



**ЛАНДШАФТНА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ТА ТРЕНДИ КЛІМАТОГЕННОЇ ДИНАМІКИ
ЕКОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕКОТОПІВ НАГІРНИХ ДІБРОВ ПІВДЕННОЇ ЧАСТИНИ
ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

Здійснено синфітоіндикаційне оцінювання екотопів екосистем нагірних дібров територіально-ландшафтного комплексу модельного лісового масиву урочища «Великий ліс» південної частини Лівобережного Лісостепу України. Виявлено, що характер диференціації показників основних екологічних факторів в екотопах нагірних дібров в умовах автоморфного живлення зумовлюють контрасти місцезональних на рівні ландшафтних місцевостей залежно від гіпсометричного рівня, особливості мезорельєфу окремих ділянок, зокрема різниця в крутизні (від 0 до 15°) та експозиції схилів, а також специфіка структури лісових угруповань різних типів лісу. Визначено тенденції динаміки значень показників екологічних режимів екосистем дубових лісів на ландшафтному рівні згідно з прогнозом зміною кліматичних умов. Синфітоіндикаційне оцінювання екологічних режимів дає змогу розв'язувати актуальні питання комплексного та економічного визначення на локальному й регіональному рівнях як поточного стану екотопів лісових екосистем, так і специфіки їхньої динаміки під впливом зміни клімату, що є важливою складовою моніторингу лісів у повоєнний період розвитку лісового господарства.

К л ю ч о в і с л о в а : синфітоіндикація, лісові екосистеми, елементи рельєфу, едафічні режими, кліматичні режими, лісовий моніторинг.

Вступ. Згідно з результатами широкомасштабного моделювання (La Querre et al. 2015), до кінця XXI ст. очікується підвищення температури на +4°C, що може спричинити незворотні зміни в довкіллі, зокрема у лісових екосистемах Європи. За сценарієм, розробленим Українським гідрометеорологічним інститутом (УкрГМІ) на основі ансамблю регіональних кліматичних моделей, в Україні холодний період року скорочуватиметься, зима стане м'якшою та вологішою, а теплий період подовжиться, стане спекотнішим і сухішим (Development 2013). Всебічне вивчення та систематизація особливостей прояву впливу зміни клімату в різних природних регіонах України, оцінювання уразливості екосистем лісів до очікуваної (прогнозованої) зміни клімату є важливими умовами для розроблення оптимальної стратегії мінімізації наслідків такого впливу, сталого управління лісами та невиснажливого лісокористування (Stoyko 2009, Buksha 2010, Bondaruk et al. 2020). В Україні вплив зміни клімату на ліси досліджували науковці УкрНДІЛГА (Buksha et al. 1998, 2014, Buksha 2010), Інституту екології Карпат (Stoyko 2009), Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного та Чернівецького національного університету (Didukh et al. 2016). Зокрема, розробляли методи прогнозного моделювання впливу зміни клімату на життєздатність головних лісоутворювальних порід для п'яти кліматичних регіонів за сценарієм МГЕЗК А1В у XXI столітті проти кліматичної норми (1961–1990 pp.) (Buksha et al. 2017a, 2017b, 2017c, 2018). Водночас кліматичні режими лісів як окремих екотопів, так і цілих регіонів можуть значно відрізнятися від кліматичних характеристик, одержаних у стандартних умовах метеостанцій і використаних для побудови кліматичних моделей, оскільки вплив зміни клімату на ліси України суттєво різниться залежно від геоморфології та рельєфу, фізичних, хімічних і гідрологічних характеристик ґрунту, типів лісів і відмінностей їхньої рослинності (Shcherban 1974, Romanova 1977, Didukh & Plyuta 1994, Havrylenko 2003, Bondaruk et al. 2020). Кліматичні зміни слід розглядати як тригерний механізм, що викликає ланцюгову реакцію, результати якої зумовлені кумулятивною дією різних факторів (Didukh 2016). Тому система досліджень специфіки й трендів кліматогенної динаміки екологічних режимів лісів має охоплювати моніторинг кліматичних та едафічних режимів екотопів лісових екосистем на локальному та регіональному рівнях організації.

Метою досліджень була синфітоіндикаційне оцінювання тенденцій динаміки значень показників едафічних і кліматичних режимів екотопів дубових лісів на ландшафтному рівні

згідно з прогноною зміною кліматичних умов на прикладі модельного об'єкта для проведення моніторингу впливу кліматичних змін на лісові екосистеми регіону.

Матеріали й методи. Об'єкти досліджень – дубові деревостани природного (вегетативного та насінневого) походження середніх і старших класів віку сухої, свіжої та вологої кленово-липової діброви територіально-ландшафтного комплексу модельного лісового масиву урочища «Великий ліс» південної частини Лівобережного Лісостепу України. Дослідні ділянки (кругові перелікові площадки радіусом 12,62 м і площею 0,05 га) закладено згідно з методичними рекомендаціями з моніторингу лісів (Methodical recommendations 2008). Ділянки розподіляли у виділі рівномірно. Загальна кількість виділів – 24, ділянок – 270. Ділянки оцінювали за належністю до елементів ландшафтно-територіальних комплексів (плакорні, долинні тощо), макрорельєфу (схилів прирічкові, балково-долинні, заплавні місцевості), мезорельєфу (верхня, середня, нижня частина схилу, тераса, низинні ділянки) із визначенням експозиції та крутизни схилів (Geography of Ukraine 1999, Ecological atlas 2005), типу лісорослинних умов (ТЛУ) та типу лісу (Ostapenko 1997). Геоботанічний опис містив повний перелік видів (Identifier of higher plants 1987, Mosyakin & Fedoronchuk 1999), які входять до складу деревостану, підросту, підліску, живого надґрунтового покриву, та оцінку їхніх рясності-покриття за комбінованою шкалою Г. М. Висоцького та Д. В. Воробйова (у балах і відсотках) (Vysotsky 1962, Vorobyov 1969).

Для визначення екологічних (едафічних і кліматичних) параметрів конкретних місцезростань використано метод синфітоіндикації 10 провідних факторів за уніфікованими шкалами екологічних амплітуд видів флори України (Didukh 2011). Кількісні індекси для фітоценозу розраховували за формулою в балах на основі середньої градації індексів рясності-покриття всіх інформативних видів. Переведення балової оцінки в абсолютні розмірності здійснювали за відповідними шкалами (Didukh 2011). Аналіз закономірностей зміни певних екологічних чинників та їхньої диференціації на лісотипологічному та ландшафтному рівнях організації охоплював розрахунок мінімальних (x_{min}), середніх (\bar{x}) і максимальних (x_{max}) значень екологічних режимів за типами лісорослинних умов, які пов'язані з елементами рельєфу. Для екстраполяції трендів кліматичних впливів на структуру та функції екосистем нагірних дібров південної частини Лівобережного Лісостепу шляхом розрахунку коефіцієнтів кореляції між екологічними режимами (Lakin 1980) визначено групи екофакторів середовища, які синхронно змінюються у просторі та зумовлюють екологічну специфіку майбутніх кліматичних змін екотопів.

Результати та обговорення. Територіально-ландшафтний комплекс модельного лісового масиву урочища «Великий ліс» за структурою є одним із типових для південно-східного Лісостепу України, а саме – для району Харківського лісостепу з дубовими, липово-дубовими лісами та лучними степами Середньоруського лісостепового округу Лісостепової лісогосподарської області України (Gensiruk et al. 1981, Ostapenko 1997), формується з елементів рельєфу долинних (87,8 %) і плакорних (12,2 %) природних комплексів та представлений чотирма типами місцевостей (плакорні, балково-долинні, схилів прирічкові та заплавні). Дослідні ділянки розташовані в різних елементах рельєфу долинних природних комплексів (балково-долинних та схилів прирічкових), різних елементах мезорельєфу (плато, верхніх, середніх та нижніх частинах схилів різних крутизни та експозиції, низинах, улоговинах) і типах лісу (сухий, свіжий і вологий кленово-липовий дібрових) (табл. 1).

Для режиму вологості ґрунту (Hd) лісових екотопів характерним є послідовне наростання значень від верху до низу: від сухолісолучного – D_1 – D_{1-2} ($W_{np} = 100$ – 150 мм) на вершинах і верхніх частинах схилів переважно південної та південно-східної експозицій до проміжного між сухолісолучним і вологолісолучним (свіжолісолучним) – D_2 ($W_{np} = 150$ мм) на плато, середніх і нижніх частинах схилів переважно північної, північно-східної та північно-західної експозицій, рідше західної (тільки ділянки 137/1 та 137/2 мали східну та південно-східну експозицію, але на практично рівній місцевості з кутом крутизни до 2° (див. табл. 1)) із наближенням до вологих лісолучних оселищ (вологолісолучний режим – $D_{2(3)}$)

з тимчасово надмірним зволоженням шару ґрунту, в який проникають корені рослин ($W_{np} = 150-180$ мм) на середніх і нижніх частинах схилів і низинних ділянках північної та північно-східної експозицій балково-долинних і схилових прирічкових місцевостей долинних природних комплексів.

Таблиця 1

Характеристика дослідних ділянок за елементами рельєфу ландшафтно-територіального комплексу урочища «Великий ліс»

Квартал/ виділ	Мезорельєф	Експозиція	Крутизна схилів, град.
Типи лісу: суха, суха-свіжа кленово-липові діброви (D_1, D_{1-2})			
Долинні природні комплекси. Балково-долинні місцевості			
136/5	Верхні частини схилів	Північна	5
124/1	Верхні частини схилів	Південно-східна, східна	10
124/6	Вершина та верхні частини схилів	Південна	8
134/3	Верхні, середні частини схилів	Східна, південна	2
Долинні природні комплекси. Схилові прирічкові місцевості			
143/1	Верхні частини схилів	Північно-східна	3
Тип лісу: свіжа кленово-липова діброва (D_2)			
Долинні природні комплекси. Балково-долинні місцевості			
114/4	Нижні частини схилів	Рівна	0
125/2	Нижні частини схилів	Рівна	0
135/8	Верхні, середні частини схилів	Північно-західна, західна	6; 10
144/2	Середні, нижні частини схилів, улоговина	Південно-східна, північно-західна	12; 6
135/6	Нижні частини схилів	Північно-західна	3
125/5	Верхні, середні, нижні частини схилів	Північна	9
134/16	Середні частини схилів	Північно-східна	5
134/15	Середні, нижні частини схилів	Північна, південна, східна	10
135/5	Середні частини схилів	Західна	7
135/7 і 136/4	Середні, нижні частини схилів	Північна, північно-західна	12
141/5	Верхні, середні, нижні частини схилів	Північно-східна	11
141/4	Середні частини схилів	Північно-східна	11
Долинні природні комплекси. Схилові прирічкові місцевості			
138/1	Середні частини схилів	Північно-східна	2
137/1	Плато	Східна	2
137/2	Верхні частини схилів	Південно-східна	2
Типи лісу: волога, волога-сира кленово-липові діброви (D_3, D_{3-4})			
Долинні природні комплекси. Балково-долинні місцевості			
134/6	Низинна місцевість; вогікі низинні ділянки	Північно-східна	8
134/2	Нижні частини схилів	Північно-східна	9
Долинні природні комплекси. Схилові прирічкові місцевості			
136/2	Середні частини схилів	Північна	8

Показники динаміки едафічних і кліматичних режимів в екотопах нагірних дібров за типами лісорослинних умов наведено в таблиці 2.

На ступінь гігроморфізму ґрунтів впливає рельєф: верхні ділянки є дренажними, тоді як у пониззях, навпаки, акумулюється волога. Збільшення зволоження ґрунту від вершин до підніжжя схилів і далі до знижень детермінує формування різних асоціацій із домінуванням у надґрунтового покриві в сухих і свіжих грудях осоки волосистої (*Carex pilosa* L.), у свіжих грудях – зірочника ланцетоподібного (*Stellaria holostea* L.), у свіжих і вологих-сирих грудях – яглиці звичайної (*Aegopodium podagraria* L.). Рівень зволоження ґрунту в нагірних дібровах має пряму кореляцію з показниками вмісту азоту (Nt) та аерації ґрунту (Ae), зворотну – з вмістом карбонатів у ґрунті (Ca), показниками термальності й континентальності клімату (Kn) (табл. 3).

**Синфітоіндикаційна оцінка едафічних і кліматичних режимів екотопів нагірних дібров
за типами лісорослинних умов**

Екологічні режими	Загалом лісова рослинність, бали		
	x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}
Типи лісу: суха, суха-свіжа кленово-липові діброви (D₁, D₁₋₂)			
Вологість ґрунту (Hd)	11,61	11,96	11,77
Кислотність ґрунту (Rc)	8,04	8,27	8,13
Загальний сольовий режим (Sl)	6,46	6,76	6,59
Вміст карбонатів у ґрунті (Ca)	7,09	7,33	7,19
Вміст азоту (Nt)	6,23	6,79	6,51
Аерація ґрунту (Ae)	6,68	7,09	6,85
Термальний клімат (Tm)	8,83	9,11	8,98
Вологість (Om)	12,61	13,07	12,82
Континентальність (Kn)	7,87	8,55	8,15
Кріоклімат (Cg)	8,48	8,67	8,57
Тип лісу: свіжа кленово-липова діброва (D₂)			
Вологість ґрунту (Hd)	11,81	12,25	12,01
Кислотність ґрунту (Rc)	7,94	8,27	8,12
Загальний сольовий режим (Sl)	6,45	6,69	6,56
Вміст карбонатів у ґрунті (Ca)	6,71	7,06	6,88
Вміст азоту (Nt)	6,41	6,79	6,66
Аерація ґрунту (Ae)	6,82	7,13	6,98
Термальний клімат (Tm)	8,82	9,11	8,94
Вологість (Om)	12,67	13,24	12,93
Континентальність (Kn)	7,50	8,01	7,82
Кріоклімат (Cg)	8,36	8,77	8,56
Типи лісу: волога, волога-сира кленово-липові діброви (D₃, D₃₋₄)			
Вологість ґрунту (Hd)	12,17	12,43	12,30
Кислотність ґрунту (Rc)	7,86	8,09	7,99
Загальний сольовий режим (Sl)	6,50	6,64	6,57
Вміст карбонатів у ґрунті (Ca)	6,59	6,79	6,70
Вміст азоту (Nt)	6,64	6,97	6,84
Аерація ґрунту (Ae)	7,25	7,36	7,30
Термальний клімат (Tm)	8,67	8,85	8,78
Вологість (Om)	12,82	13,00	12,91
Континентальність (Kn)	7,67	7,75	7,72
Кріоклімат (Cg)	8,41	8,54	8,47
Разом по формації Querceta roboris			
Вологість ґрунту (Hd)	11,61	12,43	12,00
Кислотність ґрунту (Rc)	7,86	8,27	8,10
Загальний сольовий режим (Sl)	6,45	6,76	6,57
Вміст карбонатів у ґрунті (Ca)	6,59	7,33	6,92
Вміст азоту (Nt)	6,23	6,97	6,65
Аерація ґрунту (Ae)	6,68	7,36	6,99
Термальний клімат (Tm)	8,67	9,11	8,93
Вологість (Om)	12,61	13,24	12,91
Континентальність (Kn)	7,50	8,55	7,88
Кріоклімат (Cg)	8,36	8,77	8,55

Кислотний режим ґрунтів (Rc) в екотопах урочища варіює в невеликому діапазоні проміжної між слабко-кислою та нейтральною (pH = 6,4–6,7) реакцією ґрунтового розчину (див. табл. 2). Кислотність ґрунтів, як і зволоження, демонструє певну залежність від гіпсометричного рівня, поступово зменшується від максимальної у 8,27 бала (виділ 136/5) на верхніх рівнях балково-долинних місцевостей до 7,86 бала (виділ 136/2) на нижніх рівнях схилкових прирічкових місцевостей (див. табл. 1).

Лужність ґрунтів (Rc) нагірних дібров прямо корелює зі вмістом карбонатів (Ca), кількістю тепла, яке потрапляє на 1 см² поверхні за рік (показник терморезиму Tm), морозності мікроклімату (показник кріорежиму Cr), зворотно – з показниками аерації ґрунтів (Ae) і (див. табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнти кореляції між показниками екологічних режимів екотопів нагірних дібров урочища «Великий ліс»

r	Hd	Rc	Sl	Ca	Nt	Ae	Tm	Om	Kn	Cr
Rc	-0,353									
Sl	-0,361	-0,122								
Ca	-0,832	0,446	0,322							
Nt	0,615	-0,069	-0,140	-0,549						
Ae	0,875	-0,484	-0,094	-0,763	0,656					
Tm	-0,465	0,610	-0,141	0,545	-0,235	-0,681				
Om	0,339	0,135	-0,566	-0,313	0,255	0,181	0,194			
Kn	-0,603	-0,162	0,393	0,633	-0,767	-0,561	0,175	-0,310		
Cr	-0,401	0,716	0,254	0,450	0,085	-0,418	0,634	-0,051	-0,191	

t _{факт.}	Hd	Rc	Sl	Ca	Nt	Ae	Tm	Om	Kn	Cr
Rc	-1,730									
Sl	-1,774	-0,565								
Ca	-6,869	2,283	1,577							
Nt	3,571	-0,318	-0,649	-3,012						
Ae	8,302	-2,532	-0,434	-5,416	3,984					
Tm	-2,407	3,527	-0,651	2,979	-1,109	-4,265				
Om	1,653	0,624	-3,142	-1,508	1,207	0,844	0,904			
Kn	-3,465	-0,754	1,956	3,747	-5,472	-3,105	0,813	-1,494		
Cr	-2,003	4,702	1,204	2,307	0,389	-2,110	3,753	-0,233	-0,891	

Примітки. n = 23, k = 21 і t_{st-05} = 2,08. Грубим шрифтом виділено достовірні значення, курсивом – недостовірні значення.

Просторова та сезонна динаміка рН сірих лісових ґрунтів пов’язана з розведенням ґрунтових розчинів дощовими й талими водами, явищами нітрифікації та вилуговування карбонатів, які сприяють зниженню кислотності. Висушування ґрунтів сприяє зменшенню біологічної активності та тиску CO₂, міграції («підтягуванню») карбонатів до верхніх горизонтів, полімеризації фульвокислот і, як наслідок, підвищенню рН.

Спектр умов сольового режиму (мінералізованості) ґрунтів (Sl) в екотопах схилових прирічкових і балково-долинних місцевостей урочища має невелику амплітуду: від 6,45 до 6,76 бала (див. табл. 1, 2) і характеризується найнижчим ступенем диференціації, якщо порівняти з іншими екологічними режимами. Тобто всі ґрунти за сольовим режимом наближені до збагачених солями (семієвтрофних) темно-сірих та опідзолених чорноземів із ознаками вилуговування та опідзолення (Sl = 0,015–0,02 % із вмістом HCO₃ = 0,004–0,016 % ґрунту та слідами SO₄²⁻ і Cl⁻ в деяких типах), які є типовими для екотопів лісів України формації *Querceta roboris* в південних регіонах Лісостепу (Didukh & Plyuta 1994). Як свідчать показники матриці кореляційних зв’язків (див. табл. 3), підвищення рівня мінералізованості ґрунтів нагірних дібров супроводжується зниженням гумідності мікроклімату в їхніх екотопах.

Режим вмісту карбонатів у ґрунтах (Ca) лісових екотопів змінюється в діапазоні від 6,59 до 7,33 бала (CaO, MgO від 0,6 до 1,5 %) і характеризує ґрунти, придатні для екогрупи акарбонатofilів (*Fraxinus excelsior* L., *Acer campestre* L., *Ulmus glabra* Huds., *Euonymus europaea* L., *E. verrucosa* Scop., *Mercurialis perennis* L.) – рослин нейтральних оселищ, стійких до малого вмісту карбонатів у ґрунті, які не підіймаються до верхніх горизонтів завдяки промивному режиму (див. табл. 2). Це – сірі лісові ґрунти, що утворилися на лесових породах, проте характеризуються підзолистими процесами (Didukh 2011). Динаміка вмісту

карбонатів за типами лісорослинних умов у ґрунтах екотопів урочища закономірно пов'язана зі зміною режимів зволоження та кислотності ґрунтів і, подібно до останніх, виявляє певну залежність від гіпсометричного рівня (див. табл. 1, 2). Вміст карбонатів поступово знижується від максимальної у 7,33 бала (виділ 124/6) на верхніх рівнях (вершинах і верхніх частинах схилів переважно південної та південно-східної експозицій) балково-долинних місцевостей до 6,59 бала (виділ 136/2) на нижніх рівнях схилових прирічкових місцевостей. Вміст карбонатів у ґрунтах нагірних дібров виявляє сильну зворотну кореляцію з їхньою вологістю та вмістом азоту у ґрунтах (див. табл. 3). Вологість спряжена з рівнем вилугованості профілю автоморфних ґрунтів і їхньою гумусованістю, що збільшується зверху донизу. Це відповідає закономірностям перерозподілу вологи дощових опадів, що є фактором стоку й стимулює процеси змиву – акумуляції, які диференціюються за формами рельєфу. Від'ємний кореляційний зв'язок також виявлено між вмістом карбонатів та рівнем аерації ґрунтів. Проте останній зв'язок, унаслідок особливостей формування шкали аерації, трактується як збільшення аерації у разі збільшення вмісту в ґрунтах бікарбонатів кальцію. Підвищення вмісту карбонатів з низин угору в екотопах нагірних дібров закономірно супроводжується збільшенням лужності ґрунтів на тлі збільшення значень мікрокліматичних показників термального клімату й континентальності та зменшення морозності.

Показники нітратного режиму (Nt) ґрунтів екотопів (6,23–6,97 бала) (див. табл. 2) дають змогу віднести останні до достатньо забезпечених мінеральним азотом ($Nt = 0,3-0,4 \%$), придатних для рослин нітрофільної екогрупи (*Urtica dioica* L., *Lamium maculatum* (L.) L., *Galium aparine* L.). У міру підвищення вмісту мінерального азоту в ґрунтах синхронно відбувається збільшення в них рівня зволоження, погіршення режиму аерації та зменшення вмісту карбонатів на тлі зменшення континентальності мікроклімату (див. табл. 3). Найбільший вміст азоту в ґрунті виявлено в найтепліших для лісів і вологих умовах, де відбувається швидке розкладання органіки, й вона не вимивається, а накопичується. На схилах, де ґрунти сильніше промиваються, вміст азоту є нижчим, ніж на вирівняних і знижених ділянках рельєфу (див. табл. 1, 2). Сухі екотопи (виділи 124/6, 124/1, 136/5), які формуються на вершинах і верхніх частинах схилів переважно південної та південно-східної експозицій балково-долинних місцевостей, характеризуються найменшими показниками вмісту нітратних і аміачних форм азоту – 6,23–6,38 бала. У вологих і вологих-сирих умовах (виділи 134/6, 136/2, 134/2) на середніх і нижніх частинах схилів і низинних ділянках північної та північно-східної експозицій балково-долинних і схилових прирічкових місцевостей долинних природних комплексів, де підсилюються перегнійно-акумулятивні процеси, а вилуговання затримується через процеси оглеєння, ґрунти мають більший вміст азоту – 6,64–6,97 бала.

Аерація ґрунтів (Ae) лісових екотопів також виявляє певну залежність від гіпсометричного рівня, поступово знижуючись від максимальної у 6,68 бала ($Ae = 46,1 \%$) (виділ 136/5) на верхніх рівнях балково-долинних місцевостей до 7,36 бала ($Ae = 39,8 \%$) (виділ 136/2) на нижніх рівнях схилових прирічкових місцевостей (див. табл. 1, 2). Такі ґрунти належать до помірно аерованих, сухих глинистих із повним зволоженням шару ґрунту опадами й талими водами або з тимчасовим зволоженням шару ґрунту ґрунтовими водами. Погіршення аерації ґрунтів в екотопах нагірних дібров кореляційно пов'язане зі зростанням їхнього зволоження, а також зі збільшенням забезпеченості мінеральним азотом за одночасного зменшення кислотності ґрунтів і вмісту в них бікарбонату кальцію (див. табл. 3), що спричиняє зниження структурованості ґрунтів і заповнення їхніх шпар вологою. Зниження аерації ґрунтів в екотопах нагірних дібров супроводжується також зменшенням показників термального клімату і континентальності та збільшенням морозності (див. табл. 3).

Спектр умов термоклімату (терморезим, Tm) екотопів має невелику амплітуду: від 8,67 бала ($43,35 \text{ ккал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$, або $1815 \text{ МДж м}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$) до 9,11 бала ($45,55 \text{ ккал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$, або $1907 \text{ МДж м}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$), що відповідає амплітуді радіаційного балансу в $2,2 \text{ ккал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$

(92 Дж м²·рік⁻¹) (див. табл. 2). Термальний режим екотопів дубових лісів є характерним для лісових екотопів лісостепової термозони і сприятливим для розвитку екогрупи субмезотермальних видів (Didukh 2011). Максимальними значеннями терморезиму в урочищі вирізняються екотопи виділів підвищених ділянок рельєфу балково-долинних і схилових прирічкових місцевостей (див. табл. 1) у сухих і свіжих лісорослинних умовах (8,83–9,11 бала), мінімальними – середніх і нижніх частин схилів та низин північної експозиції схилових прирічкових місцевостей у вологих лісорослинних умовах (8,67–8,85 бала). Такі відмінності пояснюються різним альbedo сухих і зволжених поверхонь (Didukh & Plyuta 1994). Зменшення показників термоклімату в екотопах нагірних дібров кореляційно пов'язане зі зростанням зволоження ґрунтів, а також зі зменшенням вмісту бікарбонатів кальцію в них, підвищенням кислотності й погіршенням режиму аерації (див. табл. 3). Зниження рівня радіаційного балансу супроводжується також підвищенням морозності мікроклімату (кріорежиму).

Континентальність (контрасторезим, Кп) мікроклімату екотопів характеризується найбільшим градієнтом змінності серед кліматичних параметрів і має амплітуду від 8,55 бала (Кп = 126,5 %, або режим, проміжний між хемі-океанічним і хемі-континентальним) на верхніх рівнях балково-долинних місцевостей до 7,50 (Кп = 116,0 %, або хеміокеанічний режим) на нижніх рівнях схилових прирічкових місцевостей (див. табл. 1, 2). Подібні зміни зумовлені зменшенням амплітуди температури повітря і дефіциту його вологості у разі переходу від верхніх ділянок рельєфу до понизь схилів (Olszewski 1991). Разом із підвищенням континентальності мікроклімату збільшується вміст кальцію в ґрунтах, покращуються умови аерації ґрунтів на фоні зменшення показників зволоження й вмісту мінерального азоту у ґрунтах (див. табл. 3).

Морозність, або суворість зим (кріорежим, Ст), вирізняється низьким ступенем диференціації в екотопах нагірних дібров із тенденцією збільшення значень цього фактору згори вниз за зменшення балової оцінки від 8,77 до 8,36 бала (Ст = -5,0...-6,6°C, або режим, наближений до хемі-кріофітного з м'якими зимами) (див. табл. 1, 2). Пояснюється це тим, що найнижчі мінімальні температури повітря й максимальний показник кріоклімату характерні для від'ємних форм рельєфу – долин, улоговин, днищ балок тощо (Romanova 1977). Відомо, що сирі низовини мають нижчі показники освітлення та прогрівання, ніж вищі місцеположення; вночі сюди спрямований стік холодного повітря, яке в умовах низького продування застоюється. Завдяки цьому за незначних відмінностей у денних температурах нічні знижуються на 2,5–3,0°C, порівнюючи з горбами (Shcherban 1974). Збільшення морозності мікроклімату в екотопах нагірних супроводжується зниженням вмісту карбонатів і кислотності ґрунтів, погіршенням рівня їхньої аерації на тлі зменшення кількості тепла, яке потрапляє на 1 см² поверхні за рік (див. табл. 3).

Мікрокліматичні показники аридності або гумідності (омброрезиму, Ом) екотопів коливаються у вузьких межах субомброфітного режиму (див. табл.2): від 12,61 до 13,24 бала (Ом = -200...0 мм) і є типовими для екотопів лісів України формації *Querceta roboris* у південних регіонах Лісостепу (Didukh & Plyuta 1994). Слабке коливання омброрезиму в лісових екотопах за елементами рельєфу та типами лісорослинних умов пояснюється оптимізацією гумідності мікроклімат під впливом лісів (Didukh 2016). Динаміка показників гумідності мікроклімату в екотопах нагірних дібров має від'ємний кореляційний зв'язок лише з одним екофактором – рівнем мінералізованості ґрунтів (див. табл. 3).

Висновки. Характер диференціації показників основних екологічних факторів в екотопах нагірних дібров південної частини Лівобережного Лісостепу в умовах автоморфного живлення зумовлений контрастами місцеположень на рівні ландшафтних місцевостей залежно від гіпсометричного рівня, особливостями мезорельєфу окремих ділянок, зокрема різницею в крутизні (від 0 до 15°) та експозиції схилів, а також специфікою структури лісових угруповань різних типів лісу.

За ординаційною матрицею кореляційних зв'язків екологічних факторів визначено закономірності динаміки екологічних режимів в екотопах нагірних дібров за загальносвітової тенденції аридизації клімату. На фоні збільшення кількості тепла, яке потрапляє на 1 см² поверхні за рік, насамперед відбуватиметься зменшення суворості зим і збільшення континентальності мікроклімату, підвищення випаровування вологи та зниження гумідності, які призведуть до зменшення зволоження і вмісту мінерального азоту в ґрунтах, збільшення лужності, вмісту карбонатів та рівня аерації ґрунтів, а також до незначного підвищення мінералізованості ґрунтів нетоксичними солями гідрокарбонатів. Зміни екологічних режимів відбуватимуться почергово від верхніх рівнів (вершин і верхніх частин схилів південної та південно-східної експозицій) балково-долинних місцевостей до нижніх рівнів схилів прирічкових місцевостей північної експозиції.

Синфітоіндикаційна оцінка екологічних режимів дає змогу розв'язувати актуальні питання комплексного та економного визначення на локальному й регіональному рівнях як поточного стану екотопів лісових екосистем, так і специфіки їхньої динаміки під впливом зміни клімату, що є важливою складовою моніторингу лісів у повоєнний період розвитку лісового господарства.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Bondaruk, M. A., Buksha, I. F., Tselishchev, O. H. 2020. Synphytoindication modeling of climatopes of forest ecosystems on the base of forest monitoring data in Forest-Steppe region of Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 136: 117–125 (in Ukrainian).

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: Dimensions, impacts, mitigation and adaptation policies*. Forests and Climate Change Working Paper 8. (Csaba Matyas, Ed.). FAO, 157–179.

Buksha, I., Bondaruk, M., Buksha, M., Tselishev, O., Pyvovar, T., Pasternak, V. 2017a. [Electronic resource]. Vulnerability assessment of the main forest tree species due to climate change in Ukraine (Poster). IUFRO 125th anniversary world congress (18–22 September, 2017). Freiburg, Germany, 427. Available at: http://iufro2017.com/wp-content/uploads/2017/11/IUFRO17_Abstract_Book.pdf (accessed 07.02.2023).

Buksha, I. F., Bondaruk, M. A., Tselishchev, O. H., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I. 2018. Modeling the impact of climate change on phytocenoses of forest beech in Ukraine. In: *The main problems and trends of further development of forestry in the Ukrainian Carpathians*. Proceedings of International Scientific and Practical Conference. Ivano-Frankivsk, p. 154–160 (in Ukrainian).

Buksha, I. F., Bondaruk, M. A., Tselishev, O. H., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I., Pasternak, V. P. 2017b. Modelling the impact of climate change on the viability of scots pine and english oak of lowland forests of Ukraine *Forestry and Forest Melioration*, 130: 146–158 (in Ukrainian).

Buksha, I. F., Gozhik, P. F., Emelaynova, J. L., Trofimova, I. V., Shereshevskiy, A. I. 1998. Ukraine and global green-house effect. Book 2. Vulnerability and adaptation of ecological and economic systems to climate changes. Kyiv, Publishing house of Agency on rational use of energy and ecology, 208 p. (in Ukrainian).

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. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 12: 30–37.

Buksha, I. F., Shvydenko, A. Z., Bondaruk, M. A., Tselishchev, O. H., Pivovar, T. S., Buksha, M. I., Pasternak, V. P., Krakovska, S. V. 2017c. Methodology for modeling and assessing the impact of climate change on forest phytocenoses of Ukraine. *Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Forestry and Decorative Gardening*, 266: 26–38 (in Ukrainian).

Identifier of higher plants of Ukraine. 1987. [Prokudin, Yu.N., Ed.]. Kyiv, Naukova dumka, 548 p. (in Russian).

Development of medium- and long-term climate change scenarios in Ukraine using global and regional models' data. 2013. [Electronic resource]. Ukrainian Hydrometeorological Institute, 135 p. Available at: www.uhmi.org.ua/project/rvndr (accessed 07.02.2023) (in Ukrainian).

Didukh, Ya. P. 2011. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv, Phytosociocentre, 176 p.

Didukh, Ya. P. 2016. Climatogenic changes in the flora of the Ukrainian Carpathians. Chernivtsi, Druk Art, 280 p. (in Ukrainian).

Didukh, Ya., P. and Plyuta, P. G. 1994. Phytoindication of environmental factors. Kyiv, Naukova Dumka, 280 p. (in Ukrainian).

Ecological atlas of Kharkiv region. 2005. Second edition. Kharkiv, 83 p. (in Russian).

- Gensiruk, S. A., Bondar, V. S., Shevchenko, S. V. et al.* 1981. Integrated forestry zoning of Ukraine and Moldova. Kyiv, Naukova Dumka, 360 p. (in Russian).
- Geography of Ukraine. Atlas 1999. Kyiv, NVP Cartography, 41 p. (in Ukrainian).
- Havrylenko, E. P.* 2003. Landscape and ecological substantiation of territorial schemes and nature management projects. Kyiv Phytosociocentre, 188 p. (in Russian).
- Lakin, G. F.* 1980. Biometrics. Moscow, Vysshaya Shkola, 293 p. (in Russian).
- Le Quéré, C. et al.* 2015. Global carbon budget 2014. Earth System Science Data, 7: 47–55.
- Methodical recommendations for forest monitoring in Ukraine Level I. 2008. Buksha, I. F. (Ed.). Kharkiv, URIFFM, 47 p. (in Ukrainian).
- Mosyakin, S. L. and Fedoronchuk, M. M.* 1999. Vascular plants of Ukrain. A nomenclatural checklist. Kyiv, Institute of Botany, 346 p.
- Ostapenko, B.F.* 1997. Typological diversity of forests of Ukraine. Forest-Step. Kharkiv, Kharkiv State Agrarian University, 128 p. (in Ukrainian).
- Olszewski, J. L.* 1991. Rola ekosystemow lesnych w modifkacji termoklimatu lokalnego Puszczy Bialowieskiej. Acta Univ. Wratisl. 1213: 109–114.
- Romanova, E. N.* 1977. Microclimatic variability of the main climate elements. Leningrad, Hydrometeoizdat, 289 p. (in Russian).
- Shcherban, M. I.* 1974. Microclimate of natural and transformed landscapes of the plain part of the Ukrainian SSR. Extended abstract of PhD dissertation. Kyiv, 52 p. (in Russian).
- Stoyko, S. M.* 2009. The potential environmental impacts of global warming on forest formations of Ukrainian Carpathians. Scientific Bulletin of UNFU, 19.15: 214–224 (in Ukrainian).
- Vorobyov, D. V.* 1969. Methods of forest typology research. Kyiv, Urozhay, 388 p. (in Russian).
- Vysotsky, G. N.* 1962. Biological, soil and phenological observations and research in Veliko-Anadol. 1901–1902. Selected works. Vol. 1. Moscow, AN SSSR, p. 159–497 (in Russian).

Bondaruk M. A., Tselishev O. G.

LANDSCAPE DIFFERENTIATION AND TRENDS IN CLIMATOGENIC DYNAMICS OF ECOLOGICAL REGIMES WITHIN ECOTOPES OF UPLAND OAK FORESTS IN THE SOUTHERN PART OF THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

A synphyto-indicative assessment of the upland oak forest ecosystem ecotopes within the territorial-landscape complex of the Velykyi Lis model forest massif located in the southern part of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine was carried out. It was found that the nature of the differentiation of indicators of the main ecological factors within the ecotopes of upland oak forests under conditions of automorphic nutrition is determined by the contrasts of locations at the level of landscape areas depending on the hypsometric level, the features of the meso-relief of individual areas, in particular, the difference in steepness (from 0 to 15°) and the slopes aspects, as well as the specifics of the forest communities' structure in different forest types. The trends for the characteristics of ecological regimes of oak forest ecosystems at the landscape level have been determined according to the predicted changes in climatic conditions.

The synphyto-indicative assessment of ecological regimes allows solving topical issues of complex and economical determination at the local and regional levels of both the current state of ecotopes of forest ecosystems and the specifics of trends in their chronological dynamics under the influence of climate changes, which is an important component of forest monitoring in the post-war period of forestry development.

К e y w o r d s : synphytoindication, forest ecosystems, relief elements, edaphic regimes, climatic regimes, forest monitoring.

E-mail: bm1961@ukr.net

Одержано редколегією 21.02.2023