

## **ЕКОЛОГІЯ І МОНІТОРИНГ**

УДК 630.182.59

**М. А. БОНДАРУК, О. Г. ЦЕЛИЩЕВ\***

### **ФІТОІНДИКАЦІЯ ЕДАФІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕКОТОПІВ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЛІВОБЕРЕЖНО-ДНІПРОВСЬКОГО ЛІСОСТЕПОВОГО ОКРУГУ УКРАЇНИ**

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

У роботі наводиться аналіз проблем фітоіндикації та фітомоніторингу провідних екологічних факторів для великомасштабних регіональних (зональних) досліджень. Викладені методичні підходи фітоіндикації і приклади їхнього застосування розкривають перспективність цього наукового напрямку для регіонального (зонального) екологічного моніторингу едафічних режимів лісових екотопів. Об'єкти досліджень – ділянки моніторингу 1-го рівня (146 ділянок) у межах Лівобережно-Дніпровського лісостепового лісогосподарського округу Лісостепоної області України. Для порівняльних моніторингових спостережень за флуктуаціями та динамікою екологічних режимів відносно типових та зонально обумовлених значень у лісових екотопах регіону застосовано поняття «екофон лісів» (діапазон значень у межах стандартних відхилень), відносно якого вимірюють спрямування та інтенсивність едафічних і кліматичних процесів у лісових екотопах конкретного регіону, а в межах останнього – в екотопах хвойних, мішаних та листяних лісів. Досліджено загальний едафофон (гігрофон, ацидофон, галофон, карбонатофон та нітрофон) лісів лісогосподарського округу, а в межах останнього – окремі едафофони хвойних, мішаних та листяних лісів.

**К л ю ч о в і с л о в а :** фітоіндикація, лісові екотопи, едафічні режими, екофон лісів, едафофон лісів.

**Вступ.** Провідними екологічними факторами, що забезпечують можливість росту видів рослин і визначають закономірності розподілу рослинних угруповань, є кліматичні (сонячна радіація, тепло, волога) та едафічні (зволоження ґрунтів і їхні фізичні та хімічні властивості, які формують родючість). Фітомоніторинг із використанням у ролі моніторів рослин є одним із видів контролю як екологічного стану лісових екосистем, так і стану довкілля (екологічного моніторингу), зокрема його едафічних змін (Kontseptsiya 2005, Didukh 2012). Фітоіндикаційні методи оцінювання екологічних режимів на основі тривалих, безперервних і методично однотипних досліджень на ділянках моніторингу можуть цілком задовольнити інформаційні потреби щодо виявлення хронологічних зміщень екотопічних показників лісових екосистем (Didukh & Plyuta 1994). Серед основних едафічних факторів, для оцінки яких Я. П. Дідухом створено фітоіндикаційні шкали (Didukh 2011), виділяють режими ґрунтів: гідрологічний (Hd), кислотний (Rc), мінералізованості (Sl), умісту карбонатів (Ca) та розчинних форм азоту, або нітратний (Nt). Середні значення екофактора та розраховані відносно нього стандартні відхилення являють середній або фоновий рівень певного екофактора (гігрофон, ацидофон, галофон, карбонатофон та нітрофон) для лісових екотопів доволі великого регіону (району) або ландшафту (Bondaruk & Tselishchev 2015). Для порівняльних моніторингових спостережень за флуктуаціями та динамікою екологічних режимів відносно типових та зонально обумовлених значень у лісових екотопах цього регіону застосовано поняття «екофон лісів» (Bondaruk & Tselishchev 2015), відносно якого вимірюють спрямування та інтенсивність едафічних і кліматичних процесів у лісових екотопах конкретного регіону, що дає змогу оцінювати як статичні властивості лісових екосистем, так і їхню хорологічну та хронологічну динаміку.

*Метою досліджень* є визначення придатності та адаптація методичних підходів фітоіндикації для регіонального (зонального) екологічного моніторингу едафічних режимів лісових екотопів.

**Об'єкти досліджень** – ділянки моніторингу 1-го рівня (загалом 146 ділянок), розташовані у Харківській (8 ділянок), Сумській (18 ділянок), Чернігівській (17 ділянок), Київській (12 ділянок), Черкаській (27 ділянок) та Полтавській (64 ділянки) областях, згідно з лісогосподарським районуванням – у межах Лівобережно-Дніпровського лісостепового

\* © М. А. Бондарук, О. Г. Целищев, 2018

лісогосподарського округу Лісостепової області України (Gensiruk et al 1981). Лісотипологічний розподіл досліджених лісових угруповань на ділянках моніторингу є близьким до описаного для цього лісогосподарського округу (Gensiruk et al 1981). За типами лісорослинних умов (ТЛУ) переважають свіжі типи суборів (34,9 %), грудів (30,8 %) і сугрудів (16,4 %). Основні типи лісу – свіжий дубово-сосновий субір (34,9 %), свіжа кленово-липова діброва (17,1 %), свіжа грабова діброва (11,0 %). Частка угруповань листяних лісів становить 50,7 % від загальної кількості досліджених лісів, хвойних і мішаних – 40,4 і 8,9 % відповідно. Листяні ліси представлені здебільшого липово-дубовими та кленово-липово-дубовими деревостанами, а також чистими дубняками, іноді з домішкою клена гостролистого (*Acer platanoides* L.) та липи дрібнолистої (*Tilia cordata* Mill.), ясена звичайного (*Fraxinus excelsior* L.), берези повислої (*Betula pendula* Roth) та осики (*Populus tremula* L.) в умовах свіжих кленово-липової діброви (17,2 %) або грабової діброви (11,1 %). Хвойні ліси представлені переважно чистими сосняками, іноді з домішкою дуба звичайного (*Quercus robur* L.), берези повислої, робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia* L.) в умовах свіжого дубово-соснового субору (34,9 %) або свіжого бору (5,4 %). Мішані ліси представлені дубово-сосновими, березово-сосновими, сосново-дубовими та березово-сосново-дубовими деревостанами в умовах свіжих дубово-соснового субору (4,8 %), грабово-дубово-соснового сугруду (3,5 %), грабово-соснової і кленово-липової судібров (1,4 %).

**Матеріали і методи.** Підбір та закладання дослідних ділянок (кругових перелікових площадок) проводили з використанням методичних рекомендацій з моніторингу лісів (Metodychni rekomendatsiyi 2008). За елементарну одиницю обстеження взято ділянку моніторингу 1-го рівня (Metodychni rekomendatsiyi 2008). Тип лісорослинних умов, тип лісу та тип деревостану визначали за класифікацією Погребняка – Воробйова (Vorobyov 1969, Pogrebnyak 1993). Здійснювали повний перелік видів, які входять до складу деревостану, підросту, підліску, живого надґрунтового покриву та оцінювали їхню рясність-покриття за комбінованою шкалою Г. М. Висоцького та Д. В. Воробйова (у балах і відсотках) (Vysotsky 1962, Vorobyov 1969). Для уточнення та визначення назв видів використовували визначники для вищих судинних рослин (Opredelitel' 1987).

Для індикації екологічних режимів лісових екосистем, а саме едафічних показників їхніх екотопів (гідрології (Hd), кислотності (Rc), мінералізованості (Sl), умісту карбонатів (Ca) та розчинних форм азоту (Nt) ґрунтів) і визначення 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 в балах на основі середньої градації індексів рясності-покриття всіх інформативних видів за формулою (1):

$$\gamma = \frac{k_1x_1+k_2x_2+\dots+k_nx_n}{k_1+k_2+\dots+k_n} \quad (1)$$

де  $x_1, \dots, x_n$  – середні значення амплітуд толерантності видів відповідно до шкали;

$k_1, \dots, k_n$  – коефіцієнти рясності (у балах за шкалою Г. М. Висоцького та Д. В. Воробйова) або покриття (%), які дорівнюють: 1 – для < 1 % (р, n, un); 2 – 1–5 % (1 бал); 3 – 6–25 % (2а, 2б балів); 4 – 26–50 % (3 бали); 5 – > 51 % (4, 5 балів);

$n$  – кількість інформативних видів у дослідженні.

Переведення бальної оцінки екологічних режимів у відповідні їм абсолютні розмірності здійснено за Я. П. Дідухом і П. Г. Плютою (Didukh & Plyuta 1994). Для характеристики екологічних умов лісових екотопів району досліджень, аналізу закономірностей зміни певних екологічних чинників та диференціації екотопів лісових екосистем 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 окрузі.

Для порівняльних моніторингових спостережень за флуктуаціями та динамікою екологічних режимів відносно їхніх типових та зонально обумовлених значень для Лівобережно-Дніпровського лісостепового округу розраховано стандартні відхилення відносно середніх значень едафічних показників лісових екотопів округу (Bondaruk & Tselishchev 2015), або едафофон лісів лісогосподарського округу, а в межах останнього – окремі едафофони хвойних, мішаних та листяних лісів. Достовірність різниць між середніми значеннями режимів для екотопів за окремими рослинними угрупованнями визначали за критерієм Стьюдента на рівні значущості 0,95 (Lakin 1980).

**Результати та обговорення.** Показники динаміки едафічних чинників в екотопах лісових екосистем Лівобережно-Дніпровського лісостепового лісогосподарського округу подано в табл. 1. Умови вологозабезпеченості рослинних угруповань визначаються типом водного режиму ґрунтів, який залежить від зонально-кліматичних факторів, положення місцезростань у рельєфі, їхньої дренажності, режиму поверхневих і ґрунтових вод, структури ґрунту. Режим вологості ґрунту ( $H_d$ ) лісових екотопів у межах округу (табл. 1, рис. 1) варіюється від проміжного між субмезофітним і мезофітним (10,04 бала) сухуватих лісолучних екотопів (верхів'я балок і підвищені ділянки надзаплавних терас) з помірним промочуванням кореневмісного шару опадами і талими водами ( $W_{np} = 90...100$  мм) до наближеного до гідрофітного (15,30 бала) сирих лісолучних екотопів (виразні западини, блюдця, улоговини тимчасових водотоків, низькі береги водойм тощо) з практично сталим капілярним зволоженням кореневмісного шару ґрунту ( $W_{np} = 185...235$  мм). Найменшими середніми значеннями вологості ґрунтів відрізняються показники  $H_d$  в екотопах сухих бору і сугрудку (10,04 і 10,83 бала), найбільшими – в екотопах сирих і мокрих грудів (13,15 і 15,30 бала) (див. табл. 1). Майже тотожними є середні значення вологості ґрунтів у вологих суборах, сугрудах і грудях (12,37, 12,31 і 12,64 бала) із режимом, наближеним до гігромезофітного (13 балів). Тобто фітоіндикаційне і лісотипологічне бонітування гідрологічного режиму збігаються.

Кислотний режим ґрунтів залежить від хімічного складу материнських порід і ґрунтів, а також структури, водних властивостей та промивного режиму ґрунту, типу рослинності. За даними фітоіндикаційного аналізу кислотний режим ґрунтів ( $R_c$ ) лісових екотопів у межах округу (табл. 1, рис. 2) змінюється в діапазоні від проміжного між ацидофітним і субацидофітним (5,92 бала) дерново-підзолистих ґрунтів під сосновими лісами ( $pH = 5,5$ ) до наближеного до нейтрофітного (8,57 бала) кислуватих і нейтральних сірих лісових ґрунтів і вилугуваних чорноземів під мішаними та листяними лісами ( $pH = 6,5...7,1$ ). Поступове підвищення середніх значень показників  $pH$  лісових ґрунтів, або збільшення їхньої лужності, простежується згідно з трофоярдом бір – суббір – сугрудок – груд тільки в межах однакових гідрологічних умов (див. табл. 1). У межах одного трофотопу спостерігається зменшення показників  $pH$  на фоні збільшення вологості лісових ґрунтів. Такі особливості динаміки ацидорежиму в лісових екосистемах підтверджуються результатами досліджень інших науковців (Didukh & Plyuta 1994).

Режим мінералізованості, який кількісно визначається за різними солями (карбонати, сульфати, хлориди), є дуже важливою характеристикою ґрунту, оскільки впливає на різні процеси ґрунтоутворення і визначає адаптацію рослин. Весь спектр умов мінералізованості ґрунтів ( $S_l$ ) лісових екотопів у межах округу (табл. 1, рис. 3) має амплітуду від 5,04 до 7,62 бала. Тобто ґрунти змінюються від небагатих на солі (мезотрофний тип сольового режиму) дерново-підзолистих ( $S_l = 0,0095...0,015$  %, наявні  $HCO_3^-$ , відсутні  $SO_4^{2-}$  і  $Cl^-$ ) до проміжного типу між збагаченими солями (семієвтрофний тип сольового режиму) темно-сірими та опідзоленими чорноземами ( $S_l = 0,015...0,02$  % із вмістом  $HCO_3^-$  0,004...0,016 %

**Фітоіндикаційна оцінка едафічних режимів екотопів за типами лісорослинних умов  
 Лівобережно-Дніпровського лісостепового лісогосподарського округу**

ТЛУ	Значення екологічного фактора		
	$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$
<b>Вологість ґрунту (Hd)</b>			
A <sub>1</sub>	–	–	10,04
A <sub>2</sub>	10,28	12,00	11,07
B <sub>2</sub>	10,50	12,33	11,50
B <sub>3</sub>	11,95	12,79	12,37
C <sub>1</sub>	–	–	10,83
C <sub>2</sub>	11,45	12,59	11,95
C <sub>3</sub>	12,13	12,59	12,31
D <sub>1</sub>	11,36	11,77	11,51
D <sub>2</sub>	11,24	12,33	11,88
D <sub>3</sub>	12,53	12,75	12,64
D <sub>4</sub>	–	–	13,15
D <sub>5</sub>	–	–	15,30
Листяні ліси	10,83	15,30	11,97
Хвойні ліси	10,04	12,79	11,46
Мішані ліси	11,50	12,31	11,84
<i>Загалом в окрузі</i>	<i>10,04</i>	<i>15,30</i>	<i>11,75</i>
<b>Кислотність ґрунту (Rc)</b>			
A <sub>1</sub>	–	–	6,58
A <sub>2</sub>	6,11	7,22	6,77
B <sub>2</sub>	6,29	7,77	7,04
B <sub>3</sub>	6,08	6,28	6,18
C <sub>1</sub>	–	–	7,90
C <sub>2</sub>	6,85	8,57	7,67
C <sub>3</sub>	5,92	8,05	7,05
D <sub>1</sub>	7,57	8,04	7,80
D <sub>2</sub>	7,48	8,39	7,87
D <sub>3</sub>	7,91	7,91	7,91
D <sub>4</sub>	–	–	7,65
D <sub>5</sub>	–	–	7,89
Листяні ліси	6,94	8,57	7,83
Хвойні ліси	5,92	7,77	7,00
Мішані ліси	6,28	7,86	7,01
<i>Загалом в окрузі</i>	<i>5,92</i>	<i>8,57</i>	<i>7,42</i>
<b>Загальний сольовий режим ґрунту (Sl)</b>			
A <sub>1</sub>	–	–	5,58
A <sub>2</sub>	5,63	6,83	6,09
B <sub>2</sub>	5,56	7,62	6,34
B <sub>3</sub>	5,64	5,79	5,71
C <sub>1</sub>	–	–	7,23
C <sub>2</sub>	6,09	7,50	6,60
C <sub>3</sub>	5,04	6,90	6,04
D <sub>1</sub>	6,54	6,85	6,65
D <sub>2</sub>	6,11	7,40	6,58
D <sub>3</sub>	6,63	6,95	6,79
D <sub>4</sub>	–	–	6,83
D <sub>5</sub>	–	–	7,37
Листяні ліси	6,10	7,50	6,64
Хвойні ліси	5,04	7,62	6,28
Мішані ліси	5,64	6,52	6,09
<i>Загалом в окрузі</i>	<i>5,04</i>	<i>7,62</i>	<i>6,45</i>

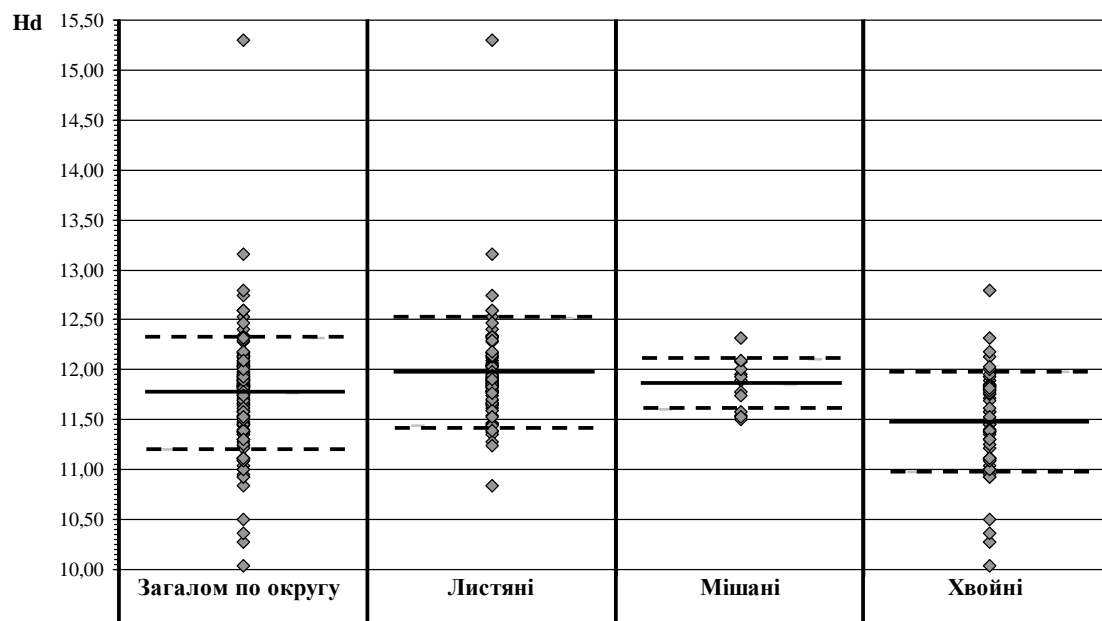
Закінчення табл. 1

ТЛУ	Значення екологічного фактора		
	$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$
<b>Уміст карбонатів у ґрунті (Ca)</b>			
A <sub>1</sub>	–	–	6,19
A <sub>2</sub>	5,32	6,53	6,06
B <sub>2</sub>	5,69	7,29	6,37
B <sub>3</sub>	5,41	5,88	5,64
C <sub>1</sub>	–	–	6,80
C <sub>2</sub>	6,13	7,44	6,70
C <sub>3</sub>	5,25	6,77	6,12
D <sub>1</sub>	6,46	7,47	7,20
D <sub>2</sub>	6,17	7,94	6,99
D <sub>3</sub>	6,22	6,41	6,32
D <sub>4</sub>	–	–	6,04
D <sub>5</sub>	–	–	5,54
Листяні ліси	5,54	7,94	6,87
Хвойні ліси	5,25	7,29	6,30
Мішані ліси	5,41	6,94	6,36
Загалом в окрузі	5,25	7,94	6,59
<b>Уміст азоту у ґрунті (Nt)</b>			
A <sub>1</sub>	–	–	3,88
A <sub>2</sub>	3,75	5,69	4,50
B <sub>2</sub>	4,27	7,41	5,22
B <sub>3</sub>	4,83	4,95	4,89
C <sub>1</sub>	–	–	6,60
C <sub>2</sub>	5,43	8,00	6,44
C <sub>3</sub>	4,67	7,40	5,95
D <sub>1</sub>	5,91	7,38	6,43
D <sub>2</sub>	5,56	8,17	6,67
D <sub>3</sub>	7,26	7,41	7,33
D <sub>4</sub>	–	–	6,48
D <sub>5</sub>	–	–	6,72
Листяні ліси	5,50	8,17	6,67
Хвойні ліси	3,75	6,26	5,10
Мішані ліси	4,71	6,88	5,54
Загалом в окрузі	3,75	8,17	5,94

ґрунту та слідами  $\text{SO}_4^{2-}$  і  $\text{Cl}^-$ ) та найкраще забезпеченими солями (евтрофний тип сольового режиму) чорноземними, лучно-чорноземними та розвинутими дерново-карбонатними ґрунтами за відсутності ознак засоленості ( $\text{Sl} = 0,02\%$ ,  $\text{HCO}_3^- = 0,03\text{...}0,05\%$  ґрунту та слідами  $\text{SO}_4^{2-}$  і  $\text{Cl}^-$ ).

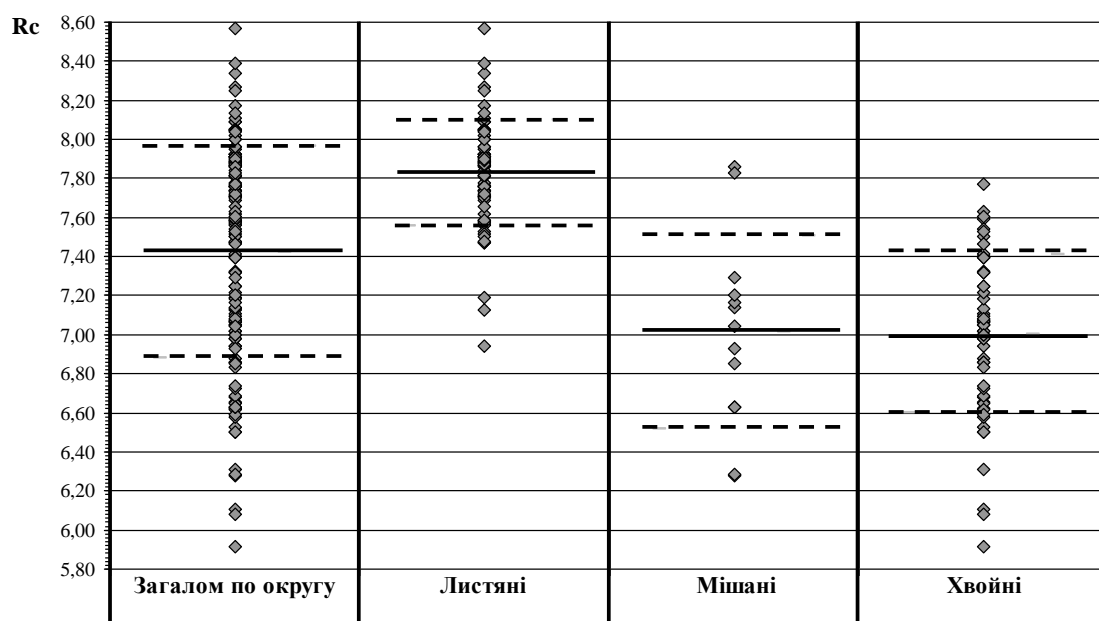
Найменшими середніми значеннями сольового режиму ґрунтів (5,58–6,34 бала) вирізняються екотопи борів і суборів із дерново-підзолистими ґрунтами на давньоалювіальних відкладах борових терас, оскільки підзолистий процес відбувається глибоко лише на піщаних позбавлених карбонатів алювіальних відкладах. Найбільшими середніми значеннями сольового режиму ґрунтів (див. табл. 1) відзначаються екотопи сухих сугрудів (7,23 бала) на сірих лісових ґрунтах лесових терас та сирих і мокрих грудів, приурочених переважно до низьких терас річок з мулистими або торф'янисто-глеєвими ґрунтами (6,83–7,37 бала), яким притаманне порівняно більше соленакопичення.

Однією з найважливіших складових, на яку чутливо реагують рослини, є характер карбонатних субстратів, що проявляється у вмісті карбонатів у ґрунті, а також у характері карбонатних материнських порід, які виходять на поверхню. Режим умісту карбонатів у ґрунтах (Ca) лісових екотопів у межах округу (табл. 1, рис. 4) змінюється в діапазоні від 5,25



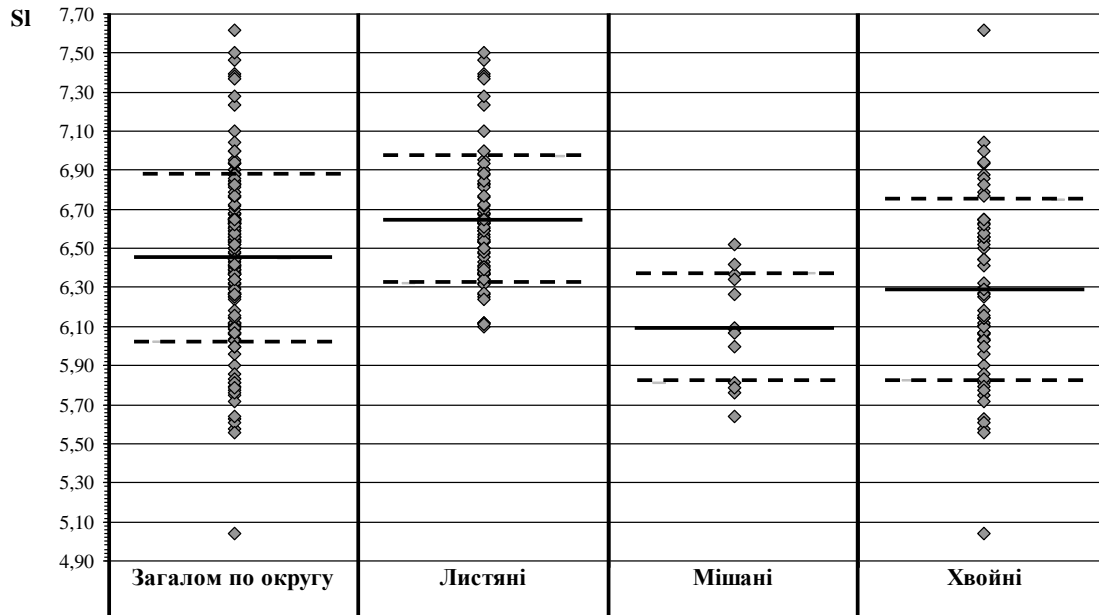
**Рис. 1 – Режим вологості ґрунту (Hd)**

Горизонтальними суцільними лініями показано середні значення режимів, штриховими – межі стандартного відхилення. Різниця між середніми значеннями режиму для екотопів: 1) фонові значення та листяні ліси:  $\Delta Hd = 0,22$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 2,75$  при  $t_{\text{ст.05}} = 1,96$  і  $k = 218$ ); 2) фонові значення та мішані ліси:  $\Delta Hd = 0,09$  – недостовірна ( $t_{\text{факт.}} = 0,56$  при  $t_{\text{ст.05}} = 1,96$  і  $k = 157$ ); 3) фонові значення та хвойні ліси:  $\Delta Hd = 0,29$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 3,48$  при  $t_{\text{ст.05}} = 1,96$  і  $k = 203$ ); 4) листяні та мішані ліси:  $\Delta Hd = 0,13$  – недостовірна ( $t_{\text{факт.}} = 0,84$  при  $t_{\text{ст.05}} = 1,98$  і  $k = 85$ ); 5) листяні та хвойні ліси:  $\Delta Hd = 0,51$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 5,56$  при  $t_{\text{ст.05}} = 1,96$  і  $k = 131$ ); 6) мішані та хвойні ліси:  $\Delta Hd = 0,38$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 2,64$  при  $t_{\text{ст.05}} = 2,00$  і  $k = 70$ ).



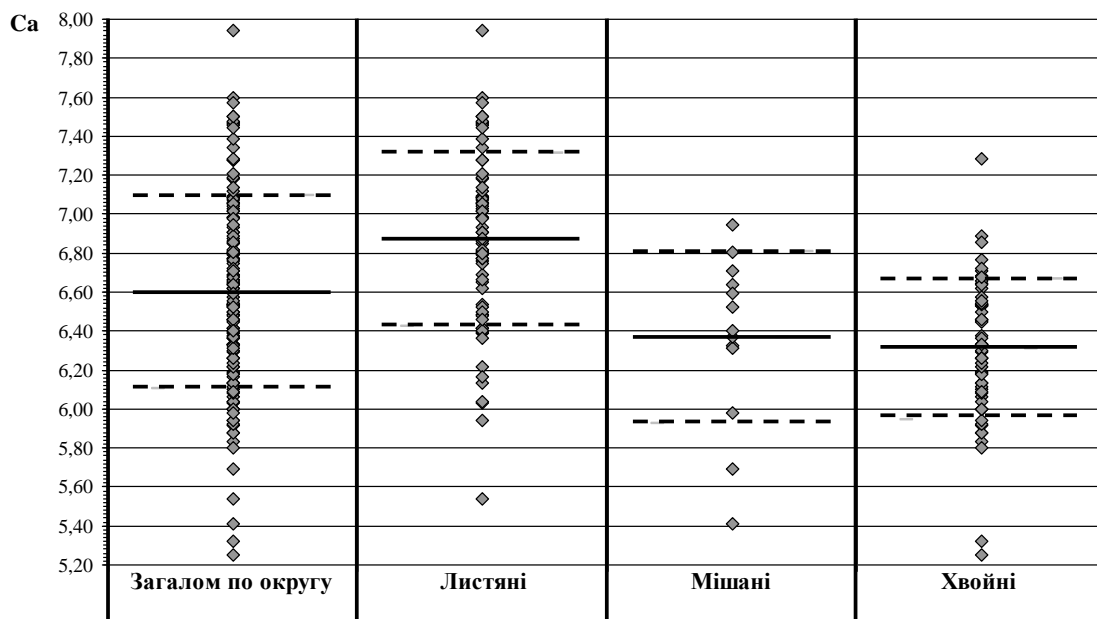
**Рис. 2 – Режим кислотності ґрунту (Rc)**

Горизонтальними суцільними лініями показано середні значення режимів, штриховими – межі стандартного відхилення. Різниця між середніми значеннями режиму для екотопів: 1) фонові значення та листяні ліси:  $\Delta Rc = 0,41$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 6,07$  при  $t_{\text{ст.05}} = 1,96$  і  $k = 218$ ); 2) фонові значення та мішані ліси:  $\Delta Rc = 0,41$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 2,64$  при  $t_{\text{ст.05}} = 1,96$  і  $k = 157$ ); 3) фонові значення та хвойні ліси:  $\Delta Rc = 0,42$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 5,36$  при  $t_{\text{ст.05}} = 1,96$  і  $k = 203$ ); 4) листяні та мішані ліси:  $\Delta Rc = 0,82$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 8,69$  при  $t_{\text{ст.05}} = 1,98$  і  $k = 85$ ); 5) листяні та хвойні ліси:  $\Delta Rc = 0,82$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 14,04$  при  $t_{\text{ст.05}} = 1,96$  і  $k = 131$ ); 6) мішані та хвойні ліси:  $\Delta Rc = 0,01$  – недостовірна ( $t_{\text{факт.}} = 0,06$  при  $t_{\text{ст.05}} = 2,00$  і  $k = 70$ ).



**Рис. 3 – Загальний сольовий режим ґрунту (SI)**

Горизонтальними суцільними лініями показано середні значення режимів, штриховими – межі стандартного відхилення. Різниця між середніми значеннями режиму для екоотопів: 1) фонові значення та листяні ліси:  $\Delta SI = 0,19$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 3,38$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 218$ ); 2) фонові значення та мішані ліси:  $\Delta SI = 0,36$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 2,93$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 157$ ); 3) фонові значення та хвойні ліси:  $\Delta SI = 0,16$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 2,39$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 203$ ); 4) листяні та мішані ліси:  $\Delta SI = 0,55$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 5,72$  при  $t_{st,05} = 1,98$  і  $k = 85$ ); 5) листяні та хвойні ліси:  $\Delta SI = 0,35$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 5,19$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 131$ ); 6) мішані та хвойні ліси:  $\Delta SI = 0,20$  – недостовірна ( $t_{\text{факт.}} = 1,46$  при  $t_{st,05} = 2,00$  і  $k = 70$ ).



**Рис. 4 – Уміст карбонатів у ґрунті (Ca)**

Горизонтальними суцільними лініями показано середні значення режимів, штриховими – межі стандартного відхилення. Різниця між середніми значеннями режиму для екоотопів: 1) фонові значення та листяні ліси:  $\Delta Ca = 0,27$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 4,00$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 218$ ); 2) фонові значення та мішані ліси:  $\Delta Ca = 0,23$  – недостовірна ( $t_{\text{факт.}} = 1,64$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 157$ ); 3) фонові значення та хвойні ліси:  $\Delta Ca = 0,29$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 4,11$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 203$ ); 4) листяні та мішані ліси:  $\Delta Ca = 0,51$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 3,79$  при  $t_{st,05} = 1,98$  і  $k = 85$ ); 5) листяні та хвойні ліси:  $\Delta Ca = 0,56$  – достовірна ( $t_{\text{факт.}} = 7,92$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 131$ ); 6) мішані та хвойні ліси:  $\Delta Ca = 0,06$  – недостовірна ( $t_{\text{факт.}} = 0,52$  при  $t_{st,05} = 2,00$  і  $k = 70$ ).

до 7,94 бала (СаО, MgO від 0,5 до 1,5–2,0 %), тобто від ґрунтів, придатних для рослин гемікарбонатобонної екогрупи, до ґрунтів, придатних для рослин проміжної між

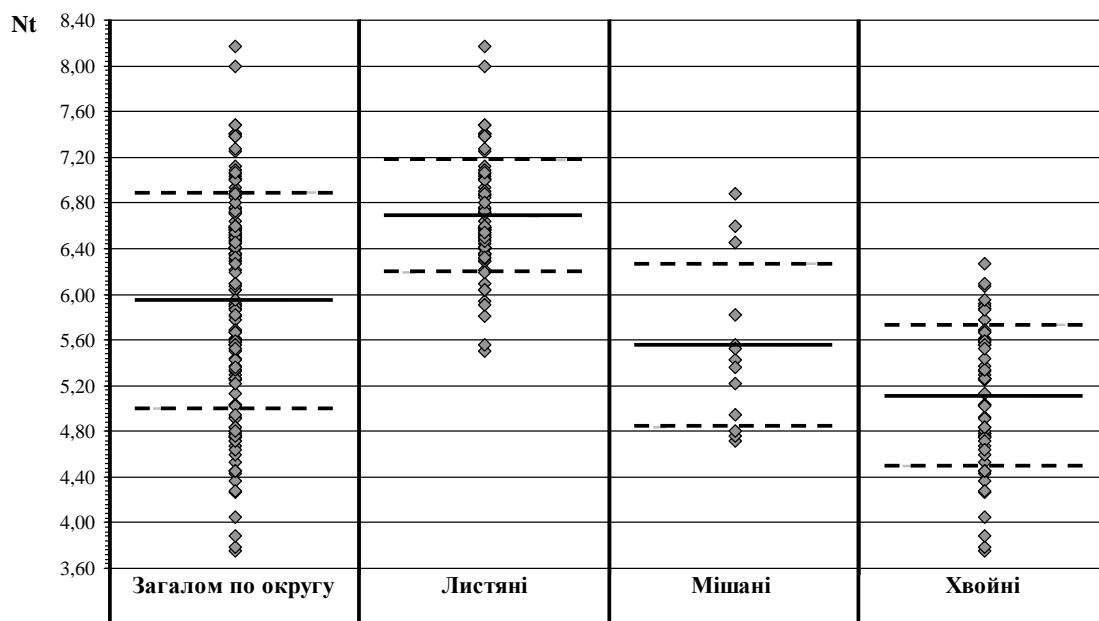
акарбонатofilною та гемікарбонатofilною екогрупами. Динаміка вмісту карбонатів у ґрунтах екотопів закономірно пов'язана зі зміною режимів мінералізованості та кислотності ґрунтів, поступово підвищуючись від дерново-підзолистих до темно-сірих лісових ґрунтів і знижуючись в екотопах із торф'янисто-глеєвими ґрунтами. Мінімальні середні значення вмісту карбонатів притаманні екотопам сирих і мокрих грудів, приурочених переважно до низьких терас річок з мулистими або торф'янисто-глеєвими ґрунтами (5,54 і 6,04 бала), в яких карбонатна основа заміщується сульфатами та хлоридами (тобто підвищений рівень їхньої мінералізованості (див. табл. 1) має хлоридно-сульфатну природу), а також екотопам сухих і свіжих борів (6,06 і 6,19 бала) та вологого субору (5,64 бала) на дерново-підзолистих ґрунтах, де наявні лише сліди карбонатів (CaO, MgO становлять 0,5 %). Подібні екотопи визначаються видами рослин гемікарбонатофобів, які не ростуть на карбонатних материнських породах, але поширені в межах їхнього залягання і уникають виходів Українського кристалічного щита. Описані рослини не витримують наявності активних карбонатів (більш терпимі до них тільки в умовах великої кількості органічної речовини), але миряться з достатньо високою насиченістю кальцієм комплексу поглинутих основ (Dyushofur 1970). Максимальні середні значення вмісту карбонатів у 7,20 бала притаманні екотопам сухих грудів (тобто підвищений рівень їхньої мінералізованості (див. табл. 1) має карбонатну природу) з листяними (переважно дубовими) лісами на сірих лісових ґрунтах, що утворилися на лесових породах, проте характеризуються підзолистими процесами та малим умістом карбонатів (CaO, MgO становлять 0,6-1,5 %), які не підіймаються до верхніх горизонтів завдяки промивному режиму. Такі ґрунти найбільш придатні для розвитку акарбонатofilів – рослин нейтральних оселищ, стійких до малого вмісту карбонатів у ґрунті. Слід зауважити, що ці рослини поряд зі знизеними вимогами щодо присутності активних карбонатів у ґрунті потребують високого вмісту обмінних катіонів, особливо кальцію та магнію, для мінерального живлення (наприклад, *Fraxinus excelsior* L., *Acer campestre* L., *Ulmus glabra* Huds., *Euonymus europaea* L., *E. verrucosa* Scop., *Mercurialis perennis* L.) (Dyushofur 1970). Збільшення середніх значень умісту карбонатів у ґрунтах екотопів, аналогічно збільшенню їхньої лужності, простежується згідно з трофоярдом бір – суббір – сугрудок – груд тільки в межах однакових гідрологічних умов (див. табл. 1). У межах одного трофотопу спостерігається зменшення показників умісту карбонатів на фоні збільшення вологості лісових ґрунтів (див. табл. 1), яка сприяє вилугуваності ґрунтових профілів.

Одним з найважливіших компонентів трофності ґрунтів є вміст розчинних форм азоту в ґрунті, який залежить від вологості, термоклімату та промивного режиму, характеру рослинного покриву та активності мікроорганізмів. Активність мікроорганізмів, зі свого боку, залежить від вологості, окислювально-відновного потенціалу, рН ґрунту, наявності чи відсутності інгібіторів. Найбільший уміст азоту в ґрунті відзначається в найтепліших для лісів вологих умовах, де відбувається швидкий розклад органіки і вона не вимивається, а накопичується. Азот може перебувати в малодоступних для рослин формах органічних сполук через надмірне зволоження та погану аерацію. На схилах, де ґрунти сильніше промиваються, уміст азоту є нижчим, ніж на вирівняних і знизених ділянках рельєфу. Показники нітратного режиму (Nt) ґрунтів екотопів округу, наведені на рис. 5 та в табл. 1, характеризуються найбільшим градієнтом змінності серед екологічних режимів округу (3,75–8,17 бала): від умов, проміжних між слабозабезпеченими мінеральним азотом оліготрофними ґрунтами (субанітрофитними) і середньозабезпеченими мінеральним азотом (гемінітрофитними) (Nt = 0,1...0,2 %), до проміжних між досить забезпеченими мінеральним азотом ґрунтами (нітрофитними) та достатньо забезпеченими мінеральним азотом (Nt = 0,4 %) ґрунтами неморальних лісів. Екотопи, які формуються в борових умовах, характеризуються найменшими показниками вмісту нітратних і аміачних форм азоту (3,75–3,88 бала), в умовах грудів – найбільшими (8,17 бала) (табл. 1, рис. 5).

Збільшення середніх значень умісту мінерального азоту в ґрунтах екотопів, аналогічно збільшенню їхньої лужності та вмісту карбонатів, відбувається згідно з трофоярдом бір –



субір – сугрунок – груд (3,88–7,33 бала) (див. табл. 1). У вологих умовах грудів, де підсилюються перегнійно-аккумулятивні процеси, а вилуговування затримується через процеси оглеєння, ґрунти мають більший вміст азоту, якщо порівняти із сухими, свіжими, сирими та мокрими умовами аналогічних трофотопів, в яких процеси мінералізації органічної речовини сповільнюються (див. табл. 1). Подібне співвідношення бальних оцінок за нітратним режимом у дібровах у сухих, свіжих і вологих умовах зафіксовано також іншими дослідниками у верхів'ях Західного Бугу (Західне Поділля, Вороняки) (Didukh & Plyuta 1994). Підтвердженням результатів бальної оцінки є збагачення трав'яного ярусу дубових лісів в умовах D<sub>3</sub> нітрофільними (вимогливими до нітратного азоту) видами *Urtica dioica* L., *Lamium maculatum* (L.) L., *Galium aparine* L.



**Рис. 5 – Вміст азоту у ґрунті (Nt)**

Горизонтальними суцільними лініями показано середні значення режимів, штриховими – межі стандартного відхилення. Різниця між середніми значеннями режиму для екоотопів: 1) фонові значення та листяні ліси:  $\Delta Nt = 0,73$  – достовірна ( $t_{факт.} = 6,27$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 218$ ); 2) фонові значення та мішані ліси:  $\Delta Nt = 0,39$  – недостовірна ( $t_{факт.} = 1,46$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 157$ ); 3) фонові значення та хвойні ліси:  $\Delta Nt = 0,84$  – достовірна ( $t_{факт.} = 6,27$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 203$ ); 4) листяні та мішані ліси:  $\Delta Nt = 1,13$  – достовірна ( $t_{факт.} = 7,08$  при  $t_{st,05} = 1,98$  і  $k = 85$ ); 5) листяні та хвойні ліси:  $\Delta Nt = 1,57$  – достовірна ( $t_{факт.} = 16,30$  при  $t_{st,05} = 1,96$  і  $k = 131$ ); 6) мішані та хвойні ліси:  $\Delta Nt = 0,44$  – достовірна ( $t_{факт.} = 2,27$  при  $t_{st,05} = 2,00$  і  $k = 70$ ).

Екотопи лісів Лівобережно-Дніпровського лісостепового лісогосподарського округу характеризуються такою варіабельністю едафічних показників у межах стандартних відхилень (рис. 1–5): гігрофон – проміжний між мезофітним і гігромезофітним ( $W_{np} = 120...145$  мм); ацидофон – від субацидофітного до проміжного між субацидофітним і нейтрофітним ( $pH = 6,0...6,5$ ); галофон – від проміжного між мезотрофним і семієвтрофним до семієвтрофного типу збагачених солями ґрунтів ( $Sl = 0,015...0,02$  % із вмістом  $HCO_3^-$  0,004–0,016 % ґрунту та слідами  $SO_4^{2-}$  і  $Cl^-$ ), карбонатофон – від ґрунтів, придатних для екогрупи рослин, проміжної між гемікарбонатофобною та акарбонатофільною, до ґрунтів, придатних для наближеної до акарбонатофільної екогрупи ( $CaO, MgO$  становлять 0,5–1,5 %); нітрофон – від середньо забезпечених мінеральним азотом до достатньо забезпечених мінеральним азотом ґрунтів ( $Nt = 0,2...0,4$  %), є проміжним між гемінітрофітним і нітрофітним типами.

За межі стандартних відхилень фонових значень лісів округу (рис. 1–5) виходять фонові показники екоотопів листяних і хвойних лісів – у бік збільшення та зменшення вологості до режимів, наближених до гігромезофітного ( $W_{np} = 150...180$  мм) та мезофітного ( $W_{np} = 100...145$  мм) відповідно; листяних лісів – у бік збільшення лужності ґрунту до режиму,

проміжного між субацидофільним і нейтрофільним ( $pH = 6,6$ ), хвойних і мішаних лісів – у бік зменшення лужності ґрунту до режиму, проміжного між ацидофільним і субацидофільним ( $pH = 5,5$ ); листяних лісів – у бік збільшення соленакопичення в ґрунтах до режиму збагачених солями сімівтрофних ґрунтів, хвойних і мішаних лісів – у бік зменшення соленакопичення в ґрунтах до режиму, проміжного між небагатими на солі мезотрофними та збагаченими солями сімівтрофними ґрунтами; листяних лісів – у бік збільшення вмісту карбонатів у ґрунті до режиму, трохи багатшому за ґрунти з малим умістом карбонатів ( $CaO, MgO$  становлять 1,5–1,7 %), хвойних і мішаних лісів – у бік зменшення вмісту карбонатів у ґрунті до режиму, проміжного між ґрунтами зі слідами та малим вмістом карбонатів ( $CaO, MgO$  становлять 0,6 %); листяних і хвойних лісів – у бік збільшення та зменшення багатства ґрунту на мінеральний азот до нітрофільного та проміжного між субанітрофільним і гемінітрофільним режимами відповідно.

**Висновки.** Викладені методичні підходи фітоіндикації та приклади їхнього застосування дають можливість оцінювати як статичні властивості екотопів лісових екосистем, так і їхню хорологічну та хронологічну динаміку, розкривають перспективність цього наукового напрямку для регіонального (зонального) екологічного моніторингу екологічних режимів лісових екотопів.

Показниками закономірностей зміни певних екологічних чинників та диференціації екотопів лісових екосистем на лісотипологічному рівні організації визнано 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 окрузі.

Для порівняльних моніторингових спостережень за флуктуаціями та динамікою екологічних режимів відносно типових та зонально обумовлених значень у лісових екотопах регіону застосовано поняття «екофон лісів» (едафофон та клімафон), відносно якого вимірюють спрямування та інтенсивність едафічних і кліматичних процесів у лісових екотопах конкретного регіону, а в межах останнього – в екотопах хвойних, мішаних та листяних лісів.

Досліджено загальний едафофон (гідрофон, ацидофон, галофон, карбонатофон та нітрофон) лісів Лівобережно-Дніпровського лісостепового лісогосподарського округу, а в межах останнього – окремі едафофони хвойних, мішаних та листяних лісів.

#### **ПОСИЛАННЯ – REFERENCES**

*Bondaruk, M. A. and Tselishchev, O. G.* 2015. Fitoindykatsiya klimatychnykh rezhymiv ekotopiv lisovykh ekosystem Srednyoruskoho lisostepovoho okruhu Ukrayiny [Phytindication of climatic regimes of forest ecosystems ecotopes for Middle-Russian forest-steppe forestry district of Ukraine]. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiya* [Forestry and Forest Melioration], 127: 144–153 (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.* 2012. Osnovy bioindikatsiyi [Fundamentals of bioindication]. Kyiv, Naukova Dumka, 344 p. (in Ukrainian).

*Didukh, Ya. P. and Plyuta, P. G.* 1994. Fitoindikatsia ekologichnykh faktoriv [Phytoindication of environmental factors]. Kyiv, Naukova Dumka, 280 p. (in Ukrainian).

*Dyushofur F.* 1970. Osnovy pochvovedeniya. Evolyutsiya pochv [Fundamentals of Soil Science. Evolution of soils]. Moscow, Progress, 591 p. (in Russian).

*Gensiruk, S. A., Shevchenko, S. V., Bondar, V. S. et al.* 1981. Kompleksnoye lesokhozyaystvennoye rayonirovaniye Ukrainy i Moldavii [Integrated forest management zoning of Ukraine and Moldova]. Kyiv, Naukova Dumka, 360 p. (in Russian).

Kontseptsiya Derzhavnoyi prohramy provedennya monitorynhu navkolyshnyoho pryrodnoho seredovyscha [Concept of the state program for environmental monitoring]. 2005. Approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated December 31, 2004 No. 992-r. Ofitsiyyny visnyk Ukrayiny [Official Bulletin of Ukraine] dated January 21, 2005, No. 1, P. 101, article 40 (in Ukrainian).

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

Metodychni rekomendatsiyi z vedennya monitorynhu lisiv Ukrayiny I rivnya [Methodical recommendations for forest monitoring in Ukraine Level I]. 2008. Kharkiv, UkrNDILHA, 47 p. (in Ukrainian).

Opredelitel' vysshikh rasteniy Ukrainy [The determinant of higher plants of Ukraine]. 1987. Dobrochaeva, D. N., Kotov, M. I., Prokudin, Yu. N. et al. (Eds.). Kyiv, Naukova Dumka, 548 p. (in Russian).

*Pogrebnyak, P. S.* 1993. Lisova ekolohiya i typolohiya lisiv [Forest ecology and typology of forests]. Kyiv, Naukova Dumka, 496 p. (in Ukrainian).

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

*Vysotsky, G. N.* 1962. Biologicheskiye, pochvennyye i fenologicheskiye nablyudeniya i issledovaniya v VelikoAnadole. 1901–1902 [Biological, soil and phenological observations and studies in Veliko-Anadol. 1901–1902]. Selected works. Vol. 1. Moscow, Academy of Sciences of the USSR, p. 159–497 (in Russian).

Bondaruk M. A., Tselishchev O. G.

**PHYTOINDICATION OF EDAPHIC REGIMES OF FOREST ECOSYSTEM ECOTOPES FOR DNIPRO LEFT-BANK FOREST-STEPPE FORESTRY DISTRICT OF UKRAINE**

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

Issues of phytoindication and phytomonitoring of major ecological factors for large-scale regional (zonal) investigations are analyzed. The presented methodical approaches of phytoindication and examples of their application show the prospects of this scientific direction for the regional (zonal) ecological monitoring of edaphic regimes in forest ecotopes. The subjects of research were the first level monitoring plots (146 plots) located within Dnipro Left Bank Forest-Steppe forestry district, Ukraine. A concept of “eco-background”, i. e. the background factors of forests (a range of values within the limits of standard deviations), in relation to which the direction and intensity of edaphic and climatic processes are measured in the forest ecotopes of specific region, and within the region, in the ecotopes of the coniferous, mixed and broad-leaved forests, is used for the comparative monitoring of fluctuations and dynamics of the ecological regimes in relation to typical and zonally-provided values in the forest ecotopes of the region. The total edaphic eco-background (including hydro-background, acido-background, total salt-background, carbonate content-background, nitro-background) was investigated for the district's forests and within the district, the separate edaphic eco-backgrounds of coniferous, mixed and broad-leaved forests.

**Key words:** phytoindication, forest ecotopes, edaphic regimes, eco-background of forests, edaphic-background of forests.

Бондарук М. А., Целищев А. Г.

**ФИТОИНДИКАЦИЯ ЭДАФИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭКОТОПОВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛЕВОБЕРЕЖНО-ДНЕПРОВСКОГО ЛЕСОСТЕПНОГО ОКРУГА УКРАИНЫ**

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

В работе приводится анализ проблем фитоиндикации и фитомониторинга ведущих экологических факторов для крупномасштабных региональных (зональных) исследований. Изложенные методические подходы фитоиндикации и примеры их использования раскрывают перспективность этого научного направления для регионального (зонального) экологического мониторинга эдафических режимов лесных экотопов. Объекты исследований – площадки мониторинга 1-го уровня (146 участков) в пределах Левобережно-Днепровского лесостепного лесохозяйственного округа Лесостепной области Украины. Для сравнительных мониторинговых наблюдений за флуктуациями и динамикой экологических режимов относительно типичных и зонально обусловленных значений в лесных экотопах региона использовано понятие «экофон лесов» (диапазон значений в пределах стандартных отклонений), относительно которого измеряются направленность и интенсивность эдафических и климатических процессов в лесных экотопах конкретного региона, а в пределах последнего – в экотопах хвойных, смешанных и лиственных лесов. Исследован общий эдафон (гигрофон, ацидофон, галофон, карбонатофон и нитрофон) как составляющая экофона лесов округа, а в пределах последнего – отдельные эдафоны хвойных, смешанных и лиственных лесов.

**Ключевые слова:** фитоиндикация, лесные экотопы, эдафические режимы, экофон лесов, эдафон лесов.

*E-mail: bm1961@ukr.net; tsel\_s@ukr.net*

*Одержано редколегією: 19.01.2018*