

---

**RESEARCH NOTES**

Мацюра А.В.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ МЕЧЕНИЯ И ПОВТОРНОГО ОТЛОВА ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА ПОПУЛЯЦИИ**

*Алтайский государственный университет  
Алтайский государственный педагогический университет  
Барнаул, Россия,  
Email: [amatsyura@gmail.com](mailto:amatsyura@gmail.com)*

Методы мечения и повторных отловов является главной альтернативой методам абсолютного учета для определения размеров популяции в пределах фиксированной территории ее местонахождения. Главное преимущество таких методов - отсутствие зависимости между погрешностью оценки размеров популяции и оценке размеров местонахождения. Основной недостаток подобных методов заключается в зависимости результатов от выборки. Данная работа ставит целью заполнить существующий пробел и познакомить экологов с применением подобных методов для определения размера популяции на основании данных мечения и повторного отлова.

*Ключевые слова: популяция, методы мечения, методы повторных отловов, математические методы.*

Matsyura A.V.

**POPULATION SIZE ESTIMATION FROM THE DATA OF MARKED AND  
CAPTURE-RECAPTURE METHODS**

*Altai State University  
Altai State Pedagogical University, Barnaul, Russia  
Email: [amatsyura@gmail.com](mailto:amatsyura@gmail.com)*

Marked and capture-recapture methods are the main alternative to the methods of absolute count for determination of the populations size within the limits of biotope. Principal advantage of these methods is the absence of dependence between the calculation error of population size and biotope area. The basic lack of the methods is the results' dependence on sample. This article aims to fill the existent gaps in national ecological literature concerning the usage of these methods and to present the algorithms of determination of population size from the data of marked and capture-recapture methods.

*Key words: population, marked methods, capture-recapture methods, mathematical methods.*



Один из первых серьезных обзоров данных методов выполнен Seber (Seber, 1981, 1986). Главная задача методов мечения и повторных отловов - определение размеров популяции, однако в последнее время эти методы часто используются для определения уровней смертности, рождаемости и миграции.

На основании демографических параметров, все популяции могут быть классифицированы как открытые и закрытые. Закрытые популяции остаются в неизменном виде в течение всего периода исследования, тогда как открытые популяции подвержены изменениям, представляющие комбинацию процессов рождаемости, смертности и миграции.

Первые методы повторного отлова и мечения особей были опробованы на закрытых популяциях донных рыб и водоплавающих видов птиц.

Основная гипотеза методов заключается в том, что часть популяции отловлена, помечена и возвращена в среду, смешиваясь с немечеными особями. В случае повторной выборки, количество помеченных особей, повторно отловленных, имеет такое же отношение к общему числу особей, как и все количество помеченных особей с размером популяции.

### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА**

Существует четыре основных допущения, которые характерны для всех методов (Begon, 1983; Cormack, 1989):

1. Мечение не влияет на поведение и продолжительность жизни особей, а метки достаточно надежны.

2. Отмеченные особи полностью смешиваются с остальной частью популяции.

3. Вероятность вылова помеченной особи равна поимки любой особи популяции, отловы проводятся независимо от возрастного и популяционного состава популяции. Термин «ровная уловистость», использованный в данных методах, предполагает, что особи различных возрастных групп и обоих полов встречаются в выборке с такой же пропорцией, с которой они существуют в популяции; все особи могут быть отловлены с одинаковой вероятностью, независимо от их расположения в пределах местонахождения.

4. Выборка представляет серию нескольких отловов, а время, затраченное на получение выборки, не должно быть большим по отношению к общему времени изучения популяции.

*Методы для открытых популяций.*

Основные методы, применяемые для оценки размеров открытых популяций - метод Jolly-Seber и метод регрессионной модели. В основе методов лежит допущение о неизменности вероятности улова и выживаемости в течение всего периода эксперимента. Главное условие получения статистически достоверных результатов - репрезентативность выборки. При несоблюдении этого условия следует применить методы для закрытых популяций.

Основное уравнение метода Jolly-Seber:

$$\hat{N} = \frac{\hat{M}_i n_i}{r_i}, \quad (1)$$

где  $N_i$  - количество особей в популяции по данным, полученным в сутки  $i$ ,  $M_i$  - количество помеченных особей в сутки  $i$ ,  $r_i$  - общее количество замеченных особей, повторно пойманных в сутки  $i$ ,  $n_i$  - общее количество особей, отловленных в сутки  $i$ .

Далее рассчитывается общее количество особей, отпущенных и повторно отловленных,  $R_i$ .

Затем рассчитывается количество особей, замеченных перед временем  $i$ , но не пойманных за сутки  $i$  -  $Z_i$ .

Из уравнения (1) рассчитывается количество помеченных особей в популяции с повышенным риском повторного отлова в сутки  $i$ :

$$\hat{M}_i = \frac{a_i Z_i}{R_i} + r_i, \quad (2)$$

Необходимо провести вычисления пропорции замеченных особей в популяции на момент отлова в сутки  $i$ :

$$\alpha_i = \frac{r_i}{n_i}, \quad (3)$$

После этого можно определить размер популяции для каждой эпохи исследования:

$$\hat{N}_i = \frac{\hat{M}_i}{\alpha_i}, \quad (4)$$

После этого считается вероятность, что особь, замечена и отпущена в момент времени  $i$  доживет до момента  $i + 1$ , когда она может быть отловлена повторно:

$$\hat{\Phi}_i = \frac{M_{i+1}}{\hat{M}_i - r_i - \alpha_i}, \quad (5)$$

Происходя из уровня выживаемости (5) можно посчитать уровень потерь (эффект смертности или эмиграции):

$$\hat{\gamma}_i = 1 - \hat{\Phi}_i, \quad (6)$$

Количество новых особей, которые присоединились к популяции между временем  $i$  и  $i + 1$ , которые на момент  $i + 1$  остались в живых, рассчитывается формуле:



$$\hat{B}_i = \hat{N}_{i+1} - \hat{\Phi}_i(\hat{N}_i - n_i + \alpha_i), \quad (7)$$

Эта величина может быть конвертирована в «степень разбавления»:

$$\frac{1}{\beta} = 1 - \frac{\hat{B}_i}{\hat{N}_{i+1}}, \quad (8)$$

Тесты на «равную уловистость».

Для открытых популяций применяется тест Лесли (Leslie, 1952; Leslie & Chitty, 1951), который рассчитывается по данным первой и последней выборки. Для закрытых популяций основным тестом является тест нулевой усеченной Пуассона. Этот тест предполагает наличие как минимум трех выборок. Нулевая усеченная определяется отсутствием информации о особи, избежали отловов. Ожидаемая вероятность распределения равной уловистости рассчитывается на основании средних значений отловов замеченных особей:

$$\bar{x} = \frac{\sum f_x x}{\sum f_x}, \quad (9)$$

где  $x$  - количество отловов,  $f_x$  - количество особей, пойманных за  $x$  раз. Эта средняя величина используется для вычисления параметра распределения Пуассона,  $m$ , с помощью итерационного уравнения:

$$\bar{x} = \frac{m}{1 - e^{-m}}, \quad (10)$$

Наблюдаемый и ожидаемый распределение анализируются с помощью критерия «хи-квадрат».

Тест Лесли применяется, как было отмечено выше, для открытых популяций, для которых доступны данные о смертности и «уровень подкрепления». Тест использует данные первого и последнего отлова. Приведенный ниже пример иллюстрирует применение подобного теста для гипотетических данных кольцевания одного вида птиц (табл. 1 и 2).

**Таблица 1. Количество повторных отловов.**

Годы	Количество повторных отловов, $n_i$
2010	7
2011	7
2012	6
2013	4
2014	7
Всего	31

**Таблица 2. Анализ частот повторных отловов.**

Количество повторных отловов для каждой особи, X	Частота X $f_x$
0	15
1	7
2	7
3	2
4	1
5	0
$N = \sum f_x = 32$	

Сумма квадратов:  $\sum(x - \bar{x})^2 = \sum x^2 f(x) - \frac{[\sum xf(x)]^2}{N} = 69 - 30,03 = 39,87$ .

Ожидаемая дисперсия:  $\sigma^2 = \frac{\sum n_i}{N} - \frac{\sum(n_i^2)}{N^2} = \frac{31}{32} - \frac{199}{32^2} = 0,9688 - 0,1943 = 0,7745$

Тогда значение «хи-квадрат»,  $\chi^2 = \frac{38,97}{0,7745} = 50,32$ .

К выполнению первого условия для корректного применения теста Лесли - числа выборок не менее трех, необходимо, чтобы число особей было как минимум 20.

Для удобства расчетов размера популяции на основании методов повторных отловов была разработана прикладная экологическая программа - *Simply Tagging* (Pisces Conservation Ltd). Данная программа создана для операционной среды Windows и предлагает аналитическую технику для вычисления размеров популяции, уровня смертности и выживаемости на основании данных мечения особей и повторного отлова.

Программа представляет интерес, как для студентов, так и для профессиональных экологов. Поучительная роль программы определяется наличием модуля, которые позволяет выполнить моделирование для проверки надежности и аккуратности методов обработки данных на основе различных уровней вылова и типов поведения животных. Кроме уже упоминавшихся основных методов для открытых популяций, программа предлагает несколько методов для закрытых популяций, основанных на поведенческих особенностях животных. Использование таких методов, популяция остается неизменной в течение всего периода исследования. Важно, чтобы этот период был коротким по отношению к продолжительности жизни исследуемых особей. Процессы эмиграции и иммиграции отсутствуют.



1. Самый простой метод - метод постоянной вероятности отлова. Данный метод, все особи во всех выборках имеют одинаковую вероятность быть пойманными (White et al., 1982).

2. Метод временных различий вероятности вылова - данный метод предполагает различия вероятности отловов между выборками. Как правило, эти разногласия вызваны погодными условиями. Это модель относится к так называемым «урновым моделям», когда ситуация «подобна перемешиванию шаров в пластиковом пакете» (Chapman, 1951; Lebreton et al., 1992; White et al., 1982).

3. Модель индивидуальных колебаний вероятности отловов - предполагает различия вероятности особей быть пойманными в зависимости от их возраста или размера (Chao, 1987, 1989).

4. Модель поведенческой обратной реакции - вылов, мечения и выпуск в прежние условия опосредованно влияет на особенности поведения животных, уменьшает риск повторно поймать ту же особь (Lincoln, 1971; Pollock et al., 1990).

Применение ловушек с приманками может значительно увеличить вероятность повторных отловов. Таким образом, поимка особи отличается от первого и каждого вылова, что должно быть учтено при исчислении. Самая сложная модель - модель индивидуальных и временных различий вероятности отлова (Lebreton et al., 1992), которая учитывает как различия по времени проведения отловов, так и индивидуальные особенности исследуемых организмов.

## 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.
- 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. (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.
- Leslie, P.H., Chitty, D. (1951). 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, 269-292.
- 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. (1981). 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.

*Поступила в редакцію 07.05.2015*

**Как цитировать:**

Мацюра, А.В. (2015). Использование данных мечения и повторного отлова для определения размера популяции. *Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого*, 5 (2), 85-92. **crossref** <http://dx.doi.org/10.7905/bbmstu.v5i1.978>

© *Мацюра, 2015*

Users are permitted to copy, use, distribute, transmit, and display the work publicly and to make and distribute derivative works, in any digital medium for any responsible purpose, subject to proper attribution of authorship.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 3.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/)