Г. Целіщев // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2015. – Вип. 126. – С. 188–201.
2. Бондарук М. А. Фітоіндикація кліматичних режимів екотопів лісових екосистем Середньоруського лісостепового округу України / М. А. Бондарук, О. Г. Целіщев // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2016. – Вип. 127. – С. 154–163.
 3. Букша І. Ф. Оцінювання уразливості лісостанів північно-східної України за різних сценаріїв зміни клімату в ХХІ сторіччі / І. Ф. Букша, Т. С. Пивовар, М. І. Букша // Матеріали наукової конференції «Лісівнича наука» (29–30.09.2015). – Х. : УкрНДІЛГА, 2015. – С. 183–185.
 4. Дідух Я. П. Екофлора України. Том 1 / Я. П. Дідух, П. Г. Плюта, В. В. Протопопова, В. М. Єрмоленко, І. А. Коротченко, Р. І. Бурда. – К. : Фітосоціоцентр, 2000. – 284 с.
 5. Дідух Я. П. Основи біоіндикації / Я. П. Дідух. – К. : Наук. думка, 2012. – 344 с.
 6. Дідух Я. П. Популяційна екологія / Я. П. Дідух. – К. : Фітосоціоцентр, 1998. – 192 с.
 7. Дідух Я. П. Фітоіндикація екологічних факторів / Я. П. Дідух, П. Г. Плюта. – К. : Наук. думка, 1994. – 280 с.
 8. Иванов Н. Н. Мировая карта испаряемости / Н. Н. Иванов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1957. – 40 с.
 9. Иванов Н. Н. Пояса континентальности земного шара / Н. Н. Иванов // Известия Всесоюзного географического общества. 91. – 1959. – Вып. 5. – С. 410–423.
 10. Константинов А. Р. Испарение в природе / А. Р. Константинов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1968. – 532 с.
 11. Конференция по изменению климата в Париже 2015 года [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cop21/>.
 12. Краковська С. В. Моделі загальної циркуляції атмосфери та океанів у прогнозуванні змін регіонального клімату України в ХХІ ст. / С. В. Краковська, Л. В. Паламарчук, І. П. Шедєменко, Г. О. Дюкель, Н. В. Гнатюк // Геофизический журнал. – 2011. – № 6, Т. 33. – С. 68–81.
 13. Лісове господарство України. ДАЛРУ. – 2015. – 16 с.
 14. Методы изучения и оценки водного баланса / под ред. А. А. Соколова. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1981. – 398 с.
 15. Стойко С. М. Потенційні екологічні наслідки глобального потепління клімату в лісових формаціях Українських Карпат / С. М. Стойко // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – 2009. – Вип. 19.15. – С. 214–224.
 16. Україна та глобальний парниковий ефект. Кн. 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату / І. Ф. Букша, П. Ф. Гожик, Ж. Л. Ємельянова та ін. – К., 1998. – 208с.
 17. Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов. – М. : Наука, 1983. – 198 с.

18. Buksha I. Study of climate change impact on forest ecosystems, and development of adaptation strategies in forestry of Ukraine. *Climate Change Impacts on Forest Management in Eastern Europe and Central Asia. Forests and Climate Change Working Paper 8 / ed. Csaba Matyas. – FAO, 2010. – P. 157–179.*
19. Buksha I. F. Vulnerability assessment of eastern Ukrainian forests to climate change: case study on the base of GIS technology use / I. F. Buksha, T. S. Pyvovar, M. I. Buksha // *Scientific proceed. of Forestry Academy of Sciences of Ukraine. – № 12. – Lviv, 2014. – P. 30–37.*
20. Didukh Ya. P. The Ecological Scales for the Species of Ukrainian Flora and Their Use in Synphytoindication / Ya. P. Didukh. – Kyiv, 2011. – 176 p.
21. Haylock M. R. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation / M. R. Haylock, N. Hofstra, A. M. G. Klein Tank, E. J. Klok, P. D. Jones, M. New // *Journal of Geophysical Research. – 2008. – Vol. 113.*
22. Shvidenko A. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change / A. Shvidenko, I. Buksha, S. Krakovska, P. Lakyda // *Sustainability. – 2017. – Vol. 9. – P. 1152.*
23. Special report on emission scenarios [Electronic resource] / Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (eds.). Cambridge University Press, UK. pp 570. – Mode of access: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=0>.

References

1. Bondaruk, M. A., Tselishev O. G. (2015). Otsinka zadovil'nosti umov seredovishcha ekotopiv ta prognozne modelyuvannya stanu tsenopopulyatsiy vidiv rarietnoi lisovoi flori (na prikladi tyul'pana dibrovnogo) [The assessment of ecotopes' environment satisfactoriness and predictive modelling of conditions for coenopopulations of rare forest flora species (the case of *Tulipa quercetorum* Klock. Et Zoz.)] *Lisivnyctvo i agrolisomelioracija* [Forestry & Forest Melioration]. 126, 188–201.
2. Bondaruk, M. A., Tselishev, O. G. (2016). Fitoindykatsiia klimatychnykh rezhymiv ekotopiv lisovykh ekosystem Serednoruskoho lisostepovoho okruhu Ukrainy [Phytoindication of climatic regimes of ecotops of forest ecosystems of Central Russian forest-steppe district] *Lisivnyctvo i agrolisomelioracija* [Forestry & Forest Melioration]. 127, 154–163.
3. Buksha, I. F., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I. (2015). Ocinyvannya urazlivosti lisostaniv pivnichno-skhidnoi Ukraini za riznikh scenariiv zmini klimatu v XXI storichchi [Evaluation of forest stands vulnerability at north - eastern Ukraine under various climate change scenarios in the XXI century]. // *Lisivnicha nauka v konteksti stalogo rozvitku: Mat. nauk. konf. [Forestry science in the context of sustainable development: Proceeds of scientific conf.] (29–30 Sept. 2015).* Kharkiv, URIFFM. 183–185.
4. Didukh Ya. P., Pliuta P.H., Protopopova V.V., Yermolenko V.M., Korotchenko I.A., Burda R.I. 2000. *Ekoflora Ukrainy. [Ecoflora of Ukraine]. Vol 1. Kyiv.: Phytosociocenter. 284 p. (In Ukrainian)*

5. Didukh, Ya. P. (2012). *Osnovy bioindikatsii* [Fundamentals of bioindication]. Kyiv, 344.
6. Didukh, Ya. P. (1998). *Populiatsiina ekolohiia* [Population ecology]. Kyiv, 192.
7. Didukh, Ya. P., Plyuta, P. G. (1994). *Fitoindikatsia ekologichnikh factoriv* [Phytoindication of environmental factors]. Kyiv, 280.
8. Ivanov, N. N. (1957). *Mirovaya karta ispanyaemosti* [World map of evaporability]. Leningrad, 40.
9. Ivanov, N. N. (1959). *Poyasa kontinentalnosti zemnogo shara* [Belts of the ontinentality of the globe]. *Izv. Vsesouznogo geograficheskogo obschestva*, 91, 5, 410–423.
10. Konstantinov, A. R. (1968). *Isparenie v prirode* [Evaporation in nature]. Leningrad, 532.
11. Krakovska, S. V., Palamarchuk, L. V., Shedemenko, I. P., Dyukel, G. O., Gnatyuk, N. V. (2011). *Modeli zahal'noyi tsyrkulyatsiyi atmosfery ta okeaniv u prohnouzuvanni zmin rehional'noho klimatu Ukrayiny v XXI st.* [Models of general circulation of the atmosphere and ocean at forecasting of changes in regional climate Ukraine in the XXI century.]. *Geophysical journal*, 6, 33, 68–81.
12. *Lisove gospodarstvo Ukrainy* [Forest management of Ukraine]. (2015). DALRU, 16.
13. Sokolov A. A. (ed.). (1981). *Metody izucheniya i otsenki vodnogo balansu* [Methods for studying and evaluating the water balance]. Leningrad, 398.
14. Stoyko, S. M. (2009). *Potentsiyni ekologichni naslidki global'nogo poteplinnya klimatu v lisovikh formatsiyakh Ukrains'kikh Karpat* [The potential environmental impacts of global warming on forest formations of Ukrainian Carpathians]. *Scientific Bulletin of UNFU*, 19.15, 214–224.
15. Buksha, I. F., Gozhik, P. F., Emelaynova, J. L., Trofimova, I. V., Shereshevskiy, A. I. (1998). *Ukraina ta global'niy parnikoviy efekt. Kniga 2. Vrazilivist' i adaptatsiya ekologichnikh ta ekonomichnikh sistem do zmini klimatu* [Ukraine and global green-house effect. Book 2. Vulnerability and adaptation of ecological and economic systems to climate changes]. Publishing house of Agency on rational use of energy and ecology. Kyiv, 208.
16. Tsyganov, D. N. (1983). *Fitoindikatsiya ekologicheskikh rezhimov v podzone khvoyno-shirokolistvennykh lesov* [Phytoindication of ecological regimes in the subzone of coniferous-broadleaf forests.]. Moskva, 198.
17. Buksha, I. (2010). *Study of climate change impact on forest ecosystems, and development of adaptation strategies in forestry of Ukraine. Climate Change Impacts on Forest Management in Eastern Europe and Central Asia. Forests and Climate Change Working Paper 8. FAO.* 157–179.
18. Buksha, I. F., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I. (2014). *Vulnerability assessment of eastern Ukrainian forests to climate change: case study on the base of GIS technology use. Scientific proceed. of Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 12. Lviv, 30–37.
19. Didukh, Ya. P. (2011). *The Ecological Scales for the Species of Ukrainian Flora and Their Use in Synphytoindication.* Kyiv, 176.

20. Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res (Atmospheres)*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201.
21. Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S., Lakyda, P. (2017). Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. *Sustainability*, 9, 1152.
22. Nakicenovic, Nebojsa, Swart, Rob (eds.). Special report on emission scenarios / Cambridge University Press, UK. pp. 570 – Available at: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=0>

МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ЛЕСНЫЕ ФИТОЦЕНОЗЫ УКРАИНЫ

И. Ф. Букша, А. З. Швиденко, М. А. Бондарук, А. Г. Целищев, Т. С. Пивовар, М. И. Букша, В. П. Пастернак, С. В. Краковская

Аннотация. Разработана методология и методика оценки уязвимости лесных фитоценозов Украины к влиянию изменения климата. Смоделировано влияние изменений климата в XXI в. по сценарию МГЕИК А1В на жизнеспособность ценопопуляций шести главных лесообразующих пород на основе оценки их биоэкологических характеристик по показателям влажности, криоклимата и континентальности. Определено, что ожидаемое уменьшение влажности климата является основным лимитирующим фактором для роста и развития лесообразовательных пород. Ухудшение режима влажности климата, а также изменение его континентальности и морозности приведет к значительному сужению зоны оптимального роста пород-эдификаторов и появлению значительных площадей с условиями, неблагоприятными для роста лесов, что вызовет снижение продуктивности древостоев, ослабление их репродуктивной способности, снижение устойчивости к вредителям и болезням, увеличение риска лесных пожаров в XXI в.

Ключевые слова: изменение климата, лесные фитоценозы, главные лесообразующие породы, амплитуды толерантности, удовлетворительность условий среды, климатические факторы.

THE METHODOLOGY OF MODELLING OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON FOREST PHYTOCENOSES IN UKRAINE

I. Buksha, A. Shvidenko, M. Bondaruk, O. Tselyshev, T. Pyvovar, M. Buksha, V. Pasternak, S. Krakovska

Absrtact. Forests can be affected by climate change and there is the possibility of degradation and dieback of forest ecosystems on large areas. Study of this issue is very important to provide proper adaptation strategy for forest sector. The aim of the study is to develop the methodology and methods of modeling of climate change impact on viability of cenopopulations of main forest forming species in Ukraine and evaluation of their vulnerability to climate change according to IPCC scenario A1B at 21st century comparing to climate standard period (1961-1990).

By means of Q-GIS climate maps were created. Regional climate models of

EU-FP6 ENSEMBLES and E-OBS of ECA&D projects were used. On the base of scales of ecological (climatic) amplitudes (by Didukh Ya.P.) amplitude of tolerance for 6 main forest forming tree species (Pinus silvestris L., Quercus robur L., Fagus silvatica L., Picea abies (L.) Karst., Betula pendula Roth., Alnus glutinosa (L.) Gaertn.) were assessed by climate continentality and humidity (by Ivanov), and crioclimate. It was modeled spatial distribution of areas with different satisfactory conditions of climate (optimal, suboptimal, etc.) for studied species in 1961-1990, present, and forecasted by A1B scenario (IPCC) during 21st century.

For all studied main forest forming species climate humidity is the main limiting factor. According to the forecast, a significant reduction in the zone of optimum in 2081-2100 is expected, and the appearance of areas with unfavorable conditions, which increases the probability of changes in zonal vegetation types. In places with unfavorable climatic conditions significant decrease in the productivity of main forest forming species is predicted, gradual loss of their reproductive capacity, violation of seasonal development cycles, reduction of resistance to pests and diseases, and the increased risk of forest fires.

Keywords: *climate change, forest phytocenoses, main forest forming species, tolerance amplitude, satisfactory of environmental conditions, climatic factors.*

УДК 630*64:630*53(477)

МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БІОМАСИ ЛІСОПРОМИСЛОВИХ ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ

Р. Д. ВАСИЛИШИН, доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри лісового менеджменту,

О. В. ШЕВЧУК*,

В. В. СЛЮСАРЧУК**,

Ю. М. ЮРЧУК*,

аспіранти (здобувачі) кафедри лісового менеджменту

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: rvasyls@ukr.net

Анотація. Використання відходів переробки деревини для енергетичних цілей є структурною складовою організацій системи сталого використання лісових ресурсів. У цьому контексті у межах запропонованої роботи подано термінологічно-поняттєвий інструментарій і методуку оцінювання енергетичного потенціалу біомаси відходів переробки деревини (лісопромислових деревних

* Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор П. І. Лакида.

** Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, доцент Р. Д. Васишлин.

© Р. Д. Васишлин, О. В. Шевчук, В. В. Слюсарчук, Ю. М. Юрчук, 2017