

Блиств В.І. - Карпатська НДС, науковий співробітник. Закарпатська державна зональна лісонасіннева інспекція.

Турус Е.В. - Кримська гірсько-лісова науково-дослідна станція. Науковий співробітник.

Рецензент: доктор біологічних наук, професор, Парпан В. І - завідувач кафедри біології та екології Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

УДК 574.2:574.3:574.9:598.2(477)

МОНІТОРИНГ МІГРУЮЧИХ ПТАХІВ ЧОРНОМОРСЬКО-СЕРЕДЗЕМНОМОРСЬКОГО ПРОЛІТНОГО ШЛЯХУ: АНАЛІЗ ВАРІАЦІЇ ЧИСЕЛЬНОСТІ МОДЕЛЬНИХ ВИДІВ

О.В. Мацюра, М.В. Мацюра

Мелітопольський державний педагогічний університет

В статті наводиться оригінальний методичний підхід до визначення тенденцій зміни чисельності популяцій мігруючих птахів. Для аналізу було відібрано модельні види, що мігрують в межах Чорноморсько-Середземноморського пролітного шляху. Наведено огляд програмних продуктів для застосування в аналізі чисельності популяцій тварин. Запропоновані моделі можуть бути використані для аналізу та прогнозу чисельності птахів або інших організмів.

Ключові слова: мігруючі птахи, динаміка чисельності, моніторинг.

Matsyura O.V., Matsyura M.V. Monitoring of migratory birds of Black-Mediterranean Sea flyway: analysis of abundance fluctuation of model species. The technical approach developed for the estimation of migratory birds population trends was presented. Some key birds species migrated along Black-Mediterranean Sea flyway were determined for the analysis. The review of applied software that can be implemented in the analysis of population trends was done. The suggested models could be used in analysis and prognosis of birds or any animals abundance.

Key words: migratory birds, abundance dynamics, monitoring.

Вступ

У нестабільному середовищі благополуччя популяції повинне визначатися не середньою, а мінімальною кількістю ресурсів або здатністю переходити на замінюючий ресурс, зокрема емігрувати в інший район. Варіація величини популяції, породжена місцем існування, приводить до формування механізмів стабілізації чисельності, таких як оптимальний вибір місцеперебування, територіальний консерватизм і дальність дисперсії.

Вивчення масових міграцій тварин на кількісній основі має важливе теоретичне та практичне значення. Перш за все, для підтримки безпеки польотів авіації, контролю й прогнозування медико-епідеміологічних ситуацій, раціонального використання запасів дичини, збереження рідкісних і зникаючих видів, а також управління популяціями масових видів перелітних птахів, що є важливою частиною біоценозів

Екологічний моніторинг є найважливішою складовою частиною вивчення та охорони навколишнього середовища, оскільки аналіз динаміки природних процесів дозволяє виявити найбільш загальні закономірності організації екосистем, ценотичних зв'язків і біології окремих видів тварин та рослин. В рамках програм екологічного моніторингу можлива розробка і впровадження наукових методів охорони навколишнього середовища. Тому розвиток уніфікованих методів екологічного моніторингу, які дозволяли б не тільки фіксувати зміни та порушення природних співтовариств, але й виявляти причини та прогнозувати напрям і характер їх подальшої трансформації є дуже актуальним.

Традиційні методи моніторингу стану навколишнього середовища, засновані на спостереженнях за зміною окремих елементів природних екосистем (коливання кліматичних чинників, природні або антропогенні порушення біотопів, зміна чисельності окремих видів тварин і рослин) здатні підвищити інформаційну та наукову значущість первинних даних.

Складність і багатозначність системних параметрів біологічних об'єктів вимагають розробки комплексного застосування екологічних та біогеографічних методів досліджень. Оскільки багато

вимірюваних екологічних параметрів, що характеризують особливості структури та функціонування біосистем в часі, не є безпосередньо спостережуваними величинами, виникає необхідність знаходження їх оцінок, які можна отримати за допомогою методів системного аналізу, інтегрованих баз даних і відповідних комп'ютерних програм. Цей концептуальний підхід забезпечить високий рівень інтеграції та структуризації даних і створить теоретичну основу для аналізу, моделювання й прогнозування біологічних процесів, що є необхідною умовою для забезпечення науково-обґрунтованого та стійкого розвитку системи людина – біосфера.

Матеріали і методи

В якості модельних видів, що мігрують вздовж Чорноморсько-Середземноморського пролітного шляху, нами було розглянуто: пелікан рожевий *Pelecanus onocrotalus* Linnaeus, 1758, лелека білий *Ciconia ciconia* (Linnaeus, 1758), осоїд *Pernis apivorus* (Linnaeus, 1758), шуліка чорний *Milvus migrans* (Boddaert, 1783), яструб коротконогий *Accipiter brevipes* (Severtzov, 1850), канюк звичайний *Buteo buteo* (Linnaeus, 1758), підорлик малий *Aquila pomarina* C.L. Brehm, 1831.

Станції польових спостережень за міграцією птахів в Ізраїлі були розташовані приблизно по прямій лінії зі сходу на захід відносно фронту міграції. Для мінімального обхвату фронту міграції (35 км), як мінімум 12 станцій було розміщено через 3 км. Станції були пронумеровані відносно відстані від узбережжя Середземного моря. Всі станції відкривалися приблизно через одну годину після сходу сонця і закривалися за годину до заходу. Принаймні один спостерігач з біноклями, телескопом і короткохвильовим радіо проводив обліки на кожній станції, він заповнював форму спостереження, деталізуючи час, види, номер, відстань від станції, висоту й напрямок міграції. Порівняння щоденних спостережень від кожної станції та використання радіо протягом періодів міграції виключало дублювання. При аналізі було використано літературні дані та результати власних спостережень [1, 8].

Результати і обговорення

Вивчення особливостей варіації чисельності має значні розбіжності в інтерпретації даних. Було виявлено, що коефіцієнт варіації більшості популяцій не відрізняється від випадкового, а відмінності пояснюються об'ємом вибірки. У пошуках значущих відмінностей дослідники почали оцінювати лінійну регресію варіації від чисельності, а видові відхилення від цієї регресії піддавали змістовному аналізу [7].

Було показано [5], що така регресія нелінійна, оскільки складається з двох складових: випадкової та специфічної. Коефіцієнт варіації, обумовлений випадковістю вибірки, зменшується пропорційно зростанню кореня з середньої оцінки чисельності. Специфічний коефіцієнт варіації зберігається на постійному рівні та при збільшенні вибірки залишається практично єдиною складовою.

Використання цієї логіки дозволило оцінити середній рівень варіації популяцій птахів, мігруючих в межах Чорноморсько-Середземноморського пролітного шляху (рис. 1). Він свідчить про регуляцію чисельності птахів за рахунок розмноження в межах популяцій, яке здатне компенсувати відхилення протягом одного сезону. Лише у небагатьох видів варіація популяцій значно перевищує цей рівень: вони існують за рахунок еміграції та іміграції.

Випадкове варіювання, при якому $V = x$, а $\ln(V/x) = 0$, служить зручним орієнтиром, а відносний показник $\ln(V/x)$ – мірою відмінності варіації від випадкової (пуассонівської). Випадковий рівень коливань всієї популяції ще не означає, що відсутня закономірна варіація її частин. Варіація в дрібному однорідному фрагменті тим більше, чим більша частка придатного повітряного коридору або маршруту міграції, яка щорічно залишається незайнятою. Вона характеризує свободу вибору маршруту для особини, тобто просторову варіацію, або ненасиченість маршрутів міграції. По мірі укрупнення або об'єднання фрагментів популяції відносна варіація зростає тим сильніше, чим більше коваріація між цими фрагментами. Якщо коливання незалежні, вона зберігається на колишньому рівні, якщо коливання повністю синхронні – то коваріація зростає пропорційно величині фрагментів. Це зростання виражається лінійним рівнянням регресії $\ln(V/x) = a + b \ln x$, параметри якого відображають дві складові варіації незалежно від середньої чисельності популяції. Параметр a відповідає ненасиченості міграційних коридорів. Параметр b вимірює синхронність динаміки різних частин популяції.

Величина та співвідношення цих складових – видоспецифічні. Їх аналіз розкриває динамічну структуру популяції, ієрархію цінності (пріоритетності) та значущості (поширеності) біотопів. По варіації фрагментів можна судити про просторову інтегрованість популяції, про її залежність від змін загальних і вузько локальних чинників середовища. Міжвидове порівняння показує, що компоненти варіації у видів, що відзначаються різними міграційними стратегіями, мають характерні особливості. У зграйних птахів досягається відносно повне насичення (значення коефіцієнту a - невисоке), але однорідність умов на великій площі приводить до синхронних змін (високе значення коефіцієнту b). Види, що мігрують поодиночі, розподілені у повітрі так, що це знижує можливість насичення повітряних коридорів, але розмаїття цих коридорів використовується птахами при зміні умов і стримує синхронні коливання. Види, що залежать від метеорологічних умов, відрізняються найбільшою варіацією. Їх міграційні параметри більш схильні до коливань фізичних умов, і тому повітряні коридори - не насичені.

Пунктирна лінія регресії $V = 0,07 + 1,07x$ отримана методом найменших квадратів. При малих значеннях залежність наближається до випадкової (відповідної до моделі Пуассона) $V = x$ (суцільна лінія), при великих – наближається до $V = 0,07 + 1,07x$ (пунктир), що відповідає коефіцієнту варіації $CV = 22,7\%$.

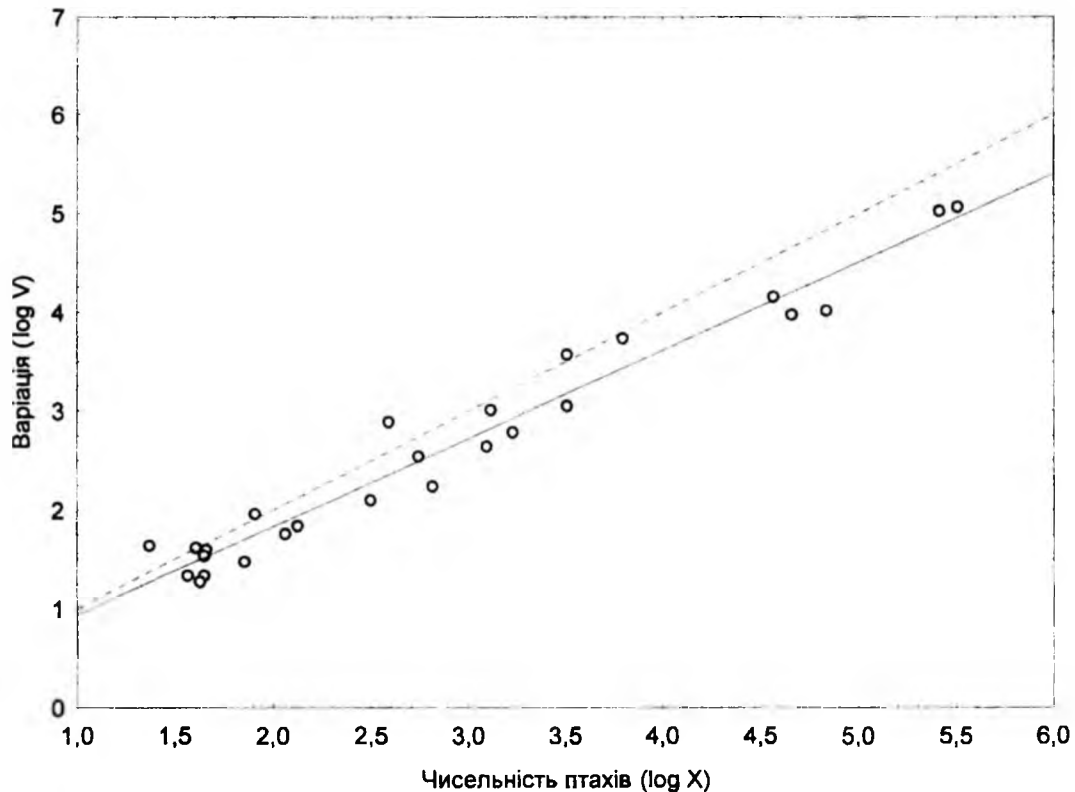


Рис. 1. Міжвидова залежність варіації (дисперсії) від середньої чисельності популяції птахів (у логарифмічному масштабі).

Для аналізу багаторічної динаміки чисельності птахів ми рекомендуємо використовувати метод автокореляції та спектральне розкладання, які дозволяють отримати лінійний тренд зміни багаторічного ряду, тобто відобразити довготривалу тенденцію зміни чисельності. За допомогою методу автокореляції ми отримуємо наступні результати – залежність щільності (чисельності) птахів поточного року від їх щільності (чисельності) за попередній рік.

Збір фонових показників здійснюється шляхом проведення денних візуально-оптичних спостережень в різних точках міграційних коридорів. На основі комп'ютерного аналізу отриманих даних класифікуються варіанти за складом мігрантів. Варіантом міграційного потоку ми пропонуємо вважати усереднені по сезонах і роках дані про видовий склад, чисельне співвідношення, щільність, добову ритміку та висоту прольоту птахів, підрахованих на одній з ключових ділянок даної області міграції. Потім отримана класифікація сукупності варіантів зв'язується з основними областями прольоту і (по аналогії з оцінкою населення птахів) виявляються найзагальніші закономірні відмінності у складі мігрантів і щільності їх прольоту за рахунок елімінації приватних або випадкових особливостей, пов'язаних з успішністю розмноження видів і зміною екологічних умов року.

Проведення моніторингу об'єктів живої природи передбачає обробку даних, зібраних з великої кількості місцеперебувань протягом певного періоду часу. Одне з головних завдань моніторингу - оцінити щорічні зміни чисельності видів, або тренди. Як правило, під словом тренд розуміють певну тенденцію до зміни чисельності протягом певного часу [2, 6, 10]. Більшість регулярних складових часових рядів належать до двох класів: вони є або трендом, або сезонною складовою. Тренд є загальною систематичною лінійною або нелінійною компонентою, яка може змінюватися в часі. Сезонна складова - це періодично повторювана компонента. Прикладна комп'ютерна програма Trim [4] використовує алгоритм обчислення тренда, в основі якого лежить положення про адитивний та мультиплікативний тренд-цикл. Програма пропонує декілька моделей зміни чисельності – логлінійна регресія, серіальна кореляція та лінійна регресія без урахування сезонної компоненти.

У загальному вигляді часовий ряд можна уявити собі таким, що складається з чотирьох різних компонент: сезонної компоненти (позначається S_t , де t - момент часу), тренда (T_t), циклічної компоненти (C_t) та випадкової, нерегулярної компоненти або флуктуації (I_t). Різниця між циклічною та сезонною

компонентою полягає в тому, що остання має регулярну (сезонну) періодичність, тоді як циклічні чинники зазвичай мають триваліший ефект, який до того ж змінюється від циклу до циклу.

Адитивна модель:

$$X_t = T_t C_t + S_t + I_t \quad (1)$$

Мультиплікативна модель:

$$X_t = T_t * C_t * S_t * I_t \quad (2)$$

X_t - значення часового ряду у момент t .

Використання моделей, які дозволяють зробити припущення про характер зміни чисельності, надає точніші оцінки динаміки чисельності. Основний принцип подібних моделей – використання даних спостережень для прогнозу пропущених даних. У такому разі індекси можуть бути розраховані на підставі наявної бази даних, доповненої передбаченими значеннями [10]. Програма Trim використовує різноманітні логлінійні моделі для досягнення цієї мети. Мета цих моделей не тільки оцінити індекси річних змін об'єктів моніторингу, але й визначити тенденції: зростає або зменшується чисельність певного виду з часом. Важливим моментом є часова варіабельність подібних трендів – вони не є статичними для всього періоду, як пропонують інші статистичні пакети, що використовуються для визначення трендів (SPSS, Statistica, SimStat, SPLUS, Origin). За допомогою програми Trim можна визначити тенденції в зміні чисельності та виразити їх за допомогою індексів для декількох часових відрізків в досліджуваному об'ємі даних, причому існує автоматичний та визначений користувачем режими. Інша серйозна проблема моніторингових програм – недостатні та надмірні обліки. Trim дозволяє використовувати метод обробки даних, який дозволяє врахувати можливий ефект недооцінки і переоцінки чисельності.

Програма Statistica пропонує цілий блок підпрограм для дослідження часових рядів [9]. На наш погляд, для аналізу динаміки чисельності птахів понад усе підходить обчислення автокореляцій, тобто обчислення залежностей між кожним наступним і попереднім значенням часового ряду. Крім того, дана програма пропонує й графічне відображення результатів, що робить процес аналізу ефективнішим. Сезонні складові часового ряду можуть бути знайдені за допомогою корелограмми [3]. Корелограма (автокорелограма) показує чисельно та графічно автокореляційну функцію (АКФ), коефіцієнти автокореляції (та їх стандартні помилки) для послідовності лагів (періодичних циклів, в нашому випадку – років) з певного діапазону. На рис. 2 представлена корелограма чисельності лелеки білого.

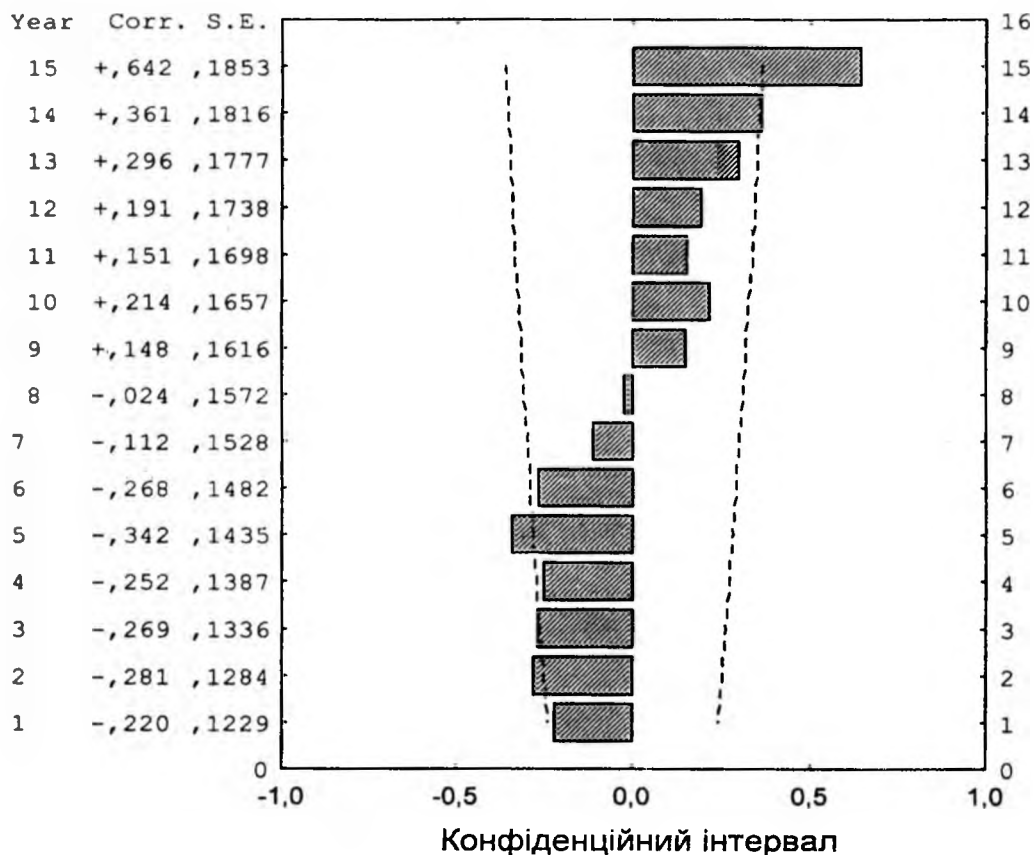


Рис. 2. Корелограма зміни чисельності лелеки білого, відміченого на міграції в Ізраїлі.

Умовні позначення: Year – порядковий номер року з 1990 по 2004, Corr. - значення коефіцієнта автокореляції між попереднім і наступним значенням чисельності, S.E. – стандартне відхилення.

Екологічне значення авторегресійних параметрів полягає у відображенні періодичності зміни чисельності птахів в сезонному та багаторічному аспекті. Перевірка адекватності моделі, тобто її прогностичних якостей, проводиться на усічених рядах даних (доцільніше 10-річних). Прогноз розраховується на два роки вперед і порівнюється з емпіричними даними. Підрахунок коефіцієнтів кореляції між реальними даними та прогнозом визначає адекватність моделі.

Висновки

Для аналізу ряду багаторічних спостережень динаміки чисельності птахів доцільно застосовувати методи стаціонарних випадкових процесів. Чисельність (щільність) птахів необхідно розраховувати по відношенню до площі гніздових біотопів і до площі всього ареалу виду. За допомогою методу автокореляції необхідно отримати корелограми процесів зміни чисельності птахів за досліджений період, після цього потрібно підрахувати коефіцієнти автокореляції та приватної автокореляції. Ми рекомендуємо обрати змішану модель авторегресії – модуль ковзаючої середньої (АРСС), оскільки при дослідженні корелограм практично не виявляються характерні властивості моделей ковзаючої середньої та авторегресійної моделі, тобто кінцева протяжність автокореляційної функції та приватної автокореляційної функції.

Підсумовуючи вищесказане, для аналізу динаміки чисельності необхідно використовувати декілька методів. Найефективнішим є поєднання графічного методу та аналізу часових рядів з обчисленням коефіцієнтів автокореляції. На даний момент одними з кращих програмних продуктів для екологічних досліджень, зокрема для аналізу динаміки чисельності, є Trim та Statistica.

Література

1. *Мацюра О.В.* Результати радарного дослідження особливостей міграції осоїда *Pernis apivorus* // Питання біоіндикації та екології. - Запоріжжя: ЗДУ, 2005. - Вип. 10. - № 2. - С. 126-134.
2. *Little R.J.A., Rubin D.B.* Statistical analysis with missing data. - N.Y.: Wiley and Sons, 1987. - 125 p.
3. *Montgomery D.C., Johnson L.A., Gardiner J.S.* Forecasting and time series analysis (2nd Ed.). - New York: McGraw-Hill, 1990. – P. 56-70.
4. *Pannekoek J., Van Strien A. J.* TRIM 3 manual. TRends and Indices for Monitoring data. - Voorburg, The Netherlands: Statistics Netherlands, 2002. – P. 12-48.
5. *Pascual M., Ellner S. P.* Linking ecological patterns to environmental forcing via non-linear time series models // Ecology. – 2004. – Vol. 81. – P. 2767–2780.
6. *Sauer J.R., Droege S.* Survey designs and statistical methods for the estimation of avian population trend // Survey designs and statistical methods for the estimation of avian populations trends. - Washington: U.S. Fish and Wildlife service, 1990. - P. 72-77.
7. *Seber G.A.F.* The estimation of animal abundance and related parameters. - Griffin, London, 1982. - P. 46-57.
8. *Shirihai H., Smith J.P., Kirwan G. M., Alon D.* A guide to the birding hot-spots of Israel (Vol. 1-2). - Israel Ornithological Center, 2000. – P. 24-62.
9. STATISTICA. Electronic manual. – StatSoft, Inc.: Bedford, 2002.
10. *Ter Braak C.J.F., van Strien A.J., Meijer R., Verstrael T.J.* Analysis of monitoring data with many missing values: which method? // Hagemeyer W. The European Union and Biodiversity. Friends of the Earth & EEB. - Brussels, 1998. - 76 p.

Стаття поступила до редакції 26.09.2008 р.; прийнята до друку 05.10.2008 р.

Мацюра О.В. – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри екології, біорізноманіття і таксономії Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Б. Хмельницького.

Мацюра М.В. - асистент кафедри екології, біорізноманіття і таксономії Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Б. Хмельницького.

Рецензент: кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології Сіренко А. Г.