

doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.11.094>

УДК 581.526.53:581.52:911.2(477); 551.583

В.С. Ткаченко¹, С.Г. Бойченко²

¹ Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, Київ

² Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ

E-mail: ecologia@bigmir.net

Екотопічні трансформації степових екосистем під впливом кліматичних змін у другій половині XX та на початку XXI століть

Представлено академіком НАН України В.І. Старостенком

На основі аналізу тривалих хронорядів фітоценотичного і картографічного моніторингу, здійснюваного на базі десятиох заповідно-степових ділянок України, встановлені стрімкі структурні зміни фітосистем, що обумовлені зміщеннями екотопічних характеристик місцезростань. Ці показники визначалися методом синфітоіндикації і ординаційним аналізом степових біотопів. В основі майже всіх змін лежать едафічні фактори (режим зволоження ґрунту, карбонатність ґрунтів, їх трофність, вміст мінерального азоту та кислотність) та меншою мірою кліматичні (термічний режим, континентальність клімату, його гумідність та морозність), які мали певний вплив на трансформацію фітосистем і екотопів. З усіх екофакторів найвпливовішим у степовій зоні України є фактор вологозабезпечення, за участю якого формується шлейф змін в усіх сферах степових екосистем (гідрогенний динамізм, мезофітизація, олучення травостоїв, промивний режим ґрунтів, проникнення на степ лігнозних екобіоморф та ін.). Серед кліматичних екофакторів помітним впливом на степи відзначаються зміни в сезонному ході температури, послаблення континентальності та зростання гумідності клімату.

Ключові слова: заповідні степи, фітоценотичний моніторинг, синфітоіндикація, зміни термічного і гумідного режиму, тенденції, адаптація.

Аналіз просторово-часової динаміки структури степових екосистем у другій половині XX і на початку XXI століть на основі картографічного моніторингу українських заповідних степів показав досить чіткі тенденції у змінах ксероморфних, мезоморфних та лігнозних складових фітосистем [1–3]. Ці зміни супроводжувалися певними зміщеннями екотопічних характеристик місцезростань, що розглядається нами як певний етап процесу адаптивної трансформації екотопів та структурної перебудови природних угруповань степу до сучасних кліматичних умов.

Мета даного дослідження — висвітлити каузальний аспект багаторічних перебудов степових екосистем, опираючись на зв'язок рослинного покриву з екологічними характеристиками місцезростань та адаптивний характер їх просторових змін у часі.

© В.С. Ткаченко, С.Г. Бойченко, 2017

Простежити характерні особливості динаміки екологічних режимів, які супроводжують перебудову степових фітосистем (сукцесії), можна, враховуючи тісний зв'язок рослинного покриву і його структури з екологічними характеристиками місцезростань та адаптивний характер їх просторових змін. Визначення адаптивної спрямованості екотопічних змін планетарного і регіонального масштабу можуть бути використані для пізнання шляхів самопристосування степової фітобіоти до нових умов [4]. У прикладному аспекті у зв'язку з високим ступенем розораності українських степів (~85 % площі) з метою використання потенціалу чорноземів механізми природної адаптації агроценозів можуть спотворюватися [5]. Правда, сучасні зміни клімату в степовій зоні України на даному етапі адаптації мають певні позитивні ефекти щодо біопродуктивності і формування деяких ознак педосфери та мікрокліматичних особливостей біотопів [6, 7].

Об'єктами досліджень були 10 заповідних степових ділянок, які репрезентують основні типологічні відміни степів України. Важливою особливістю організації фітоценотичного моніторингу була широка зональна і регіональна репрезентативність українських степів, оскільки полігони формують своєрідний природно-зональний макропрофіль від північних (лучних) степів до пустельних злаково-полинових.

Докладні картометричні дані за період 1927–2012 рр. дають достовірні кількісні показники просторових змін структури степових фітосистем на межі XX і XXI століть, а кількатисячні масиви геоботанічних описів, зібраних на полігонах, після статистичного опрацювання та фітоіндикаційної оцінки величини основних екофакторів були піддані аналізу ординаційних матриць для з'ясування екотопічних параметрів степових фітосистем, досліджень їх екотопічної диференціації [1, 2, 4, 8, 9]. Для розуміння процесів і механізмів мінливості екотопічних факторів (едафічних і кліматичних) була застосована удосконалена в Інституті ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України методика комп'ютерної синфітоіндикації. Ідея полягає в тому, що за коливаннями структури фітоценозів у сукцесійному процесі і супроводжуючих їх змін екофакторів з різними діапазонами екотопічних флуктуацій приховується тенденція перебудови степових фітосистем і в цілому всієї природної обстановки, а загальною ритмікою флуктуацій у розвитку фітосистем модулюється вектор природного процесу [9, 10]. Тільки після тривалих змін екотопічних параметрів і циклів структурних перебудов може бути виявлене наближення до гомеостазу ценокомплексів, коли формуються термодинамічно ефективніші структури, що включають певну частку лігнозних екобіоморф (чагарників, дерев), які є своєрідним біомаркером глибини змін довкілля [11].

Таким чином, отримуємо відносні і непрямі, але досить чіткі кількісні екологічні характеристики конкретних степових біотопів, які дають можливість з'ясувати характер взаємовідношень фітоценозів щодо ординованих факторів, порівняти екотопи в різночасових і різностадійних станах та розрахувати орієнтовні відносні числові показники. За допомогою методу синфітоіндикації природних ценотичних поєднань рослин і ординаційним аналізом степових біотопів (фітоценозів, асоціацій, формацій, фітоландшафтів) ми отримуємо цінну екологічну інформацію про стан едафічних факторів (режим зволоження ґрунту — *Hd*, загальний сольовий режим, або трофність ґрунту — *Tr*, вміст у ґрунті карбонатів — *Ca*, вміст в них мінерального азоту — *Nt*, кислотність ґрунту — *Rc*) та кліматичних факторів (термічний режим — *Tm*, континентальність — *Kn*, його гумідність — *Om* та кріорежим — *Cr*).

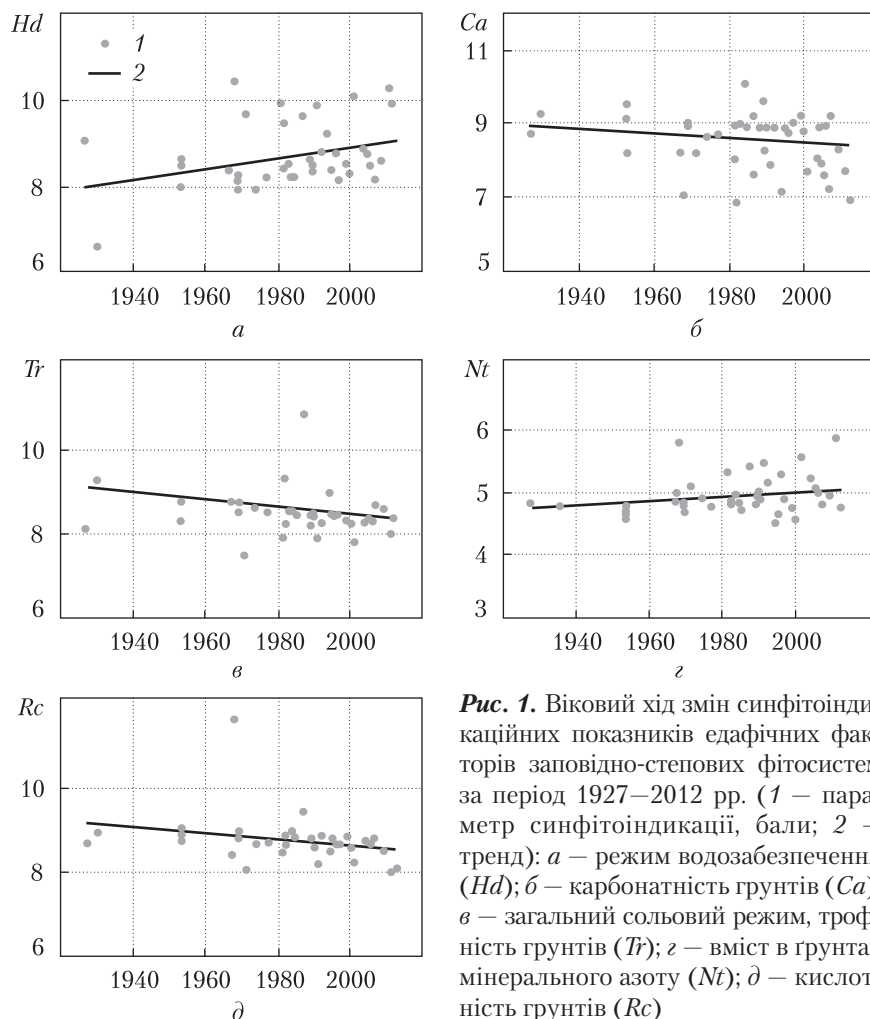


Рис. 1. Віковий хід змін синфітоіндикаційних показників едафічних факторів заповідно-степових фітосистем за період 1927–2012 рр. (1 – параметр синфітоіндикації, бали; 2 – тренд): а – режим водозабезпечення (Hd); б – карбонатність ґрунтів (Ca); в – загальний сольовий режим, трофічність ґрунтів (Tr); г – вміст в ґрунтах мінерального азоту (Nt); д – кислотність ґрунтів (Rc)

Едафічні фактори. Аналіз числових показників синфітоіндикації екофакторів однозначно свідчить про певні їх зміни (таблиця). Так, режим вологозабезпечення (Hd -фактор) має значимі тенденції до збільшення вологості ґрунтів (рис. 1, а). Він виступає прямим і опосередкованим фактором ініціації ряду змін у педосфері, оскільки інтенсифікуються промивні процеси з вимиванням солей, активізацією діяльності азотфіксуючих бактерій, мезофітизацією травостоїв, підвищенням їх біопродуктивності тощо. На сучасному етапі адаптації природних степових екосистем до умов глобального потепління головною екологічною особливістю є посилення гумідності клімату в певних регіонах. Саме степи досить чутливо реагують на зміни Hd -фактора. Зокрема, вони здатні за найменшої можливості переходити в енергетично ефективніший режим функціонування, гомеостатично тяжіючи до лісу. Екологічною особливістю степового біому є постійний або тимчасовий дефіцит водного ресурсу, екстремальність водозабезпечення обумовлює тривале чи постійне домінування ксероморфної складової в структурі степових фітоценозів. Втрата цієї специфіки Hd -фактора означає глибоку зміну структури степу, до якої належить втрачання біомних ознак степу, втручання інтрозональних фітоценокомпонентів, олущення, формування і

подолання “сукцесійного колапсу” [2], виникнення мозаїчних автоклімаксових комплексів тощо. Тривала дія цього фактору може призвести до формування на місці степів новітніх інваріантів рослинного покриву та зміщення природних зон. Саме цей фактор лишається визначальним у трансформації континентальних фітосистем за умов сучасних змін клімату і в далекі епохи міжльодовикових палеоаналогів [12]. Статистичний аналіз багаторічних даних всіх полігонів, свідчить про значний тренд у середньому $+1,25$ бала за 100 років (див. рис. 1, *а*, таблицю), тобто збільшення запасів продуктивної вологи від 80 до 120 мм в метровому шарі ґрунту.

Залежним від *Hd*-фактора є параметр вмісту карбонатних сполук у ґрунтах степової смуги (*Ca*-фактор). Ґрунтознавці давно помітили тісний зв'язок вмісту карбонатів з якісними характеристиками чорноземів (зернистою структурою, сприятливими водно–повітряними властивостями, родючістю), проте порівняно недавно була визначена типоморфна роль їх у формуванні степового біому, яка вказує на те, що карбонатність ґрунтів є притаманною степовим екосистемам особливістю. Матеріали наших досліджень свідчать про сучасний процес досить інтенсивної декарбонатизації чорноземів (див. рис. 1, *б*). На основі статистичного аналізу синфітоіндикаційних даних з полігонів встановлено тенденцію до декарбонатизації (зменшення карбонатності біотопів) $-0,65$ бала за 100 років, тобто послаблення типоморфного *Ca*-фактора, адитивно і деструктивно діючого на типові степові фітоценоструктури.

Аналіз показників загального сольового режиму, або трофності ґрунтів (*Tr*), показав, що майже на всіх полігонах за час спостережень характерною є тенденція фонового зниження параметрів *Tr*-фактора. В цілому показник синфітоіндикації *Tr*-фактора на заповідних степах України становив $8,7 \pm 1,1$ бала, а тренд — $-0,89$ бала за 100 років. Винятком є полігон на Потіївській ділянці Чорноморського біосферного заповідника, приморські засолені землі якої виходять за межі степових біотопів, та Михайлівська цілина, де за часів пасовищного використання степу відбувалося інтенсивне вилуговування солей, а протягом періоду спостережень 1971–2011 рр. швидко і одночасно наростали показники *Hd*- і *Tr*-факторів, можливо, як процес своєрідної післяпасовищної “проградації” потужних чорноземів [2].

На протигагу трофічності ґрунтів (*Tr*) екофактор багатства їх на доступні рослинам сполуки азоту (*Nt*) в степах здатний самооптимізуватися разом з поліпшенням режиму вологозабезпечення (*Hd*). Існує також підзональна залежність *Nt*-фактора, пов'язана зі зростанням його параметрів у напрямку з півдня на північ. За період спостережень 1927–2012 рр. показник *Nt*-фактора, отриманий на основі даних з полігонів, становив у середньому $5,0 \pm 0,3$ бала, а тренд — $+0,41$ бала за 100 років (див. таблицю).

Характерною особливістю вікової динаміки *Nt*-фактора є ознаки самонасичення і наявність порогових значень вмісту в ґрунті азотних сполук за сучасних кліматичних умов. Подолання цього порогу можливе за умови поліпшення вологозабезпечення, яка може позначити перехід степового біому до лісостепового інваріанта фітоценоструктур. З цими умовами пов'язується оптимальна симбіотична здатність мікробіоценозів до азотфіксації в чорноземах.

Опосередковано залежною від *Hd*-фактора є кислотність ґрунтів (*Rc*). Внаслідок майже повсюдного насичення материнських порід чорноземів карбонатами в степах переважають слабколужні та нейтральні ґрунти. В дозаповідний період ґрунти були трохи лужніші і

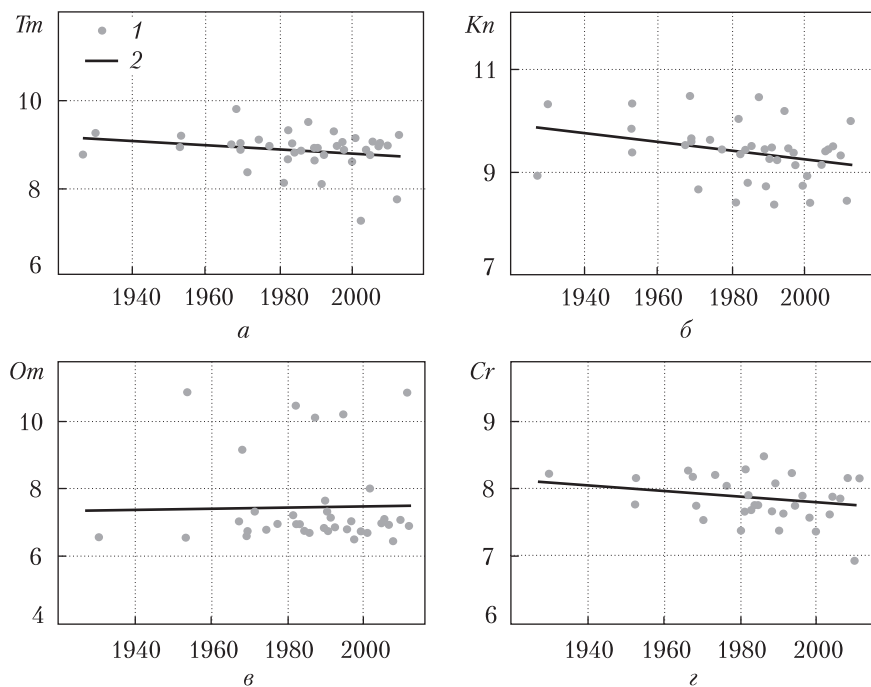


Рис. 2. Віковий хід змін синфітоіндикаційних показників кліматичних факторів заповідно-степових фітосистем за період 1927–2012 рр. (1 – параметр синфітоіндикації, бали; 2 – тренд): а – термічний режим (Tm); б – континентальність клімату (Kn); в – омброрежим, гумідність клімату (Om); з – кріорежим, морозність зим (Cr)

Основні показники змін едафічних і кліматичних екофакторів українських заповідно-степових фітосистем у балах синфітоіндикації за період 1927–2012 рр. та значення кліматичних параметрів за період 1900–2015 рр. для степової зони України

Екофактори	Середні значення та відхилення за час спостережень ($\pm\sigma$)	Тренд, бали за 100 років
<i>Едафічні фактори</i>		
Вологість ґрунту (Hd)	$8,8 \pm 0,8$	+1,25
Карбонатність ґрунтів (Ca)	$8,5 \pm 0,7$	–0,65
Загальний сольовий режим, трофність (Tr)	$8,7 \pm 1,1$	–0,89
Вміст мінерального азоту в ґрунтах (Nt)	$5,0 \pm 0,3$	+0,41
Кислотність ґрунтів (Rc)	$8,8 \pm 0,6$	–0,67
<i>Кліматичні фактори</i>		
Термічний режим (Tm)	$8,8 \pm 0,5$	–0,49
Континентальність (Kn)	$9,3 \pm 0,6$	–0,84
Гумідність (омброрежим – Om)	$7,4 \pm 1,1$	+0,16
Морозність (кріорежим – Cr)	$7,8 \pm 0,3$	–0,47
<i>Кліматичні параметри *</i>		
Середньорічна температура, °C	8–10	$0,5 \pm 0,1$
Температура для літніх місяців, °C	21–23	$0,5 \dots -1,5$
Температура для зимових місяців, °C	–1... –5	$1,5 \pm 0,5$
Кількість атмосферних опадів для літніх місяців, мм	105 ± 20	$10 \pm 5 \%$
Індекс континентальності Горчинського	$40,5 \pm 2,5$	$-2,5 \pm 0,3$
Амплітуда сезонного ходу, °C	$13,2 \pm 0,8$	$-0,6 \pm 0,2$

* Значення трендів кліматичних параметрів нормовані на 100 років.

тенденція до послаблення лужності триває під впливом змін довкілля, головним чином через збільшення кількості атмосферних опадів. За час спостережень кислотність ґрунтів (Rc) становить $8,8 \pm 0,6$ і відзначається тенденція до її зниження на $-0,67$ бала за 100 років (див. таблицю, рис. 1, d). Основним чинником цих змін вірогідно є декарбонатизація чорноземів, а сучасне збільшення кислотності належить до несприятливих чинників [5]. Такі зміни Rc -фактора в степах, імовірно, можуть позначати преадаптацію степових фітосистем до можливого зміщення природних зон при поглибленні цих кліматичних змін [12].

Кліматичні фактори. В групі кліматичних факторів також відбулися певні зміни (див. таблицю). Так, Tm -фактор за даними з полігонів вказує на тенденцію до зниження, і це на фоні потепління клімату (тренд $-0,49$ бала за 100 років) (рис. 2, a). Справа в тому, що цей показник визначався для літніх місяців, а степовій зоні України влітку в XX ст., за даними інструментальних метеоспостережень, була притаманна тенденція або незначного підвищення температури, або, навіть, зниження до $-0,9 \pm 0,6$ [13, 14], але в останні десятиліття склалася тенденція до підвищення повторюваності аномально високих температур саме влітку [15].

У віковому аспекті тенденція збільшення показників позначилася на гумідності клімату (омброклімат (Om)) на $+0,16$ бала за 100 років. Цей фактор підкреслює таку важливу особливість сучасних змін довкілля, як гумідне потепління. Так, за даними метеоспостережень у південно-східних регіонах України в XX ст. зафіксовано збільшення річної кількості атмосферних опадів на 10 ± 5 % [13, 14].

Дещо виразнішими були вікові зміни морозності клімату (кріорежим (Cr)), а саме має місце тенденція до зменшення на $-0,47$ бала за 100 років. За метеоданими, характерне значне підвищення температури в зимові місяці і на початку весни на $1,0 \pm 0,5$ °C/100 років у степовій зоні в XX ст. [11].

Континентальність клімату (або контрасторежим (Kn)), що характеризує залежність амплітуди сезонного ходу від синуса широти, є відображенням кліматичного впливу на степові фітосистеми [7]. Степовий біом сформувався в умовах помірно континентального клімату. Діапазон континентальності в українських степах охоплює різницю в 2,15 бала: від континентального клімату “Михайлівської цілини” на Сумщині (мінімум 8,34 бала) до вкрай континентального (10,49 бала) на Потіївській ділянці Чорноморського біосферного заповідника. Середні значення Kn -фактора становлять $9,3 \pm 0,6$ бала, а тенденції сучасних змін характеризуються зниженням (послабленням) контрасторежиму на $-0,84$ бала за 100 років (див. таблицю).

У роботі [15] встановлено, що протягом періоду 1900–2015 рр. відбулося зменшення індексів континентальності Горчинського і амплітуди сезонного ходу температури в південно-східних регіонах (див. таблицю), і в тому числі на території України (через істотне потепління в холодний період року), але в останні десятиліття зафіксовано зростання їх значень, що пов’язано зі збільшенням повторюваності аномально високих температур, особливо в липні—серпні.

В умовах гідрогенної трансформації степових фітосистем і ландшафтів деконтиненталізація клімату діє адитивно з Hd -фактором, дестабілізуючи степові фітосистеми і сприяючи їх гідроморфній трансформації, оскільки для степів властивий високий ступінь континентальності. Спрямованість сучасних тенденцій у змінах Kn -фактора прямо і опосередковано сприяє формуванню лучно-степових і лісостепових фітосистем і ландшафтів.

Відзначимо, що тенденції, встановлені на основі аналізу опосередкованих показників змін кліматичних факторів, які визначалися методом синфітоіндикації і ординаційним аналізом степових біотопів, збігаються з тенденціями, встановленими на основі аналізу метеоданих.

Таким чином, на підставі результатів аналізу тривалих хронорядів фітоценотичного і картографічного моніторингу, здійснюваного на базі 10 заповідно-степових ділянок України протягом 1927–2012 рр., встановлено стрімкі структурні зміни фітосистем, які обумовлені помітними змінами екологічних характеристик місцезростань. Екологічні характеристики визначалися методом синфітоіндикації і ординаційним аналізом степових біотопів. З'ясувалося, що в основі майже всіх змін лежать едафічні фактори (режим зволоження ґрунту, карбонатність ґрунтів, їх трофність, вміст мінерального азоту та кислотність), а кліматичні фактори (термічний режим, континентальність клімату, його гумідність та морозність) мали дещо слабший вплив на трансформацію фітосистем і екологічних. З усіх екофакторів найвпливовішим у сучасних кліматичних умовах у степовій зоні України був фактор вологозабезпечення, за участю якого формується цілий шлейф змін в усіх сферах степових екосистем (гідрогенний динамізм, мезофітизація, олущення травостоїв, промивний режим ґрунтів, проникнення на степ лігнозних екобіоморф та ін.). Серед кліматичних екофакторів помітним впливом на степи відзначаються зміни в сезонному ході температури, послаблення континентальності та зростання гумідності клімату. Встановлені тенденції для кожного фактору певним чином пояснюють механізм впливу і особливості загроз існуванню степових фітосистем.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ткаченко В.С., Бойченко С.Г. Структурний дрейф степових фітосистем України під впливом кліматичних змін та прогностичні сценарії для першої половини ХХІ ст. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2014. № 4. С. 172–180. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2014.04.172>
2. Ткаченко В.С. Вплив кліматичних змін на степи України. *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2011. **13**. С. 5–21.
3. Boychenko S., Voloshchuk V., Movchan Ya., Serdjuchenko N., Tkachenko V., Tyshchenko O., Savchenko S. Features of climate change on Ukraine: scenarios, consequences for nature and agroecosystems. *Proceedings of the National Aviation University*. 2016. № 4. Р. 96–113. doi: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.69.11061>
4. Ткаченко В.С. Саморегуляція аренних фітосистем та питання їх потенціальної рослинності геродотової гілеї. *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2016. № 18. С. 6–22.
5. Позняк С.П. Чорноземи України: географія, генеза і сучасний стан. *Укр. геогр. журн.* 2016. № 1. С. 9–13. doi: <https://doi.org/10.15407/ugz2016.01.009>
6. Стефановська Т.Р. Оцінка вразливості до змін клімату сільського господарства України. *Екологічна безпека*. 2010. № 1. С. 62–66.
7. Клімат України: Ліпінський В.М., Дячук В.А., Бабіченко В.М., Бондаренко З.С., Рудішина С.Ф. (ред.). Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 344 с.
8. Ткаченко В.С., Лисенко Г.М. Фітоіндикація змін екологічних факторів, що супроводжують сукцесію аренних фітоценокомплексів Нижньодніпров'я. *Укр. ботан. журн.* 1998. **55**, № 3. С. 34–244.
9. Ткаченко В.С. Фітоценотичний моніторинг резерватних сукцесій в Українському степовому природному заповіднику. Київ: Фітосоціоцентр, 2004. 184 с.
10. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ: Наук. думка, 1994. 280 с.
11. Buksha I.F. Assessment of Ukrainian Forests Vulnerability to Climate Change. *Regional Aspects of Interactions in Non-boreal Eastern Europe*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Science & Business Media, 2009. Р. 143–156.

12. Кобак К.И., Кондрашева Н.Ю. Глобальное потепление и природные зоны. *Метеорология и гидрология*. 1992. № 8. С. 91–97.
13. Бойченко С.Г. Напівемпіричні моделі та сценарії глобальних і регіональних коливань змін клімату. Київ: Наук. думка, 2008. 310 с.
14. Волощук В.М., Бойченко С.Г. Сценарії можливих змін клімату України в 21 ст. (під впливом глобального антропогенного потепління). *Клімат України*. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. С. 319–330.
15. Бойченко С.Г., Волощук В.М., Сердюченко Н.Н. Современные пространственно-временные вариации индекса континентальности и амплитуды сезонного хода приземной температуры на территории Украины. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2017. № 9. С. 67–75. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.067>

Надійшло до редакції 04.07.2017

REFERENCES

1. Tkachenko, V. S. & Boychenko, S. G. (2014). Structural drift of phytosystems steppe of Ukraine under influence of climatic changes and scenarios for first half XXI century. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 4, pp. 172-180 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2014.04.172>
2. Tkachenko, V. S. (2011). Influence of climate change on the steppes of Ukraine. *News Biosphere Reserve "Askania Nova"*, 13, pp. 5-21 (in Ukrainian).
3. Boychenko, S., Voloshchuk, V., Movchan, Ya., Serdjuchenko, N., Tkachenko, V., Tyshchenko, O. & Savchenko, S. (2016). Features of climate change on Ukraine: scenarios, consequences for nature and agroecosystems. *Proceedings of the National Aviation University*, No. 4, pp. 96-113. doi: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.69.11061>
4. Tkachenko, V. S. (2016). Self-regulation of pharyngeal arenas and the question of their potential vegetation of hereditary branch. *News Biosphere Reserve "Askania Nova"*, No. 18, pp. 6-22 (in Ukrainian).
5. Poznyak, S. P. (2016). Chernozem Ukraine: Geography, Genesis and Contemporary State. *Ukr. Geogr. J.*, No. 1, pp. 9-13 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15407/ugz2016.01.009>
6. Stefanovska, T. R. (2010). Vulnerability of Ukraine agriculture to climate change. *Ecological Safety*, No. 1, pp. 62-66.
7. Lipinskiy, V. M., Diachuk, V. A., Babichenko, V. M., Bondarenko, Z. S. & Rudishyna, S. F. (Eds.) (2003). *The Climate of Ukraine*. Kyiv: Vyd-vo Raievskoho (in Ukrainian).
8. Tkachenko, V. S. & Lysenko, G. M. (1998). Phytindication of changes in environmental factors that accompany the succession of pharyngeal fodder complexes in Lowerdniprovya. *Ukr. Botan. J.*, 55, No. 3, pp. 34-244 (in Ukrainian).
9. Tkachenko, V. S. (2004). Phytocoenotic monitoring of the reserve successions in the Ukrainian Steppe Nature Reserve. Kyiv: Phytosociocenter (in Ukrainian).
10. Didukh, Ya. P. & Plyuta, P. G. (1994). Phytindication of environmental factors. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
11. Buksha, I. F. (2009). Assessment of Ukrainian Forests Vulnerability to Climate Change. In *Regional Aspects of Interactions in Non-boreal Eastern Europe* (pp. 143-156). Berlin, Heidelberg, New York: Springer Science & Business Media.
12. Kobak, K. I. & Kondrasheva, N. Yu. (1992). Global warming and natural zones. *Meteorologiya i gidrologiyay*, No. 8, pp. 91-97 (in Russian).
13. Boychenko, S. G. (2008). Semi-empirical models and scenarios of global and regional changes of climate. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
14. Voloshchuk, V. M. & Boychenko, S. G. (2003). Scenarios of possible changes of climate of Ukraine in 21 century (under influence of global anthropogenic warming). In *The Climate of Ukraine* (pp. 308-331). Kiev: Vyd-vo Raievskoho (in Ukrainian).
15. Boychenko, S. G., Voloshchuk, V. M. & Serdiuchenko, N. N. (2017). Modern space-time variations of the index of continentality and the amplitude of a seasonal course of the surface air temperature on the territory of Ukraine. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 9, pp. 67-75 (in Russian). doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.067>

Received 04.07.2017

В.С. Ткаченко¹, С.Г. Бойченко²

¹ Институт ботаники им. М.Г. Холодного НАН Украины, Киев

² Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев

E-mail: ecologia@bigmir.net

ЭКОТОПИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX И В НАЧАЛЕ XXI веков

На основе анализа длительных хронорядов фитоценотического и картографического мониторинга, осуществляемого на базе десяти заповедно-степных участков Украины, установлены стремительные структурные изменения фитосистем, обусловленные смещениями экотопических характеристик местообитаний. Эти показатели определялись методом синфитоиндикации и ординационным анализом степных биотопов. В основе почти всех изменений лежат эдафические факторы (режим увлажнения почвы, карбонатность почв, их трофность, содержание минерального азота и кислотность) и в меньшей степени климатические (термический режим, континентальность климата, его гумидность и морозность), которые имели определенное влияние на трансформацию фитосистем и экотопов. Из всех экофакторов самым влиятельным в степной зоне Украины является фактор влагообеспеченности, при участии которого формируется шлейф изменений во всех сферах степных экосистем (гидрогенный динамизм, мезофитизация, олуговение травостоев, промывной режим почв, проникновение в степь лигнозных экобиоморф и др.). Среди климатических экофакторов заметным влиянием на степи отмечаются изменения в сезонном ходе температуры, ослабление континентальности и рост гумидности климата.

Ключевые слова: заповедные степи, фитоценотический мониторинг, синфитоиндикация, изменения термического и гумидного режима, тенденции, адаптация.

V.S. Tkachenko¹, S.G. Boychenko²

¹ M.G. Kholodny Institute of Botany of the NAS of Ukraine, Kiev

² S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kiev

E-mail: ecologia@bigmir.net

ECOTOPIC TRANSFORMATIONS OF STEPPE ECOSYSTEMS UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES IN THE SECOND HALF OF THE XX CENTURY AND IN THE EARLY XXI century

On the basis of the analysis of long chronographs of the phytocenotic and cartographic monitoring carried out on the basis of ten reserve-steppe areas of Ukraine, rapid structural changes in phytosystems were established due to changes in ecotopic characteristics of habitats. These indicators were determined by the method of synphytoindication and ordination analysis of steppe biotopes. Almost all changes are based on edaphic factors (soil moistening regime, soil carbonation, their trophicity, mineral nitrogen content, and acidity) and, to a less extent, on climatic ones (thermal regime, frostiness, continentality and humidity of climate), which had a definite influence on the transformation of phytosystems and ecotopes. Of all the ecofactors, the most influential in the steppe zone of Ukraine is the moisture supply factor, with the participation of which a plume of changes is formed in all spheres of steppe ecosystems (hydrogenic dynamism, mesophytization, herbification of grass, washing regime of soils, penetration of lignogenic ecobiomorphs, etc.). Among the climatic ecofactors, a noticeable effect on the steppe is rendered by changes in the seasonal temperature course, weakening of continentality, and growth of humid climate.

Keywords: reserve-steppe areas, phytocenotic monitoring, synphytoindication, changes in the thermal and humid regime, trends, adaptation.