

## Секция 6. Статистические методы в экологии

---

### Отрицательное биномиальное распределение как модель отношений в системе паразит-хозяин

Иешко Е. П.

*Институт Биологии КарНЦ РАН, ул.Пушкинская, 11, г.Петрозаводск,  
185910, Россия*

e-mail: [ieshko@krc.karelia.ru](mailto:ieshko@krc.karelia.ru)

Павлов Ю. Л.

*Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН,  
ул.Пушкинская, 11, г.Петрозаводск, 185910, Россия*

e-mail: [pavlov@krc.karelia.ru](mailto:pavlov@krc.karelia.ru)

---

При исследовании процессов заражения хозяев паразитами в большинстве случаев оказывается, что распределение численности паразитов на хозяине является отрицательно биномиальным (см., например, [1–5]). При этом параметры этого распределения указывают на высокую степень агрегированности: в популяции большинство особей содержат небольшое число паразитов, но некоторые особи имеют много паразитов. В результате среднее число паразитов на хозяине значительно меньше дисперсии. Однако до сих пор остаются открытыми вопросы о природе такой закономерности и об интерпретации параметров распределения. Известно, что отрицательное биномиальное распределение можно рассматривать как условное распределение Пуассона при условии, что его параметр представляет собой случайную величину, имеющую гамма-распределение. В природных условиях существует большое разнообразие механизмов, формирующих такое распределение паразитов. Наиболее известными из них являются неоднородность восприимчивости хозяев к паразитам, изменчивость дозы заражения, обусловленная пространственной или временной неоднородностью распределения инвазионного начала в местах обитания хозяев, а также различия хозяев в активности поиска зараженного корма.

Обозначим  $\xi$  случайную величину, равную числу паразитов на хозяине. Отрицательное биномиальное распределение имеет вид:

$$\mathbf{P}\{\xi = i\} = C_{i+k-1}^i p^k (1-p)^i,$$

где  $i = 0, 1, 2, \dots$ ,  $p, k$  — параметры распределения ( $0 < p < 1, k > 0$ ). Математическое ожидание и дисперсия  $\xi$  выражаются равенствами

$$M\xi = \frac{k(1-p)}{p}, \quad D\xi = \frac{k(1-p)}{p^2}.$$

Эта модель была использована для анализа динамики численности глохий пресноводной жемчужницы *Margaritifera margaritifera* L, паразитирующих на молоди лососевых рыб северных водоемов. Оказалось, что встречаемость глохий на жабрах молоди лосося и форели хорошо моделируется отрицательно биномиальным распределением в различные периоды паразитирования. Сопоставление результатов наблюдений и модели показало, что параметр  $p$  можно интерпретировать как характеристику устойчивости к заражению отдельных рыб в популяции: чем меньше  $p$ , тем устойчивость выше. Малые значения  $p$  говорят о значительной агрегированности рыб по устойчивости: зараженность большинства рыб невелика, но небольшое число рыб имеет много паразитов. Наоборот, если  $p$  приближается к единице, то распределение численности паразитов близко к распределению Пуассона, а это значит, что популяция однородна по устойчивости. Параметр  $k$  можно интерпретировать как характеристику степени агрегированности рыб в популяции. В частности, с ростом  $k$  возрастает заражаемость и агрегированность уменьшается.

Выявлена степенная зависимость параметров  $p$  и  $k$  от экстенсивности (доля зараженных рыб в популяции) и интенсивности (среднее число паразитов на рыбе) заражения. Полученные оценки параметров  $p$  и  $k$  позволяют делать вывод, что рассмотренная система паразит-хозяин является устойчивой.

### Литература

1. Grofton H. D. *A quantitative approach to parasitism*, Parasitology **62** (1971), 179–194.
2. Grofton H. D. *A model of host-parasite relationships*, Parasitology **63** (1971), 343–364.
3. Бреев К. А. *Применение негативного биномиального распределения для изучения популяционной экологии паразитов. Методы паразитологических исследований*, Ленинград, Наука, 1972.
4. Andersen R. M., May R. M. *Regulation and stability of host-parasite population interaction. 1. Regulation processes*, Journal of Animal Ecology **45** (1978), 219–247.
5. Иешко Е. П., Павлов Ю. Л. *Модель распределения численности паразитов*, Доклады Академии Наук СССР, т. **289**, No. **3** (1986), 746–748.