

УДК 574.2:574.3:574.9

О. В. Мацюра<sup>1</sup>, М. В. Мацюра<sup>1</sup>, А. А. Зимароева<sup>2</sup>  
**ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМИ «SIMPLY TAGGING» ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ  
ГУСТОТИ ПТАХІВ У ГНІЗДОВИХ БІОТОПАХ**

<sup>1</sup>Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького<sup>2</sup>Житомирський національний технологічний університет

Для аналізу ряду багаторічних спостережень динаміки чисельності птахів доцільно застосовувати методи стаціонарних випадкових процесів. Чисельність (густота) птахів розраховується на об'єднану площу всіх досліджуваних біотопів. За допомогою методу автокореляції створюються корелограми процесів зміни чисельності птахів за досліджуваний період на всіх площах. Після цього виконується підрахунок коефіцієнтів автокореляції та приватної автокореляції. Найбільш адекватною є змішана модель авторегресії змінним середнім (АРСС). Екологічний сенс авторегресійних параметрів полягає у відображенні періодичності зміни чисельності птахів у сезонному та багаторічному аспектах. Використання методу змінного середнього обумовлене тим, що він є одним з простих методів, який дозволяє відбракувати випадкові коливання емпіричної лінії регресії. Перевірка адекватності моделі, точніше, її прогнозних якостей, проводиться на усечених рядах даних (10-річних). Прогноз розраховується на два роки вперед і порівнюється з емпіричними даними. Підрахунок коефіцієнтів кореляції між реальними даними та прогнозом виконується за допомогою непараметричного коефіцієнта кореляції Спірмена. Ряди залишків підібраних моделей оцінюють за одержаними корелограмами залишків. Побудована модель може бути використана для аналізу та прогнозу чисельності птахів.

*Ключові слова: аналіз, густота, непрямі методи, птахи, Simply Tagging*

А. В. Мацюра<sup>1</sup>, М. В. Мацюра<sup>1</sup>, А. А. Зимароева<sup>2</sup>  
**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ «SIMPLY TAGGING» ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ПЛОТНОСТИ ПТИЦ В ГНЕЗДОВЫХ БИОТОПАХ**

<sup>1</sup>Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького<sup>2</sup>Житомирський національний технологічний університет

Для анализа ряда многолетних наблюдений динамики численности птиц целесообразно применять методы стационарных случайных процессов. Численность (плотность) птиц рассчитывается на объединенную площадь всех исследуемых биотопов. С помощью метода автокорреляции создаются корелограммы процессов изменения численности птиц за исследуемый период на всех площадях. После этого выполняется подсчет коэффициентов автокорреляции и частной автокорреляции. Наиболее адекватной является смешанная модель авторегрессии скользящего среднего (АРСС). Экологический смысл авторегрессионных параметров заключается в отображении периодичности изменения численности птиц в сезонном и многолетнем аспектах. Использование метода скользящего среднего обусловлено тем, что он является одним из простейших методов, который позволяет отбраковывать случайные колебания эмпирической линии регрессии. Проверка адекватности модели, точнее, ее прогнозных качеств, проводится на усеченных рядах данных (10-летних). Прогноз рассчитывается на два года вперед и сравнивается с эмпирическими данными. Подсчет коэффициентов корреляции между реальными данными и прогнозом выполняется с помощью непараметрического коэффициента корреляции Спирмена. Ряды остатков подобранных моделей оценивают по полученным корелограммам остатков. Построенная модель может быть использована для анализа и прогноза численности птиц.

*Ключевые слова: анализ, плотность, непрямые методы, птицы, Simply Tagging.*



<sup>1</sup>Matsyura O.V., <sup>1</sup>Matsyura M.V., <sup>2</sup>Zimaroyeva A.A.  
IMPLEMENTATION OF *SIMPLY TAGGING* SOFTWARE FOR ESTIMATION  
OF BREEDING BIRD DENSITY

<sup>1</sup>*Bogdan Chmelniyskiy Melitopol State Pedagogical University*  
<sup>2</sup>*Zhitomir State Technological University*

For the analysis of long-term observations data on dynamics of bird populations the most suitable methods could be the stochastic processes. Abundance (density) of birds is calculated on the integrated area of studied habitats. Using the method of autocorrelation the correlogram of changes in number of birds drawn during the study period in all the area. After that, the calculation of the autocorrelation coefficients and partial autocorrelation are performed. The most appropriate model is the mixed autoregressive moving average (ARIMA). Ecological significance of autoregressive parameters is to display the frequency of changes in the number of birds in the seasonal and long-term aspects. The sliding average is one of the simplest methods, which allows reject the random fluctuations of the empirical regression line. Validation of the model could be conducted on truncated data series (10 years). The forecast is calculated for the next two years and compared with empirical data. Calculation of correlation coefficients between the real data and the forecast is performed using non-parametric Spearman correlation coefficient. The residual rows of selected models are estimated by residual correlogram. The constructed model can be used to analyze and forecast the number of birds in breeding biotopes.

*Keywords: analysis, density, indirect methods, birds, Simply Tagging.*

Методи мічення та повторних відловів є головною альтернативою методам абсолютного обліку для визначення розмірів популяції в межах фіксованої території її місцеперебування. Головна перевага таких методів – відсутність залежності між погрішністю оцінки розмірів популяції та оцінкою розмірів місцеперебування. Основний недолік подібних методів полягає в залежності результатів від обсягу вибірки.

Основна гіпотеза методів полягає в тому, що частина популяції відловлена, помічена і повернена в середовище, змішуючись з неміченими особинами. У разі повторної вибірки, кількість помічених особин, що повторно відловили, матиме таке саме відношення до загальної кількості особин, як і вся кількість помічених особин, до розміру популяції. На основі демографічних параметрів, усі популяції можуть бути класифіковані як відкриті та закриті. Закриті популяції залишаються в незмінному вигляді впродовж усього періоду дослідження, тоді як відкриті популяції схильні до змін, що представляють комбінацію процесів народжуваності, смертності й міграції.

Існує чотири основні припущення, які характерні для всіх методів:

1. Мічення не впливає на поведінку і тривалість життя особин, а мітки достатньо надійні (Chao, 1987).

2. Помічені особини повністю змішуються з рештою частини популяції (Leslie, 1952; Chao, 1989).

3. Вірогідність відлову поміченої особини дорівнює вірогідності відловів будь-якої особини популяції, відлови проводяться незалежно від вікового й статевого складу популяції. Термін «рівна здатність до відлову», використовуваний у даних методах, припускає, що особини різних вікових груп та обох статей зустрічаються у вибірці з такою самою пропорцією, з якою вони існують у популяції, усі особини можуть бути відловлені з однаковою вірогідністю, незалежно від їх розташування у межах місцеперебування (Begon, 1983; Chao, 1987, 1989).

Вибірка одержана серією із декількох відловів, а час, витрачений на отримання вибірки, не повинен бути досить значним щодо загального часу вивчення популяції (Leslie, 1952).

Один з перших серйозних оглядів даних методів виконаний Seber (1982, 1986). Головне завдання методів – визначення розмірів популяції, проте останнім часом методи часто використовуються для визначення рівнів смертності, народжуваності та міграції. Перші методи повторного вилову і мічення особин були випробувані на закритих популяціях донних риб і водоплавних видів птахів (Begon, 1983; Cormack, 1989).

На жаль, у вітчизняній екологічній літературі відсутній огляд подібних методів із застосуванням математичної статистики. В даному огляді ми наводимо аналіз методів непрямой оцінки густоти (на прикладі птахів, що гніздяться) та можливостей комп'ютерної програми, розробленої для виконання подібних оцінок.

### **МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

#### *Методи для відкритих популяцій*

Основні методи, що використовуються для оцінки розмірів відкритих популяцій, – метод Jolly-Seber і метод регресійної моделі (Seber, 1986). В основі методів лежить припущення про незмінність вірогідності відлову та виживання протягом усього періоду експерименту. Головна умова отримання статистично достовірних результатів – репрезентативність вибірки (Cormack, 1989; Pollock et al., 1990). При недотриманні цієї умови слід застосовувати методи закритих популяцій (Begon, 1983).

#### *Основне рівняння методу Jolly-Seber*

$$N_i = \frac{M_i n_i}{r_i}$$

(1)

де  $N_i$  - кількість особин у популяції за даними, отриманими в день  $i$ ;

$M_i$  – кількість помічених особин в день  $i$ ;

$r_i$  – загальна кількість помічених тварин, що повторно відловили в день  $i$ ;

$n_i$  – загальне число особин, що відловили в день  $i$ .

Далі розраховується загальне число особин, які були випущені та повторно відловлені,  $R_i$ , потім розраховується число особин, помічених раніше дня  $i$  та не спійманих у день  $i$  –  $Z_i$ .

З рівняння (1) розраховується кількість відмічених особин у популяції з підвищеним ризиком повторного вилову в день  $i$ :

$$M_i = \frac{\alpha_i Z_i}{R_i} + r_i$$

(2)

Необхідно провести обчислення пропорції помічених особин у популяції на момент вилову в день  $i$ :

$$\alpha_i = \frac{r_i}{n_i}$$

(3)

Після цього можна визначити розмір популяції для кожного дня дослідження:



$$N_i = \frac{M_i}{\alpha_i}$$

(4)

Далі обчислюється вірогідність того, що особина, помічена та випущена у момент часу  $i$ , доживе до моменту  $i+1$ , коли вона може бути відловлена повторно:

$$\hat{O}_i = \frac{M_{i+1}}{M_i - r_i - \alpha_i}$$

(5)

З рівня виживання (5) можна розрахувати рівень втрат (ефект смертності або еміграції):

$$\gamma_i = 1 - \hat{O}_i$$

(6)

Кількість нових особин, що приєдналися до популяції між часом  $i$  та  $i+1$ , які на момент часу  $i+1$  залишилися в живих, розраховується за формулою

$$B_i = N_{i+1} - \hat{O}_i(N_i - n_i + \alpha_i)$$

(7)

Ця величина може бути конвертована в «ступінь розбавлення»:

$$\frac{1}{B} = 1 - \frac{B_i}{N_{i+1}}$$

(8)

*Тести на «рівний відлов»*

Для відкритих популяцій застосовується тест Леслі (Leslie, Chitty, 1951; Darroch, 1959), який розраховується за даними першої та останньої вибірок. Для закритих популяцій основним тестом є тест нульової усіченої Пуассона. Цей тест припускає наявність як мінімум трьох вибірок (Lebreton et al., 1992). Нульова усічена визначається відсутністю інформації про особини, що уникнули відловів. Очікувана вірогідність розподілу рівного відлову розраховується на підставі середніх значень відлову помічених особин:

$$\bar{x} = \frac{\sum f_x x}{\sum f_x}$$

(9)

де  $x$  – кількість відловів;  $f_x$  – кількість особин, відловлених за  $x$  разів. Ця середня величина використовується для обчислення параметра розподілу Пуассона  $m$  за допомогою ітерації рівняння:

$$\bar{x} = \frac{m}{1 - e^{-m}}$$

(10)

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Спостережуваний і передбачуваний розподіл аналізуються за допомогою критерію «хі-квадрат». Тест Леслі застосовується для відкритих популяцій, для яких доступні дані про смертність і «рівень підкріплення» (Begon, 1983). Тест використовує дані першого

та останнього відлову. Наведений нижче приклад ілюструє застосування подібного тесту для гіпотетичних даних кільцювання одного виду птахів (табл. 1 і 2).

Таблиця 1.

Аналіз розміру гіпотетичної популяції птахів на основі кількості повторних відловів. Загальний аналіз

Роки	Кількість повторних відловів, $n_i$
2001	7
2002	7
2003	6
2004	4
2005	7
Усього	31

Таблиця 2.

Аналіз розміру гіпотетичної популяції птахів на основі кількості повторних відловів. Проміжний аналіз

Кількість повторних відловів для кожного індивідуума, $X$	Частота $X f_x$
0	15
1	7
2	7
3	2
4	1
5	0
$N = \sum f_x = 32$	

Сума квадратів:

$$\sum X^2 = 0^2 \cdot 15 + 1^2 \cdot 7 + 2^2 \cdot 7 + 3^2 \cdot 2 + 4^2 \cdot 1 + 5^2 \cdot 0 = 69 - 30,03 = 39,87.$$

Очікувана дисперсія дорівнює:

$$\sigma^2 = \frac{\sum X^2}{N} - \frac{(\sum X)^2}{N^2} = \frac{39,87}{32} - \frac{199}{32^2} = 0,9688 - 0,1943 = 0,7745$$

Тоді значення «хі-квадрат»  $\chi^2 = \frac{38,97}{0,7745} = 50,32.$

Окрім виконання першої умови для коректного застосування тесту Леслі (число вибірок повинно бути не менше ніж три), необхідно, щоб число особин було як мінімум двадцять (Cormack, 1989).

Для зручності розрахунків розміру популяції на підставі методів повторних відловів була розроблена екологічна програма «Simply Tagging» (*Pisces Conservation Ltd*). Дана програма створена для операційного середовища Windows і пропонує аналітичну техніку для обчислення розмірів популяції, рівня смертності й виживання на підставі даних мічення особин і повторного відлову. Програма представляє інтерес як для студентів, так і для професійних екологів. Навчальна роль програми визначається



наявністю модуля, який дозволяє виконати моделювання для перевірки надійності методів обробки даних на основі різних рівнів вірогідності відлову та типів поведінки тварин.

Окрім уже згадуваних основних методів для відкритих популяцій, програма пропонує декілька методів для закритих популяцій, заснованих на поведінкових особливостях тварин. Використання таких методів припускає, що популяція залишається незмінною протягом усього періоду дослідження. Важливо, щоб цей період був коротким щодо тривалості життя досліджуваних особин. Процеси еміграції та імміграції відсутні.

### ВИСНОВКИ

1. Найпростіший метод – *метод постійної вірогідності відлову*. Даний метод припускає, що всі особини у всіх вибірках мають однакову вірогідність бути спійманими (Lincoln, 1971).
2. *Метод часових відмінностей вірогідності відлову* припускає відмінності вірогідності відловів між вибірками. Як правило, ці розбіжності викликані погодними умовами. Ця модель належить до так званих «урнових моделей», коли ситуація подібна до перемішування куль у пластиковому пакеті (Schnabel, 1938).
3. *Модель індивідуальних коливань вірогідності відловів* припускає відмінності вірогідності особин бути спійманими залежно від їх віку, статі або розміру (White et al., 1982; Leslie, Chitty, 1951).
4. *Модель поведінкової відповідної реакції* – відлов, мічення та випуск у колишні умови опосередковано впливає на особливості поведінки тварин, що в основному істотно зменшує ризик повторно зловити ту саму особину (Leslie, Chitty, 1951). Застосування пасток з приманками може значно збільшити вірогідність повторних відловів. Таким чином, вірогідність відлову особини відрізняється від першого та кожного подальшого відлову, що повинно бути враховано.
5. Найскладніша модель – *модель індивідуальних і часових відмінностей вірогідності відлову* (Pollock et al., 1990), яка враховує розбіжності за часом проведення відловів та індивідуальні особливості досліджуваних організмів.

### ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Begon M. Abuses of mathematical techniques in Ecology: applications of Jolly's capture-recapture method / *Oikos*. – 40. – 1983. – P. 155-158.
- Chapman D.G. Some properties of the hypergeometric distribution with applications to zoological sample censuses / *Univ. of California Publ. Stat.* - 1(7). – 1951. – P. 131-160.
- Chao A. Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability / *Biometrics*. - 43(4). – 1987. – P. 783-792.
- Chao A. Estimating population size for sparse data in capture-recapture experiments. – Willey & Sons. – 1989. – 150p.
- Cormack R.M. Log-linear models for capture-recapture / *Biometrics*. - 45(2). – 1989. – P. 395-414.
- Darroch J.N. The multiple-capture census II. Estimation when there is immigration or death / *Biometrika*. - 46. – 1959. – P. 336-351.
- Lebreton J.D., Burnham K.P., Clobert J., Anderson D.R. Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals: A unified approach with case studies / *Ecological Monographs*. - 62(1). – 1992. – P. 67-118.

- Leslie P.H. The estimation of population parameters from data obtained by means of the capture-recapture method II. The estimation of total numbers / *Biometrika*. – 39. – 1952. – P. 363-388.
- Leslie P.H., Chitty D. The estimation of population parameters from data obtained by means of the capture-recapture method. 1. The maximum likelihood equations for estimating the death-rate / *Biometrika*. – 38. – 1951. – P. 269-292.
- Lincoln F.C. Calculating waterfowl abundance on the basis of banding returns / *U.S.D.A. Circ.* – 118. – 1971. – P. 1-4.
- Pollock K.H., Nichols J.D., Brownie C., Hines J.E. Statistical inference for capture-recapture experiments / *Wildlife Monographs*. – 107. – 1990. – P. 1-98.
- Seber G.A.F. The estimation of animal abundance and related parameters. Griffin, London. – 1982. – P. 65-91.
- Seber G.A.F. A review of estimating animal abundance / *Biometrics*. – 42. – 1986. – P. 267-292.
- Schnabel Z.E. The estimation of the total fish population of a lake / *Amer. Math. Mon.* - 45. – 1938. – P. 348-352.
- White G.C., Anderson D.R., Burnham K.P., Otis D.L. Capture-recapture and removal methods for sampling closed populations. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico. – 1982. – P. 43-78.

#### REFERENCES

- Begon, M. (1983). Abuses of mathematical techniques in Ecology: applications of Jolly's capture-recapture method. *Oikos*, 40, 155-158.
- Chapman, D.G. (1951). Some properties of the hypergeometric distribution with applications to zoological sample censuses. *Univ. of California Publ. Stat.*, 1(7), 131-160.
- Chao, A. (1987). Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics*, 43(4), 783-792.
- Chao, A. (1989). *Estimating population size for sparse data in capture-recapture experiments*. Willey & Sons, 1989.
- Cormack, R.M. (1989). Log-linear models for capture-recapture. *Biometrics*, 45(2), 395-414.
- Darroch, J.N. (1959). The multiple-capture census II. Estimation when there is immigration or death. *Biometrika*, 46, 336-351.



- Lebreton, J.D., Burnham, K.P., Clobert, J., Anderson, D.R. (1992). Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals: A unified approach with case studies. *Ecological Monographs*, 62(1), 67-118.
- Leslie, P.H., Chitty, D. (1951). The estimation of population parameters from data obtained by means of the capture-recapture method. I. The maximum likelihood equations for estimating the death-rate. *Biometrika*, 38, 269-292.
- Leslie, P.H. (1952). The estimation of population parameters from data obtained by means of the capture-recapture method II. The estimation of total numbers. *Biometrika*, 39, 363-388.
- Lincoln, F.C. (1971). Calculating waterfowl abundance on the basis of banding returns. *U.S.D.A. Circ.*, 118, 1-4.
- Pollock, K.H., Nichols, J.D., Brownie, C., Hines, J.E. (1990). Statistical inference for capture-recapture experiments. *Wildlife Monographs*, 107, 1-98.
- Seber, G.A.F. (1982). *The estimation of animal abundance and related parameters*. Griffin, London.
- Seber, G.A.F. (1986). A review of estimating animal abundance. *Biometrics*, 42, 267-292.
- Schnabel, Z.E. (1938). The estimation of the total fish population of a lake. *Amer. Math. Mon.*, 45, 348-352.
- White, G.C., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Otis, D.L. (1982). *Capture-recapture and removal methods for sampling closed populations*. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico.