

ISSN 2415-8526

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка
The Ministry of Education and Science of Ukraine
Sumy State Pedagogical University named after A. S Makarenko



ПРИРОДНИЧІ НАУКИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

PRIRODNIČÌ NAUKI
ZBÌRNIK NAUKOVIH PRAĆ

2021

Випуск 18

до 90-річчя заснування природничо-географічного факультету
Сумського державного педагогічного університету
імені А.С. Макаренка

Видається щорічно

Суми
СумДПУ імені А. С. Макаренка
2021

УДК 50(08)
П77

ПРИРОДНИЧІ НАУКИ

Prirōdničī nauki

Видання засноване у 1998 році

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації –
Серія КВ № 22342-12242 Р – видане 29.08.2016 р.*

*Друкується згідно з рішенням вченої ради Сумського державного педагогічного
університету імені А. С. Макаренка
(протокол №5 від 20.12.2021 р.)*

П77 Природничі науки : Збірник наукових праць / голов. ред. В. І. Шейко. –
Суми : Вид-во СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2021. – Випуск 18. – 138 с.

У виданні публікуються статті, які містять результати наукових досліджень з біології, екології, географії та хімії, а також з методики їх навчання та викладання. Для фахівців у галузі природничих наук, працівників державних і громадських природоохоронних закладів, викладачів, учителів та студентів.

The collection publishes articles on the results of scientific research in the field of biology, ecology, geography and chemistry, as well as their teaching methods. For specialists in the field of natural sciences, employees of state and public environmental institutions, teachers and students.

Адреса редколегії: природничо-географічний факультет, Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка, вул. Роменська 87, м. Суми, 40002, Україна

Address of Editorial Board: Department of Natural Sciences and Geography, Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko, Romenska Str. 87, Sumy, 40002, Ukraine
Телефон: (0542) 68-59-11
e-mail: prirodnauky@gmail.com, pgf-dekanat@ukr.net

АНАЛІЗ МОРФОМЕТРИЧНИХ ОЗНАК ЧОТИРЬОХ ПОПУЛЯЦІЙ ВЕЧІРНИЦІ РУДОЇ *NYCTALUS NOCTULA* МЕТОДОМ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ

Є. В. Козлов¹

Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка,
mrkozlov23.01.1974@gmail.com,

Козлов Є. В. Аналіз морфометричних ознак чотирьох популяцій вечірниць рудої *Nyctalus noctula* методом головних компонент. – Природничі науки. – 2021. – 18: 41–47. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5735952>

Анотація Дані морфометрії тварин є важливою діагностичною та прогностичною характеристикою. Було виявлено основні варіабельності морфології у чотирьох популяцій. Для цього були досліджені 75 черепів по 11 ознакам черепа і 3 морфологічним ознакам. Використовуючи статистичний метод головних компонент при порівнянні популяцій було виявлено нечіткий поділ на дві групи.

Ключові слова: руда вечірниця, *Nyctalus noctula*, Chiroptera, краніологія, морфометрія, дослідження мінливості, аналіз головних компонент, PCA, популяції.

Kozlov E. V. Principal component analysis of morphometric traits in four populations of the common noctula (*Nyctalus noctula*) – Prirodniči nauki. – 2021. – 18: 41–47. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5735952>

Abstract Animal morphometry data are an important diagnostic and prognostic characteristic. The main morphology variabilities in four populations were revealed. For this purpose 75 skulls on 11 signs of a skull and 3 morphological signs were investigated. Using the statistical method of principal components, a vague division into two groups was found when comparing populations.

Keywords: common noctula, *Nyctalus noctula*, Chiroptera, craniology, morphometry, variability studies, principal component analysis, PCA, populations.

Вступ. При будь-якому статистичному аналізі неможливо передбачити, які з обраних для дослідження кількісних ознак будуть суттєвими, а які ні. Аналіз головних компонент дозволяє зменшити розмірність даних для аналізу при втраті мінімальної кількості суттєвої інформації. Результати такого аналізу можуть бути порівняні з аналогічним всередині даного виду. Таким чином можна порівняти головні тенденції варіабельності різних популяцій.

Мета статті. Проаналізувати, чи відрізняються популяційна та міжпопуляційна мінливості морфологічних ознак.

Матеріали та методи досліджень. Проміри здійснювались на вибірці із 75 черепів дорослих рудих вечірниць з повністю прорізаними зубами і зрослими черепними швами, з яких було 10 самців і 65 самиць. Всі вони були зібрані

у різні сезони року, інші розміри тіла (загальна довжина тіла L , передпліч F_a , хвоста S_a) були взяті з музейних карточок.

Обладнання – штангенциркуль Tolsen цифровий 150 мм (35052) з пластику, лупа Sparta з додатковими лінзами, підсвітлюванням та кріпленням на голову.

Музейні колекції – Зоологічного музею Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Методика дослідження – проміри черепа за нижченаведеною схемою. Загальні виміри черепа: CRL – довжина черепа загальна, CBL – конділобазальна довжина, IOR – міжорбітальний проміжок, ZYG – вилична ширина, CRB – ширина нейрокраніума. Рострум: DCM – базальна (іклова) довжина, DMM – ширина між верхніми зубними рядами (на рівні $M3$), RON – висота рострума, IOR – міжорбітальна ширина. Потиличний відділ: CRH – висота черепа найбільша (з барабанами), OCC – потилична ширина.

Використано стандартні методи описової статистики пакету мови програмування R {R Core Team (2021)}, аналіз головних компонент.

Результати та їх обговорення.

Після відповідної статистичної обробки промірних даних результат було візуалізовано на Рис. 1.

Еліпси нормальної імовірності, що описують розташування усіх екземплярів кожної вибірки в площині перших двох головних компонент, дуже перекриваються, як і у випадку дослідження [3]. З графіку Рис. 1 та 2 видно, що найбільше на першу компоненту впливають змінні, напрямки яких від початку координат вліво ближче до вісі абсцис, тобто усі значення навантажень від'ємні, а на другу компоненту – відповідно вгору та вниз ближче до вісі ординат, тобто є як від'ємні, так і позитивні найбільші впливи. Є і навантаження, притаманні обом компонентам, що відходять від початку координат під кутом близько 45° , наприклад як CRH та OCC (що накладаються одна на одну у другому квадранті осей координат), але з різними знаками у різних компонентах, що означає часткову самокомпенсацію.

Найбільше в площині першої компоненти розгортається київська популяція, найменше – черкаська популяція. Найбільш «розрізняє» популяції друга компонента, оскільки центри популяцій ніби вишикувались по вертикалі. Відносно початку координат по розташуванню центроїдів вимальовується поділ на дві групи – київську-одеську та черкаську-ростовську.

Результат ортогонального перетворення множини кількісних змінних у множину змінних без лінійної кореляції (головних компонент) відображений в таблиці 1. На першу головну компоненту з її 36,4% загальної дисперсії усі навантаження від'ємні (див. Рис. 1, 2, Табл. 1). Найістотнішими параметрами у варіабельності рудих вечірниць є вилична ширина (-0,38), ширина мозкової капсули (-0,36), базальна довжина $BP3$ (-0,35), ширина між верхніми зубними рядами (на рівні $M3$) (-0,32), висота черепа з барабанами (-0,32). Можливо це

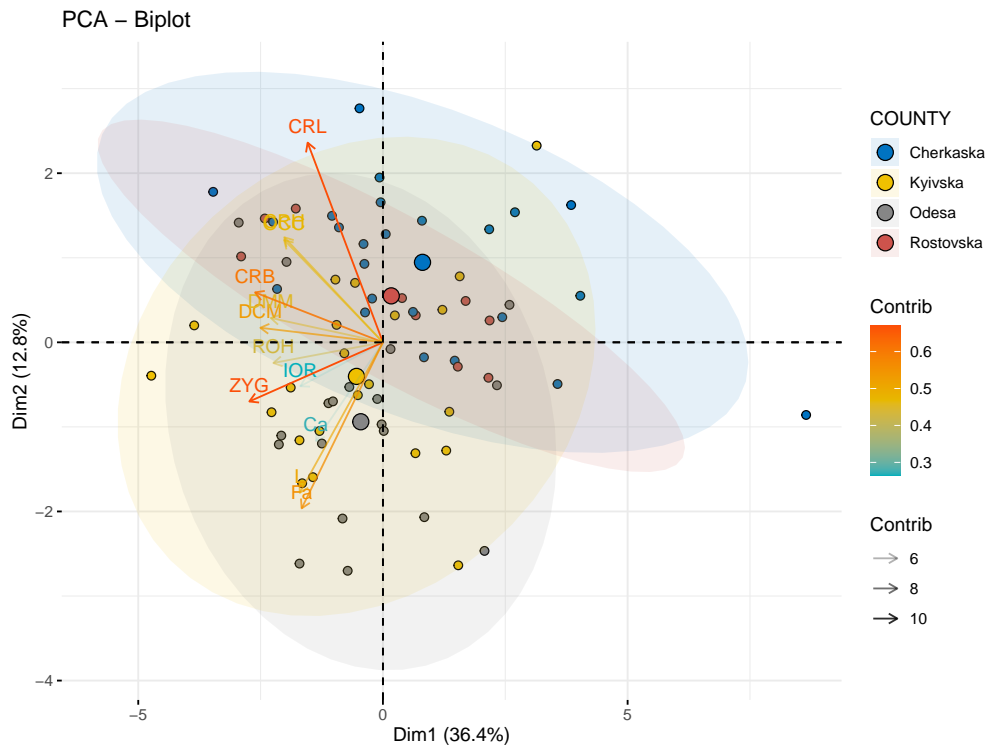


Рис. 1. Положення чотирьох популяцій у координатах двох перших компонентів PCA.

По осі абсцис перша компонента, по осі ординат – друга. Стрілками показані найвпливовіші навантаження на компоненти, кольорові кружечки меншого розміру – кожний екземпляр відповідної популяції, кольорові кружечки більшого розміру – центроїди популяцій розподілу 95%.

від’ємне навантаження має місце іще від якихось параметрів черепа, окрім досліджених. Це потребує подальшого вивчення. Найменше таке звуження черепа згідно Рис. 1 та 2 притаманно черкаській популяції.

Таблиця 1. Нормалізовані значення навантажень перших чотирьох компонент.

Ознаки	Компоненти			
	PC1	PC2	PC3	PC4
L	-0,24	-0,42	0,1	-0,38
Ca	-0,19	-0,27	-0,66	0,03
Fa	-0,23	-0,46	-0,23	0,13
CRL	-0,21	0,55	-0,3	-0,06
OCC	-0,28	0,28	-0,14	-0,44
CRB	-0,36	0,14	0,01	0,11
IOR	-0,24	-0,12	0,34	0,57
ZYG	-0,38	-0,16	0,09	-0,1
CRH	-0,28	0,29	-0,12	0,46
ROH	-0,31	-0,06	-0,1	0,15
DCM	-0,35	0,04	0,16	-0,19
DMM	-0,32	0,07	0,47	-0,16

По виконаним тестам у середовищі R різниці в популяціях по першій компоненті не відзначаються. Використовувались наступні тести: chisq.test, з результатом p-value = 0.4312; leveneTest, 0.4928; Fligner-Killeen, p-value=0.5559; Tukey HSD – метод множинних парних порівнянь – з результатами p-

Region	Різниця в спостережуваних середніх значеннях вагів компоненти			Значення р (після автокоригування для множинних порівнянь)
	Нижня кінцева точка 95% довірчого інтервалу	Верхня кінцева точка 95% довірчого інтервалу		
Odesa-Kyivska	-0,54	-1,34	0,26	0,3
Rostovska-Kyivska	0,95	-0,07	1,98	0,08
Rostovska-Odesa**	1,49	0,45	2,53	0,0018501

Особливо відрізняються за другою компонентою одеська та черкаська популяції, див. Рис. 3

Друга компонента відображає протилежність тенденцій мінливості мозку-тіла – позитивного навантаження на компоненту $+0,55$ від довжини черепа (а оскільки довжина зубного ряду $+0,04$, то треба розуміти, що подовжується в більшій мірі мозкова капсула), його висоти основної (у потиличному відділі) $+0,29$, ширини в потилиці $+0,28$ «за рахунок» зменшення деяких параметрів тіла: довжин – $-0,41$ загальної, $-0,46$ передпліч та $-0,27$ хвоста – тобто при збільшенні навантаження мозкові капсули об'ємніші – довші; ширші й вищі каудально, при скороченні загальних параметрів тулуба. Відображена другою компонентою мінливість є частковим (оскільки має лише 12,8% дисперсії (див. Рис. 1 та 2)) компенсатором мінливості в площині першої компоненти щодо черепа. В деякій мірі співпадає з основним трендом еволюції кажанів у співвідношенні мозок/тіло [1]. Уточнення цієї міри потребує окремих розрахунків. Отже, результат аналізу другою компонентою можна з натяжкою назвати фактором «енцефалізації» (імовірно за рахунок зменшення тіла можливо через обмеження в зв'язку з польотом – збільшення мозку потребує компенсуючого зменшення розмірів тіла).

Тест попарних порівнянь Тьюкі видав результати у вигляді таблиці, яку після переформатування представлено у Табл. 2.

У площинах третьої і четвертої компоненти популяції розташовуються таким чином, див. Рис. 4.

На третю компоненту діють фактори розширення деяких параметрів проксимального роstrума за рахунок вкорочення довжин: хвоста, мозкової капсули (тут часткове нівелювання попереднього, другого фактора), передпліч та потиличної ширини. Дія факторів на другу та третю компоненти схожа на дихотомічну інтеграцію роstrального та каудального модулів черепа [4]. Відмічалась довша ньобна довжина з коротшою мозковою капсулою у кажанів, ехолокуючих ротом, ніж у тих, що ехолокують як ротом, так і ротом з носом [5], що цілком відповідає дійсності – руді вечірниць ехолокують ротом, тобто підтверджувалися б результати (Giacomini et al., 2021) [5], якщо виривати з

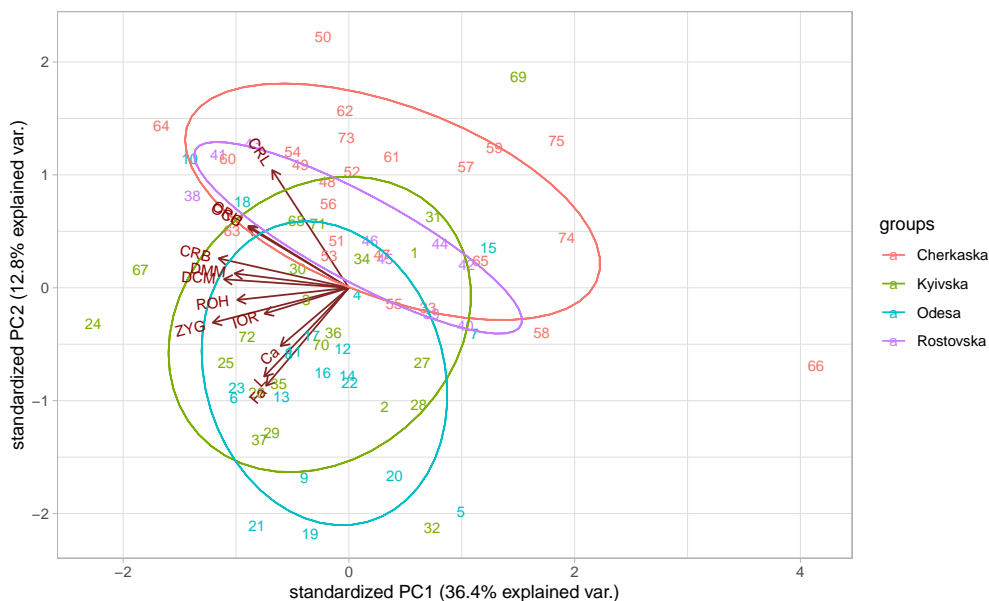


Рис. 2. Графік навантажень та рахунків двох перших основних компонент апоксимованих даних морфологічних ознак кажанів з чотирьох популяцій.

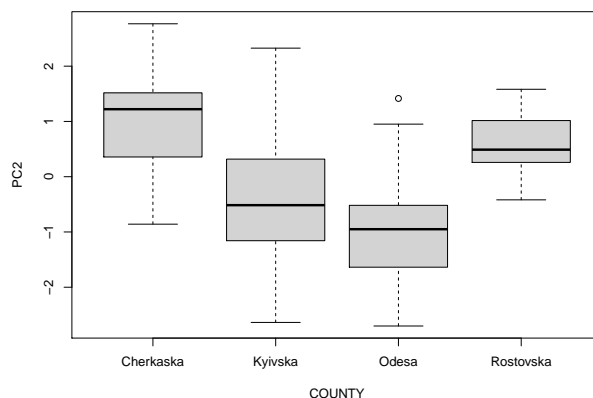


Рис. 3. Вплив географічного фактора на другу компоненту.

Рахунки компоненти по осі ординат, регіони – по осі абсцис. Нижній вус = найменше спостереження (більше або дорівнює нижчому шарніру – $1,5 \times \text{IQR}$ (міжквартильний діапазон, або інтерквартильний розмах, IQR, що дорівнює різниці між 75-м та 25-м процентилями). Нижній шарнір (25-й центиль). — – медіана (50-й центиль). Верхній шарнір (75-й центиль). Верхній вус ящика – найбільше спостереження (менше або дорівнює верхньому шарніру + $1,5 \times \text{IQR}$). ° – вектор значень, які знаходяться за межами min і max

контексту (без другого фактора). Ростовська популяція по третій компоненті відрізняється від усіх інших, «західних» - значення найвпливовіших параметрів найменші, значення третьої компоненти збільшується зі сходу на захід, дивись Рис. 5.

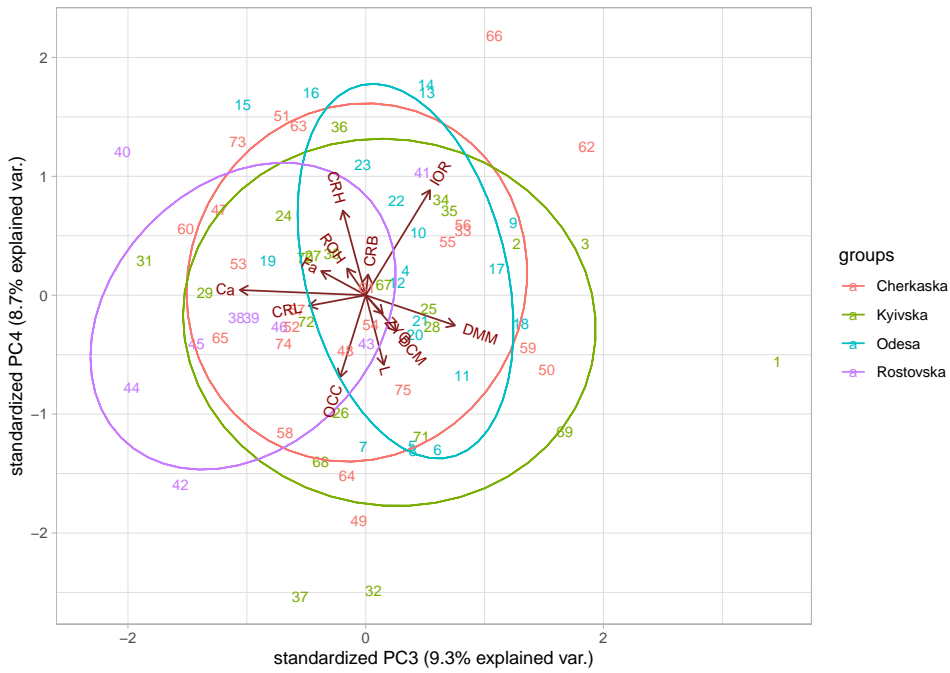


Рис. 4. Графік навантажень та рахунків третьої та четвертої основних компонент апоксимованих даних морфологічних ознак кажанів з чотирьох популяцій

Фактори, що діють на четверту компоненту, призводять до розширення міжочної частини роstrума з підвищенням висоти черепа «за рахунок» його вкорочення, звуження: в потиличній частині черепа та можливо роstrума на рівні проміра між зубними рядами. У [5] подібне було негативно завантажено у другій компоненті на початкову, кінцеву та пікову частоту ехолокації, так що види з позитивними показниками характеризувалися діагонально нахиленим і коротшим роstrумом, більш ширшою мозковою капсулою і більшими буллами. Можливо це фактор зменшення частот і у даному випадку.

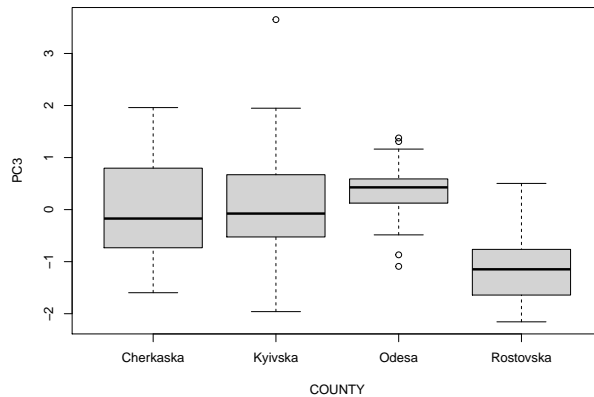


Рис. 5. Вплив географічного фактора на третю компоненту. Позначення як на Рис. 3.

Висновки. Розміри тіла досліджуваних популяцій рудих вечірниць зменшуються з рухом на схід, а не за правилом Бергмана, на південь, і не так, як у гостровуких нічних, на захід [2]. Довжина черепа при цьому навпаки, збільшується на схід, як у дослідженні рудих вечірниць [3], а найбільший вклад в дискримінацію популяцій (разом з іншими ознаками, що не досліджувались в даній роботі) так само вносять скулова ширина та базальна довжина верхнього зубного ряду.

Як вже зазначалось, по другій компоненті мінливість істотно розрізняється у популяціях, поділяючись умовно на «східну групу» ростовської-черкаської популяцій та «західну», київсько-одеську, збільшуючись у напрямку зі сходу на захід. Частково таке групування зберігається і в географічній мінливості популяцій по третій компоненті, яка разом з другою відображає імовірно дихотомічну інтеграцію рострального та каудального модулів черепа.

Автор висловлює щире подяку І. І. Дзеверіну, І. В. Загороднюку, Ж. В. Розорі зі співробітниками музею та І. Р. Мерзлікіну за відкритість для пояснень і різнобічної допомоги в проведенні дослідження.

Список використаних джерел

1. Дзеверин И. И. Краниометрическая изменчивость остроухих ночниц *Myotis blythi* (Chiroptera, *Vespertilionidae*) // Зоологический журнал 1995. Том 74, выпуск 7. С. 89
2. Стрелков П. П., Абрамсон Н. И., Дзеверин И. И. 2002. Географическая изменчивость краниометрических признаков у рыжей вечерницы, *Nyctalus noctula* (Chiroptera), в связи с особенностями ее образа жизни // Зоол. журн. 81, № 7. С. 850–863.
3. Giacomini G., Herrel A., Chaverri G., Brown R. P., Russo D., Scaravelli D., Mero C. Functional correlates of skull shape in Chiroptera: feeding and echolocation adaptations. // Integrative Zoology, 2021. P. 22.
4. Klingenberg C. P. Morphometric integration and modularity in configurations of landmarks: tools for evaluating a priori hypotheses. // Evol Dev. 2009. 11. P. 405–421.
5. Smaers J. B., Dechmann D. K. N., Goswami A., Soligo C., Safi K. Comparative analyses of evolutionary rates reveal different pathways to encephalization in bats, carnivorans, and primates // University of New Mexico, Albuquerque, NM, 2012 P. 18009.