

УДК 574.587(28)

М. В. Мацюра

**ВИДОВЕ РІЗНОМАНІТТЯ ТА СТІЙКІСТЬ УГРУПОВАНЬ ПТАХІВ***Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького*

При порівнянні запропонованих нами показників стійкості статистично достовірні кореляційні залежності визначені для показників стійкості за роками та стандартного відхилення логарифма чисельності. Індекс стійкості за роками може бути із високою статистичною достовірністю застосований як характеристика усередненої структури угруповання та його піраміди чисельності. Результати кореляційного аналізу підтверджують наші припущення про зв'язок стійкості за роками з індексами видового різноманіття та відносної вирівняності.

Кінцевим результатом дослідження було створення математичної моделі стійкості, де незалежними змінними виступають індекси видового різноманіття; визначення цих індексів для даного угруповання робить можливим прогнозування його стійкості. За наслідками множинної регресії впливу показників різноманіття на стійкість гніздових комплексів найбільшими коефіцієнтами кореляції характеризуються значення індексу Шеннона та домінування Сімпсона.

*Ключові слова: стійкість, угруповання птахів, індекс видового різноманіття*

М. В. Мацюра

**ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ СООБЩЕСТВ ПТИЦ***Мелітопольский государственный педагогический университет имени Богдана Хмельницкого*

При сравнении предложенных нами показателей устойчивости получены статистически значимые корреляционные зависимости для показателей устойчивости по годам и стандартного отклонения логарифма численности. Индекс устойчивости по годам может быть применен с высокой степенью достоверности как характеристика усредненной структуры сообщества и его пирамиды численностей. Результаты корреляционного анализа подтверждают наши предположения о связи устойчивости по годам с индексами видового разнообразия и относительной выравненности.

Конечным результатом исследования было создание математической модели устойчивости, где независимыми переменными выступают индексы видового разнообразия; определение таких индексов для сообщества позволяет выполнить прогнозирование его устойчивости. По результатам множественной регрессии показателей разнообразия и устойчивости гнездовых комплексов птиц наивысшими коэффициентами корреляции характеризуются значения индекса Шеннона и доминирования Симпсона.

*Ключевые слова: устойчивость, сообщество птиц, индекс видового разнообразия*

M.V. Matsyura

**SPECIES DIVERSITY AND STABILITY OF BIRD COMMUNITIES***Bogdan Chmelnskiy Melitopol State Pedagogical University*

When comparing the suggested stability indicators, we obtained statistically significant correlations for indicators of annual stability of species and total number and standard deviation of the logarithm of the number. Annual Stability Index can be applied with a high degree of reliability as a characteristic of the averaged structure of the community and its pyramid of abundances. The results of correlation analysis confirm our assumptions about the correlation between stability over the years and indices of species diversity and relative uniformity.



The final task of the study was to create a mathematical model of stability, where the independent variables are the indices of species diversity. The calculation of these indices allows forecasting birds' community stability. According to the result of multiple regression for the indicators of diversity and stability of the breeding birds' community highest correlation coefficients were obtained from Shannon index and Simpson's dominance Index.

Community stability could be determined by its overall species diversity. When considering the stability of community its diversity should be considered as a combination of uniformity of their total number and number of species. The most suitable predictors for the community stability were the nonparametric index of dominance and information-statistical indices, since they considered simultaneously evenness and richness. The community stability is subject of the complexity of its internal communications pattern.

*Key words: stability, bird community, biodiversity index*

Досить велика кількість екологічних робіт присвячена проблемі вивчення й визначення стійкості угруповання. Прийнято вважати, що основою стабільності екосистем є біологічне різноманіття. У багатьох серйозних дослідженнях можна знайти підтвердження про певну залежність різноманіття і стійкості угруповань (Алещенко, Букварева, 1991, 1994; Климов, 1994). Визначення стійкості угруповання як однієї із властивостей, що піддаються вимірюванню впродовж певного проміжку часу, і що є однією із складових структури видового різноманіття, необхідно для з'ясування механізмів, що визначають стабільність угруповання та його опірність чинникам середовища. Це також необхідно для розробки заходів щодо управління та охорони угруповань.

Флуктуації, що відбуваються в угрупованні, визначаються трьома складовими: постійністю і передбаченістю середовища; структурною стійкістю самого угруповання; постійністю його функцій, які обумовлені харчовими й конкурентними взаємозв'язками популяцій у межах угруповання. Основними недоліками існуючих методів визначення стійкості, на нашу думку, є обмеження можливості застосування деяких із них тільки на рівні популяції і певна складність застосування та інтерпретації отриманих результатів, що вимагає від еколога серйозних знань математичної статистики.

#### **МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Пропонований нами підхід заснований на вимірюванні стійкості як постійності структури, яка враховує зміни різноманіття та динаміки видів, що складають угруповання. Для аналізу були використані ряди динаміки, зібрані нами протягом шести років (1993-1998 рр.) на моніторингових ділянках - островах Центрального, Східного і Західного Сивашу, островах Обиточної затоки та Молочного лиману (Мацюра, 2003). Для аналізу були взяті навколородні види птахів, що колоніально гніздяться. В аналізі були також використані дані за період 2000-2003 рр. – результати обліку чисельності зимуючих навколородних птахів у долині Хула, поблизу місця Кфар-Рупін і дані чисельності гніздового комплексу горобцеподібних птахів у Ботанічному саду м. Ієрусалима (Ізраїль). Така різноманітність даних дозволяє, на наш погляд, підвищити статистичну достовірність отриманих результатів.

Як індекс відносної стабільності угруповання для проведення порівняльного аналізу нами було використане стандартне відхилення логарифма загальної чисельності. Для оцінки стійкості нами застосовувалася оригінальна методика на основі двофакторного дисперсійного аналізу зміни чисельності в межах одного року

(розкид чисельності за видами) і в межах усього часового періоду проведення спостережень (розкид чисельності за роками).

Оцінка стійкості як відносної величини, що характеризує зміну чисельності окремих видів і всього угруповання в цілому, припускає первинне подання даних щодо будь-якого угруповання у вигляді матриці, що містить числові характеристики великої кількості всіх видів (в абсолютних значеннях, або в десяткових логарифмах) за ті моменти часу, в перебігу яких проводилася оцінка чисельності. Таким чином, ми одержуємо матрицю  $m \times n$ , де  $m$  - число рядків, що відповідає кількості видів, а  $n$  - число стовпців, що відповідає кількості років.

Наступним кроком є проведення двофакторного дисперсійного аналізу. У кожному рядку й кожному стовпці розраховуються середнє значення та дисперсія. Дисперсія всередині рядка – це подання зміни чисельності виду за різні роки у вигляді розкиду значень навколо середнього. Дисперсія між рядками відображає усереднену структуру угруповання та його піраміду чисельностей. Одержане число є математичним відображенням розмаху флуктуацій усіх видів, що складають угруповання, і величиною, що характеризує відносну стабільність як властивість підтримувати постійне число гніздових пар.

Для проведення аналізу обчислювалося середнє значення чисельності виду, із якого вилучався десятковий логарифм; останнім етапом було обчислення стандартного відхилення для одержаних логарифмічних величин. Вибір абсолютних значень чисельності замість логарифмів пояснюється відсутністю даних у деяких випадках. Для максимальної точності пропущені дані бралися за нульові, які при використанні логарифмічного підходу не мають математичного сенсу. Даний прийом дозволив уникнути певних труднощів, пов'язаних із математичною обробкою отриманих результатів.

Для порівняння було розраховане стандартне відхилення логарифма загальної чисельності угруповання, яке також використовується як міра стійкості. Проте, на нашу думку, застосування його можливе тільки для оцінки стійкості орнітокомплексу як зміни його загальної чисельності, оскільки даний індекс не враховує процеси зміни в розподілі видів.

Був проведений аналіз видового різноманіття всіх досліджених угруповань. Як індекси видового різноманіття були використані: індекс видового багатства Маргалєфа (Margalef, 1969), індекс домінування Сімпсона (Simpson, 1949), інформаційний індекс Шеннона (Shannon, Weaver, 1949), індекс вирівняності Пієлу (Pielou, 1975), індекс Макінтоша (MacArthur, 1955), індекс Бергера-Паркера (Margalef, 1969).

З метою з'ясування залежностей між різними типами стійкості, а також між стійкістю та видовим різноманіттям нами був проведений статистичний аналіз. Першим кроком аналізу була перевірка на нормальність розподілу введених показників стійкості за допомогою тесту Колмогорова-Смирнова.

#### **РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

За результатами тесту всі величини характеризувалися нормальним розподілом, що дозволило застосувати кореляційний і регресійний аналіз для виявлення залежностей між ними та індексами різноманіття. Результати кореляційного тесту наведено в табл. 1.



Таблиця 1

Результати лінійного кореляційного аналізу показників стійкості та індексів видового різноманіття

Показники	Індекс Маргалефа	Індекс домінування	Індекс вирівняності	Індекс Бергера-Паркера
Стійкість за видами	0,54	-0,56	-0,57	0,58
Логарифм чисельності	-	-	-	0,52

Згідно з результатами тесту із застосуванням коефіцієнта Пірсона виявлені високі показники позитивної кореляції між показниками стійкості ( $r = 0,96$ ;  $p = 0,005$ ). Даний тест указує на існування лінійної залежності між змінними. Тому для перевірки існування нелінійного зв'язку ми застосували дослідження нелінійної кореляції за допомогою коефіцієнта «тау Кендала», а також використали множинний регресійний аналіз (табл. 2).

Таблиця 2

Результати нелінійного кореляційного аналізу показників стійкості та індексів видового різноманіття

Критерій	Індекс Маргалефа	Індекс Макінтоша	Індекс Сімпсона	Індекс Бергера-Паркера	Індекс Шеннона	Індекс Пілоу
Стійкість за роками	0,54	-	-0,45	0,61	-0,41	-0,41
Стійкість за видами	0,67	0,58	-	-	-	-
Логарифм чисельності	0,52	-	-0,52	0,63	-0,43	-0,47

Аналіз за допомогою мультиваріантного дизайну показав, що найбільш значущі предиктори для показників стійкості – індекси Маргалефа, Сімпсона і Бергера-Паркера (MANOVA, значення дорівнюють відповідно 0,33; 0,15; 0,30 при  $p < 0,1$ ). Множинний регресійний лінійний аналіз був виконаний для різних індексів стійкості, найбільший коефіцієнт регресії показника стійкості за роками одержаний для індексу Бергера-Паркера (рис. 1).

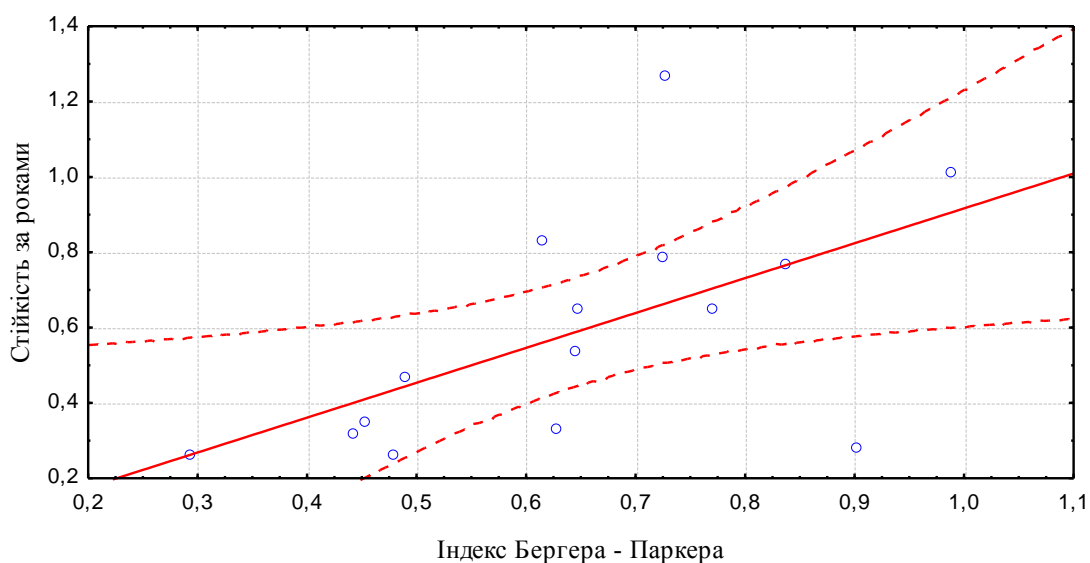


Рис. 1. Діаграма розсіяння показника стійкості за роками та індексу видового різноманіття Бергера-Паркера

Коефіцієнт детермінації дорівнює 0,33, коефіцієнт множинної кореляції становить 0,58, статистичний рівень значущості 0,02, рівняння регресії:  $y = -0,0092 + 0,9257x$ .

Найбільший коефіцієнт регресії для стійкості за видами був виявлений для індексу видового різноманіття Маргалефа (рис. 2).

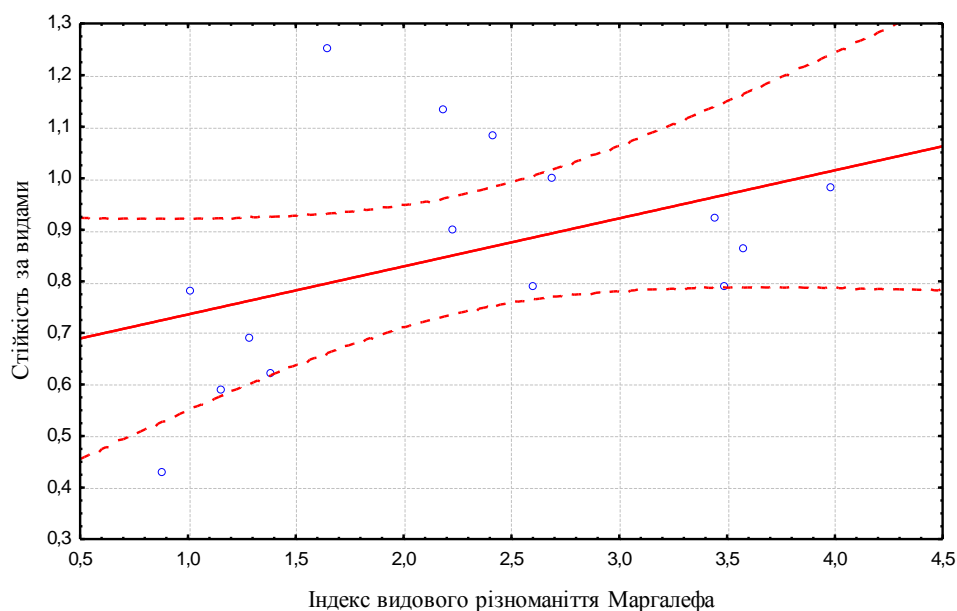


Рис. 2. Діаграма розсіяння показника стійкості за видами та індексу видового різноманіття Маргалефа

Коефіцієнт детермінації становить 0,20, коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,44, статистичний рівень значущості 0,1, рівняння регресії:  $y = 0,6426 + 0,0932x$ .

Проаналізувавши регресію відхилення логарифма чисельності, було встановлено, що найкращим предиктором для неї також є індекс видового різноманіття Бергера-Паркера (рис. 3).

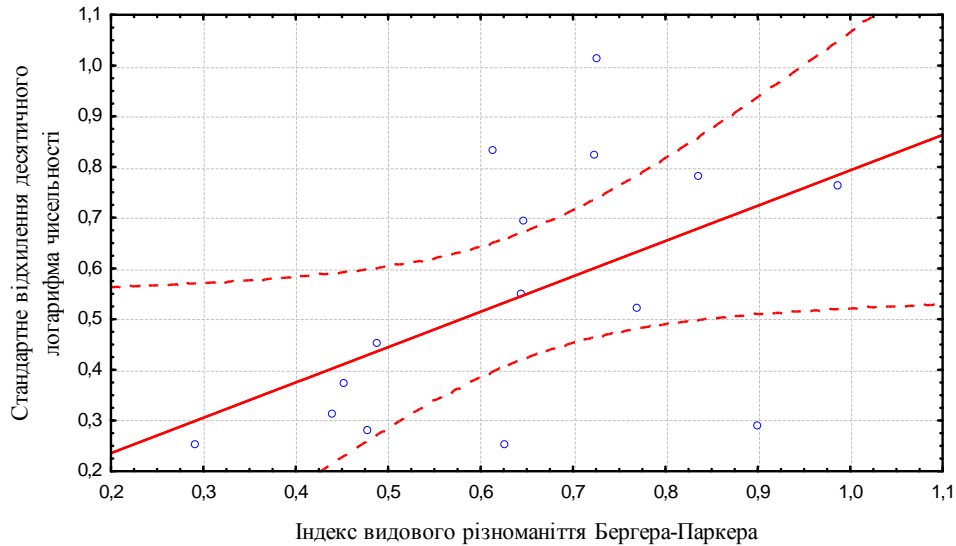


Рис. 3. Діаграма розсіяння відхилення логарифма чисельності та індекса видового різноманіття Бергера-Паркера.

Коефіцієнт детермінації становить 0,27, коефіцієнт множинної кореляції - 0,52, статистичний рівень значущості - 0,04, рівняння регресії:  $y = 0,0962 + 0,6973x$ .

За результатами аналізу найбільш достовірними показниками стійкості є індекс стійкості за роками та відхилення логарифма загальної чисельності угруповання, які характеризують кількісні зміни, що відбуваються в ньому. Індекс стійкості за видами, що визначає якісні зміни угруповання, характеризується меншою статистичною достовірністю, що, очевидно, пов'язано із характером просторового розподілу видів в угрупованні.

За нашими даними, у досліджуваних угрупованнях види розподілені відповідно до моделі «розламаного стрижня» Макартура, коли простір ніш поділений на випадкові ділянки, що не перекриваються. Такий розподіл характерний для угруповань з інтенсивною міжвидовою конкуренцією та територіальною поведінкою (Lundberg et al., 2000). При порівнянні запропонованих нами показників стійкості статистично достовірні кореляційні залежності визначені для показників стійкості за роками та стандартного відхилення логарифма чисельності. Таким чином, індекс стійкості за роками може бути із високою статистичною достовірністю застосований як характеристика усередненої структури угруповання та його піраміди чисельностей. Результати кореляційного аналізу підтверджують наші припущення про зв'язок стійкості за роками з індексами видового різноманіття та відносної вирівняності.

Кінцевим результатом дослідження стало створення математичної моделі стійкості, де незалежними змінними виступають індекси видового різноманіття; визначення цих індексів для даного угруповання робить можливим прогнозування його стійкості. За наслідками множинної регресії впливу показників різноманіття на стійкість гніздових комплексів найбільшими коефіцієнтами множинної кореляції характеризуються значення індексу Шеннона та домінування Сімпсона. Нижче наведені рівняння регресії для виконаного аналізу:

$$\text{Стійкість за роками} = 4,7021 - 17,449x - 1,4564y + 10,4637x^2 + 8,5651xy - 0,9062y^2 \quad (1).$$

$$\text{Стійкість за видами} = 1,4796 - 3,3069x - 0,0153y + 1,5716x^2 + 2,3803xy - 0,4576y^2, \quad (2).$$

$$\text{Відхилення логарифма} = 3,8189 - 14,6434x - 1,0567y + 8,8168x^2 + 7,4855xy - 0,8661y^2 \quad (3).$$

де  $x$  – індекс концентрації домінування;  $y$  – індекс Шеннона.

### ВИСНОВКИ

1. Стійкість угруповання може визначатися за його загальним видовим різноманіттям.
2. При розгляді стійкості угруповання його різноманіття повинне розглядатися як поєднання рівномірності розподілу видів стосовно їх кількості та загальної кількості видів.
3. При аналізі стійкості найкращими предикторами є значення непараметричних індексів домінування та інформаційно-статистичних індексів, оскільки вони враховують одночасно вирівняність і видове багатство.
4. Стійкість угруповань забезпечується складністю їх внутрішніх зв'язків і є їх внутрішньою властивістю.

### ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Алещенко Г. М.** Некоторые вопросы моделирования биологического разнообразия / Г. М. Алещенко, Е. Н. Букварева // *Успехи современной биологии*. – 1991. – Т. 3, № 6. – С. 803–811.
- Алещенко Г. М.** Вариант объединения моделей разнообразия в биосистемах популяционного и биоценологического уровней / Г. М. Алещенко, Е. Н. Букварева // *Журнал общей биологии*. – 1994. – 55, № 1. – С. 70–77.
- Алимов А. Ф.** Разнообразие, сложность, стабильность, выносливость экологических систем / А. Ф. Алимов // *Журнал общей биологии*. – 1994. – 55, № 3. – С. 285–302.
- Мацюра А. В.** Комплексная оценка динамики численности гнездящихся сообществ колониальных околородных птиц в условиях некоторых островов Сиваша, Северного Приазовья и Черного моря / А. В. Мацюра // *Питання біоіндикації та екології*. – Запоріжжя: ЗДУ, 2003. – Вип. 8, № 2. – С. 95–112.
- Lundberg P.** Population variability in space and time / P. Lundberg, E. Ranta, J. Ripa // *Trends Ecol. Evol.* – 2000. – Vol. 15. – P. 460–464.
- MacArthur R.H.** Fluctuations of animal populations, and measure of community stability / R. H. MacArthur // *Ecology*. – 1955. – Vol. 36. – P. 353–356.
- Margalef R.** Perspectives of ecological theory / R. Margalef. – Chicago; London: Univ. Chicago Press, 1969. – 111 p.
- Pielou E. C.** Ecological Diversity / E. C. Pielou. – New York: John Wiley, 1975. – P. 50–56.
- Shannon C. E.** The Mathematical Theory of Communication / C. E. Shannon, W. Weaver.



– Urbana: University of Illinois Press, 1949. – 117 p.

**Simpson E. H.** Measurement of Diversity / E. H. Simpson // Nature. – 1949. – Vol. 163. – P. 688.

#### REFERENCES

**Aleshchenko G.M.,** Bukvareva Ye.N. Some issues on biodiversity modeling // Advances of Modern Biology. – 1991. – Vol. 3. - 6. – P. 803–811. [in Russian]

**Aleshchenko G.M.,** Bukvareva Ye.N. Case of integration of the diversity models in biological systems of population and biocoenosis levels // Journal of General Biology. – 1994. – 55. - 1. – P. 70–77. [in Russian]

**Alimov A.F.** Diversity, complexity, stability, and resilience of ecosystems // Journal of General Biology. – 1994. – Vol. 55. - 3. – P. 285–302. [in Russian]

**Matsyura A.V.** Complex estimation of number dynamics of breeding birds' communities in some Sivash, Azov Sea, and Black Sea islands // Issues on bioindication and ecology. – Zaporizhia: ZSU, 2003. – Vol. 8. - 2. – P. 95–112. [in Russian]

**Lundberg P.,** Ranta E., Ripa J. Population variability in space and time // Trends Ecol. Evol. – 2000. – Vol. 15. – P. 460–464.

**MacArthur R.H.** Fluctuations of animal populations, and measure of community stability // Ecology. – 1955. – Vol. 36. – P. 353–356.

**Margalef R.** Perspectives of ecological theory. – Chicago; London: Univ. Chicago Press, 1969. – 111 p.

**Pielou E. C.** Ecological Diversity. – New York: John Wiley, 1975. – P. 50–56.

**Shannon C. E.,** Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. – Urbana: University of Illinois Press, 1949. – 117 p.

**Simpson E. H.** Measurement of Diversity // Nature. – 1949. – Vol. 163. – P. 688.

© М.В. Мацюра, 2011

© M.V. Matsyura, 2011

Надійшла до редколегії 16.09. 2011