

УДК 574.4:633.2.033

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ЕКОСИСТЕМ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ РОЛЬОВИХ ТРОФІЧНИХ МЕРЕЖ

С.С. РУДЕНКО, О.Я. БУЖДИГАН

Наведено теоретичне обґрунтування та різні підходи до визначення стійкості екологічних систем. Запропоновано інноваційну технологію для визначення різних типів стійкості (резистентної та пружної) пасторальних екосистем за оціночними показниками рольових трофічних мереж. На основі комплексу розроблених показників трофічних мереж здійснено оцінку стану 31-ї пасторальної екосистеми Чернівецької області.

ВСТУП

Протягом останніх трьох років нашу увагу було приділено застосуванню та адаптації методів рольового мережевого аналізу для побудови трофічних мереж наземних екосистем [1–3]. Після успішної розробки всіх технологічних аспектів цього напрямку постало питання про можливість оцінки стійкості екосистем за показниками рольових трофічних мереж.

Учені пов'язують зі стійкістю екосистем різні показники трофічних мереж. Слід зауважити, що чимало неузгодженостей у літературі виникають щодо впливу показників трофічних мереж на стійкість екологічних систем через не врахування особливостей резистентної та пружної стійкостей. Резистентна стійкість (стабільність) — здатність системи залишатися у стійкому (рівноважному) стані у випадку дії зовнішніх факторів; пружна стійкість (власне стійкість) — здатність екосистеми швидко відновлюватись під час завершення зовнішнього впливу. Зауважимо, що пружна та резистентна стійкість взаємно виключають одна одну, точніше екосистемі важко розвивати обидва види стійкості одночасно. Саме крізь призму цих постулатів спробуємо чітко розмежувати показники рольових трофічних мереж, які забезпечують кожний із цих видів стійкості.

Мета роботи — добір та апробація оціночних показників рольових трофічних мереж пасторальних екосистем для визначення їх стійкості.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За J.C. Johnson, S.P. Borgatti, J.J. Luczkovich та ін., якщо трофічна мережа розвивається в умовах стійкого оточення, то її ієрархічність ускладнюється,

зростає кількість трофічних класів та трофічних зв'язків [4]. Виходячи з цього положення, для оцінки стійкості пасторальних екосистем використовуємо такі показники трофічних мереж як: кількість трофічних класів — $K_{\text{кл}}$; кількість трофічних зв'язків — $K_{\text{зв}}$; показник ієрархічності трофічних мереж — P_i (кількість трофокласів/кількість трофоелементів $\times 100$). З міркувань згаданих вище авторів випливає, що за умов зростання стійкості екологічних систем повинні мати місце такі тенденції: $K_{\text{кл}} \uparrow K_{\text{зв}} \uparrow P_i \uparrow$.

Ю.Г. Пузаченко вважає, що єдиним інструментом, за допомогою якого система здатна протистояти збуренням — є різноманіття зв'язків, яке забезпечує життєздатність екосистеми [5]. Виходячи з визначальної ролі зв'язків у забезпеченні життєздатності екологічної системи, ми запропонували та апробували у межах зазначеного напрямку досліджень цілу низку показників, які характеризують трофічні зв'язки:

- питома кількість зв'язків — $PK_{\text{зв}}$,
- відсоток трофокласів виключно з вихідними зв'язками — $ZB_{\text{вих}}$,
- відсоток трофокласів виключно з вхідними зв'язками — $ZB_{\text{вхід}}$,
- відсоток трофокласів зі змішаними зв'язками — $ZB_{\text{змш}}$.

За Ю. Одумом, функціональна складність (складність зв'язків) підвищує стійкість системи, оскільки збільшується потенційно можлива кількість петель зворотного зв'язку [6]. Виходячи з цього, введемо у наші дослідження індекс функціонального різноманіття трофічної мережі, тобто різноманіття зв'язків — $H_{\text{ф}}$.

R.E. Ulanowicz доводить, що в умовах стабільного оточення зменшується число надлишкових зв'язків у трофічній мережі [7]. Натомість Ю.Г. Пузаченко вважає, що стійкість екосистеми може забезпечуватися надлишковістю компонентів, а всі ланки трофічної піраміди, яка складається з хижака та його жертв, зберігаються завдяки дублюванню каналів зв'язків (зв'язки хижака зі своїми жертвами є такими каналами, які здатні за необхідністю замінити одне одного) [5]. Може здатися, що між думками R.E. Ulanowicz та Ю.Г. Пузаченко існує протиріччя. Проте воно зникає, якщо застосувати їхню методику до екосистем із резистентною та пружною стійкістю. Якщо екосистема знаходиться в стабільних умовах, то у неї формується резистентна стійкість (стабільність) і як наслідок — в її трофічній мережі зменшується число надлишкових зв'язків (ситуація, яку описує R.E. Ulanowicz). Якщо ж екосистема перебуває у змінних умовах, то одним із механізмів підтримання її стійкості є наявність надлишкових зв'язків, проте ця стійкість має вже іншу природу та відноситься до пружної стійкості (ситуація, яку описує Ю.Г. Пузаченко). Для оцінки надлишкових зв'язків був введений показник кількості надлишкових зв'язків ($K_{\text{нзв}}$), який пропонуємо оцінювати як різницю між кількістю зв'язків у трофічній мережі та кількістю трофокласів мінус одиниця. При цьому ми керуємося постулатом про те, що між двома трофокласами (кулями) — найменша кількість зв'язків — одиниця, тобто на один менше ніж куль. Якщо в екосистемі кожна куля має лише один зв'язок, то має справджуватися зазначений постулат.

Проте, на нашу думку, характеристика будь-якої екосистеми була б неповною, якщо б оцінка зв'язків проводилась без оцінки елементів, між яки-

ми існують ці зв'язки. Ось чому, крім H_{ϕ} , було використано такий оціночний показник як індекс структурного різноманіття трофічних мереж (H_c), який розраховуватимемо за розподілом трофоелементів у трофокласах. А паралельно з оцінкою показника $PK_{зв}$ проведемо визначення питомої кількості трофічних елементів ($PK_{тр.ел.}$).

На думку А.Д. Арманд, причиною вразливості угруповань є складність біотичних взаємовідносин [8, 9]. Він ставить під сумнів гіпотезу про те, що стабільність угруповань — це результат наявності в них великого числа екологічних ніш та взаємно адаптованих видів. Також, на думку автора, уявлення про те, що складність веде до стабільності, досить зручне для екологічного моделювання, однак невірне. За А.Д. Арманд, складність взаємовідносин є причиною уразливості угруповання. Як яскравий приклад такого прояву він наводить ефект антропогенного впливу на зрілі, складні за структурою угруповання, наприклад, дощові тропічні ліси чи коралові рифи. Складні угруповання виявляються більш вразливими в умовах, коли їх середовище різко змінюється [8]. Водночас В.М. Кавецький та ін., посилаючись на дані багатьох авторів, звертають увагу на відсутність прямих і постійних зв'язків між складністю та стійкістю [10].

Не зважаючи на протиріччя під час оцінки зв'язку між складністю угруповань та стійкістю, для аналізу було застосовано такий показник як індекс структурно-функціональної складності трофічної мережі — $H_{сф}$. При його розробці ми виходили з визначення поняття складності біоценозу, запропонованого І.І. Дедю: складність біоценозу — це показник структурності біоценозу, що визначається числом його компонентів та зв'язками між ними [11, 12]. У диверсикології широкою популярністю користується індекс складності угруповань І.Г. Емельянова, який інтегрує видове та таксономічне різноманіття [13–15]. За аналогією ми розраховували $H_{сф}$ як корінь квадратний з добутку структурного та функціонального різноманіття: $(H_{\phi} \times H_c)^{1/2}$. Отже, за А.Д. Арманд, під час стабілізації умов слід очікувати, що напрямок зміни цього показника набуває вигляду $H_{сф} \uparrow$, а за змінних умов — $H_{сф} \downarrow$ [8]. Спираючись на дослідження інших авторів можна зробити висновок, що між цими показниками взагалі немає зв'язку.

Деякі автори звертають увагу на такий показник екосистем як зв'язаність між елементами системи. Є дані, що в мінливих умовах зв'язаність (ступінь впливу змін одного елементу на другий) між видами нижча ніж у постійних [16, 17]. Ю.Г. Пузаченко також доводить, що у випадку пасторальної екосистеми витоштування та випас зумовлюють послаблення міжвидових зв'язків [5]. Керуючись цією інформацією, ми використовуємо для визначення характеру стійкості екосистем показник відносної зв'язаності ($П_{вз}$) трофічної мережі М. Гарднера та В. Ешбі [19]. Виходячи з викладених вище міркувань, можна передбачити такі напрями зміни зазначеного показника: за умов резистентної стійкості — $П_{вз} \uparrow$, а за умов пружної — $П_{вз} \downarrow$.

Отож запропоновано 13 показників трофічних мереж для оцінки стійкості пасторальних екосистем (табл. 1).

Результати оцінки формалізованих трофічних мереж 31-ї дослідженої нами пасторальної екосистеми в межах Чернівецької області за даними показниками наведені в табл. 2.

Таблиця 1. Показники трофічних мереж для оцінки стійкості пасторальних екосистем

№	Символічне позначення	Повна назва показника та його розрахунок
1	$K_{зв}$	Кількість зв'язків у трофічній мережі — це загальна кількість усіх зв'язків між трофічними класами в трофічній мережі
2	$PK_{зв}$	Питома кількість зв'язків (кількість зв'язків/кількість трофокласів) ($K_{зв}/K_{кл}$)
3	$K_{нзв}$	Кількість надлишкових зв'язків (кількість зв'язків — (кількість трофокласів — 1))
4	$PK_{тр.ел.}$	Питома кількість трофічних елементів (кількість трофоелементів/кількість трофокласів)
5	$K_{кл}$	Кількість трофокласів у трофічній мережі (Eta в програмі UCINET 6.164 [18], що використовується для побудови рольових трофічних мереж методами рольового мережевого аналізу)
6	P_i	Показник ієрархічності трофічних мереж (кількість трофокласів*100 % / кількість трофоелементів)
7	$ЗВ_{вих}$	Відсоток трофокласів виключно з вихідними зв'язками (кількість зв'язків, які є виключно вихідними в трофічній мережі *100 % / $K_{кл}$)
8	$ЗВ_{вх}$	Відсоток трофокласів виключно з вхідними зв'язками (кількість зв'язків, які є виключно вхідними в трофічній мережі *100 % / $K_{кл}$)
9	$ЗВ_{зміш}$	Відсоток трофокласів зі змішаними зв'язками ($(K_{кл} - \text{кількість класів виключно із вхідними зв'язками} - \text{кількість класів виключно із вихідними}) * 100 \% / K_{кл}$)
10	H_c	Індекс структурного різноманіття трофічної мережі — різноманіття трофоелементів щодо трофокласів (визначається за формулою Шеннона: $H = -\sum_1^S P_i \log_2 P_i$ або $H = -\sum_1^i \frac{n_i}{N_i} \log_2 \frac{n_i}{N_i}$, де n_i — кількість трофоелементів i -го трофокласу; N — загальна кількість усіх трофоелементів)
11	H_ϕ	Індекс функціонального різноманіття трофічної мережі визначається за формулою Шеннона: $H = -\sum_1^S P_i \log_2 P_i$ або $H = -\sum_1^i \frac{n_i}{N_i} \log_2 \frac{n_i}{N_i}$, де n_i — кількість зв'язків i -го трофокласу з іншими трофокласами, як у ролі хижака, так і в ролі жертви; N — загальна кількість усіх зв'язків у трофічній сітці)
12	$H_{сф}$	Індекс структурно-функціональної складності трофічної мережі: $(H_\phi \times H_c)^{1/2}$
№	Символічне позначення	Повна назва показника та його розрахунок
13	$P_{вз}$	Показник відносної зв'язаності трофічної мережі

	$S(C) = \frac{s(\tilde{N})}{n(n-1)} * 100\% , \text{ де } s(\tilde{N}) \text{ — число відмінних від нуля}$ <p>недіагональних елементів структурної матриці C; n — загальна кількість недіагональних елементів [19]</p>
--	--

Таблиця 2. Оціночні показники трофічних мереж пасторальних екосистем Чернівецької області

Місце знаходження пасторальної екосистеми (назва села)	Показники трофічної мережі												
	$K_{кл}$	P_i	$K_{зв}$	H_c	H_{ϕ}	$H_{\phi\phi}$	$3B_{вих}$	$3B_{вх}$	$3B_{зміш}$	$P_{вз}$	$PK_{зв}$	$K_{пзв}$	$PK_{тр.ел.}$
Вікно	25	28	66	2,64	4,64	3,50	24	8	68	11,0	2,64	42	3,6
Кострижівка	17	40	31	2,49	3,9	3,12	24	12	65	11,4	1,82	15	2,53
Лужани	14	20	23	1,77	3,57	2,51	29	14	57	12,6	1,64	10	5
Поляна	14	18	22	1,76	3,57	2,51	29	14	57	12,1	1,57	9	5,71
Чорнівка	12	17	22	1,44	3,31	2,18	17	17	67	16,7	1,83	11	5,83
Зелена	24	36	55	2,58	4,6	3,44	17	17	67	10,0	2,29	32	2,79
Вовчинець	21	32	45	2,21	4,11	3,01	19	19	62	10,7	2,14	47	2,48
Ставчани	27	40	73	2,77	4,72	3,62	19	11	70	10,4	2,70	25	3,14
Грушівці	1	1	0	4,43	0	0	0	0	0	0	0	0	84
Михалкове	28	40	72	2,72	4,77	3,60	21	11	68	9,5	2,57	45	2,5
Магала	1	1	0	4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	70
Зарожани	19	30	36	2,39	4,19	3,16	26	5	68	10,5	1,89	18	3,32
Тернавка	1	1	0	4,34	0	0	0	0	0	0	0	0	77
Горбово	16	12	36	1,26	3,76	2,18	19	13	69	15,0	2,25	21	8,56
Валя Кузьміна	1	1	0	4,68	0	0	0	0	0	0	0	0	108
Михальча	28	33	73	2,55	4,77	3,49	18	11	71	9,7	2,61	46	3,07
Червона-Діброва	16	15	30	1,96	3,61	2,66	31	6	63	12,5	1,88	15	6,5
Дубово	26	35	60	2,52	4,63	3,42	15	15	69	9,2	2,31	35	2,85
Костинці	18	18	35	1,89	3,98	2,74	22	11	67	11,4	1,94	18	5,5
Брусниця	14	16	30	1,63	3,71	2,46	21	14	64	16,5	2,14	17	6,36
Черешенька	29	36	69	2,71	4,87	3,63	14	10	76	8,5	2,38	41	2,79
Банилів Підгірний	17	22	36	1,88	3,86	2,69	24	0	76	13,2	2,12	20	4,47
Красноільськ	17	26	32	1,93	3,98	2,77	24	18	59	11,8	1,88	16	3,88
Старий Вовчинець	22	24	48	2,24	4,4	3,14	23	14	64	10,4	2,18	27	4,23
Стебник	1	2	0	3,91	0	0	0	0	0	0	0	0	50
Лопушна	19	18	39	2,21	4,11	3,01	21	5	74	11,4	2,05	21	5,47
Долішній Шепіт	14	12	27	0,87	3,52	1,75	14	14	71	14,8	1,93	14	8,07
Усть-Путила	17	20	31	1,65	3,93	2,55	18	18	65	11,4	1,82	15	4,94
Селятин	25	24	57	2,29	4,63	3,26	24	12	64	9,5	2,28	33	4,2
Шепіт	14	18	23	1,97	3,57	2,65	29	14	57	12,6	1,64	10	5,5
Перкалаб	12	13	22	0,99	3,26	1,80	25	25	50	16,7	1,83	11	8

Одержана база даних застосовується для пошуку кореляційних зв'язків між показниками трофічних мереж з обов'язковим визначенням їх достовірності (табл. 3). При одержанні матриці кореляційних зв'язків між оціночними показниками трофічних мереж виникло питання про те, чому достовірний кореляційний зв'язок (позначено *) між показниками $H_{\phi\phi}$ та H_c

виявився зворотнім, не зважаючи на те, що показник $H_{сф}$ інтегрує значення H_c та $H_{ф}$. Ми дійшли висновку, що під час визначення показника структурно-функціонального різноманіття трофічних мереж пасторальних екосистем Чернівецької області інтегрований у ньому показник $H_{ф}$ порівняно з H_c найбільше впливає на отримані значення. Як видно з кореляційної матриці показники H_c та $H_{ф}$ було виявлено між собою достовірний зворотний зв'язок ($-0,7$).

Таблиця 3. Коефіцієнти кореляції між оціночними показниками трофічних мереж пасторальних екосистем у межах Чернівецької області

Показники	P_1	$K_{зв}$	H_c	$H_{ф}$	$H_{сф}$	$ЗВ_{вих}$	$ЗВ_{вх}$	$ЗВ_{зміш}$	$P_{вз}$	$ПК_{зв}$	$K_{нзв}$	$ПК_{тр.ел.}$
$K_{кл}$	0,9*	0,98*	-0,5*	0,94*	0,96*	0,58*	0,46*	0,80*	0,52*	0,94*	0,94*	-0,81*
P_1		0,87*	-0,32	0,85*	0,91*	0,58*	0,45*	0,67*	0,42*	0,81*	0,84*	-0,73*
$K_{зв}$			-0,32	0,86*	0,89*	0,47*	0,37*	0,70*	0,40*	0,89*	0,99*	-0,7*
H_c				-0,7*	-0,6*	-0,60*	-0,7*	-0,80*	-0,9*	-0,70*	-0,2	0,83*
$H_{ф}$					0,98*	0,72*	0,60*	0,91*	0,76*	0,98*	0,8*	-0,93*
$H_{сф}$						0,72*	0,51*	0,87*	0,66*	0,95*	0,83*	-0,89*
$ЗВ_{вих}$							0,60*	0,53*	0,66*	0,66*	0,4*	-0,73*
$ЗВ_{вх}$								0,46*	0,69*	0,58*	0,31	-0,64*
$ЗВ_{зміш}$									0,84*	0,91*	0,63*	-0,9*
$P_{вз}$										0,77*	0,33	-0,85*
$ПК_{зв}$											0,84*	-0,91*
$K_{нзв}$												-0,62*

Під час цих досліджень було виявлено цікаву закономірність: показники $ПК_{тр.ел.}$ та H_c виявили зворотну залежність від усіх інших показників трофічних мереж досліджених пасторальних екосистем.

Оскільки факт зростання значення показників $K_{кл}$, $K_{зв}$, P_1 за умов підвищення стійкості екологічних систем є беззаперечним [4], то всі показники, які виявляли високий рівень прямої кореляції за даними показниками також поповнюють когорту показників, спрямованих на стійкість екосистеми. При цьому характер стійкості екосистем визначали за співвідношенням показників $P_{вз}$ та $K_{нзв}$. Як видно з кореляційної матриці (табл. 3), лише показники $ПК_{тр.ел.}$ та H_c виявляють зворотній зв'язок із показниками беззаперечно спрямованими та стійкість. Отже, два останніх показника віднесено до таких, які засвідчують нестійкість екосистем.

У табл. 4 подано усереднені рейтинги для пасторальних екосистем Чернівецької області за показниками $K_{кл}$, P_1 , $K_{зв}$, $H_{ф}$, $H_{сф}$, $ЗВ_{вих}$, $ЗВ_{вх}$, $ЗВ_{зміш}$, $ПК_{зв}$, які визначають стійкість екосистем та за показниками $ПК_{тр.ел.}$ і H_c , які засвідчують нестабільність екосистем, а також окремі рейтинги за показни-

ками, які розкривають характер стійкості екосистем (резистентна чи пружна стійкість) — $P_{вз}$ та $K_{нзв}$. Рейтинг показника визначають за формулою $x - \min/\max - \min$, де x — значення показника для трофічної мережі досліджуваної екосистеми, \min — мінімальне значення показника, \max — максимальне значення показника.

Таблиця 4. Оцінка рівня та характеру стійкості пасторальних екосистем Чернівецької області за рейтингом досліджених показників трофічних мереж

Місце розміщення пасторальної екосистеми (назва села)	Усереднене значення рейтингів ($K_{кл}$, P_i , $K_{зв}$, $H_{ф}$, $H_{сф}$, $ЗВ_{вих}$, $ЗВ_{вх}$, $ЗВ_{змш}$, $ПК_{зв}$)	Рейтинг за $P_{вз}$	Рейтинг за $K_{нзв}$	Рейтинг за $ПК_{тр.ел.}$ та H_c	Рівень і характер стійкості екосистеми
Грушівці	0	0	0	0,84	Нестійка
Магала	0	0	0	0,77	
Тернавка	0	0	0	0,8	
Валя Кузьміна	0	0	0	1	
Стебник	0	0	0	0,63	
Долішній Шепіт	0,57	0,9	0,3	0,03	Резистентно-стійка (стабільна)
Чорнівка	0,58	1	0,23	0,07	
Червона Діброва	0,6	0,7	0,32	0,17	
Перкалаб	0,6	1	0,23	0,03	
Поляна	0,61	0,7	0,19	0,12	
Горбово	0,61	0,9	0,45	0,08	
Шепіт	0,61	0,8	0,21	0,16	
Лужани	0,62	0,8	0,21	0,11	
Брусниця	0,63	1	0,36	0,12	
Банилів-Підгірний	0,63	0,8	0,43	0,16	
Костинці	0,64	0,7	0,38	0,16	
Лопушна	0,64	0,7	0,45	0,21	
Усть-Путила	0,66	0,7	0,32	0,11	
Зарожани	0,69	0,61	0,38	0,2	
Красноільск	0,69	0,7	0,34	0,16	
Кострижівка	0,73	0,7	0,32	0,2	
Вовчинець	0,74	0,6	1	0,2	Пружно-стійка
Вікно	0,83	0,7	0,89	0,26	
Черешенька	0,84	0,5	0,87	0,25	
Михальча	0,86	0,6	0,98	0,2	
Михалкове	0,89	0,6	0,96	0,25	
Старий Вовчинець	0,76	0,6	0,57	0,21	Стійка без визначеного характеру стійкості
Селятин	0,79	0,6	0,70	0,21	
Зелена	0,8	0,6	0,68	0,2	
Дубово	0,82	0,6	0,74	0,2	
Ставчани	0,87	0,6	0,53	0,25	

Рівень рейтингів оціночних показників трофічних мереж досліджуваних пасторальних екосистем оцінювався за шкалою рейтингової оцінки А.І. Горової (табл. 5).

Якщо усереднений рейтинг за показниками, які позитивно впливають на стійкість екосистем ($K_{кл}$, P_i , $K_{зв}$, H_f , $H_{сф}$, $ЗВ_{вих}$, $ЗВ_{вх}$, $ЗВ_{зміш}$, $ПК_{зв}$) — вищий за середній, високий або максимальний, а за показниками, які засвідчують нестабільність екосистеми ($ПК_{тр.ел.}$ та H_c) — низький, або нижчий за середній, то вважають, що ця пасторальна екосистема є стійкою.

Таблиця 5. Рівні рейтингової оцінки за шкалою А.І. Горової [20]

№	Показник рейтингу	Рівень рейтингу
1	0 – 0,15	Низький
2	0,16 – 0,3	Нижче середнього
3	0,31 – 0,45	Середній
4	0,46 – 0,6	Вище середнього
5	0,61 – 0,75	Високий
6	0,76 – 1	Максимальний

Для визначення характеру стійкості таких пасторальних екосистем звертали увагу на співвідношення рейтингів таких показників як $P_{вз}$ та $K_{нзв}$. При суттєвому переважанні рейтингу за $P_{вз}$ над рейтингом за $K_{нзв}$ стійкість оцінювали як резистентну, тобто стабільну. При суттєвому переважанні рейтингу за $K_{нзв}$ над рейтингом за $P_{вз}$ — пружною. За відсутності суттєвої різниці між рейтингами за цими двома показниками, стійкість екосистеми оцінювали як таку, що немає визначеного характеру стійкості. Нестійкими вважали пасторальні екосистеми, для яких було встановлено високі або максимальні значення усередненого рейтингу за показниками $ПК_{тр.ел.}$ та H_c .

За урахування викладених вище міркувань було проаналізовано 31-у досліджену пасторальну екосистему (табл. 4). За результатами досліджень в межах Чернівецької області виявлено 4 нестійких пасторальних екосистеми (у межах с. Грушівці, с. Магала, с. Тернавка, с. Валя Кузьміна, с. Стебник), трофічні мережі яких мають низький рейтинг за показниками, що забезпечують стійкість екосистем та високий рейтинг, або максимальний рейтинг за показниками H_c та $ПК_{тр.ел.}$, що віддзеркалюють нестійкість екосистем. П'ятьом пасторальним екосистемам притаманна пружна стійкість (у межах с. Вовчинець, с. Вікно, с. Черешенька, с. Михальча, с. Михалкове). Трофічні мережі цих пасторальних екосистем мають високі та максимальні значення усередненого рейтингу за показниками, спрямованими на підтримання стійкості екосистем, та характеризуються значним переваженням рейтингу за $K_{нзв}$ над рейтингом за $P_{вз}$. Шістнадцять пасторальних екосистем Чернівецької області (у межах с. Долішній Шепіт, с. Чорнівка, с. Червона Діброва, с. Перкалаб, с. Поляна, с. Горбово, с. Шепіт, с. Лужани, с. Брусниця, с. Банилів-Підгірний, с. Костинці, с. Лопушна, с. Усть-Путила, с. Зарожани, с. Красноільск, с. Кострижівка) було віднесено до стабільних (резистентно стійких), оскільки для трофічних мереж даних пасторальних екосистем встановлено суттєве переважання рейтингу за $P_{вз}$ над рейтингом за $K_{нзв}$ на

ті вищого за середній, високого або максимального значення усередненого рейтингу за показниками, які позитивно впливають на стійкість екосистем.

П'ять із тридцяти однієї дослідженої нами пасторальної екосистеми Чернівецької області є стійкими без визначеного характеру стійкості (у межах с. Старий Вовчинець, с. Селятин, с. Зелена, с. Дубово, с. Ставчани). Трофічні мережі цих екосистем мають високі або максимальні значення усередненого рейтингу за показниками, спрямованими на стійкість, та приблизно однаковий рейтинг за показниками $P_{вз}$ та $K_{нзв}$.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологію оцінки стійкості пасторальних екосистем за оціночними показниками рольових трофічних мереж. При цьому до стійких пропонується віднести екологічні системи, які мають вищий за середній, високий або максимальний усереднений рейтинг за комплексом показників, що засвідчують стійкість ($K_{кл}$, P_i , $K_{зв}$, $H_{ф}$, $H_{сф}$, $ЗВ_{вих}$, $ЗВ_{вх}$, $ЗВ_{зміш}$, $ПК_{зв}$) та низький або нижчий за середній усереднений рейтинг за комплексом показників, які віддзеркалюють нестійкість ($ПК_{тр.ел.}$ та H_c). Обґрунтовано віднесення до екосистем нестійкого типу пасовищ, для яких встановлено високі або максимальні значення показників $ПК_{тр.ел.}$ та H_c .

2. Характер стійкості пасторальних екосистем пропонується визначати за співвідношенням рейтингів таких показників, як $P_{вз}$ та $K_{нзв}$. При суттєвому переважанні рейтингу за $P_{вз}$ над рейтингом за $K_{нзв}$ стійкість оцінюється як резистентна (стабільна). При суттєвому переважанні рейтингу за $K_{нзв}$ над рейтингом за $P_{вз}$ стійкість оцінюється як пружна. За відсутності суттєвої різниці між рейтингами за цими двома показниками стійкість екосистеми оцінюється як така, що не має визначеного характеру.

3. На основі розроблених оціночних показників трофічних мереж серед 31-ї дослідженої пасторальної екосистеми Чернівецької області виявлено 5 нестійких пасторальних екосистем, 5 — з пружною стійкістю, 16 — стабільних пасторальних екосистем (з резистентною стійкістю) та 5 — стійких пасторальних екосистем без визначеного характеру стійкості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Руденко С.С. Застосування рольового мережевого аналізу для побудови та оцінки трофічних мереж пасторальних екосистем // Вісн. проблем біології та медицини. — 2008. — Вип. 1. — С. 78–87.
2. Руденко С.С. Застосування мережевого рольового аналізу для побудови та оцінки трофічних мереж пасторальних екосистем // Доп. Нац. академії наук України. — 2008. — № 11. — С. 192–196.
3. Руденко С.С. Біомоніторинг пасторальних екосистем крізь призму дослідження трофічних мереж // Наук. вісн. Чернівецького нац. ун-ту: зб. наук. праць. — Сер. Біологія. — 2008. — Вип. 416. — С. 203–207.
4. Johnson J.C. Network Role Analysis in the Study of Food Webs. An Application of Regular Role Coloration // Journal of Social Structure. — 2001. — № 3. — <http://www.cmu.edu/joss/content/articles/volume2/JohnsonBorgatti.html>.

5. Пузаченко Ю.Г. Экосистемы в критических состояниях. — М.: Наука, 1989. — 155 с.
6. Одум Ю. Экология. — М.: Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с.
7. Ulanowicz R.E. Ecology: The Ascendant Perspective. — NY: Columbia University Press, 1997. — 201 p.
8. Арманд А.Д. Механизмы устойчивости геосистем. — М.: Наука, 1992. — 208 с.
9. Арманд А.Д. «Сильные» и «слабые» системы в географии и экологии // Устойчивость геосистем. — М.: Наука, 1983. — С. 50–61.
10. Кавецький В.М. Стратегія стійкого розвитку чи концепція внутрішньої динамічної рівноваги // Современные проблемы токсикологии. — 2004. — № 4. — С. 24–28.
11. Ямборко Н.А. Стійкість мікробних угруповань ґрунту до генотоксичного впливу деяких пестицидів: автореф. дис. ... доктора біол. наук / Ін-т мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. — 2005. — 22 с.
12. Гиляров А.М. Мнимые и действительные проблемы биоразнообразия // Успехи современной биологии. — 1996. — Т. 116. — № 4. — С. 493–506.
13. Емельянов И.Г. Разнообразие и его роль в функциональной устойчивости и эволюции экосистем. — Киев: МСУ, 1999. — 168 с.
14. Руденко С.С. Порівняльно-екологічне дослідження рослинності двох екстремальних біотопів Українських (Марамурешських) Карпат / С.С. Руденко, В.І. Чотик, С.С. Костишин, М.М. Марченко // Доп. НАН України. — 2002. — № 7. — С. 198–205.
15. Загороднюк И.В. Оценка таксономического разнообразия фаунистических комплексов / И.В. Загороднюк, И.Г. Емельянов, В.Н. Хоменко // Доп. НАН України. — 1995. — № 7. — С. 145–148.
16. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология: особи, популяции, сообщества / Пер. с англ. В.В. Белова, А.Г. Пельмского, под ред. А.М. Гилярова. — М.: Мир, 1989. — Том 2. — 480 с.
17. Коган А.Б., Наумов Н.П., Режабек Б.Г. и др. Биологическая кибернетика. — М.: Высш. шк., 1977. — 408 с.
18. Borgatti S.P., Everet M.G., Freeman L.C. The program Ucinet 6 for Windows runs on Windows 95/98/NT/2000/XP platforms with a minimum of 8mb of RAM: Software for Social Network Analysis. — Harvard: Analytic Technologies, 2002. — <http://www.analytictech.com/>.
19. Экологический энциклопедический словарь / Сост.: И.И. Дедю. — Кишинев: Молд. Сов. Энцикл., 1989. — 408 с.
20. Про затвердження методичних рекомендацій «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів»: наказ [прийнято Міністерством охорони здоров'я України 13 бер. 2007 р.] // ВВР. — 2007. — № 116. — 36 с.

Надійшла 26.03.2009