

УДК 630*12:630*176.232

П.І. ЛАКИДА¹, Р.Д. ВАСИЛИШИН², І.П. ЛАКИДА³

БІОПРОДУКТИВНІСТЬ ЛІСОВИХ ФІТОЦЕНОЗІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ

На основі поєднання і практичного використання значної кількості методів та форм наукового пізнання, як загальнонаукових, так і лісівничо-орієнтованих, а також оригінальної методики збору і оброблення дослідних даних, визначено біотичну продуктивність лісів України. У ході реалізації дослідження визначено акумульовані обсяги фітомаси, депонованого вуглецю та вмісту енергії. Здійснено розрахунок чистої первинної продукції. На основі аналізу динаміки наведених вище показників виявлено висхідний тренд, що свідчить про позитивні біопродукційні тенденції у лісах України та їх впливі на пов'язані сфери життя людини. Висвітлено актуальні виклики, котрі постають перед лісовою галуззю в аспекті впливу чинників світу, що змінюється.

Ключові слова: біотична продуктивність, оцінювання, динаміка, глобальні виклики.

Вступ. Зростання чисельності населення Землі, нестача харчових продуктів і запасів питної води, обмеженість традиційних (викопних) енергетичних ресурсів та глобальна зміна клімату – основні виклики та загрози, які постали перед людством і вимагають якщо не термінового їх вирішення, то хоча б обґрунтованих рішень, спрямованих на зменшення негативних наслідків. У цьому сенсі ліси планети, з одного боку, «відчувають» негативний деградаційний вплив цих явищ, з іншого – є дієвим інструментом у стабілізації довкілля, вирішенні тропічних, енергетичних та інших проблем.

Географічне положення України на мапі Європи, потенціал лісових ресурсів та її тверде рішення інтеграції до європейського співтовариства дедалі частіше викликають певний інтерес науковців та політиків як усередині країни, так і за її межами, щодо біотичного потенціалу лісів держави, передусім у світлі енергетичного забезпечення суспільства відновлюваними джерелами енергії та екологічної стабільності довкілля у зв'язку з глобальною зміною клімату [1, 5]. При цьому, основою виконання Україною вимог пост-Киотських домовленостей щодо поглинання парникових газів є наукові дослідження кількісних та якісних параметрів компенсації промислових викидів біологічною фіксацією атмосферного вуглецю [5, 6, 10]. Основний пріоритет у вирішенні зазначеної вище проблеми на цей час покладається на ліси. Однак управління екологічними послугами та вуглецевим балансом лісових

екосистем на глобальному чи регіональному рівнях можливе лише за наявності адекватної інформаційної бази про біотичний потенціал лісових фітоценозів [6].

Дослідження біотичного потенціалу лісових екосистем України передбачало поєднання і практичне використання значної кількості методів та форм наукового пізнання, як загальнонаукових (аналіз, синтез, спостереження, моделювання тощо), так і лісівничо-орієнтованих, які розроблені для лісової таксації, лісівництва та інших фахових дисциплін. Комплексний підхід до проведених наукових досліджень дав змогу отримати інформацію, яка характеризує процес формування біотичної продуктивності лісів України.

Об'єкти та методика. За базову в ході досліджень використано методику збору та оброблення дослідних даних, яка вирізняється серед інших оригінальним, з позиції системного підходу і практичного застосування, баченням проведення польових і камерально-лабораторних робіт. Вона ґрунтується на гармонійно поєднаних таксаційних і біометричних прийомах, а використані в ній теоретичні узагальнення базуються на статистичних і математичних методах. Основні теоретичні засади та практичні прийоми зазначеної методики пройшли успішну апробацію в Міжнародному інституті прикладного системного аналізу (IIASA, Австрія). Вона також була успішно реалізована у низці міжнарод-

¹ ЛАКИДА Петро Іванович – дійсний член ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна. Тел.: +38-067-462-80-43. E-mail: lakyda@nubip.edu.ua

² ВАСИЛИШИН Роман Дмитрович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, директор НДІ лісівництва та декоративного садівництва Навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства, доктор сільськогосподарських наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна. Тел.: +38-095-345-27-22. E-mail: rvasylys@ukr.net

³ ЛАКИДА Іван Петрович – доцент кафедри лісового менеджменту Навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна. Тел.: +38-067-771-68-18. E-mail: ivan.lakyda@gmail.com

них проєктів: «Preparation and design of the Ukraine reforestation biocarbon fund project» (2005-2006 pp.), «Carbon, Climate and Managed Land in Ukraine: Integrated Data and Models of Land Use for NEESPI (Forest Sector)» (2006-2008 pp.), «Biomass Energy Europe» (2008-2010 pp.), «GESAPU – Geoinformation technologies, spatio-temporal approaches, and full carbon account for improving accuracy of GHG inventories» (2010-2014 pp.).

За опрацьованою методикою закладено тимчасові пробні площі (ТПП), на яких проводили збір польового дослідного матеріалу з рубкою модельних дерев (МД). Так, за понад три останні десятиріччя було закладено більше 600 ТПП у деревостанах головних лісотвірних деревних порід України, на яких зрубано й обміряно понад 4900 МД, зокрема близько 3200 МД з повною оцінкою компонентів фітомаси з лабораторним опрацюванням понад 1740 дослідних зрізів стовбурів дерев, 800 зразків гілок крони, 2560 модельних гілок деревної зелені, 340 наважок хвої та 530 – листя. Окрім результатів польових досліджень, використано дані державного обліку лісів України станом на 1988, 1996, 2002 та 2011 pp.

Результати дослідження. Застосування спеціального алгоритму розрахунку, що розробили науковці ПАСА А.З. Швиденко та Д.Г. Щепаченко [9], дало змогу оцінити об'єми органічної речовини, що зафіксована у тканинах рослин та обсяги депонованого в ній вуглецю (рис. 1). Варто зазначити, що абсолютні значення названих вище показників є складовою частиною об'єктивної кількісної характеристики реакції лісових екосистем на кліматичні зміни, що відбуваються в атмосфері Землі.

Аналізуючи дані рис. 1, потрібно звернути увагу на те, що в лісах України спостерігають позитивний тренд нагромадження фітомаси: за останній десятирічний період її обсяг збільшився на 17,8%. Така тенденція свідчить про невиснажливе ведення лісового господарства і, як наслідок, позитивний вплив на навколишнє середовище та ресурсний потенціал галузі.

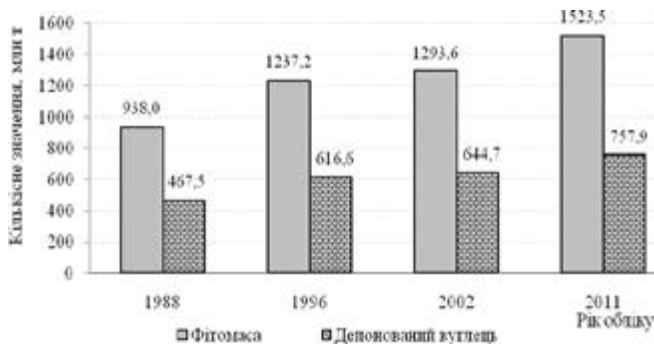


Рис. 1. Динаміка фітомаси та депонованого вуглецю в лісах України

Розглядаючи розподіл загальної кількості лісової фітомаси за географічними зонами, варто зазначити, що частка лісів Полісся, Лісостепу та Карпат

становить 90%, тоді як лісів Степу та гірського Криму – лише 10% внаслідок нерівномірного розміщення лісових насаджень територією України.

Дані щодо середньої щільності фітомаси лісів на території України наведено на рис. 2.

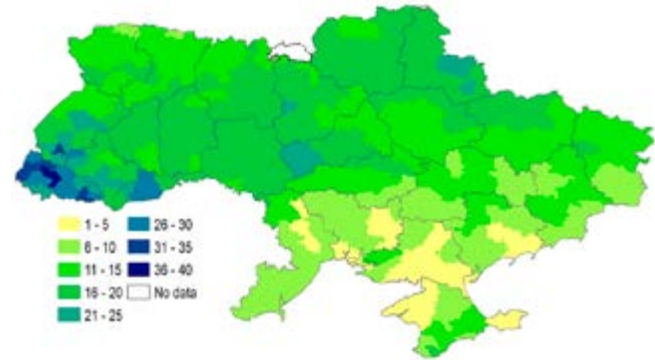


Рис. 2. Щільність фітомаси лісів України (середні дані для вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок, кг С·м⁻²)

Чиста первинна продукція (ЧПП) є одним з видів біологічної продуктивності, кількісне визначення якої потрібне для успішного вирішення низки різноманітних екологічних викликів. За допомогою напівемпіричної методики, яку розробили і реалізували науковці Міжнародного інституту прикладного системного аналізу [9], оцінено ЧПП лісів України. Встановлено, що вона становить 49,0 Тг С·рік⁻¹, або 512 г С·м⁻²·рік⁻¹ в середньому. Це майже на дві третини вище за середню щільність ЧПП російських лісів (317 г С·м⁻²·рік⁻¹) і дуже близько до останньої оцінки середньої ЧПП для 25 країн Європейського союзу – 520±75 г С·м⁻²·рік⁻¹ [10]. Просторовий розподіл ЧПП лісів України (середні дані на одиницю площі вкритих лісовою рослинністю ділянок за лісовими підприємствами) подано на рис. 3.

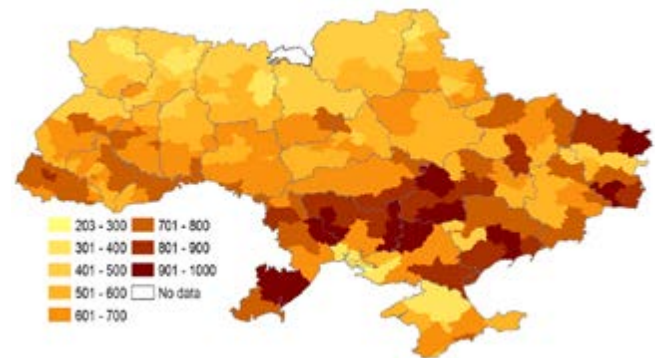


Рис. 3. Чиста первинна продукція лісів України (г С·м⁻²·рік⁻¹)

Отриманий та представлений на наведеному вище рисунку результат характеризує середню продуктивність лісів України за останнє десятиріччя. Він не враховує впливу глобальних змін і коливань кліматичних ознак на тренди та щорічну мінливість ЧПП [2].

Ключовою проблемою економіки України, яка має безпосередній вплив на екологічний стан до-

вкільця та пов'язані з ним функції, є енергозабезпеченість. З погляду споживання енергії, країна є однією з найменш ефективних: індикатор TPES (відношення загального виробництва первинної енергії до валового національного продукту) для України знаходиться на рівні 3,82 (Росія – 1,74, Канада – 0,35, Нідерланди – 0,21) [7]. За таких умов покращення енергетичної ефективності, як і використання інших внутрішніх відновлювальних джерел енергії, є викликом національного масштабу.

Відповідно до наших досліджень фітомаса українських лісів містить близько 27,1 ЕДж (ексаджоулів – 10^{18} Дж) енергії (еквівалентно 920,7 млн т умовного палива). Понад 22 ЕДж (757,0 млн т умовного палива) зосереджено в надземній деревній фітомасі. Ці дані можна порівняти із загальним споживанням викопного палива в Україні у 2011 р., яке, за даними Державної служби статистики України, становило 182,6 млн т умовного палива. При цьому щорічний технічний потенціал лісової біомаси (дров'яна деревина, відходи лісозаготівель, доглядових рубань та первинного оброблення деревини), який може бути залучений до структури паливно-енергетичного балансу України, становить 89,1 ПДж (петаджоулів) або 3,0 млн т умовного палива, що становить понад 1,6% від загального споживання всіх видів енергоносіїв у країні [2].

Прогнозування кількісних та якісних характеристик лісового фонду за умов змін клімату є комплексною задачею нечіткої логіки, оскільки достеменно невідомі спосіб та ступінь впливу факторів довкілля на результатний відгук лісових екосистем. Більше того, вичленення впливу певного фактору з-поміж інших є складним навіть за умов проведення спеціально спланованого експерименту. Втім, на сьогодні існують моделі динаміки лісових екосистем, здатні тією чи іншою мірою враховувати вплив зміни чинників довкілля на ліси [3, 8].

Динамічні умови світу, що змінюється, ставлять нові завдання і виклики перед українськими лісами та лісовим господарством [4]. Згідно з оцінками Центру кліматичних прогнозів і аналізу ім. Хедлі при метеослужбі Великої Британії, до 2080 р. в Україні значно посиляться аридність клімату у зв'язку з суттєвим зростанням середньорічних температур та деяким зменшенням кількості опадів. Це не лише істотно вплине на характер росту і продуктивності лісів, а й, цілком можливо, призведе до зміни розповсюдження деревних видів, особливо у південних регіонах країни. Задля того, аби мати змогу прогнозувати майбутній стан лісів України за таких умов, потрібно враховувати можливі зміни динаміки ознак лісових екосистем. Це обґрунтовує нагальну потребу здійснити наукові дослідження, спрямовані на перегляд і оновлення наявних моделей росту і біопродуктивності лісів. Наступним, імовірно, значно важливішим кроком, є розроблення т. зв. «кліматичного інтерфейсу» для оновлених моделей, котрий дав би змогу врахувати відгук лісових екосистем на вплив керівних факторів, представлених параметрами навколишнього середовища. Відправною точкою для такого роду досліджень є аналіз та ем-

піричне валідування усіх моделей, розроблених для опису динаміки параметрів деревостанів основних лісотвірних деревних видів. Наступним етапом є здійснення ретроспективного аналізу кліматичних змін на території України, а також вибір та масштабування до національного рівня наявних глобальних кліматичних сценаріїв.

Продовження дослідження передбачає інтеграцію детальнішого опису динаміки лісових екосистем, оновлених кліматичних даних та удосконаленого розрахунку чистої первинної продукції лісів України до однієї або кількох глобальних або регіональних моделей динаміки лісових екосистем. Такі заходи дадуть змогу здійснювати розрахунки-симуляції, спрямовані на прогнозування стану лісів України за умов зміни клімату до 2050 р. та станом на кінець ХХІ ст.

Висновки. Здійснені дослідження лісів України свідчать про позитивні тренди нагромадження обсягів фітомаси (17,8% упродовж останніх 10 років) та депонованого вуглецю, їх високу ЧПП, яка є близькою до усереднених показників країн-членів ЄС, а також значну енергетичну роль, яка, за умови вирішення організаційних та логістичних питань, здатна забезпечити економію близько 2% споживаних у країні енергетичних ресурсів. Отримані результати позитивно характеризують динаміку біопродукційних процесів у лісах України, а також зусилля дослідників вітчизняних та закордонних наукових установ щодо їх вивчення. Проблематика та актуальність здійсненої наукової роботи давно вийшла за межі України й набула глобального характеру, про що свідчать численні міжнародні наукові проекти та гранти, до виконання яких часто залучаються науковці-лісівники НУБіП України, інших наукових та освітніх установ, адже глобальні виклики потребують опрацювання консолідованих рішень.

Динамічна зміна умов довкілля, чітко помітна протягом останніх десятиліть, вимагає адаптації нормативно-інформаційного забезпечення лісової галузі України задля розширення його прогнозних можливостей та підвищення надійності. Виконання досліджень, спрямованих на розв'язання зазначених вище питань, дасть змогу наблизити планування та ведення лісового господарства до світових стандартів, висвітлити відповіді на питання динаміки лісових екосистем в умовах світу, що змінюється, а також закласти основу для формування лісової політики на середньо- і довгострокову перспективу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Біотична продуктивність лісів України в Європейському екоресурсному вимірі** / П.І. Лакида, А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко та ін. // Біоресурси і природокористування. – 2013. – Т. 5. – Вип. 5-6. – С. 99-106.
2. **Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор: моногр.** / А.З. Швиденко,

П.І. Лакида, Д.Г. Щепашенко, Р.Д. Васишин, Ю.М. Марчук. – Корсунь-Шевченківський: ФОП В. М. Гаврищенко, 2014. – 283 с.

3. A Novel Modelling Approach for Predicting Forest Growth and Yield under Climate Change [Електронний ресурс] / M. Ashraf, F. Meng, C. Bourque, D. MacLean // PLOS ONE. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.plosone.org/article/ fetchObject.action?uri=info:doi/10.1371/journal.pone.0132066&representation=PDF>.

4. Bioproductivity of Ukrainian forests in conditions of global climate change [Електронний ресурс] / P. Lakyda, R. Vasylyshyn, S. Zibtsev, A. Bilous, I. Lakyda // Earth Bioresources and Life Quality. – International Scientific Electronic Journal. – 2013. – Vol. 4 – Режим доступу до ресурсу: [http:// gchera-ejournal.nubip.edu.ua/ index.php/ebql/article/ view/154/118](http://gchera-ejournal.nubip.edu.ua/ index.php/ebql/article/ view/154/118).

5. Carbon stores in Ukrainian forests: current stock and midterm forecast / P. Lakyda, R. Vasylyshyn, A. Bilous, S. Zibtsev // Sustaining Forests, Sustaining People: The Role of Research : XXIV IUFRO World Congress, 5-11 October 2014, Salt Lake City, USA: abstracts. – Salt Lake City, 2014. – P. 412.

6. Global change and landscape structure in Ukraine: Ecological and socio-economic implications [Електронний ресурс] / A. Shvidenko, P. Lakyda, D. Schepaschenko, R. Vasylyshyn, Yu. Marchuk // Geophysical Research Abstracts – EGU General Assembly, 7-12 April 2013, Vienna, Austria. – Vienna, 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://meetingorganizer.copernicus.org/ EGU2013/ EGU2013-10627.pdf>.

7. International Energy Agency: Ukraine – indicators [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iea.org/statistics/ statisticssearch/ report/?year=2008&country=Ukraine&product=Indicators>. – Заголовок з екрану.

8. Predicting the deforestation-trend under different carbon-prices / G. Kindermann, M. Obersteiner, E. Rametsteiner, I. McCallum. // Carbon Balance and Management. – 2006. – №1.

9. Semi-empirical models for assessing biological productivity of Northern Eurasian forests / A. Shvidenko, D. Shchepashchenko, S. Nilsson, Y. Bouloui // Ecological Modelling. – 2006. – №204. – С. 163-179.

10. The European land and inland water CO₂, CO, CH₄ and N₂O balance between 2001 and 2005 / [S. Luyssaert, G. Abril, R. Andres та ін.] // Biogeosciences. – 2012. – №9. – С. 3357-3380.

П.І. Лакида, Р.Д. Васишин, І.П. Лакида

БИПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ УКРАИНЫ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ

На основе сочетания и практического использования значительного количества методов и форм научного познания, как общенаучных, так и лесовод-

ственно-ориентированных, а также оригинальной методики сбора и обработки эмпирических данных, определена биотическая продуктивность лесов Украины. Примененная методика прошла успешную апробацию в Украине и за рубежом, в ходе осуществления научных исследований и участия в многочисленных международных научных проектах. В ходе реализации исследования, за более чем три последних десятилетия были заложены более 600 временных пробных площадей (ВПП) в древостоях главных лесообразующих древесных пород Украины, на которых срублено и измерено более 4880 модельных деревьев (МД), в т.ч. более 3190 МД с полной оценкой компонентов фитомассы с лабораторной обработкой более 1740 исследовательских срезов стволов деревьев, 800 образцов ветвей кроны, 2560 модельных ветвей древесной зелени, 340 навесок хвои и 530 навесок листьев. Кроме результатов полевых исследований, использованы данные государственного учета лесов Украины.

Определены аккумулированные объемы фитомассы, для которой наблюдается положительный тренд накопления. Так, за последний 10-летний период ее объем увеличился на 17,8%. Объемы депонированного углерода имеют похожую восходящую тенденцию, по состоянию на 2012 г. они составили $757,9 \cdot 10^3$ т. Применяя современную методику, разработанную ведущими учеными Международного института прикладного системного анализа, осуществлен расчет чистой первичной продукции (ЧПП) лесных экосистем Украины. Установлено, что ЧПП украинских лесов является достаточно высокой – $49,0$ Тг С·год⁻¹, или, в среднем, 512 г С·м²·год⁻¹. Содержание энергии в фитомассе лесов Украины составляет ~ $27,1$ ЕДж (эксаджоулей – 10^{18} Дж). На основе анализа динамики приведенных выше показателей выявлены тренды к их увеличению, что свидетельствует о положительных биопродукционных тенденциях в лесах Украины и их влиянии на связанные сферы жизни человека.

Освещены актуальные вызовы, которые возникают перед лесной отраслью в аспекте влияния факторов изменяющегося мира. В частности, для повышения надежности оценки исследуемых признаков лесных экосистем, следует осуществить пересмотр и обновление существующих моделей роста и биопродуктивности лесов. Следующим и, вполне вероятно, более важным шагом, является разработка так называемого «климатического интерфейса» для обновленных моделей, который бы позволял учитывать отклик лесных экосистем на воздействие параметров окружающей среды, а также построить усовершенствованное описание роста и биопродуктивности лесов Украины в одну или нескольких глобальных или региональных моделей динамики лесных экосистем.

Ключевые слова: биотическая продуктивность, оценка, динамика, глобальные вызовы

P. Lakyda, R. Vasylyshyn, I. Lakyda

BIOPRODUCTIVITY OF UKRAINIAN FOREST PHYTOCOENOSES IN LIGHT OF GLOBAL CHALLENGES

On the basis of combination of practical application of a significant number of methods and forms of scientific cognition, both general scientific and forestry-oriented, as well as of an original method for collecting and processing of empirical data, assessment of biotic productivity of forests of Ukraine was carried out. The applied methodology was successfully tested in Ukraine and abroad, in the course of study and participation in numerous international research projects. In the course of the study, for more than three decades more than 600 temporary sample plots (TSP) there were established in stands of the main forest-forming tree species of Ukraine, where there were cut down and measured more than 4880 model trees (MT), including more than 3190 MT with full assessment of components of live biomass, with laboratory processing of more than 1740 research sections of tree trunks, 800 samples of crown branches, 2560 model samples of tree greenery, 340 weighed portions of needles and 530 weighed portions of leaves. In addition to the results of field studies, data from the state forest inventory in Ukraine were used.

The accumulated volumes of live biomass were determined, for which there is a positive trend of accumulation. For the last 10-year period its volume has increased by 17,8%. The amount of sequestered carbon has a similar upward trend, as of 2012 they

amounted to $757,9 \cdot 10^3$ t. By applying a modern methods developed by leading scientists of the International Institute for Applied Systems Analysis, calculation of the Net primary production (NPP) of forest ecosystems in Ukraine was carried out. It was found that NPP of Ukrainian forests is quite high – $49.0 \text{ Tg C} \cdot \text{year}^{-1}$, or an average of $512 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$. Energy content in biomass of Ukrainian forests is about 27.1 EJ (exajoules – 10^{18}J). Based on the analysis of dynamics of the above indicators we have identified trends to their increase, indicating that the positive trends in bioproduction process in Ukrainian forests take place as well as their positive impact on related spheres of human life.

The current challenges for forest sector that arise in light of influence of factors of changing world are highlighted. In particular, to improve the reliability of the conducted assessment and the obtained scientific and practical results of quantification of several parameters of forest ecosystems, revision and update of the existing models of forest growth and bioproduktivty should be implemented. The next, and, quite possibly, more important step is development of so-called “climatic interface” for the updated models that would enable taking into account the response of forest ecosystems to the impact of environmental factors, as well as to build-in an improved description of growth and bioproduktivty of Ukrainian forests into one or several global or regional models of forest ecosystems dynamics.

Key words: biotic productivity, evaluation, dynamics, global challenges