



**М. А. БОНДАРУК, І. Ф. БУКША, О. Г. ЦЕЛИЩЕВ**  
**СИНФІТОІНДИКАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КЛІМАТОПІВ ЛІСОВИХ**  
**ЕКОСИСТЕМ ЗА ДАНИМИ МОНІТОРИНГУ ЛІСІВ**  
**ЛІСОСТЕПОВОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНИ**

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

Викладені в роботі методичні підходи синфітоіндикаційного моделювання й приклади їхнього застосування розкривають перспективність цього наукового напрямку для регіонального (зонального) екологічного моніторингу кліматичних режимів лісових екосистем. Розроблено моделі клімафону (термо-, контрасто-, омбро- та кріофони) лісових екосистем Лісостепової лісогосподарської області та клімафонів хвойних, мішаних і листяних лісів; визначено тенденції динаміки фітоіндикаційних показників кліматичних режимів згідно зі змінами лісорослинних умов. Порівняння отриманої балової оцінки в різні часові періоди (наприклад, раз на 5 років) у кожному регіоні України дасть можливість оцінювати інтенсивність, глибину, спрямованість (тренд), просторовий розподіл та особливості зміни кліматичних режимів унаслідок впливу кліматичних змін на лісові екосистеми України на регіональному та національному рівнях, що є важливою складовою моніторингу лісових екосистем в умовах зміни клімату. Об'єкти досліджень – 642 ділянки моніторингу лісів I рівня в межах Лісостепової лісогосподарської області України.

**Ключові слова:** синфітоіндикація, лісові кліматопои, лісовий моніторинг, лісові екосистеми, лісорослинні умови, кліматичні режими.

**Вступ.** Сучасні прояви зміни клімату супроводжуються значними проблемами, пов'язаними з посиленням інтенсивності та збільшенням частоти посух, повеней, лісових пожеж, збільшенням площ осередків та шкідливості комах, збудників хвороб тощо. Згідно з результатами широкомасштабного моделювання (La Querre С. et al. 2015), до кінця ХХІ ст. очікується підвищення температури на +4°C, що може спричинити незворотні зміни у довкіллі, зокрема у лісових екосистемах Європи. Всебічне вивчення та систематизація особливостей прояву зміни клімату в різних природних регіонах України, оцінювання уразливості лісів до очікуваної (прогнозої) зміни клімату є важливою умовою для розроблення оптимальної стратегії мінімізації наслідків такого впливу, сталого управління лісами та невиснажливого лісокористування в умовах зміни навколишнього природного середовища (Buksha et al. 1998). В Україні вплив зміни клімату на ліси досліджували науковці УкрНДЛГА (Buksha et al. 1998, 2014, Buksha 2010) та Інституту екології Карпат (Stoyko 2009), зокрема розроблено методи прогнозного моделювання впливу зміни клімату на життєздатність головних лісових порід у регіональному аспекті (для 5 кліматичних регіонів) за сценарієм МГЕЗК А1В у ХХІ столітті, порівнюючи з кліматичною нормою (1961–1990 pp.) (Buksha, Bondaruk, Buksha et al. 2017, Buksha, Bondaruk, Tselyshchev et al. 2017, Buksha, Shvydenko, Bondaruk et al. 2017, Buksha et al. 2018). Але кліматичні режими лісів, як окремих екоотопів, так і цілих регіонів, можуть значно відрізнятися від показників, 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 (Didukh 2016).

Актуальність досліджень зумовлена необхідністю розроблення методичних підходів для дослідження динаміки кліматичних режимів лісових екосистем на основі синфітоіндикаційного моделювання кліматопів лісових екосистем із використанням результатів натурних обстежень рослинності на ділянках моніторингу лісів I рівня. В основу методики синфітоіндикації («син» – угруповання) покладено використання екологічних шкал, точніше, даних амплітуд видів щодо зміни різних екологічних факторів. Методика синфітоіндикації набула поширення і в Західній Європі. Одні з найпопулярніших геоботанічних програм TURBOVEG і JUSCE (Tichy 2002) включають оброблення геоботанічних описів і розрахунок екологічних показників на основі шкал Г. Елленберга, а з

2012 р. до цієї програми включено шкали Я. П. Дідуха, що містять інформацію про 3 300 видів флори України за 12 факторами (Didukh 2011). За основу побудови кліматичних шкал взято чотири складові клімату, які в різній формі відображені в клімадіграмі Вальтера: радіаційний баланс (терморезим,  $T_m$ ), континентальність (контрасторезим,  $K_n$ ), аридність або гумідність (омброрезим,  $O_m$ ) і суворість зим (кріорезим,  $C_r$ ).

*Метою досліджень* було розроблення методичних підходів та проведення синфітоіндикаційного моделювання кліматоів лісових екосистем Лісостепової лісогосподарської області України для реалізації регіонального (зонального) моніторингу кліматичних режимів лісових екосистем.

**Об'єкти досліджень** – лісова рослинність на 642 ділянках моніторингу лісів I рівня в межах Лісостепової лісогосподарської області України (представлено 49 типів лісу в 15 типах лісорослинних умов (ТЛУ)). Основні типи лісу – свіжа грабова діброва (33,9 % від загальної кількості досліджених лісових ділянок) і свіжа кленово-липова діброва (13,8 %). Серед грудових типів достатньо розповсюдженими є також волога грабова діброва і свіжий грабово-дубово-сосновий груд (3,9 і 2,0 %). Серед сугрудових типів найбільш поширеними є свіжий і вологий грабово-дубово-сосновий сугруди (5,0 і 3,1 %) і свіжа грабова судіброва (2,8 %). Серед суборових і борових типів найбільш поширеними є свіжий дубово-сосновий субір і свіжий сосновий бір (12,6 і 2,3 %). Інші типи лісу становлять менше 2 % від загальної кількості досліджених лісових ділянок.

**Матеріали й методи.** Підбір та закладання дослідних ділянок (кругових перелікових площадок) здійснювали з використанням методичних рекомендацій із моніторингу лісів (Methodical recommendations 2008). Загальна характеристика лісових масивів містить визначення місцезнаходження за лісогосподарським районуванням (Hensyruk et al. 1981), ТЛУ та типу лісу (Ostapenko 1997). Загальний геоботанічний опис охоплював повний перелік видів, які входять до складу деревостану, підросту, підліску, живого надґрунтового покриву, та оцінку їхньої рясності-покриття за комбінованою шкалою Г. М. Висоцького та Д. В. Воробйова (у балах і відсотках) (Vysotskiy 1962, Vorobyov 1969). Для уточнення та визначення назв видів використовували визначник та номенклатурний чек-ліст вищих судинних рослин України (Prokudin 1987, Mosyakin & Fedoronchuk 1999).

Для індикації екологічних режимів лісових екосистем на центичному рівні організації рослинних угруповань (синфітоіндикація), визначення для конкретних місцезростань (ділянок моніторингу) екологічних параметрів, а саме мікрокліматичних показників: терморезиму, режиму континентальності, кріорезиму, особливостей їхньої зміни за типами лісорослинних умов, нами використано розроблений Я. П. Дідухом метод фітоіндикації 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 усіх інформативних видів, беручи до уваги індекси їхньої рясності-покриття (Didukh & Plyuta 1994). Переведення балової оцінки екологічних режимів у відповідні їм абсолютні розмірності здійснено за Я. П. Дідухом (Didukh 2011).

Для характеристики екологічних умов лісових екосистем району досліджень, аналізу закономірностей зміни певних екологічних чинників та їхньої диференціації на лісотипологічному рівні організації розраховано мінімальні ( $x_{min}$ ), середні ( $\bar{x}$ ) та максимальні ( $x_{max}$ ) значення екологічних режимів за типами лісорослинних умов, за угрупованнями лісів (хвойні, мішані, листяні) та загалом в області. Синфітоіндикаційне моделювання кліматоів лісових екосистем для регіонального (зонального) моніторингу кліматичних режимів лісових екосистем здійснювали шляхом розрахунку фонових рівнів (середнє значення в межах стандартних відхилень (Lakin 1980)) кліматичних факторів (термофон, контрастофон, омброфон, кріофон) для хвойних, мішаних і листяних лісів та загалом для Лісостепової лісогосподарської області (Bondaruk & Tselishchev 2015). Достовірність різниць між середніми значеннями режимів для екотоів за окремими рослинними угрупованнями визначали за критерієм Стьюдента на рівні значущості 0,95 (Lakin 1980).

**Результати та обговорення.** Мікрокліматичні показники термального клімату (терморезим,  $T_m$ ) (радіаційний баланс – кількість тепла, яке потрапляє на  $1 \text{ см}^2$  на рік) кліматоів лісів області наведено в таблиці 1 та на рисунку 1. Спектр умов термоклімату в лісових кліматопах області змінюється від субмікротермальних до субмезотермальних і має амплітуду від 6,71 ( $T_m = 34 \text{ ккал}\cdot\text{см}^{-2}$  на рік, або  $1\,423 \text{ МДж м}^2\cdot\text{рік}^{-1}$ ) до 10,46 бала ( $T_m = 50 \text{ ккал}\cdot\text{см}^{-2}$  на рік, або  $2\,093 \text{ МДж м}^2\cdot\text{рік}^{-1}$ ).

Таблиця 1

**Синфітоіндикаційна оцінка кліматичних режимів кліматоів за типами лісорослинних умов у межах Лісостепової лісогосподарської області**

ТЛУ	Значення екологічного фактору					
	$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$	$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$
	Термальний клімат ( $T_m$ )			Вологість клімату ( $O_m$ )		
A <sub>1</sub>	7,15	8,15	7,79	12,97	14,20	13,79
A <sub>2</sub>	6,71	8,30	7,65	12,80	15,07	13,66
A <sub>3</sub>	–	–	7,35	–	–	13,46
B <sub>1</sub>	–	–	8,17	–	–	13,13
B <sub>2</sub>	6,83	10,00	8,22	12,17	15,25	13,45
B <sub>3</sub>	7,28	8,43	7,79	13,52	13,93	13,73
C <sub>1</sub>	8,18	9,57	9,01	12,07	13,23	12,74
C <sub>2</sub>	7,87	10,46	8,68	11,50	15,08	13,46
C <sub>3</sub>	7,72	9,30	8,53	12,57	15,23	13,78
C <sub>4</sub>	8,37	9,07	8,74	12,83	13,80	13,38
D <sub>1</sub>	8,57	9,62	8,96	11,60	13,27	12,54
D <sub>2</sub>	7,72	10,04	8,81	11,42	14,72	13,11
D <sub>3</sub>	8,14	9,19	8,80	12,80	14,17	13,34
D <sub>4</sub>	8,41	8,69	8,55	13,13	13,52	13,33
D <sub>5</sub>	–	–	8,65	–	–	12,65
Листяні ліси	8,19	10,46	8,85	11,42	14,23	13,09
Хвойні ліси	6,71	8,93	8,13	12,17	15,25	13,60
Мішані ліси	7,94	9,30	8,45	12,83	14,64	13,75
Загалом	6,71	10,46	8,66	11,42	15,25	13,26
	Континентальність клімату ( $K_n$ )			Кріоклімат ( $C_r$ )		
A <sub>1</sub>	8,45	9,03	8,67	7,77	8,11	7,99
A <sub>2</sub>	8,61	9,60	9,16	7,22	8,31	7,58
A <sub>3</sub>	–	–	8,96	–	–	7,63
B <sub>1</sub>	–	–	9,13	–	–	7,87
B <sub>2</sub>	8,16	9,61	9,01	7,04	9,94	7,95
B <sub>3</sub>	8,46	8,96	8,76	7,38	8,04	7,72
C <sub>1</sub>	8,04	8,89	8,38	8,58	8,94	8,75
C <sub>2</sub>	7,50	9,40	8,52	7,29	10,12	8,33
C <sub>3</sub>	7,33	9,13	8,50	7,26	9,08	8,11
C <sub>4</sub>	7,52	8,59	8,19	7,24	8,64	7,96
D <sub>1</sub>	8,03	8,85	8,43	8,00	9,40	8,57
D <sub>2</sub>	6,58	9,31	8,03	7,74	10,08	8,55
D <sub>3</sub>	7,23	9,00	7,99	7,83	9,05	8,53
D <sub>4</sub>	8,19	8,52	8,35	7,92	8,00	7,96
D <sub>5</sub>	–	–	8,69	–	–	8,19
Листяні ліси	6,58	9,40	8,08	7,24	10,12	8,54
Хвойні ліси	7,75	9,61	8,93	7,04	8,76	7,91
Мішані ліси	7,67	9,26	8,58	7,26	9,08	8,15
Загалом	6,58	9,61	8,30	7,04	10,12	8,38

Кліматопи, які формуються в борових і суборових умовах, характеризуються найменшими середніми значеннями (7,35–8,32 бала) термоклімату, в умовах сугрудів і грудів – найбільшими (8,53–9,01 бала). У сухих гігротопах усіх типів лісорослинних умов середні значення показників термоклімату є вищими за аналогічні показники вологіших

типів. Термофон кліматоів лісів Лісостепової області є наближеним до субмезотермального (рис. 1): середнє значення 8,66 бала ( $T_m = 44$  ккал·см<sup>-2</sup> на рік, або 1 842 МДж м<sup>2</sup>·рік<sup>-1</sup>) у межах стандартних відхилень 8,24 і 9,08 бала ( $T_m = 40$ –45 ккал·см<sup>-2</sup> на рік, або 1 675–1 884 МДж м<sup>2</sup>·рік<sup>-1</sup>). Фонові значення показників термоклімату кліматоів листяних і мішаних лісів практично вкладаються в межі стандартних відхилень термофону лісів області, кліматоів хвойних лісів – виходять за межі стандартних відхилень у бік зменшення до 7,70 бала ( $T_m = 38$  ккал·см<sup>-2</sup> на рік, або 1 591 МДж м<sup>2</sup>·рік<sup>-1</sup>) показників термоклімату. Середні значення режиму термоклімату у 8,13 бала для хвойних лісів, у 8,45 бала для мішаних та у 8,55 бала для листяних лісів свідчать про розташування вісі лісів Лісостепової лісогосподарської області в проміжній зоні між мішаними та листяними угрупованнями лісів (див. рис. 1).

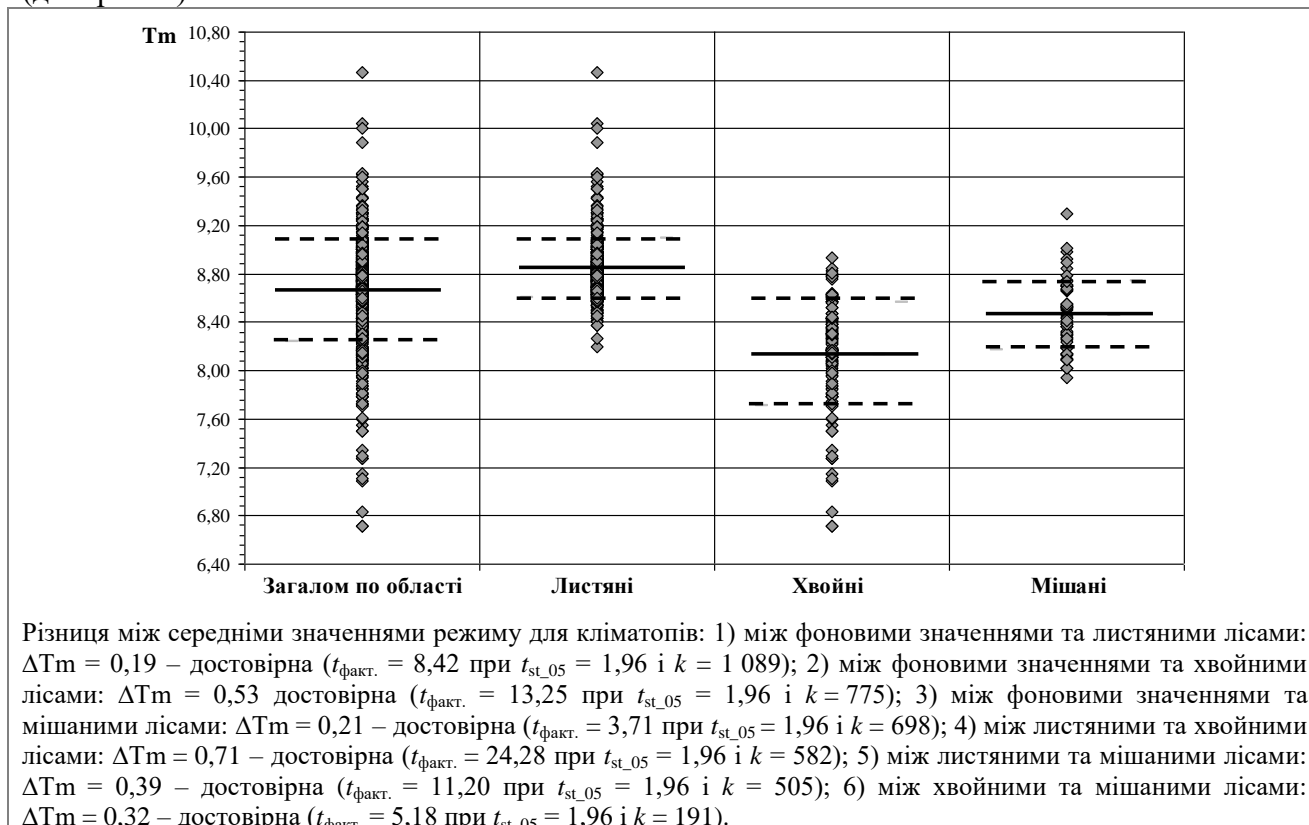


Рис. 1 – Термофон кліматоів ( $T_m$ ). Горизонтальними суцільними лініями показано середні значення режимів, горизонтальними штриховими – межі стандартного відхилення

Терморезим кліматоів хвойних лісів є характерним для кліматоів інтразональних лісових ценозів термозони, проміжної між суббореальною і неморальною, та сприятливим для розвитку видів екогрупи, проміжної між субмікротермальною та субмезотермальною (Didukh 2011). Термальний режим кліматоів мішаних лісів, а надто листяних лісів, зсувається до мікроклімату лісових кліматоів неморальної термозони, який сприяє розвитку екогрупи субмезотермальних видів. Середні значення режиму термального мікроклімату для кліматоів листяних, хвойних і мішаних лісів достовірно відрізняються від фонових значень і одне від одного.

Показник вологості (арідності або гумідності) клімату екотоів є інтегральним, тобто узагальнює вплив опадів, температури та вологості повітря, та пов'язаний із випаровуванням і транспірацією, вологістю ґрунту, рівнем ґрунтових вод тощо. Цей фактор визначається як різниця між річною кількістю опадів і потенційним випаровуванням в певних кліматичних умовах з поверхні, яка має необмежені запаси води.

Мікрокліматичні показники аридності або гумідності (омброрезиму,  $O_m$ ) лісових кліматоів Лісостепової області наведено в таблиці 1 та на рисунку 2. Спектр умов

омброклімату в лісових кліматопах (див. табл. 1) має амплітуду від 11,42 до 15,25 бала ( $O_m = -200 \dots +400$  мм). Тобто показники гумідності коливаються в межах від трохи вологішого за субарідофітний до мезоомброфітного режиму. Нульова ізолінія, яка відповідає умовам, коли кількість опадів дорівнює потенційному випаровуванню вологи, проходить майже межею лісової та лісостепової зон, зсуваючися на південь приблизно на 50 км (Didukh & Plyuta 1994). Від'ємні значення омброрежиму ( $O_m = 0 \dots -120$  мм,  $O_m = -120 \dots -200$  мм) відповідають ізолініям, які охоплюють Сумську, південні частини Київської та Хмельницької областей і Харківську, Полтавську, Черкаську, Кіровоградську області; в межах Одеської області значення можуть бути більш від'ємними ( $O_m = -200 \dots -300$  мм), проте максимальні показники є більш характерними для південної частини Одеської області поза межею Лісостепової області. Показники омброрежиму, які перевищують нульові значення ( $O_m = 0 \dots +200$  мм) є характерними для Чернігівської, північної частини Київської, Житомирської, Хмельницької, південних частин Рівненської, Волинської, Львівської, Івано-Франківської та Чернівецької областей. В одних випадках показники омброрежиму лісових екотопів відповідають даним обласних метеостанцій, а в інших перевершують останні щодо збільшення гумідності середовища. Насамперед це викликано тим, що метеостанції розташовані в стандартних умовах рельєфу (плато), на сухих ґрунтах і на площадках із викошеним трав'яним покривом. А кліматопаи лісів розташовані в різних умовах рельєфу (від верхів'я балок і підвищених ділянок надзаплавних терас до западин, блюдець, улоговин плато і знижених ділянок заплав) на ґрунтах від дуже сухих до заболочених. Також слід брати до уваги трансформувальний вплив лісів на мікроклімат щодо оптимізації його гумідності (Didukh 2016). Кліматопаи, які формуються в умовах сухих сугрудів і грудів, характеризуються найменшими показниками середніх значень омброклімату (12,54 і 12,74 бала), у вологих і сирих типах лісоростинних умов суборів, сугрудів і грудів – найбільшими (13,33–13,78 бала).

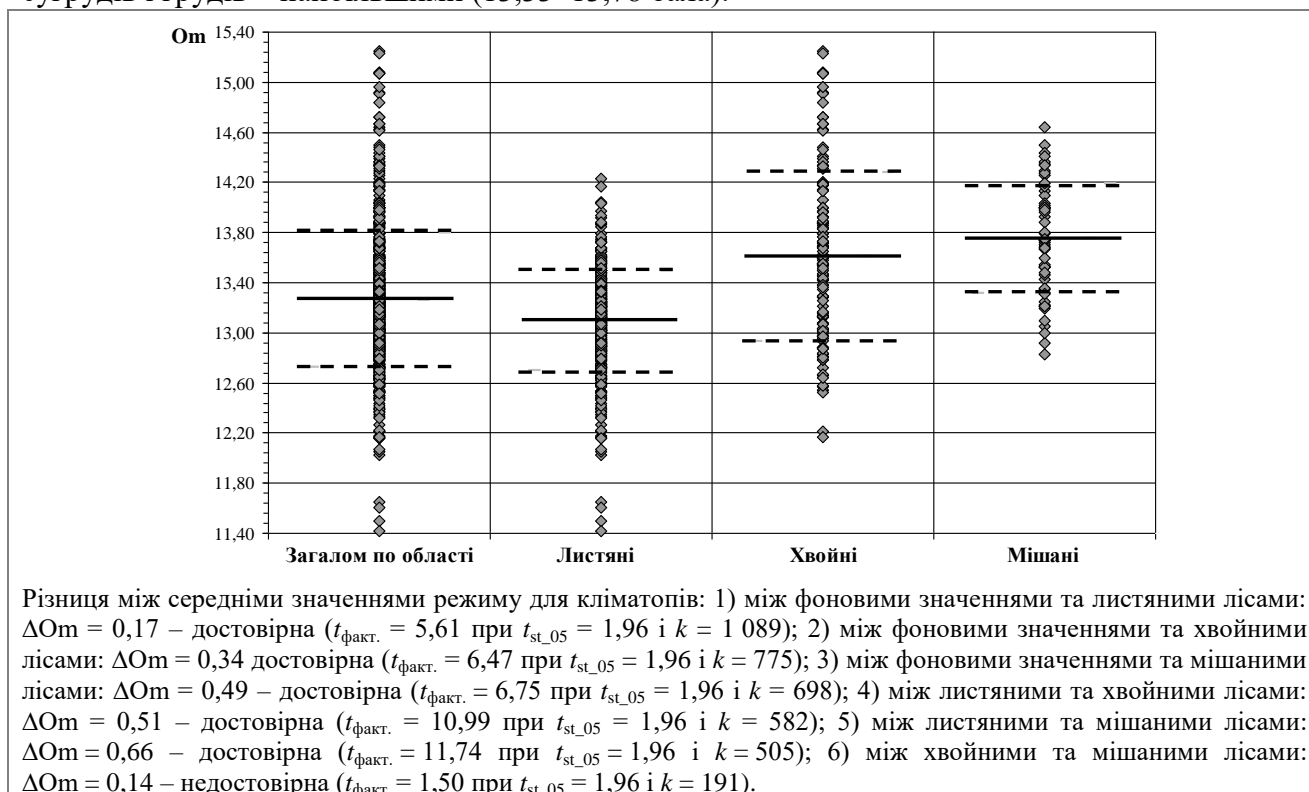


Рис. 2 – Омброфон кліматопів ( $O_m$ ). Горизонтальними суцільними лініями показані середні значення режимів, горизонтальними штриховими – межі стандартного відхилення

Омброфон кліматопів лісів Лісостепової лісогосподарської області: середнє значення 13,26 бала ( $O_m = 0 \dots +200$  мм) у межах стандартних відхилень 12,72 і 13,80 бала ( $O_m$  від

0...+200 мм до +200...+400 мм) охоплює діапазон режимів від субомброфітного до проміжного між субомброфітним і мезоомброфітним (див. рис. 2). Фонові значення показників омброклімату кліматопів листяних лісів 12,69–13,49 бала ( $O_m = -100...+200$  мм) знаходяться практично в межах стандартних відхилень омброфону лісів області, екотопів мішаних і хвойних лісів – виходять за межі стандартних відхилень у бік збільшення гумідності до 14,19 і 14,27 бала ( $O_m = +200...+400$  мм). Середні значення режиму гумідності мікроклімату для кліматопів листяних, хвойних і мішаних лісів достовірно відрізняються від фонових значень і одне від одного за винятком різниці між середніми значеннями режиму для кліматопів мішаних і хвойних лісів, яка є недостовірною.

Континентальність (контрасторезим,  $K_n$ ) клімату, як і гумідність, є інтегральним показником, який залежить від величини річних і добових амплітуд температури повітря, його вологості та радіаційного балансу. Для рівнинної частини України значення континентальності зростають із північного заходу і заходу на схід і південний схід (Didukh 2011).

Мікрокліматичні показники континентальності лісових кліматопів Лісостепової лісгосподарської області подано в таблиці 1 та на рисунку 3. Континентальність клімату екотопів області варіюється в межах від 6,58 до 9,61 бала ( $K_n = 110...150$  %), або від наближеного до геміокеанічного до проміжного між геміконтинентальним і субконтинентальним режимами. Кліматопи, які формуються в борових і суборових умовах, характеризуються найбільшими середніми значеннями контрасторезиму (8,67–9,16 бала, або геміконтинентальний режим), у сугрудових і грудових умовах – найменшими (8,19–8,69 бала, або режим проміжний між геміокеанічним і геміконтинентальним).

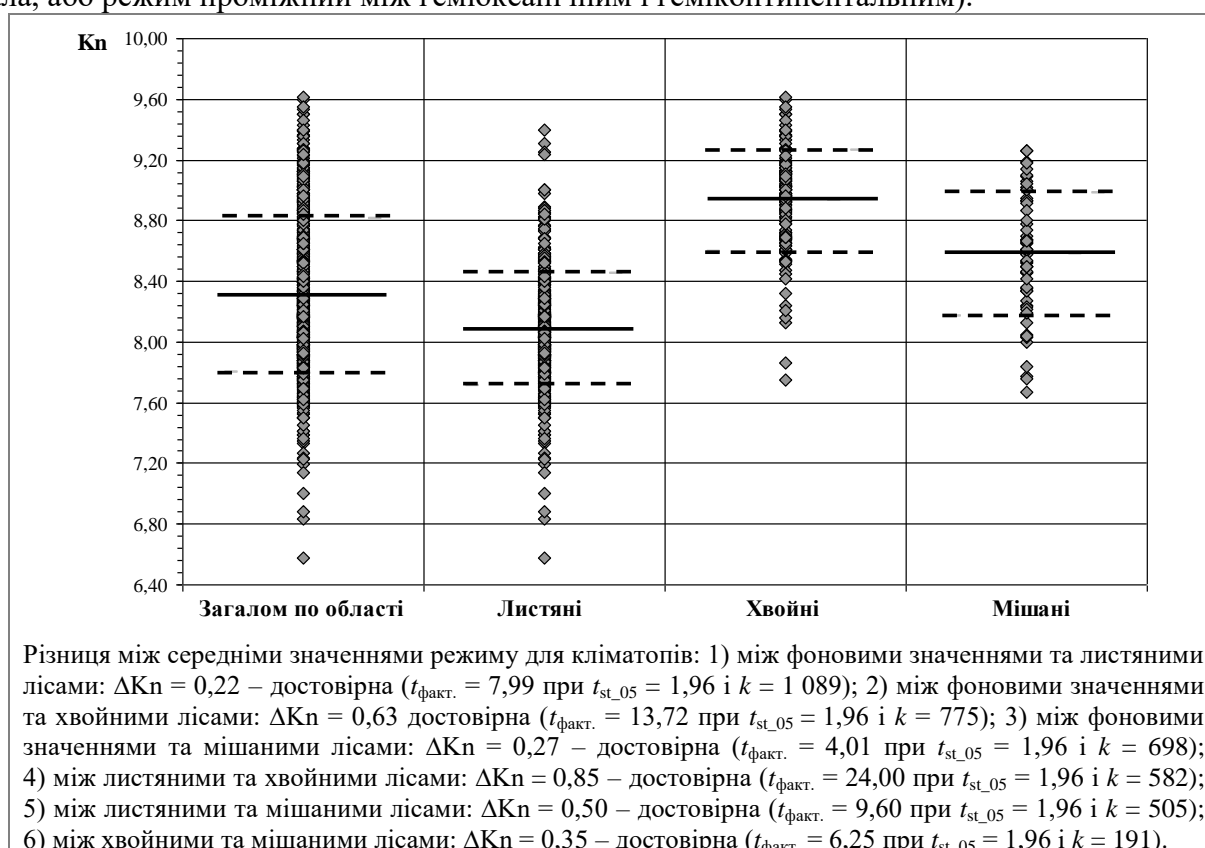


Рис. 3 – Контрастофон кліматопів ( $K_n$ ). Горизонтальними суцільними лініями показані середні значення режимів, горизонтальними штриховими – межі стандартного відхилення

Контрастофон кліматопів лісів Лісостепової області: середнє значення 8,30 бала в межах стандартних відхилень 7,79 і 8,81 бала ( $K_n = 121...130$  %) є проміжним між геміокеанічним і геміконтинентальним (див. рис. 3). Фонові значення показників континентальності клімату

кліматопів листяних лісів перебувають у межах стандартних відхилень контрастофону лісів Лісостепової області, мішаних і хвойних лісів – виходять за межі стандартних відхилень контрастофону лісів області у бік збільшення континентальності до 8,98 і 9,27 бала, або до геміконтинентального режиму ( $K_n = 131...140\%$ ). Вісь контрасторезиму кліматопу лісів Лісостепової області розташована між середніми значеннями континентальності листяних (8,08 бала) та мішаних (8,58 бала) лісових угруповань. Середнє значення континентальності хвойних лісів (8,93 бала) перебуває поза верхньою межею контрастофону лісів області. Пояснюється це зменшенням середовищтвірної функції (нівелювання контрастів річних і добових амплітуд температури повітря, його вологості та радіаційного балансу) хвойних лісів, порівнюючи з мішаними та листяними (Olszewski 1991). Середні значення режиму континентальності мікроклімату для кліматопів листяних, хвойних і мішаних лісів достовірно відрізняються від фонових значень і одне від одного.

Суворість зим (кріорежим, Cr). Основними метеорологічними елементами, що впливають на зимівлю рослин, є температура повітря і сніговий покрив (Didukh 2011). Характеристикою зимових екстремальних умов є середня температура найхолодніших місяців (в Україні це найчастіше січень, іноді – лютий). У північних і континентальних районах вона є нижчою, в південних і приморських – вищою. Ці показники також змінюються залежно від рельєфу, експозиції та крутизни схилів. Мікрокліматичні показники кріорежиму лісових кліматопів Лісостепової лісогосподарської області наведено на рисунку 4 та в таблиці 1. Спектр умов кріорежиму клімату лісових кліматопів області змінюється від 7,04 ( $Cr = -14...-100^\circ C$ ), або від субкреофітного режиму з помірними зимами, до 10,02 бала ( $Cr = -2...+2^\circ C$ ), або до режиму, проміжного між гемікріофітним і акріофітним із зимами між м'якими й теплими. Збільшення середніх значень показників кріорежиму, тобто зменшення суворості зим, у кліматопі відбувається паралельно збільшенню показників терморезиму. Кліматопи, які формуються в борових і суборових умовах, характеризуються

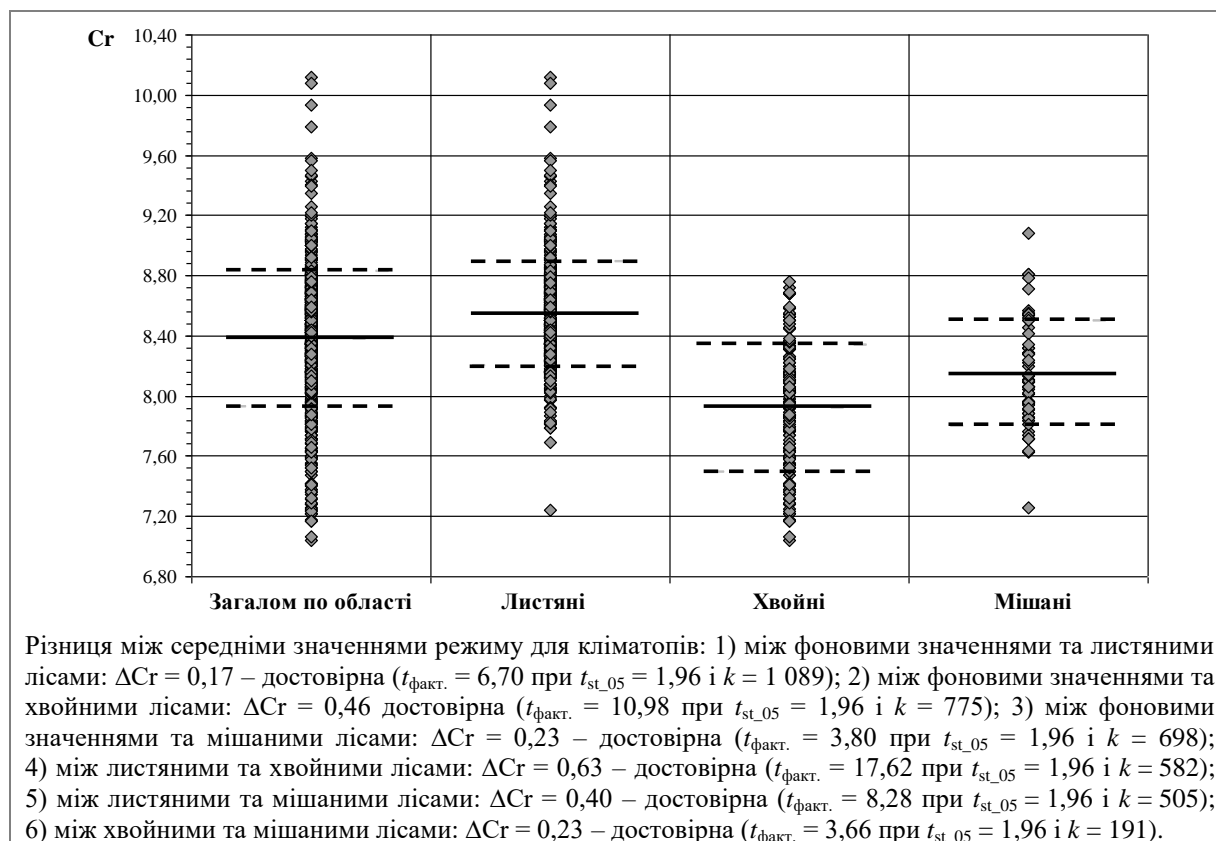


Рис. 4 – Кріофон кліматопів (Cr). Горизонтальними суцільними лініями показані середні значення режимів, горизонтальними штриховими – межі стандартного відхилення

найменшими середніми значеннями кріоклімату (7,58–7,79 бала), в умовах сугрудів і грудів – найбільшими (7,96–8,75 бала). Найменшою морозобойністю (8,57 і 8,75 бала) характеризуються кліматопопідвищень в верхніх частин схилів південної експозиції в умовах сухих сугрудів і грудів, які вирізняються більшим радіаційним і тепловим балансом, ніж низинні місцевості.

Кріофон кліматопопідвищень лісів Лісостепової області: середнє значення 8,38 бала в межах стандартних відхилень (7,73 і 8,83 бала) від проміжного між субкріофітним і гемікріофітним ( $C_r = -10,0 \dots -6,0^\circ\text{C}$ ) між помірними та м'якими зимами до гемікріофітного з м'якими зимами ( $C_r = -6,0 \dots -2,0^\circ\text{C}$ ) (див. рис. 4). Фонові значення показників кріоклімату кліматопопідвищень листяних і мішаних лісів майже вкладаються в межі стандартних відхилень кріофону лісів області, хвойних лісів – незначно виходять за межі стандартних відхилень кріофону в бік збільшення морозності до 7,49 бала, або до режиму, проміжного між субкріофітним і гемікріофітним ( $C_r = -10,0 \dots -6,0^\circ\text{C}$ ). Середні значення кріорежиму мікроклімату для кліматопопідвищень листяних, хвойних і мішаних лісів достовірно відрізняються від фонових значень і одне від одного.

**Висновки.** Викладені методичні підходи синфітоіндикації та приклади їхнього застосування розкривають перспективність цього наукового напрямку для регіонального (зонального) екологічного моніторингу кліматичних режимів лісових екосистем.

Для проведення екологічного моніторингу розроблено моделі кліматофону лісових екосистем Лісостепової лісогосподарської області та кліматофонів хвойних, мішаних і листяних лісів; визначено тенденції динаміки фітоіндикаційних показників кліматичних режимів згідно зі змінами лісорослинних умов.

Порівняння отриманої балової оцінки в різні часові періоди (наприклад, раз на 5 років) у кожному регіоні України дасть можливість оцінювати інтенсивність, глибину, спрямованість (тренд), просторовий розподіл та особливості зміни кліматичних режимів унаслідок дії кліматичних змін на лісові екосистеми України на регіональному та національному рівнях.

#### ПОСИЛАННЯ - REFERENCES

*Bondaruk, M. A. and Tselishchev, O. H.* 2015. Phytoindication of climatic regimes of forest ecosystems ecotopes for Central Russian upland steppe and forest for forestry district of Ukraine. *Forestry and Forest Melioration [Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiya]*, 127: 144–153 (in Ukrainian).

*Buksha, I.* 2010. Study of climate change impact on forest ecosystems, and development of adaptation strategies in forestry of Ukraine. In: *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*. Ed. Csaba Matyas. FAO, p. 157–179.

*Buksha, I., Bondaruk, M., Buksha, M., Tselishev, O., Pyvovar, T., Pasternak, V.* 2017. Vulnerability assessment of the main forest tree species due to climate change in Ukraine (Poster). [Electronic resource]. IUFRO 125th anniversary world congress. (18-22th of September 2017). Freiburg, Germany. 427. Available from: [http://iufro2017.com/wp-content/uploads/2017/11/IUFRO17\\_Abstract\\_Book.pdf](http://iufro2017.com/wp-content/uploads/2017/11/IUFRO17_Abstract_Book.pdf) (last accessed date 20.05.2020).

*Buksha, I. F., Bondaruk, M. A., Tselyshev, O. H., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I., Pasternak, V. P.* 2017. Vitality forecasting for Scots pine and English oak in condition of climate change in the lowland of Ukraine. *Forestry and Forest Melioration [Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiya]*, 130: 146–158 (in Ukrainian).

*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 science-practice conference*. Ivano-Frankivsk, p. 154–160 (in Ukrainian).

*Buksha, I. F., Gozhik, P. F., Emelaynova, J. L., Trofimova, I. V., Shereshevskiy, A. I.* 1998. Ukraine and global greenhouse 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.* 2017. 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.

*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. Phytoidication of environmental factors. Kyiv, Naukova dumka, 280 p. (in Ukrainian).

*Gensiruk, S. A., Shevchenko, S. V., Bondar, V. S. et al.* 1981. Integrated forestry zoning of Ukraine and Moldova. Kyiv, Naukova dumka, 360 p. (in Russian).

*Lakin, G. F.* 1980. Biometrics. Moscow, Vysshaya shkola, 293 p. (in Russian).

*La Querre 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. 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.

*Olszewski, J. L.* 1991. Rola ekosystemow lesnych w modifikacji termoklimatu lokalnego Puszczy Bialowieskiej. Acta Univ. Wratisl., 1213: 109–114.

*Ostapenko, B. F.* 1997. Typological diversity of forests of Ukraine. Forest-Step. Kharkiv, Kharkiv State Agrarian University, 128 p. (in Ukrainian).

*Prokudin, Yu. N.* (Ed.) 1987. Determinant of higher plants of Ukraine. Kyiv, Naukova dumka, 548 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).

*Tichy, L.* 2002. JUSCE, software for vegetation classification. Journ. Veg. Sci., 13: 451–453. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02069.x>

*Vorobyov, D. V.* 1969. Methods of forest typology research. Kyiv, Urozhay, 388 p. (in Russian).

*Vysotskiy, G. N.* 1962. Biological, soil and phenological observations and research in Veliko-Anadol. 1901–1902. In: Selected works. Vol. 1. Moscow, Academy of Sciences of SSSR, p. 159–497 (in Russian).

Bondaruk M. A., Buksha I. F., Tselishchev O. G.

#### SYMPHYTOINDICATION MODELLING OF CLIMATOPES OF FOREST ECOSYSTEMS BASED ON THE FOREST MONITORING DATA FOR FOREST-STEPPE REGION IN UKRAINE

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

The synphytoindication modelling methodological approaches and examples of their application presented in the article reveal the prospects of the research area for regional (zonal) ecological monitoring of climatic regimes in forest ecosystems. Models of forest ecosystems climaphone (thermo-, contrast-, ombro- and cryophones) in Forest-Steppe forestry district and climaphones of coniferous, mixed and deciduous forests have been developed for ecological monitoring. The trends of synphytoindicators of climatic regimes according to the change of forest conditions were defined. Comparison of the point assessment obtained in different time periods (for example, once every 5 years) in each Ukrainian region will assess the intensity, depth, direction (trend), spatial distribution and features of climate regimes due to climate change in forest ecosystems of Ukraine at the regional and national levels, which is an important component of forest monitoring under conditions of climate change. The objects of the research were 642 first level monitoring plots within Forest-Steppe forestry district, Ukraine.

**К е у в о р д с :** synphytoindication, forest climatopes, forest monitoring, forest ecosystems, forest conditions, climatic regimes.

Бондарук М. А., Букша И. Ф., Целищев А. Г.

#### СИМФИТОИНДИКАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТОПОВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЧАСТИ УКРАИНЫ

*Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого*

Изложенные в работе методические подходы симфитоиндикационного моделирования и примеры их использования раскрывают перспективность этого научного направления для регионального (зонального) экологического мониторинга экологических режимов лесных экосистем. Для проведения экологического мониторинга разработаны модели климафона (термо-, контрасто-, омбро-, криофоны) лесных экосистем Лесостепной лесохозяйственной области и климафонов хвойных, смешанных и лиственных лесов; определены тенденции динамики фитоиндикационных показателей климатических режимов согласно изменению лесорастительных условий. Сравнение полученной бальной оценки в различные временные периоды (например, раз в 5 лет) позволит оценивать интенсивность, глубину, направленность (тренд), пространственное распределение и особенности изменения климатических режимов вследствие влияния климатических изменений на лесные экосистемы Украины на региональном и национальном уровнях, что является важной составляющей мониторинга лесных экосистем в условиях изменения климата. Объекты исследований – 642 площадки мониторинга лесов I уровня в пределах Лесостепной лесохозяйственной области Украины.

**К л ю ч е в ы е с л о в а :** симфитоиндикация, лесные климатопы, лесной мониторинг, лесные экосистемы, лесорастительные условия, климатические режимы.