

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Уральское отделение  
Институт экологии растений и животных

**ПРОБЛЕМЫ  
ГЛОБАЛЬНОЙ И РЕГИОНАЛЬНОЙ  
ЭКОЛОГИИ**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

**31 марта – 4 апреля 2003 г.**



Издательство «Академкнига»  
Екатеринбург, 2003

УДК 574  
ББК 28.081  
П 781

Материалы конференции изданы при финансовой поддержке  
Президиума УрО РАН и Экологического фонда  
Свердловской области.

П 781 Проблемы глобальной и региональной экологии: Материалы  
конф. молодых ученых, 31 марта – 4 апреля 2003 г. / ИЭРиЖ УрО РАН. —  
Екатеринбург: Изд-во «Академкнига», 2003. — 372 с.

ISBN 5-93472-080-5

В сборнике представлены материалы конференции, которая проходила 31 марта – 4 апреля в Институте экологии растений и животных УрО РАН. Работы молодых ученых посвящены изучению закономерностей организации, функционирования, динамики и устойчивости популяций и сообществ, анализу биологического разнообразия растений и животных, проблемам биомониторинга окружающей среды.

Табл. 83, Илл. 126.

ISBN 5-93472-080-5

© Коллектив авторов, 2003  
© Обложка. С.С. Трофимова, 2003  
© Оформление. Издательство  
«Академкнига», 2003

# МОЖНО ЛИ ПРИМЕНЯТЬ МЕТОДЫ СОПРЯЖЁННОСТИ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ПРИ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ ТОЧЕЧНЫХ ПОИМК МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ?

---

**К.В. Макслаков**

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург*

Современная экология во всё большей мере переходит от методов прямого наблюдения за отдельными особями или их группировками к рассмотрению популяционных отношений, основанных на статистических методах анализа больших выборок. Данные регистрации пространственного положения особей являются самыми распространённым и доступным материалом полевых наблюдений. У мелких млекопитающих такие данные чаще всего представлены в виде координат поимок на площадке мечения, полученных методом мечения и повторного отлова. С помощью статистики принято определять распределение точек (животных или растений) в пространстве как случайное, регулярное или контагиозное (Василевич, 1969). Взаимное распределение по территории животных из разных выборок до сих пор редко описывалось статистическими методами, но очевидно, что оно может быть взаимозависимым или независимым друг от друга. Методы статистики, применённые к двумерным (пространственным) данным точечных поимок, призваны указывать не только на характер распределения животных из одной выборки, но и на характер взаимного распределения животных из разных выборок.

Благотворные или неблагоприятные (конкурентные, подавляющие) взаимодействия между особями разных видов или внутривидовых группировок должны отражаться на пространственной структуре популяций.

В настоящей работе методы пространственной корреляции и сопряжённости по точкам поимок применены к различным данным отловов живоловушками на площадках мечения для выявления положительных или отрицательных меж- и внутривидовых взаимодействий среди мелких млекопитающих, проведено сравнение этих методов по получаемым результатам.

## МЕТОДЫ

В качестве способов выявления пространственных взаимодействий между разными видами и внутривидовыми группировками были применены следующие методы:

оценка *сопряжённости по  $\chi^2$*  между двумя группами точек из общей совокупности расставленных ловушек путём сравнения двух тетраэрических распределений (*эмпирического* и *теоретического*) количеств ловушек совместного и раздельного попаданий;

метод *пространственной корреляции*, предлагаемый математическим аппаратом *геостатистики* (Matheron, 1963; Ripley, 1981; Cressie, 1991), в основе которого положен принцип вычисления корреляции между содержанием проб (количеством попаданий) для множества точек из двух (или одной) совокупностей, находящихся на одном расстоянии друг от друга (на языке оригинала называется lag — расстояние, обычно кратное некоторому единичному расстоянию  $h$ ). Ряд вычисленных на каждом лаге коэффициентов откладывается на коррелограмме (рис. 1а). В обоснование этого метода положено утверждение, что по получаемым коррелограммам возможно определить относительную максимальную степень влияния (degree — коэффициент корреляции в точке 0 или  $r_0$ ) и диапазон этого влияния (range) — расстояние, дальше которого влияние полностью затухает.

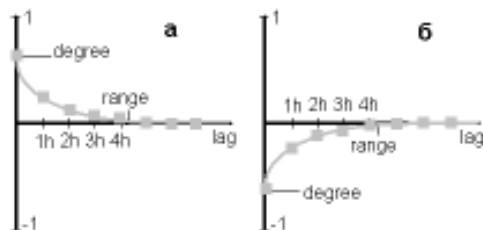


Рис. 1. Теоретическая форма условных коррелограмм: а — при положительной пространственной корреляционной зависимости, б — при отрицательной пространственной корреляционной зависимости.

На самом деле в геостатистике выводы делаются на основании вариограмм, которые составляются как ряд значений функции  $\gamma(h)$  на каждом лаге. Функция  $\gamma(h)$  от расстояния  $h$  (лаг в данном случае) вычисляется как сумма квадратов расстояний между точками, расположенными на расстоянии  $h \pm \Delta$  друг от друга (где  $\Delta$  — классификационный интервал, обычно половина единичного расстояния) разделённая на  $2N$  (где  $N$  — количество пар точек):

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^N (h \pm \Delta)^2_i}{2N} \quad (\text{рис. 2}).$$

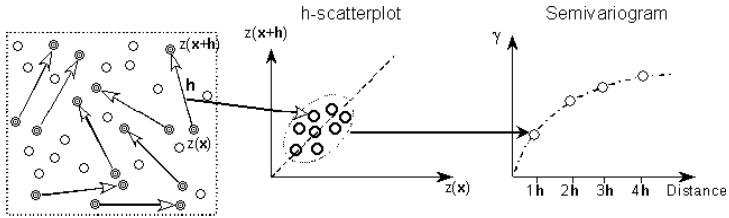


Рис. 2. Схема построения вариограммы.

Функция  $\gamma(h)$  пропорциональна коэффициенту ковариации ( $\gamma(h) = Co(0) - Co(h)$ ) и коэффициенту корреляции ( $\gamma(h) = r(0) - r(h)$ ), поэтому в нашей работе на каждом лаге сразу вычислялись более удобные в интерпретации коэффициенты корреляции.

В случае с мелкими млекопитающими коэффициент корреляции вычисляется для количества попаданий в ловушки, расположенные на расстоянии  $h$  друг от друга. Если взаимодействие между точками (корреляция) зависит от расстояния, на котором они находятся, то ряд коэффициентов корреляции, отложенный на каждом лаге по оси расстояния, при бесконечно большой выборке должен располагаться на кривой логарифмического вида: рис. 1а — при положительном взаимодействии и рис. 1б — при отрицательном. Для площадок отлова в качестве единичного расстояния  $h$  бралось евклидово расстояние между двумя ближайшими ловушками, расположенными, как правило, квадратно-гнездовым образом (рис. 3).

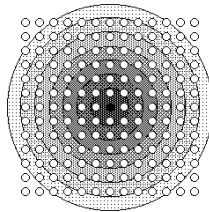


Рис. 3. Схема распределения ловушек по лагам от исходной ловушки.

## МАТЕРИАЛ

Для обработки использовались данные, собранные в разные годы сотрудниками института из 4 разных районов:

— окрестности деревни Шигаево Шалинского района Свердловской области (Средний Урал) — собраны в 1982–1992 гг. и любезно предоставлены Л.Н. Добринским, Н.Л. Добринским, Ф.В. Кряжимским и Ю.И. Малофеевым;

— окрестности реки Хадыга-Яха (Южный Ямал) — собраны в 1977–1979 гг. и любезно предоставлены Ф.В. Кряжимским и Ю.И. Малофеевым;

— мыс на озере Ишкуль (Ильменский заповедник, Южный Урал) — собраны в 1975–1977 гг. и любезно предоставлены Г.В. Оленевым;

— остров Решный на озере Шитовском Верхнепышминского района Свердловской области (Средний Урал) — собраны автором в 2000–2001 гг.

С применением вышеуказанных методов обрабатывались данные по таким видам как рыжая полёвка (*Clethrionomys glareolus*) (д.Шигаево, оз.Ишкуль), красная полёвка (*Clethrionomys rutilus*) (р.Хадыга, оз.Шитовское), обыкновенная полёвка (*Microtus arvalis*) (оз.Ишкуль), полёвка-экономка (*Microtus oeconomus*) (р.Хадыга, оз.Шитовское), лесная мышь (*Apodemus uralensis*) (оз.Ишкуль, оз.Шитовское) и различными бурозубкам (*Sorex sp.*) (оз.Ишкуль, оз.Шитовское).

На основании сравнения полученных различными методами результатов делались выводы о применимости методов оценки взаимодействий по данным точечных отловов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные обрабатывались с помощью специально написанной компьютерной программы, результаты обчёта которой представлены на рисунках в виде схемы расположения поимок на площадке мечения (в левой части рисунка),

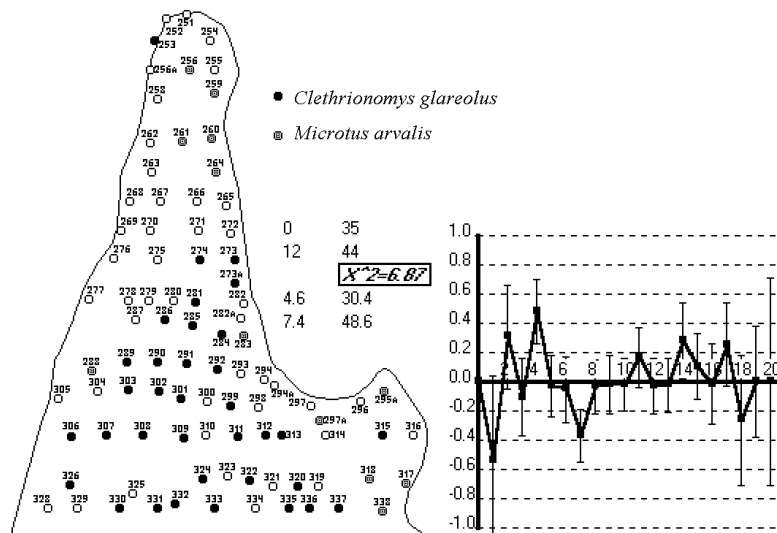


Рис. 4. Отрицательная сопряжённость на площадке мечения рыжих и обыкновенных полёвок в начале июня 1977 г. (Южный Урал).

двух тетрагорических распределений сопряжённости поймок (эмпирического вверху и теоретического внизу), показателя  $\chi^2$  между ними (достоверные показатели выделены рамкой) и коррелограммы (в правой части рисунка) с расстоянием между ближайшими ловушками в качестве единичного и обозначенными диапазонами ошибки для каждого коэффициента корреляции.

Из множества получаемых коэффициентов сопряжённости и коррелограмм далеко не во всех случаях удавалось наблюдать какие-либо достоверно отличные от случайных взаимные распределения поймок, но в тех случаях, когда это удавалось, выявлялись следующие закономерности.

Отрицательные сопряжённости по поймкам (достоверная несопряжённость) оказывались характерными для видов полёвок, относящихся к разным родам (рис. 4), при этом положительные сопряжённости часто встречаются для разных групп особей одного вида (рис. 5). Это можно объяснить разной для видов биотопической приуроченностью, связанной с различиями в спектрах питания и другими экологическими особенностями, в то время как особи одного вида приурочены к общему биотопу в пределах площадки.

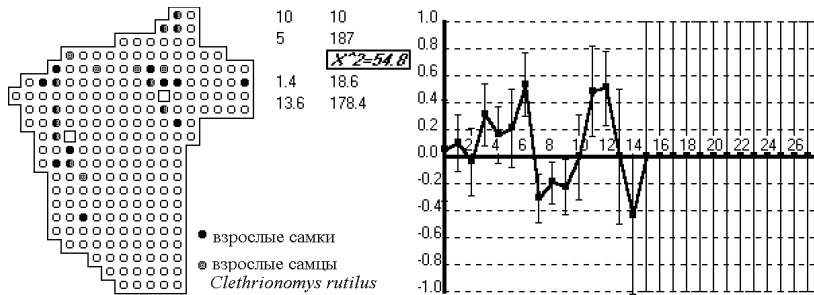


Рис. 5. Положительная сопряжённость на площадке мечения между взрослыми самками и самцами красной полёвки в июне 1977 г. (Южный Ямал).

Отрицательные значения пространственной корреляции характерны для конкурирующих видов одного рода, например, красной (*Clethrionomys rutilus*) и рыжей полевок (*Clethrionomys glareolus*) (рис. 6), что противоречит другим данным о том, что эти виды занимают общую территорию, а конкуренция у них должна возникать с красно-серой полёвкой (*Clethrionomys rufocanus*) (Башенина, 1977). Другими примерами проявления отрицательных пространственных корреляций может служить активное территориальное поведение животных. Например, территориальное поведение взрослых особей одного пола как по отношению друг к другу, так и к особенно многочисленным в пик численности неполовозрелым молодым животным, которые, таким образом, оказываются вытесненными на «нейтральные тер-

ритории» и пространственно сопряжены между собой (как например, половозрелые самцы и самки).

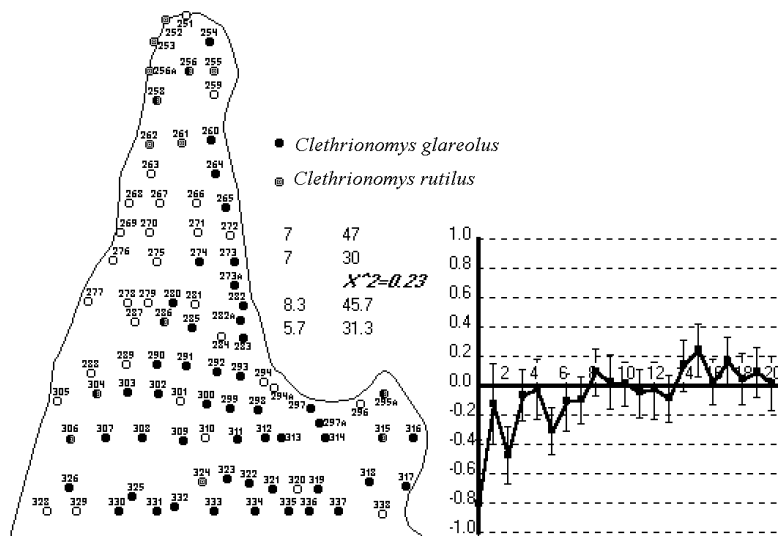


Рис. 6. Отрицательная пространственная корреляция на площадке мечения между рыжими и красными полёвками в конце августа 1977 г. (Южный Урал).

В то же время положительные значения пространственной корреляции оказывались характерными для групп особей одного вида, чьё поведение позитивно или нейтрально сказывается на особях другой группы как, например, расселение недавно бывших ювенильными, только вышедших из гнезда животных с территории взрослых родителей (рис. 7).

Часто коррелограммы имели несколько пиков и «провалов» (рис. 5, 8), что объясняется не только небольшими объёмами выборки, но и дискретной пространственной структурой популяций грызунов, состоящей из индивидуальных участков отдельных особей (определённое расстояние между соседями). Отсутствие положительного коэффициента корреляции в точке 0 частично компенсируется положительным коэффициентом на расстоянии нескольких ловушек, особенно между половозрелыми самками и самцами (рис. 5, 8), что говорит о тенденции «держаться поблизости» при наличии у каждого животного своей охраняемой территории. Отрицательные же корреляции между животными разных выборок на относительно близких расстояниях компенсируются положительными на отдалённых и наоборот, что говорит о «выталкивании» одних животных другими в первом случае (рис. 6) и о «притягивании» — во втором (рис. 7).



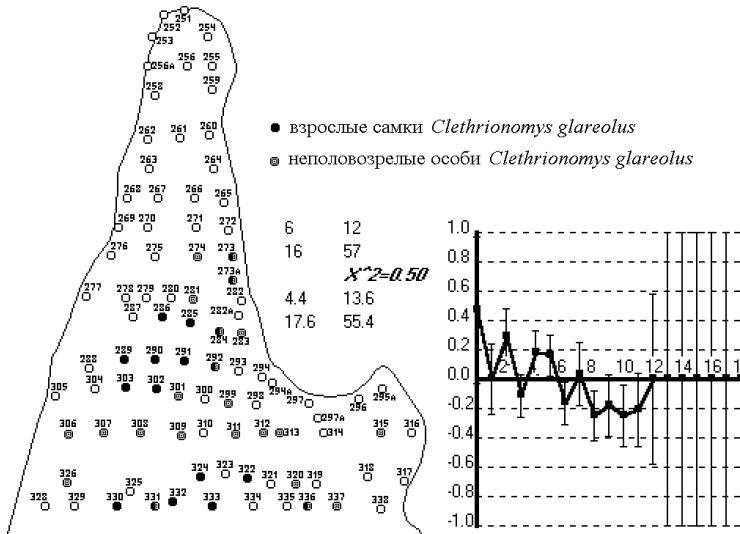


Рис. 7. Положительная пространственная корреляция на площадке мечения между взрослыми самками и неполовозрелыми особями рыжей полёвки в начале июня 1977 г. (Южный Урал).

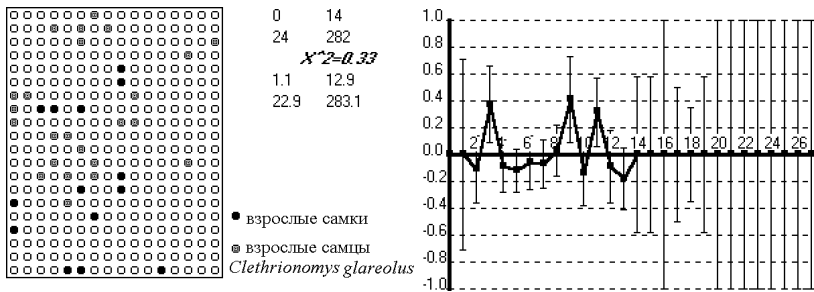


Рис. 8. Положительная пространственная корреляция на площадке мечения на расстоянии 3, 9, 11 ловушек между взрослыми самками и самцами рыжей полёвки в августе 1983 г. (Средний Урал).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы сопряжённости и пространственной корреляции подтверждают прямые наблюдения межвидовых и внутривидовых взаимодействий, сильно варьирующие в зависимости от времени исследования.

Методы сопряжённости и пространственной корреляции взаимно дополняют друг друга:

— метод сопряжённости позволяет выявлять отличные от случайных пространственные распределения, вызванные воздействием внешних факторов (разная или общая биотопическая приуроченность);

— метод пространственной корреляции выявляет закономерности пространственного распределения, вызванные взаимодействиями между самими особями.

К недостаткам метода пространственной корреляции относятся следующие:

— отловы грызунов редко предоставляют достаточную выборку для существенного снижения ошибки коэффициента корреляции на каждом лаге;

— отсутствие постепенности убывания коэффициентов корреляции на оси расстояния (чередование пиков и спадов) связано с дискретной пространственной структурой грызунов, состоящей из индивидуальных участков;

— метод не позволяет достоверно оценивать характер и интенсивность воздействия других животных на каждую отдельную особь.

По результатам работы можно сделать такой обобщающий вывод: особенности пространственной структуры грызунов приводят к необходимости рассматривать индивидуальные участки отдельных особей для оценки интенсивности взаимодействия между ними.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Башенина Н.В. Пути адаптации мышевидных грызунов. М.: Наука, 1977. 354 с.  
Василевич В.И. Статистические методы в геоботанике. Л.: Наука, 1969. 232 с.  
Cressie N. Statistics for spatial data. N.Y.: John Wiley & Sons, 1991. 900 p.  
Matheron G. Principles of geostatistics // Econom. Geol. 1963. V. 58. P. 1246–1266.  
Ripley B.D. Spatial statistics. N.Y.: John Wiley & Sons, 1981. 420 p.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ЗУБНЫХ СИСТЕМ ИСКОПАЕМЫХ ВИДОВ АКУЛ

**Е.Г. Максимова**

*Уральский госуниверситет, г. Екатеринбург*

Одной из самых распространенных групп среди ныне живущих морских рыб являются эласмобранхии (надкласс Pisces, класс Chondrichthyes, подкласс Elasmobranchii). К ним относятся акулы и скаты. Зубные системы эласмобранхий состоят из нескольких зубных рядов и, как правило, гетеродонтны: зубы