

УДК 595.762

**Возможности применения корреляционного анализа для выявления структуры комплексов жуужелиц (*Coleoptera, Carabidae*) околородных биотопов**

В. В. Бригадиренко

Днепропетровский государственный университет, Днепропетровск

**Возможности применения корреляционного анализа для выявления структуры комплексов жуужелиц (*Coleoptera, Carabidae*) околородных биотопов. Бригадиренко В. В.** – В работе рассматриваются способы выделения комплексов (групп) видов, сходным образом изменяющих свою численность в различных условиях. Излагается методика выделения комплексов видов с применением эмпирического коэффициента корреляции. На примере фауны жуужелиц околородных биотопов Павлоградского района Днепропетровской области рассматривается применение данного метода изучения видовой структуры экосистем. Часть выделенных комплексов детально рассматривается с трофической, экоморфической и биотопической точек зрения. Рассматриваются закономерности, влиянию которых подчиняется численность группировок приведенных видов, а также перспективы применения эмпирического коэффициента корреляции для изучения комплексов жуужелиц.

Ключевые слова: жуужелицы, околородные биотопы, комплексы видов, коэффициент корреляции, Днепропетровская область, Украина.

**Можливості використання кореляційного аналізу для вивчення структури комплексів турунів (*Coleoptera, Carabidae*) колородних біотопів. Бригадиренко В. В.** – В роботі вивчаються способи виділення комплексів (груп) видів, які змінюють свою чисельність сходним чином в різних умовах. Викладена методика виділення комплексів із застосуванням емпіричного коефіцієнту кореляції. На прикладі фауни турунів колородних біотопів Павлоградського району Дніпропетровської області розглядається застосування даного методу вивчення видової структури екосистем. Частина виділених комплексів детально розглядається з трофічної, екоморфічної та біотопічної точок зору. Розглядаються закономірності, під впливом яких змінюється чисельність наведених видів а також перспективи застосування емпіричного коефіцієнту кореляції для вивчення комплексів турунів.

Ключові слова: туруни, жуужелиці, заплавні біотопи, коефіцієнт кореляції, комплекси видів, Дніпропетровська область, Україна.

**Opportunities of application of the correlation analysis for revealing structure of complexes ground-beetles (*Coleoptera, Carabidae*) floodland habitats. Brigadirenko V. V.** - In work the ways of allocation of complexes (groups) of species similar image varying the number in various conditions are considered. The technique of allocation of complexes of species with application of empirical factor of correlation is stated. On an example the family *Carabidae* floodland habitats of Pavlograd district of Dnepropetrovsk area the application of the given method of study the structure of species экосистем is considered. The part of the allocated complexes detailed is considered with the trophical, ecomorphical and biotopical points of view. The laws are considered, to which influence the number of groupings of the considered species and also prospects of application of empirical factor of correlation for study of complexes ground-beetles submits.

Key words: ground-beetles, *Carabidae*, floodland habitats, complexes of species, factor of correlation, Dnepropetrovsk area, Ukraine.

К изучению структуры экосистем существует множество подходов. Все их можно разделить на две большие группы. С точки зрения одних исследователей основная автономная единица жизни – организм; во взаимоотношениях организма со всеми факторами окружающей среды определяется возможность жизни данного вида в определённой экосистеме. Другие авторы переносят центр тяжести на экосистему, как единое целое; наличие вида в данных условиях, в первую очередь, определяется его тесными связями с другими видами, обитающими в данной экосистеме (т. е. биотическими факторами). Длительное сосуществование видов в филогенезе способствовало формированию тесных

взаимоотношений между ними и образованию естественных группировок (комплексов) видов.

Комплекс – группа видов, обитающих в конкретном биотопе, тесно связанных между собой различными типами связей и сходным образом изменяющих свою численность при изменении условий окружающей среды. При обнаружении одного вида, входящего в комплекс, можно со значительной степенью вероятности судить о наличии в данной экосистеме и других видов данного комплекса. Таким образом, экосистему можно представить как сообщество, состоящее из небольшого количества видовых комплексов, находящихся между собой во всевозможных типах взаимоотношений.

Одним из наиболее сильно проявляющихся типов взаимоотношений между комплексами является конкуренция. Часто видовые списки беспозвоночных в двух экосистемах, очень сходных между собой по всем свойствам эдафотопы, климатопы и фитоценоза, различаются в значительной степени. Чаще всего это бывает связано с замещением одного фаунистического комплекса другим в результате интенсивных конкурентных взаимоотношений между отдельными видами. В процессе конкуренции один или несколько видов одного комплекса могут исчезнуть; при этом резко понижается устойчивость к конкурирующему комплексу у видов, связанных с исчезнувшими (входившими с ними в один комплекс).

Причины понижения этой устойчивости очень сложны и не всегда могут быть выявлены на современном уровне изученности экологии данных видов. В этом процессе, возможно, принимает участие как прямое взаимодействие между видами конкурирующих комплексов, так и опосредованное различными факторами окружающей среды. К прямому взаимодействию между видами различных комплексов относится прямое поедание одних видов другими, отсутствие устойчивости к переносимым конкурирующим комплексом штаммам вирусов, бактерий, грибков, конкуренция за укрытия и т.д. Примером косвенного взаимодействия между различными комплексами может служить снижение численности одних видов почвенной мезофауны в ответ на увеличение численности других видов этого же трофического уровня (в результате переключения потоков энергии в трофической сети экосистемы).

Видовой состав экосистемы складывается из комплексов видов, различным образом сочетающихся между собой в разных экосистемах. Выделение комплексов видов требует изучения большого количества сходных экосистем, тщательного изучения всевозможных сочетаний видов, что при достаточном видовом обилии становится достаточно сложной задачей, невыполнимой без применения ЭВМ.

Количество одновременно изучаемых пробных площадей должно быть соизмеримо с количеством зарегистрированных видов, только тогда можно получить достоверные данные. Численности всех видов на всех пробных площадях представляются в виде одной матрицы. Для обработки данных, в зависимости от их особенностей и цели исследования возможно применение различных коэффициентов корреляции, а также различных методов кластеризации данных с помощью таких пакетов программ, как Statistica 5.0 и подобных ей. Однако при применении различных подходов к обработке данных, особенно при их кластеризации, результаты получаются разными, иногда не соответствующими действительности. В связи с этим, а также из-за необходимости использования для проведения кластерного анализа самых современных ЭВМ (не всегда являющихся доступными), наибольшее значение приобретает расчет комплексов видов с помощью коэффициентов корреляции.

Универсальным может считаться эмпирический коэффициент корреляции. По стандартным методикам (Лакин Г. Ф., 1990) вычисляется парный коэффициент корреляции между численностями двух видов на всех обследованных пробных площадях. Таким образом вычисляются коэффициенты корреляции между численностями всех видов (первого со всеми последующими, второго со всеми последующими и т. д.). Для вычисления

всех коэффициентов в матрице из  $K$  видов необходимо будет произвести расчёт  $(K-1) K/2$  парных коэффициентов корреляции.

В памяти ЭВМ сохраняются номера видов, достоверно связанных положительной или отрицательной корреляционной связью, если значение коэффициента превышает критическую точку критерия Стьюдента для исходной степени свободы и принятого уровня значимости.

Для выявления существования комплекса из трех видов А, В и С, необходимо наличие связей А-В, В-С и С-А. Для существования комплекса из четырех видов А, В, С и Д необходимо выявить шесть пар связанных видов: А-В, В-С, С-Д, Д-А, А-С и В-Д. Аналогично, комплекс из пяти видов "объединяет" 10 парных коэффициентов корреляции, из шести – 15, из семи – 21, из восьми – 28, из девяти – 36, из десяти – 45 и т. д.

Далее возникает трудность в вычленении "вершинных" комплексов, не входящих ни в какие другие, более крупные. Один комплекс из  $K$  видов включает  $K$  комплексов из  $K-1$  видов, каждый из которых, в свою очередь, состоит из многих комплексов  $K-2$  видов и т. д. Например комплекс из 5 видов включает в себя 5 комплексов из четырех видов. Из полученного массива попарно связанных между собой видов с применением специально разработанной для этой цели компьютерной программы вычленяются "вершинные" комплексы видов. С применением данной методики получены интересные данные по группировкам околотовидных видов жужелиц Присамарья Днепропетровского, выявлены некоторые принципы формирования этих комплексов.

Выделение естественных комплексов жужелиц – задача очень трудоёмкая, вследствие обилия видов во многих экосистемах. Околотовидные экосистемы занимают одно из первых мест по количеству видов жужелиц в любой зоне, т. е. представляют наиболее интересный в данном отношении объект исследований. По данным И. Х. Шаровой и В. Г. Матвеевой (1974) от подзоны северной тайги до степной зоны количество видов карабидофауны на пойменных лугах изменяется от 8 до 29 видов, наибольшего разнообразия достигая на севере степной и в лесостепной зонах. В связи с этим основным районом настоящих исследований были выбраны околотовидные биотопы придолинно-террасного ландшафта (пойменные и аренные прибрежные сообщества, а также экосистемы галофильных лугов солонцово-солончаковой террасы р. Самары), расположенные на севере степной зоны – окрестности г. Павлограда Днепропетровской области.

В качестве исходной базы данных были взяты результаты исследований 1995 года по 32 выбранным пробным околотовидным биотопам. Связи между 87 зарегистрированными видами выявлялись с помощью эмпирического коэффициента корреляции. Был вычислен 3741 коэффициент корреляции. При его значении, превышающем критическое (+0,4455) или меньшем -0,4455 (что соответствует однопроцентному уровню значимости) данная пара видов заносилась в память ЭВМ.

В результате было выявлено 227 пар коррелирующих видов, имеющих положительные (прямые) связи. Несмотря на существование небольшого количества отрицательных связей их "сила" (абсолютное значение модуля коэффициента корреляции) в большинстве своем не превышает 0,15 и лишь в нескольких случаях превышает 0,30. Отрицательных связей, где коэффициент корреляции меньше -0,4455, не было обнаружено. Это очень интересный факт, так как, казалось бы, конкуренция между жужелицами и их хищный образ жизни должны приводить к существованию многочисленных отрицательных связей.

При выделении комплексов коррелирующих видов были получены следующие данные: комплексов из трех видов – 336, из четырех – 397, из пяти – 363, из шести – 253, из семи – 130, из восьми – 46, из девяти – 10, из десяти видов – 1. Более крупных комплексов не найдено. В дальнейшем, при включении более мелких комплексов в более крупные было определено, что два вида не коррелируют ни с какими другими. Комплексов из двух видов, не входящих ни в какие другие, более крупные, было выявлено 16, из трех – 13, из четырех – 2, из пяти – 14, из шести – 2, из семи – 3, из восьми – 1, из девяти – не обнаружено

и из десяти видов – 1. Видно, что наибольшее распространение получили комплексы, включающие два, три и пять видов. Вероятно, по каким-то причинам – это наиболее устойчивые экологические образования.

Получен довольно большой массив групп коррелирующих видов. Приведение их всех в этой работе невозможно, из-за ограничения объема. Поэтому остановимся на нескольких, для которых уже сейчас можно сделать предположения о факторах, вызывающих их формирование. Нумерация комплексов носит условный характер и введена для простоты ссылок на них.

Комплекс №1. *Dyschiriodes salinus striatopunctatus* (Putzeys, 1846), *Bembidion (Emphanes) rivulare euxinum* Apfelbeck, 1904, *B. (Notaphus) varium* (Oliver, 1795), *Pogonus (s. str.) luridipennis* (Germar, 1822), *P. (s. str.) orientalis* Dejean, 1828. Виды характерны для солончаковых местообитаний, где составляют основу карабидофауны. Все виды относятся к зоофагам: первый из них геобионт роющий, остальные – стратобионты-скважники поверхностно-подстилочные. Скорее всего, здесь мы имеем дело с чисто ценоотическим галофильным комплексом, однако отдельные его компоненты (виды *Bembidion*) обитают и на псаммофильных и на галофильных лугах.

Комплексы №2 *Omophron (s. str.) limbatum* (Fabricius, 1776), *Stenolophus teutonus* (Schrank, 1781), *Acupalpus (s. str.) flavicollis* (Sturm, 1825) и №3 *O. (s. str.) limbatum* F., *Dyschirius arenosus* Stephens, 1827, *Bembidion (s. str.) quadripustulatum* (Serville, 1821). Оба комплекса распространены на песчаных берегах водоемов. Все виды, входящие в них, практически никогда не обитают ни в каких других типах околосодных биотопов. Комплекс №2 включает зоофага псаммофила почвенного (первый вид) и двух миксофитофагов стратобионтов-скважников. Комплекс № 3 вместо миксофитофагов содержит зоофагов: геобионта роющего (второй вид) и стратобионта-скважника подстилично-почвенного.

Комплекс №4. *Stenolophus proximus* Dejean, 1829, *Chlaenius (Chlaeniellus) tristis tristis* (Schaller, 1783), *Oodes (s. str.) gracilis* A.Villa et G.B.Villa, 1833. В сумме на эти три вида приходится 20,1 % от всей численности жужелиц, отмеченных в околосодных биотопах. Они распространены более чем в 80 % точек, принадлежащих ко всем типам околосодных биотопов (по степени засоления и механическому составу почвы), однако меньше всего их в наиболее засоленных участках. Первый вид – миксофитофаг стратобионт-скважник; остальные зоофаги стратобионты-скважники поверхностно-подстилочные.

Комплекс №5. *Pterostichus (Argutor) ovoideus* (Sturm, 1824), *Agonum (s. str.) atratum* (Duftschmid, 1812), *Chlaenius (Chlaeniellus) nigricornis* (Fabricius, 1787). Этот комплекс обитает чаще в луговых биотопах, причем лишь в небольшой части из них. Данные виды распространены лишь в местообитаниях с большим видовым разнообразием (около 20-30 видов, в то время как среднее число видов жужелиц в околосодных биотопах региона – 12,4). Эти виды никогда не достигают высокой численности. Все они относятся к зоофагам стратобионтам-скважникам поверхностно-подстилочным.

Комплекс №6. *Pterostichus (Melanius) anthracinus* (Illiger, 1798), *Agonum (s. str.) lugens* (Duftschmid, 1812), *Badister (s. str.) unipustulatus* Bonelli, 1813. Виды обитают в луговых биотопах, иногда немного засоленных, в тростниковых зарослях или в местах, обильно покрытых береговыми растениями с сильно затененной почвой. Имеют среднюю численность; все принадлежат к зоофагам стратобионтам-скважникам поверхностно-подстилочным.

Комплекс №7. *Blethisa multipunctata* (Linnaeus, 1758), *Loricera pilicornis* Fabricius, 1775, *Pterostichus (Omaseus) elongatus* (Duftschmid, 1812), *P. (Melanius) nigrita* (Paykull, 1790), *Agonum (s. str.) impressum* (Panzer, 1797), *A. (s. str.) viduum* (Panzer, 1797), *Amara communis* (Panzer, 1797), *Anisodactylus (s. str.) binotatus* (Fabricius, 1787), *Chlaenius (Chlaeniellus) tristis* Schall., *Oodes (s. str.) gracilis* Villa. Это самый большой из обнаруженных комплексов он состоит из 10 видов и имеет внутри себя 45 корреляционных связей. Первые восемь видов относительно узко распространены, обитают лишь в 1 – 6 точках (из 32), относящихся

к луговым местообитаниям. Последние два вида обитают примерно в половине обследованных точек, относятся к фоновым и входят в комплекс № 4.

Выявить закономерности, объединяющие большинство перечисленных выше видов в отдельные комплексы и заставляющие эти виды синхронно изменять свою численность в различных условиях чаще всего не представляется возможным. Однако ряд заключений все же сделать можно.

Существуют комплексы, объединяющие виды по способу питания, например комплексы включающие зоофагов, питающихся однородными по размеру и распространенности объектами (комплексы № 3, 5, 6). Но чаще встречаются группировки, объединяющие и зоофагов и миксофитофагов одновременно (комплексы № 2, 4, 7). Существуют комплексы, в которых представлены виды, обитающие в основном в одном биогеогоризонте, например стратобионты-скважники поверхностно-подстилочные (комплексы № 6 и 4). Однако чаще они включают виды, обитающие в разных биогеогоризонтах (большинство комплексов). Существуют комплексы, объединяющие виды, исключительно по их устойчивости к засолению почвы (комплекс № 1), по предпочтению определенного механического состава почвы (к примеру песчаной почвы - комплексы № 2 и 3). При проведении более широких исследований вероятно будут выявлены группировки по распространению их в определенном гигротопе или определенной флористической ассоциации, парцелле (тростниковые заросли, снытевая, крапивная, лишайниковая парцеллы). Интересным может оказаться зоогеографический анализ фаунистических комплексов беспозвоночных. Перспективным вероятно окажется изучение сезонных динамик численностей отдельных обнаруженных комплексов, сравнение динамик разных комплексов между собой.

Полученные данные по составу околородных комплексов жуужелиц являются первыми результатами, позволяющими приблизиться к пониманию изучаемой проблемы. Для углубления понимания закономерностей, позволяющих устойчиво сосуществовать между собой одним набором видов и распадаться другим, для выяснения причин обитания разных комбинаций видов в очень слабо различающихся между собой почвенно-растительных условиях необходимо проведение дальнейших исследований в этом направлении.

1. Лакин Г. Ф. Биометрия: Учеб. Пособие для биол. спец. вузов – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
2. Шарова И. Х., Матвеева В. Г. Комплексы жуужелиц пойменных лугов в ландшафтных зонах европейской части СССР // Фауна и экология животных. – М., 1974. – С. 3-17.