

В.С. Ткаченко¹, С.Г. Бойченко²

¹Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України
вул. Терещенківська, 2, м. Київ, 01001 Україна
e-mail: ecologia@bigmir.net

²Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
просп. Палладіна, 32, м. Київ, 03680 Україна
e-mail: uaclimate@gmail.com

ЕКОТОПІЧНИЙ СУПРОВІД СТРУКТУРНОГО ДРЕЙФУ ЗАПОВІДНО-СТЕПОВИХ ФІТОСИСТЕМ ПІД ВПЛИВОМ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН У ДРУГІЙ ПОЛОВИНІ ХХ ТА НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТЬ

Заповідні степи, фітоценотичний моніторинг, синфітоіндикація, зміни термічного і гумідного режиму, тенденції, адаптація

ЕКОТОПІЧНИЙ СУПРОВІД СТРУКТУРНОГО ДРЕЙФУ ЗАПОВІДНО-СТЕПОВИХ ФІТОСИСТЕМ ПІД ВПЛИВОМ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН У ДРУГІЙ ПОЛОВИНІ ХХ ТА НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТЬ. В.С. Ткаченко, С.Г. Бойченко. – Визначені на основі відносно тривалого хроноряду фітоценотичного і картографічного моніторингу, здійснюваного на базі десяти заповідно-степових ділянок України, стрімкі структурні зміни фітосистем були обумовлені помітними змінами екотопічних характеристик місцезростань. Останні визначалися методом синфітоіндикації і ординаційним аналізом степових біотопів. З'ясувалося, що в основі майже всіх змін лежать едафічні фактори: режим зволоження ґрунту – *Hd*, карбонатність ґрунтів – *Ca*, їх трофність – *Tr*, вміст мінерального азоту – *Nt* та кислотність – *Rc*, а кліматичні (термічний режим – *Tm*, континентальність клімату – *Kn*, його гумідність – *Om* та морозність – *Cr*) мали порівняно слабкий вплив на трансформацію фітосистем і екотопів. З усіх екофакторів найвпливовішим і найглибше видозміненим на сучасному етапі глобального потепління в степовій зоні України був фактор вологозабезпечення (*Hd* – фактор), за участі якого формується цілий шлейф важливих змін в усіх сферах степових екосистем (гідрогенний динамізм, мезофітизація, олучнення травостоїв, промивний режим ґрунтів, проникнення на степ лігнозних екобіоморф та ін.). Серед кліматичних екофакторів помітним впливом на степи відзначаються континентальність (*Kn*) і зумовлена нею деконтиненталізація та зростання гумідності клімату (*Om*). Наведені числові та графічні вирази трендів, зміни в часі кожного фактора, коротко пояснюється механізм впливу, особливості загроз існуванню степових фітосистем.

ЭКОТОПИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРУКТУРНОГО ДРЕЙФА ЗАПОВЕДНО-СТЕПНЫХ ФИТОСИСТЕМ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ ХХ И В НАЧАЛЕ ХХІ СТОЛЕТИЙ. В.С. Ткаченко, С.Г. Бойченко. – Определенные на основании относительно длинного хроноряда фитocenотического и картографического мониторинга, осуществляемого на базе десяти заповедно-степных участков Украины, стремительные изменения фитосистем были обусловлены достаточно заметными изменениями экотопических характеристик местообитаний. Последние определялись методом синфитоиндикации и ординационным анализом степных биотопов. Выяснилось, что в основании почти всех изменений лежат эдафические факторы: режим увлажнения почв – *Hd*, карбонатность почв – *Ca*, их трофность – *Tr*, содержание минерального азота – *Nt* и кислотность – *Rc*, а климатические (терморегим – *Tm*, континентальность климата – *Kn*, его гумидность – *Om* и морозность – *Cr*) имели сравнительно слабое влияние на трансформацию фитосистем и экотопов. Из всех экофакторов наиболее влиятельным и наиболее глубоко видоизмененным на современном этапе глобального потепления в степной зоне Украины был фактор водообеспечения (*Hd* – фактор), при участии которого формируется целый шлейф важных 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 отличаются континентальность (*Kn*) и обусловленная ею деконтинентализация и усиление гумидности климата (*Om*). Приведены числовые и графические выражения трендов, изменения во времени каждого экофактора, кратко объясняются механизмы влияния, особенности угроз существованию степных фитосистем.

ECOTOPIC SUPPORT OF THE STRUCTURAL DRIFT OF THE RESERVE-STEPPE PHYTOSYSTEM UNDER INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES IN THE SECOND HALF OF THE XX AND IN THE BEGINNING OF THE XXI CENTURIES.

V.S. Tkachenko, S.G. Boychenko. – Based on a relatively long time series of phytocenotic and cartographic monitoring carried out based on ten reserve-steppe areas of Ukraine, rapid changes in phytosystems were caused by significant changes in ecotypical characteristics of habitats. The latter were determined by the method of synphotoindication and ordination analysis of steppe biotopes. At the base of almost all the changes lie edaphic factors (soil hydration regime (*Hd*), soil carbonation (*Ca*), their trophicity (*Tr*), content of mineral nitrogen (*Nt*) and acidity (*Rc*) and climatic (thermal regime (*Tm*), continentality climate (*Kn*), humidity (*Om*) and frostiness (*Cr*)), which had a relatively weak effect on the transformation of phytosystems and ecotopes, as it was explained. Of all the environmental factors, the most influential and most profoundly modified at the present stage of global warming in the steppe zone of Ukraine was the water-supply factor (*Hd* - factor), with participation of which a whole plume of important changes is formed in all spheres of steppe ecosystems (hydrogenic dynamism, mesophytization, transformation into meadows, soil washing regime, penetration of lignogenic ecobiomorphs into the steppe etc.). Among climatic ecofactors, continentality (*Kn*) and the resulting decontinentalization and strengthening of the climate humidity (*Om*) are significant in the steppe. Numerical and graphic expressions of trends, changes in the time of each ecofactor are given; mechanisms of influences, features of threats to the existence of steppe phytosystems are briefly explained.

Вступ

Останнім часом нами були докладно проаналізовані матеріали картографічного моніторингу українських заповідних степів, які характеризують їх просторові зміни структури за час спостережень, – у другій половині XX і на початку XXI століть (Ткаченко, Бойченко, 2015). Цим самим вперше були встановлені чіткі сучасні тенденції у змінах ксероморфних (X), мезоморфних (M) та лігнозних складових степових фітосистем. Як правило, ці зміни супроводжувалися певними зміщеннями екотопічних характеристик місцезростань, що розглядається нами як певний етап процесу адаптивної трансформації екотопів та згаданої структурної перебудови природних угруповань степу до умов глобального потепління. Тісний зв'язок рослинного покриву і його структури з екологічними характеристиками місцезростань та адаптивний характер їх просторових змін відкривають можливості з достатньою деталізацією простежити найважливіші риси динаміки екологічних режимів, які супроводжують будь-які зміни степових фітосистем (сукцесії). Дане повідомлення має на меті висвітлити каузальний аспект цих багаторічних перебудов, опираючись, головним чином, на тісний зв'язок рослинного покриву з екологічними характеристиками місцезростань та адаптивний характер їх просторових змін у часі. Достатньо тривалий хроноряд однотипних визначень екотопічних параметрів місцезростань відкриває певні можливості в загальних рисах простежити динаміку екологічних режимів, що супроводжують сукцесію, та істотно доповнити їх пошуком сутності структурних змін фітосистем.

Важливо також підтвердити однотипність і синхронність екологічних змін зі змінами фітобіоти та визначити провідні чинники сучасної диференціації складових екобіоморф степових фітосистем. Визначення адаптивної спрямованості екотопічних змін планетарного масштабу і супровідних їм змін довкілля можуть бути використані для пізнання шляхів природного самопристосування степової фітобіоти до такого типу змін довкілля. В прикладному аспекті за високого ступеня розораності українських степів (близько 85% площі) з метою використання енергетичного потенціалу чорноземів механізми природної адаптації агроценозів можуть значно спотворюватися. Проте гумідне потепління нинішнього етапу адаптації напевне має такі ж позитивні ефекти щодо біопродуктивності і формування деяких ознак педосфери та мікрокліматичних особливостей біотопів.

Об'єкти та методи

Об'єктами досліджень були 10 заповідних степових ділянок, які репрезентують основні типологічні відміни степів України. Специфіка проведених нами з 1967 р. по 2012 р. досліджень рослинності цих ділянок полягала у формуванні якомога тривалішого хроноряду однотипових обстежень реінвентаризаційного характеру з орієнтовно десяти-

річною періодичністю та великомасштабним геоботанічним картографуванням заповідного масиву або ключової ділянки достатніх розмірів. За рядом якісних характеристик матеріали сформованого таким чином фітоценотичного моніторингу можуть бути отримані тільки в тривалих напівстаціонарних дослідженнях, а в комплексі з достатньо репрезентативними масивами геоботанічних описів пробних ділянок класичного розміру (100 м²), профілів і трансект вони цілком можуть задовольнити потреби регіонального екологічного моніторингу. 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 (рис. 1).

Докладні картометричні дані в часовому аспекті всього хроноряду (1927–2012 рр.) дають достовірні кількісні показники просторових змін структури степових фітосистем на межі XX і XXI століть (Ткаченко, Бойченко, 2015), а кількатисячні масиви геоботанічних описів, зібраних під час докладних обстежень полігонів, після статистичного (табличного) опрацювання та фітоіндикаційної оцінки величини основних екофакторів були піддані докладному аналізу ординаційних матриць для з'ясування екотопічних параметрів степових фітосистем, досліджень їх екотопічної диференціації в статистиці та динаміці (Ткаченко, 1994, 1996, 2000, 2002, 2013, 2014, 2016а, 2016б; Ткаченко, Лисенко, 1998, 2005; Ткаченко, Сиротенко, 2000; Ткаченко, Дідух, Дронова, 2002; Ткаченко, Острівна, 2006; Ткаченко, Шаповал, 2011 та ін.). На основі цих досліджень ми переконалися в тому, що комп'ютерна синфітоіндикація дає можливість з достатньо достовірними кількісними характеристиками та цілком об'єктивно оцінити параметри ряду провідних екологічних факторів, за яких формуються і функціонують природні степові фітосистеми, а наявність кількох часових зрізів в хроноряду спостережень за саморозвитком степових фітосистем відкривають певні можливості щодо з'ясування ряду питань каузальної фітоценології, зокрема, висвітлення причин мінливості структурно-функціональної організації фітосистем, з'ясування причинності і механізмів їх структурних перебудов тощо. Такі дослідження стали можливими після вдосконалення непрямого методу оцінки провідних екологічних факторів – синфітоіндикації, що базується на використанні уніфікованих шкал екологічних амплітуд видів рослин степової флори (комп'ютерна база даних) і програми для розрахунків екологічних режимів рослинних угруповань (Дідух, Плота, 1994).

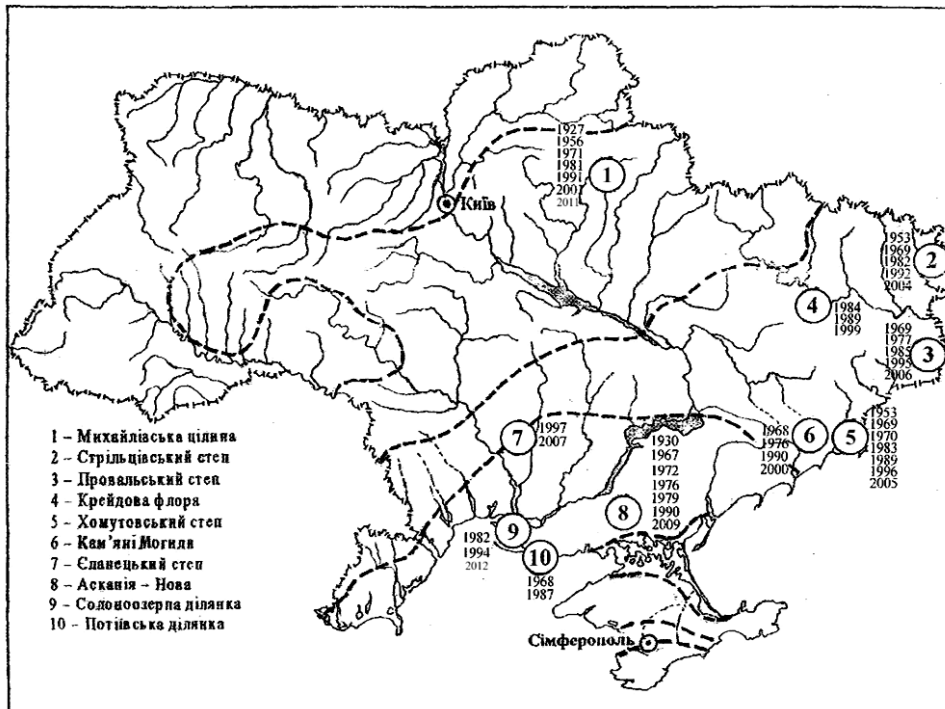


Рис. 1. Розташування мережі базових полігонів фітоценотичного моніторингу заповідних степів України. Цифри біля позначень полігону – роки періодичних обстежень. Додаткові відомості про полігони дивись на табл. 1 та у тексті.

Таблиця 1. Багаторічні дані фітоценологічного моніторингу заповідних степів України щодо структурних та екологічних змін заповідно-степових фітосистем у другій половині XX та на початку XXI століть

Скорочена назва полігону; вибірка описів (п), тривалість спостережень (т), площа, в га (S)	Роки реінвентаризаційних обстежень	Основні структурні складові фітосистем			Провідні екологічні фактори і їх позначення								
		ксеро-морфні (X)	мезо-морфні (М)	лігнозні (L)	Ca – карбонатність ґрунтів	Nt – вміст мінерального азоту	Rc – кислотність	Nd – вологість ґрунту	Tr – сольовий режим (троф-ність)	Tm – термо-режим	Om – гумід-ність клімату	Kn – конти-ненталь-ність клімату	Cr – кріоре-жим
І АН n-641 t-42(79) S-320	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	1930	–	–	–	9,26	4,75	8,92	6,55	9,27	9,25	6,55	10,33	8,15
	1967	90,6	9,4	0	8,20	4,98	8,44	8,29	8,74	8,96	6,99	9,52	8,24
	1974	60,7	39,3	0	8,62	4,90	8,67	7,89	8,66	9,06	6,77	9,54	8,18
	1990	60,7	39,3	0	8,31	5,00	8,57	8,32	8,52	8,89	7,26	9,47	8,05
	2009	41,7	58,1	0	8,29	4,95	8,56	8,56	8,63	8,93	7,04	9,33	8,12
ЄС n-329, t-10 S-94,6	1997	68,8	22,07	9,11	9,02	4,91	8,71	8,10	8,49	8,87	6,47	9,13	7,86
	2007	53,96	33,35	12,07	9,22	4,79	8,83	8,13	8,72	9,05	6,42	9,50	7,80
KM n-269 t-47 S-389	1953	–	–	–	8,22	4,77	8,73	8,60	8,77	9,17	10,79	10,26	8,14
	1968	87,9	11,5	0,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1976	76,9	21,2	2,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1990	50,7	44,7	4,6	8,90	4,88	8,64	8,45	8,42	8,87	6,75	9,28	–
	2000	38,8	51,3	9,6	8,80	4,56	8,60	8,25	8,27	9,12	6,71	8,92	–
KF n-611, t-15 S-1134	1984	–	–	–	10,06	4,82	9,00	8,17	8,53	8,80	6,73	8,79	7,63
	1989	48,36	14,89	36,7	9,61	4,83	8,84	8,58	8,22	8,59	6,82	8,72	7,63
	1999	37,76	15,25	47,0	9,20	4,78	8,87	8,51	8,35	8,62	6,70	8,74	7,52
	1927	–	–	–	8,71	4,81	8,67	9,04	8,12	8,74	7,31	8,95	–
MC n-880 t-55(84) S-202,4	1971	14,8	83,18	0,09	8,17	5,13	8,07	9,66	7,48	8,33	7,31	8,67	7,48
	1981	1,81	92,84	5,33	7,98	5,33	8,51	9,90	7,93	8,10	7,20	8,38	7,32
	1991	0,16	92,32	7,69	7,87	5,48	8,24	9,86	7,96	8,07	7,11	8,34	7,28
	2001	0,05	79,63	20,32	7,69	5,59	8,25	10,04	7,82	7,24	8,05	8,42	7,32
	2011	0	71,43	28,46	7,72	5,87	8,08	10,24	8,01	7,71	6,90	8,45	6,86

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ПОТ n-166, t-19 S-1064	1968	50,95	49,04	0	7,05	5,80	11,61	10,41	13,81	9,78	9,18	10,49	8,15
	1987	17,67	82,32	0	7,61	5,42	9,44	9,61	10,83	9,50	10,06	10,44	8,46
	1969	–	–	–	8,97	4,68	8,85	7,89	8,74	8,95	6,66	9,58	7,72
	1977	75,3	11,0	13,7	8,75	4,77	8,70	8,19	8,54	8,95	6,95	9,43	8,0
	1985	38,9	43,9	17,2	8,90	4,70	8,83	8,19	8,44	8,86	6,69	9,51	7,71
ПС n-695 t-29(37) S-102(587)	1995	34,7	41,0	24,9	8,88	4,66	8,83	8,34	8,45	8,93	6,78	9,45	7,68
	2006	43,3	36,7	19,9	8,94	4,98	8,68	8,45	8,32	8,95	6,91	9,44	7,84
	1982	63,05	15,96	20,52	6,84	4,93	8,68	9,44	9,32	9,30	10,38	10,04	8,27
	1994	62,74	18,09	18,34	7,11	4,51	8,50	9,22	8,99	9,29	10,14	10,19	8,21
СС n-760 t-35(51) S-522	2012	45,47	28,71	25,81	6,93	4,75	8,11	9,90	8,45	9,18	10,78	9,98	8,12
	1953	–	–	–	9,15	4,60	8,85	8,45	8,31	8,98	6,58	9,84	7,68
	1969	46,6	7,4	48,0	9,03	4,75	8,97	8,23	8,50	8,84	6,79	9,65	7,69
	1982	35,6	15,35	49,0	8,98	4,84	8,90	8,37	8,28	8,66	6,94	9,32	7,62
	1992	31,3	14,2	54,5	8,88	5,14	8,87	8,76	8,27	8,74	6,81	9,23	7,56
ХС n-580 t-36(52) S-98	2004	27,04	27,95	43,85	8,88	5,23	8,79	8,85	8,27	8,77	6,94	9,15	7,59
	1953	–	–	–	9,53	4,68	9,08	7,96	8,76	8,89	6,51	9,35	7,73
	1969	8,9	88,8	2,27	8,57	4,86	8,97	8,11	8,57	8,95	6,62	9,55	–
	1983	3,15	89,94	4,45	8,97	4,97	8,86	8,47	8,57	8,99	6,93	9,42	7,85
	1989	2,16	80,41	10,66	8,94	4,95	8,81	8,60	8,43	8,92	7,62	9,45	–
	1996	2,16	65,18	32,42	8,73	5,31	8,68	8,80	8,44	9,01	7,03	9,38	–
	2005	0,5	72,5	27,0	8,94	5,09	8,76	8,69	8,42	9,03	7,07	9,41	7,84

Прийняті скорочення: АН – Біосферний заповідник "Асканія-Нова" імені Ф.Е. Фальц-Фейна; ЄС – природний заповідник "Єланецький степ"; КМ – відділення Українського степового природного заповідника "Кам'яні Могили"; КФ – відділення Українського степового природного заповідника "Крива флора"; МЦ – відділення Українського степового природного заповідника "Михайлівська цілина"; ПОТ – ділянка Потіївська Чорноморського біосферного заповідника; ПС – "Провальський степ" – відділення Луганського природного заповідника; СОЛ – ділянка Солонозерна Чорноморського біосферного заповідника; СС – Стрілицький степ – відділення Луганського природного заповідника; ХС – Хомутовський степ – відділення Українського степового природного заповідника.

В даній таблиці для кожного полігону додатково подано короткі відомості про обсяг вибірки аналізованих описів геоботаничних ділянок, тривалість власних спостережень даного фітоценологічного моніторингу (1927–2012 рр.) з додаванням певної кількості років давніших досліджень різних авторів (Є.М. Ларенко, М.С. Шалит, Ф.О. Гринь, Г.І. Білик та ін.), які проводили дослідження за близькими до наших вимогами (подано в дужках), а також

Таким чином, для з'ясування сутності процесів і поглиблення розуміння механізмів мінливості екоотопічних факторів (едафічних і кліматичних) була застосована удосконалена в Інституті ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України методика комп'ютерної синфітоіндикації. Ідея досліджень полягає в тому, що за багатьма видимими коливаннями структури фітоценозів в сукцесійному процесі і супроводжуваних їх змін екофакторів з різними діапазонами численних екоотопічних флуктуацій приховується тренд перебудови степових фітосистем і в цілому всієї природної обстановки, а загальною ритмікою численних флуктуацій у розвитку фітосистем модулюється вектор природного процесу, який, таким чином, виявляється в тривалих однопланових спостереженнях. Тільки після тривалих коливань екоотопічних параметрів і циклів структурних перебудов може бути виявлене наближення до гомеостазу ценокомплексів, коли формуються термодинамічно ефективніші структури, що включають певну долю лігнозних екобіоморф (чагарників, дерев), які також можуть слугувати своєрідним біомаркером глибини змін довкілля. Таким чином, ми отримуємо хоча й відносні, непрямі, проте досить чіткі кількісні екологічні характеристики конкретних степових біотопів, які в ординаційних поєднаннях графічних матриць дають можливість з'ясувати характер взаємовідношень фітоценозів щодо ординованих факторів, порівняти екотопи в різночасових і різностадійних станах та розрахувати орієнтовні непрямі числові показники. Для візуалізації відмінностей вони можуть виражатися різними графічними побудовами, що підкреслюють певні особливості фітосистем, які не розкриваються іншими методами. Загалом, синфітоіндикацією природних ценотичних поєднань рослин (фітоценозів, асоціацій, формацій, фітоландшафтів) ми отримуємо від звичайного набору дослідницьких польових матеріалів значну кількість цінної екологічної інформації, вартість якої за використання інструментальних методів вимірювання всіх параметрів у таких обсягах робить її практично недосяжною. Тут ідеться про характеристики ряду едафічних (режим зволоження ґрунту – *Hd*, загальний сольовий режим, або трофність ґрунту – *Tr*, вміст в ґрунті карбонатів – *Ca*, вміст в них мінерального азоту – *Nt*, кислотність ґрунту – *Rc*) та кліматичні фактори (термічний режим – *Tm*, континентальність – *Kn*, його гумідність – *Om* та кріорежим – *Cr*). Для виявлення екоотопічної диференціації домінуючих на полігоні угруповань станом на певний часовий зріз були побудовані графічні ординаційні схеми з однаковими масштабами ординаційних полів і відкладанням на координатному папері показників однієї пари екофакторів, один з яких вздовж осі абсцис завжди був *Hd* – фактор, що дає можливість візуально порівняти параметри різних екосистем та часових станів. Ряд узагальнюючих процедур в графічних побудовах наближає до з'ясування характеру взаємовідносин нішових просторів фітоценозів та напруженості конкуренції. Часто середні показники екофактора набувають достатньої достовірності за великого масиву врахованих польових описів пробних ділянок певного полігону.

Результати досліджень

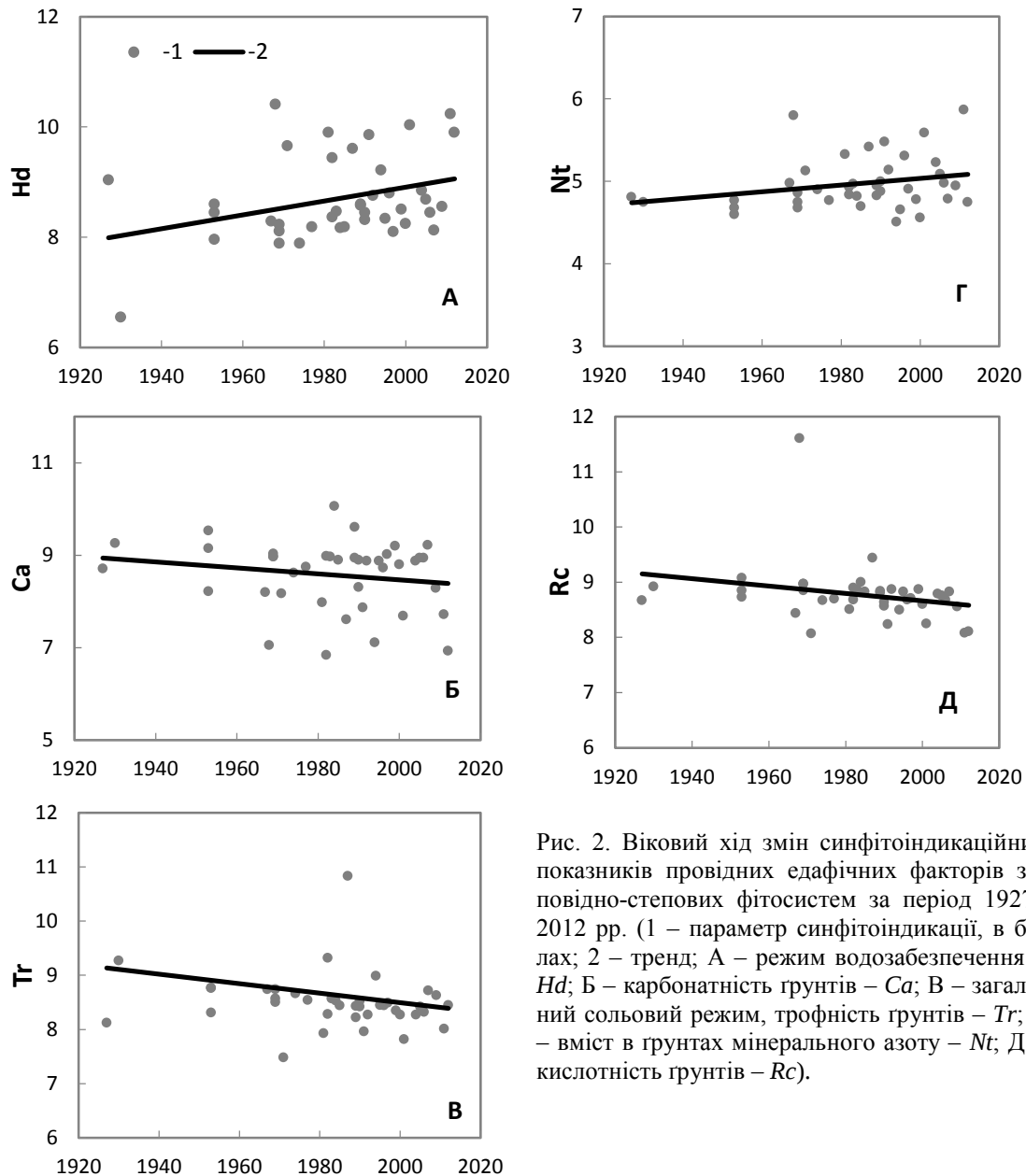
Всі отримані нами дані фітоіндикаційних характеристик біотопів були зведені в таблицю 1, в якій представлені також хроноряди синхронних з екоотопічними параметрами структурних змін, аналіз яких було подано в згаданій раніше публікації (Ткаченко, Бойченко, 2015).

Аналіз числових показників синфітоіндикації екофакторів однозначно свідчить про певні їх зміни, які набувають унаочнення за статистичного опрацювання (табл. 2) і графічного виразу на відповідних схемах (рис. 2).

Режим вологозабезпечення (*Hd* – фактор) має найвиразніший тренд на загальне збільшення вологості ґрунтів (рис. 2, А). Він виступає прямим і опосередкованим фактором ініціації ряду змін в педосфері, оскільки активізуються 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 якого є значне посилення гумідності клімату, степи дуже чутливо реагують на найменші зміни *Hd* – фактора. Зокрема, вони не пропускають найменшої можливості перейти в енергетично ефективніший режим функціонування, гомеостатично тяжіючи до лісу.

Таблиця 2. Основні показники вікових змін провідних едафічних і кліматичних екофакторів українських заповідно-степових фітосистем в балах синфітоіндикації за період 1927–2012 рр.

Провідні екофактори		Середні значення та відхилення за час спостережень, ($\pm \sigma$)	Тренд, балів за 100 років
Едафічні фактори	Вологість ґрунту (<i>Hd</i>)	8,8 $\pm$ 0,8	+1,25
	Карбонатність ґрунтів (<i>Ca</i>)	8,5 $\pm$ 0,7	-0,65
	Загальний сольовий режим, трофність (<i>Tr</i>)	8,7 $\pm$ 1,1	-0,89
	Вміст мінерального азоту в ґрунтах (<i>Nt</i>)	5,0 $\pm$ 0,3	+0,41
	Кислотність ґрунтів (<i>Rc</i>)	8,8 $\pm$ 0,6	-0,67
Кліматичні фактори	Термічний режим (<i>Tm</i>)	8,8 $\pm$ 0,5	-0,49
	Континентальність (<i>Kn</i>)	9,3 $\pm$ 0,6	-0,84
	Гумідність (омброрежим – <i>Om</i>)	7,4 $\pm$ 1,1	+0,16
	Морозність (кріорежим – <i>Cr</i>)	7,8 $\pm$ 0,3	-0,47

Рис. 2. Віковий хід змін синфітоіндикаційних показників провідних едафічних факторів заповідно-степових фітосистем за період 1927–2012 рр. (1 – параметр синфітоіндикації, в балах; 2 – тренд; А – режим водозабезпечення – *Hd*; Б – карбонатність ґрунтів – *Ca*; В – загальний сольовий режим, трофність ґрунтів – *Tr*; Г – вміст в ґрунтах мінерального азоту – *Nt*; Д – кислотність ґрунтів – *Rc*).

Найвиразнішою екологічною особливістю степового біому є постійний або тимчасовий дефіцит водного ресурсу, екстремальність водозабезпечення, що обумовлює тривале чи постійне домінування ксероморфної ("степової") складової в структурі степових фітоценозів. Втрата цієї специфіки внаслідок глобального поліпшення Hd – фактора означає глибоку і докорінну зміну структури степу (Ткаченко, 2011; Ткаченко, Бойченко, 2015), до якої відноситься втрата біомних ознак степу, втручання інтразональних фітоценокомпонентів, олущення, формування і подолання "сукцесійного колапсу" (Ткаченко, 1992), виникнення мозаїчних автоклімаксових комплексів та ін.

Достатньо тривала дія цього фактора може призвести до формування на місці степів новітніх інваріантів рослинного покриву та зміщення природних зон. Процес формування режиму вологозабезпечення в степах є дуже складним і інтегральне визначення його методом синфітоіндикації висвітлює лише кінцевий результат, а подання абсолютних даних щодо продуктивної вологи в ґрунті за показниками Hd – фактора в балах може встановлюватися лише на основі кореляційного зв'язку з визначеними параметрами, які є орієнтовними, приблизними. Статистичне опрацювання багаторічних даних всіх полігонів моніторингу свідчить про значний віковий тренд, в середньому 1,25 бали за 100 років (рис. 2А; табл. 2), що в абсолютному виразі складає збільшення запасів продуктивної вологи від 80 до 120 мм в метровому шарі ґрунту. Саме цей фактор лишається визначальним у трансформації континентальних фітосистем за глобального потепління як тепер, так і в далекі епохи міжльодовикових палеоаналогів.

Цілковито залежним від Hd – фактора є параметр вмісту карбонатних сполук в 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 для степових екосистем особливістю. Матеріали наших досліджень вказують на сучасний процес досить інтенсивної декарбонатації чорноземів, лінійний тренд якої є добре помітним (рис. 2, Б). Попередні розрахунки темпів декарбонатації (Ткаченко, 2011) засвідчили майже однакові кількісні їх характеристики для основних типологічних відмін степу – від 0,010 бала/рік у південних степах до 0,013 бала/рік на лучних степах. Статистичним опрацюванням синфітоіндикаційних даних усіх наших полігонів було встановлено тренд декарбонатації (зменшення карбонатності біотопів) –0,65 бала за 100 років (табл. 2). В цілому це значний темп послаблення типоморфного Ca – фактора, адитивно і деструктивно діючого на типові степові фітоценоструктури.

Аналогічну загальну спрямованість і дію на типові степові фітосистеми справляють також показники загального сольового режиму, або трофності ґрунтів (Tr). Майже всі полігони за час спостережень виявили тенденцію до фонового падіння параметрів Tr – фактора. Винятком тут може бути полігон на Потіївській ділянці Чорноморського біосферного заповідника, приморські засолені землі якої почасти виходять за межі степових біотопів, та Михайлівська цілина, де за часів пасовищного використання степу відбувалося інтенсивне вилугування солей, а під час наших спостережень на цьому полігоні (1971–2011 рр.) швидко і одночасно наростали показники Hd – і Tr – факторів, можливо, як процес своєрідної післяпасовищної "проградації" потужних чорноземів. В цілому середні показники синфітоіндикації Tr – фактора на заповідних степах України становили 8,7 бала зі значними можливими відхиленнями на 1,1 бала, а віковий тренд спрямованих змін складав –0,89 бала за 100 років (табл. 2). Статистично достовірна візуалізація процесу збіднення ґрунтів на солі представлена на рис. 2, В. Близький до цих значень темпів змін трофності ґрунтів (0,8 бала за 100 років) був оптимальний і візуалізується траєкторіями зміщення екоотічних центрів за кілька десятиліть вибірково на основі лише трьох типових полігонів (Ткаченко, 2011). В протизагу трофічності ґрунтів (Tr) екофактор багатства їх на доступні рослини 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 в напрямку з півдня на північ. Зокрема, на лучних степах Михайлівської цілини за період 1927–2011 років самооптимізація досягала 1,28 бала з темпом 1 бал за 100 років, а на півдні, в новоасканійському степу, ці по-

казники становили відповідно 0,05 і 0,0006 бали/рік (Ткаченко, 2011). Визначений на основі трьох типових полігонів (Михайлівська цілина, Хомутовський степ, новоасканійський степ) тренд становив 0,58 бала з темпом 0,008 бала/рік. Тут ми подаємо показники Nt – фактора, отримані на основі всіх десяти полігонів за увесь період спостережень (1927–2012 рр.), середні значення якого становили $5,0 \pm 0,3$ балів, а віковий тренд $+0,41$ бала за 100 років (табл. 2).

Цікавою особливістю багаторічної 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 (Hd – фактора) до певної міри, яка може позначити перехід степового біому до лісостепового інваріанту фітоценоструктур. З цими умовами пов'язується оптимальна симбіотична здатність мікробіоценозів до азотфіксації в чорноземах. Опосередковано залежним від провідного Hd – фактора є такий важливий едафічний чинник як кислотність ґрунтів (Rc). Внаслідок майже повсюдного насичення материнських порід чорноземів карбонатами в степах переважають слабколужні та нейтральні ґрунти (Rc в межах 8,6–8,8 балів синфітоіндикації). В дозаповідний період ґрунти були трохи лужніші і тенденція до послаблення лужності триває під впливом глобальних змін довкілля, головним чином, збільшення вологості клімату. За час наших спостережень кислотність ґрунтів помітно зросла (Rc зменшилася з 9,11 до 8,67 бала, тобто на 0,44 бала, що позначає середній темп 0,016 бала/рік). Основним чинником цих змін, вірогідно, є згадана раніше декарбонатизація чорноземів, а сучасне збільшення їх кислотності відноситься до несприятливих чинників, що поки майже не відчувається на тлі змін інших факторів. Нині попередні оцінки зміни кислотності чорноземів лучних (Михайлівська цілина), справжніх (Хомутовський степ) і південних (Біосферний заповідник "Асканія-Нова") засвідчили збільшення кислотності (падіння показників Rc – фактора) з майже однаковим у всіх степах темпом, а тренд сягає 0,005 бала/рік (Ткаченко, 2011). Статистично достовірні значення Rc – фактора з врахуванням всіх десяти полігонів фітоценотичного моніторингу за 1927–2012 рр. мають середні значення 8,8 бала з можливими відхиленнями $+0,6$ бала і віковий тренд $-0,67$ бала за 100 років (табл. 2; рис. 2, Д). За нашими уявленнями, сучасні зміни Rc – фактора в степах можуть позначати преадаптацію степових фітосистем до можливого зміщення природних зон при поглибленні цих кліматичних змін.

В групі кліматичних факторів переважаючими і помітними тенденціями було зменшення їх значень (табл. 2). Невеликим збільшенням показників у віковому аспекті відзначалася гумідність клімату, або омброклімат (Om $+0,16$ бала за 100 років). Цей фактор підкреслює таку важливу особливість сучасних змін довкілля як гумідне потепління. Міжрічні відхилення цього показника були значними ($\pm 1,1$ бала), а тренд становив всього $+0,16$ бала за 100 років, внаслідок чого графічний вираз змін Om – фактора (рис. 3, В) має незначне, малопомітне відхилення впродовж століття.

Дещо виразнішими були вікові зміни морозності клімату або інакше, кріорежиму (Cr) (рис. 3, Г) та термічного режиму (Tm), позначаючого радіаційний баланс (рис. 3, А). На графічних схемах зменшення градієнтів Tm і Cr мають незначні, але помітні відхилення лінійних трендів майже на півбала за 100 років (відповідно $-0,49$ і $-0,47$ бала за століття). Збереження цих тенденцій підкреслює емпіричні значення кліматичних екофакторів, що проявляється у закріпленні степових фітосистем в неморальній термозоні та у пом'якшенні помірних зим. Значно впливовішим на степові фітосистеми з усіх названих кліматичних екофакторів була континентальність клімату, або його контрасторежим (Kn), адже степовий біом формувався в умовах континентального клімату в глибинних регіонах євразійського материка. Увесь діапазон континентальності в українських степах охоплює 2,15 бала: від континентального клімату "Михайлівської цілини" на Сумщині (мінімум 8,34 бала) до вкрай континентальних значень – 10,49 бала на Потіївській ділянці Чорноморського біосферного заповідника. Середні значення Kn – фактора становлять 9,3 бала з відхиленням до 0,6 бала (табл. 2). Тенденції сучасних змін його за час спостережень на всіх полігонах характеризуються як зниження (послаблення) контрасторежиму зі зниженим віковим трендом $-0,84$ бала за 100 років. Вони позначають процес деконтиненталізації клімату, що відбувається в умовах гідрогенної трансформації степових ландшафтів.

фтів (за гумідного потепління клімату та поліпшення умов вологозабезпечення степових біотопів). В умовах гідрогенної трансформації степових фітосистем і ландшафтів деконти-ненталізація діє адитивно з Hd – фактором, дестабілізуючи степові фітосистеми і сприяючи їх гідроморфній трансформації, оскільки для степів властивий високий ступінь континентальності, а морський, океанічний та слабо континентальний контрасторежим не-притаманні степам. Спрямованість сучасних тенденцій у змінах Kn – фактора прямо і опосередковано сприяє формуванню лучно-степових і лісостепових фітосистем і ландшафтів.

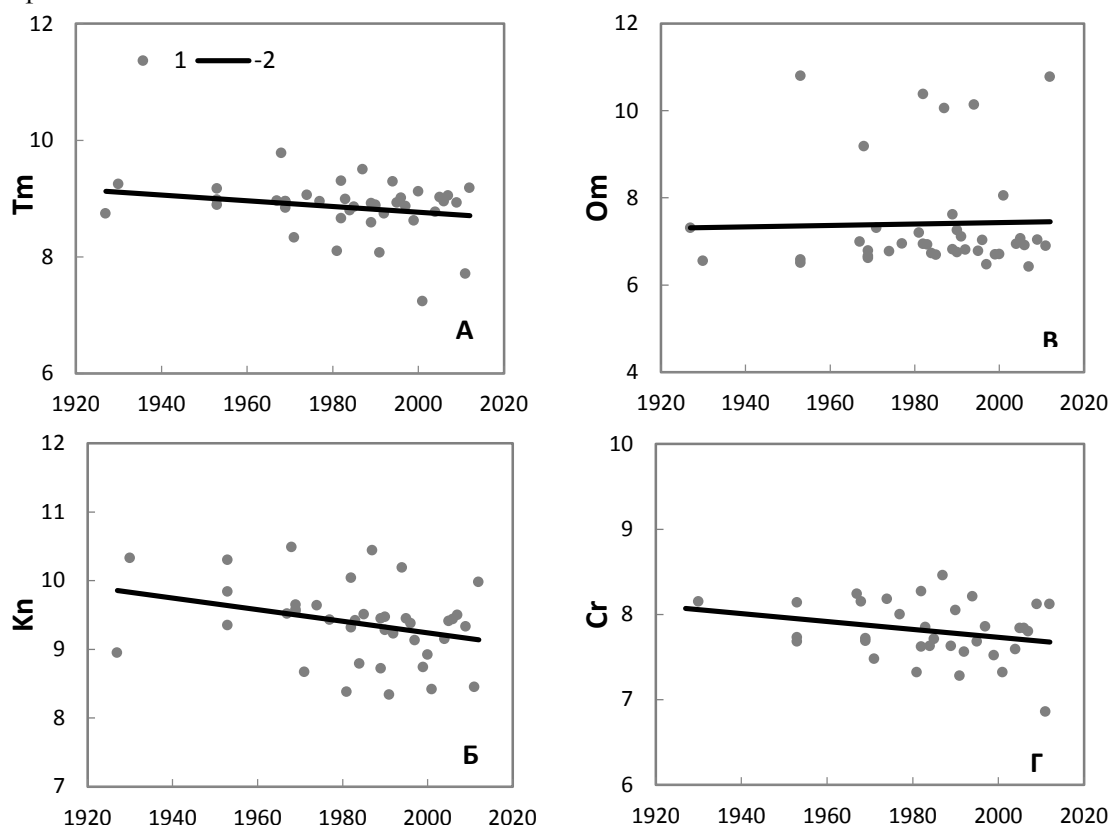


Рис. 3. Віковий хід змін синфітоіндикаційних показників провідних кліматичних факторів заповідно-степових фітосистем за період 1927–2012 рр. (1 – параметр в балах синфітоіндикації; 2 – тренд; А – термічний режим – Tm ; Б – континентальність клімату – Kn ; В – омброрежим, гумідність клімату – Om ; Г – кріорежим, морозність зим – Cr).

Висновки

Використовуючи рослинність заповідних степів України як міру умов її існування, методом синфітоіндикації були визначені екоотіпні характеристики десяти полігонів фітоценотичного моніторингу (1967–2012 рр.) та їх динаміка за сучасних змін довкілля. Трансформація степових екотопів обумовила цілком певні структурні зміни степових фітосистем, насамперед, зміни у співвідношенні їх екобіоморфологічних складових: ксероморфної (X), мезоморфної (М) та лігнозної (L). Всі найважливіші структурні і супроводжуючі їх екоотіпні зміни вперше представлені в кількісних показниках у зведеній таблиці та візуалізовані графічно у вигляді лінійних вікових трендів. Узагальнюючи особливості динаміки екоотіпних характеристик степових біотопів, які супроводжували сукцесійний процес і адаптації до умов сучасного етапу глобального потепління, було з'ясовано, що в основі екоотіпних змін лежать досить стійкі і спрямовані зміщення параметрів ряду провідних екофакторів, насамперед, едафічних. Серед них найвпливовішим, визначальним і профілюючим сучасні фітоценоструктури степів є фактор режиму вологозабезпечення (Hd – фактор). Це обумовлено важливою екологічною специфікою степів, яка полягає у дуже високій, іноді сублетальній залежності їх від тривалої або тимчасової екстремальності водозабезпечення в житті рослинних угруповань, які в певні періоди вегетації виходять на межу летальних умов і завмирають в літній діапаузі. Працюючи в екст-

ремальних умовах з високою ефективністю синтезу речовин за дефіциту ресурсів, при високій швидкості енергообміну, з постійною жорсткою економією води, степові фітосистеми гостро реагують на зміни довкілля. Можливо тому фітоекологами було встановлено, що фактор зволоження ґрунтів і його динаміку методом фітоіндикації можна визначити точніше, ніж інші екологічні чинники. Своїм складом і власними ценоструктурами степові фітоценози ретельно відстежують зміни Hd – фактора і не пропускають найменшої можливості функціонувати в сприятливіших умовах водозабезпечення, властивих лукам і лісам. Цим обумовлюється гомеостатичне тяжіння до лісового типу функціонування і структурогенезу в механізмах саморегулювання і самостабілізації, що проявляється в автогенезі степів. Таким чином, самооптимізація в адаптивних процесах спонукає степові фітоценози до вищої функціональної ефективності за умови поліпшення профілюючого структури і складу дефіцитного Hd – фактора. Важливість цього ресурсу при функціонуванні степових фітосистем підкреслюється цілим шлейфом пов'язаних з ним прямо чи опосередковано процесів і впливів. Hd – фактор відзначався найбільшим серед всіх інших провідних екофакторів трендом змін – збільшенням на 1,25 бала за 100 років, що за умов адитивно діючого гумідного потепління, збільшення середньорічної кількості опадів в степовій зоні України на 10–15% (Бойченко, 2008), погіршення терморезиму (Tm) має тенденцію до зміщення з неморальної термозони в бік суббореальної з трендом $-0,49$ бала за 100 років та вірогідне зменшення випаровуваності; зростання гумідності клімату і глибокі структурні перебудови фітосистем, що супроводжуються мезофітизацією, зачагаренням степу в саморозвитку; зниження трофності ґрунтів з досить високим трендом ($Tr -0,89$ бала за 100 років) і декарбонатизація чорноземів ($Ca -0,65$ бала за 100 років) та зменшення їх лужності ($Rc -0,67$ бала за 100 років) як наслідок посилення промивного режиму; збагачення ґрунтів на азот ($Nt +0,41$ бала за 100 років) внаслідок інтенсифікації діяльності азотфіксуючих мікроорганізмів. Ці зміни відбуваються на тлі деконтиенталізації клімату ($Kl -0,84$ бала за 100 років) і фактичної відсутності консументного блоку екосистем. Сукупність таких зміщень провідних екофакторів призводить до втрат нашими степами важливих ознак біому, і тільки потужний і постійний антропогенний прес дуже гальмує деструктивні процеси, сильно затушовуючи їх перебіг в сучасний період розгортання ознак глобального потепління. Значення сукупності процесів, які обумовлюють згадані структурні та екологічні зміни степів в еволюційному аспекті, полягає в тому, що природні фітосистеми здійснюють постійно самоконтроль середовища і його мінливості, а також у тому, що вже тепер формуються адаптаційні механізми і пристосування, необхідні для виживання і самовдосконалення екосистем, для освоєння ресурсного середовища новітніх епох.

- Бойченко С. Г. Напівемпіричні моделі та сценарії глобальних і регіональних коливань змін клімату / С. Г. Бойченко. – К. : Наук. думка, 2008. – 310 с.
- Дідух Я. П. Фітоіндикація екологічних факторів / Я. П. Дідух, П. Г. Плюта. – К. : Наук. думка, 1994. – 280 с.
- Ткаченко В. С. Автогенез степів України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. біол. наук : спец. 03.00.05. "Ботаніка" / В. С. Ткаченко. – К., 1992. – 42 с.
- Ткаченко В. С. Зміни екологічних факторів в ході сукцесії рослинності лучного степу та їх прогноз / В. С. Ткаченко. – Фітоіндикація екологічних факторів [Я. П. Дідух, П. Г. Плюта]. – К. : Ін-т ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, 1994. – С. 209–227.
- Ткаченко В. С. Особливості екологічних змін та механізму становлення потенціальних фітоценоструктур Стрільцівського степу / В. С. Ткаченко // Укр. ботан. журн. – 1996. – Т. 53, № 5. – С. 527–536.
- Ткаченко В. С. К познанию механизма становления потенциальных ценоструктур Хомутовской степи / В. С. Ткаченко // Вопросы степеведения. – Оренбург, 2000. – С. 82–92.
- Ткаченко В. С. Синфітоіндикація демутативного процесу та екологічна специфіка кретофільної рослинності "Крейдової флори" / В. С. Ткаченко // Вісті Біосферного заповідника "Асканія-Нова". – 2002. – Т. 4. – С. 5–19.
- Ткаченко В. С. Вплив кліматичних змін на степи України / В. С. Ткаченко // Вісті Біосферного заповідника "Асканія-Нова". – 2011. – Т. 13. – С. 5–21.
- Ткаченко В. С. Екологічний супровід динаміки фітосистем Провальського степу та відображення ним регіональних змін довкілля / В. С. Ткаченко // Вісті Біосферного заповідника "Асканія-

- Нова". – 2013. – Т. 15. – С. 5–20.
- Ткаченко В. С. Саморегуляція аренних фітосистем та питання їх потенціальної рослинності геродотової гілеї / В. С. Ткаченко // Вісті Біосферного заповідника "Асканія-Нова". – 2016а. – Т. 18. – С. 6–22.
- Ткаченко В. С. Екологічні зміни лучного степу "Михайлівської цілини" за різних режимів охорони / В. С. Ткаченко // Вісті Біосферного заповідника "Асканія-Нова". – 2016б. – Т. 18. – С. 35–43.
- Ткаченко В. С. Структурний дрейф степових фітосистем України під впливом кліматичних змін та прогностичні сценарії для першої половини XXI ст. / В. С. Ткаченко, С. Г. Бойченко // Доп. НАН України. – 2014. – № 5. – С. 172–180.
- Ткаченко В. С. Структурні зміни степових фітосистем України в другій половині XX та початку XXI століть як відображення глобальних змін довкілля / В. С. Ткаченко, С. Г. Бойченко // Вісті Біосферного заповідника "Асканія-Нова". – 2015. – Т. 17. – С. 4–17.
- Ткаченко В. С. Фітоіндикація змін екологічних факторів, що супроводжують сукцесію аренних фітоценокомплексів Нижньодніпров'я / В. С. Ткаченко, Г. М. Лисенко // Укр. ботан. журн. – 1998. – Т. 55, № 3. – С. 234–244.
- Ткаченко В. С. Екологічний супровід резерватного структурогенезу лучного степу "Михайлівська цілина" за останні 30 років XX століття / В. С. Ткаченко, Г. М. Лисенко // Вісті Біосферного заповідника "Асканія-Нова". – 2005. – Т. 7. – С. 5–17.
- Ткаченко В. С. Синфітоіндикаційна характеристика вихідного стану природного заповідника "Славецький степ" / В. С. Ткаченко, Ю. І. Острівна // Укр. ботан. журн. – 2006. – Т. 63, № 3. – С. 681–693.
- Ткаченко В. С. Фітоіндикаційна характеристика Хомутовського степу станом на 1970 р. / В. С. Ткаченко, П. О. Сиротенко // Укр. ботан. журн. – 2000. – Т. 57, № 5. – С. 489–498.
- Ткаченко В. С. Синфітоіндикаційна характеристика ділянки "Північна" новоасканійського степу та основні тенденції її екологічних змін у XX і на початку XXI ст. / В. С. Ткаченко, В. В. Шаповал // Вісті Біосферного заповідника "Асканія-Нова". – 2011. – Т. 13. – С. 22–40.
- Ткаченко В. С. Екологічні особливості відділення "Крейдяна флора" Українського степового заповідника / В. С. Ткаченко, Я. П. Дідух, І. С. Дронова // Наукові записки Києво-Могилянської академії. Спец. випуск у двох частинах. – К. : Видавничий дім "КМ Академія", 2002. – Т. 20, Ч. II. – С. 467–471.

Рекомендує до друку
Д.В. Дубина