

Вестн. Ом. ун-та. 2011. № 4. С. 142–145.

УДК 591.543:575.21:502/504

А.Г. Васильев, Л.А. Сорокотягина, В.В. Бондаренко, О.А. Маканина

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФОРМЫ ТЕЛА И МЕЛАНИЗИРОВАННОГО РИСУНКА ПОКРОВОВ КЛОПА-СОЛДАТИКА

Решается задача создания комплексной методики биомониторинга с применением традиционных и принципиально новых методов исследования. Разработан алгоритм применения компьютерной морфометрии в биоиндикационных исследованиях.

Ключевые слова: компьютерная морфометрия, геометрическая морфометрия, биомониторинг.

1. История вопроса

Компьютерная морфометрия заключается в поиске наиболее быстрого и эффективного способа оценки качества окружающей среды. Для данного мониторинга среды используются различные методы. При этом, по мнению Захарова, прежде всего необходима базовая информация о любых глобальных и локальных изменениях среды. Безусловно, биологический мониторинг не позволяет связать регистрируемый эффект с определенным действующим фактором, но дает интегральную оценку последствий для представителей живой природы действия комплекса загрязняющих окружающую среду веществ, изменения качества среды обитания человека.

Одним из методов, применяемых в изучении живых объектов, обитающих в различных экосистемах, является геометрическая морфометрия. Как метод исследования она начала применяться несколько десятков лет назад: лишь в начале 80-х гг. XX столетия были сформулированы основополагающие идеи, заложившие его теоретические основы [1; 2]. В кратком виде геометрическую морфометрию можно определить как совокупность методов многомерного айген-анализа координат меток, описывающих конфигурацию морфологических объектов в пространстве. Она разрабатывается как особый аналитический инструмент, позволяющий исключить влияние размеров на результаты анализа формы морфологических структур. Это достигается благодаря набору специфических алгебраических техник, делающих данный подход весьма нетривиальным инструментом биометрии [3; 4]. Областью исследований геометрической морфометрии является разнообразие формы морфологических структур – физических тел, на поверхности которых можно осмысленно расставить метки и снять с них декартовы координаты. Это разнообразие может быть неопределенной индивидуальной изменчивостью; различиями между таксонами, полами, кастами насекомых, биоморфами и экотонами и другими дискретными группами.

Изменения формы, исследуемые геометрической морфометрией, раскладываются на две составляющие – однородную (uniform) (аффинную, линейную) и неоднородную (non-uniform) (неаффинную, нелинейную). Первая, называемая однородной компонентой формы (uniform shape component) [2], включает нелокализуемые изменения: глобальные растяжение/сжатия, которые одинаковы в окрестностях всех меток, их «моделью» может служить превращение прямоугольника в ромб. Вторая включает локальные растяжение/сжатия, искривления, изгибы и т. п. Эти изменения различны в окрестностях разных меток (локализуемы) и могут быть представлены как искривления сторон прямоугольника.

Все процедуры геометрической морфометрии так или иначе связаны с использованием эталонного объекта (reference object): конфигурация его меток определяет геометрию кендэллова пространства, относительно него проводятся все операции сравнения. В одних случаях это может быть какой-то введенный в выборку реальный или гипотетический объект – например, обозначающий начало морфологического ряда. В других эталон вычисляется как усредненная (consensus) конфигурация, которая определяется (методом наименьших квадратов или его аналогами) таким образом, чтобы ее суммарные отклонения по всем меткам от всех экземпляров в выборке были минимальны.

Совокупность всех морфологических объектов (точнее, их оцифрованных образов), определенных через координаты меток, образует пространство структур (figure space) размерностью pk . Очевидно, что это пространство ни в коей мере не является физическим, «заполненным» морфологическими объектами. На самом деле это частный случай фенетического гиперпространства, то есть «математический артефакт», конструируемый с помощью неких математических операций на основе координат меток.

Процедура геометрической морфометрии начинается с того, что исследуемые объекты совмещаются своими центроидами в точке пересечения осей пространства. Затем центроидные размеры приводятся к единице, благодаря чему достигается их выравнивание (alignment) относительно эталона: тем самым из последующего анализа исключается «размерный фактор».

Целью проводимого исследования является разработка алгоритма экомонито-

ринга с применением методов компьютерной морфометрии.

2. Описание метода

Для нашего исследования мы использовали программу пакета TPS, включающего в себя TPSutil, которая создаёт каталог изображений; TPSdig (позволяет расставлять и редактировать на экране метки и полуметки, сохранять их координаты в файле); TPSrelw (вычисляет главные, частные и относительные деформации для выборки. Вычисляет и позволяет сохранить в файлах координаты эталонной конфигурации и экземпляров после их выравнивания, координаты экземпляров в пространствах частных и относительных деформаций, нагрузки меток на относительные деформации. При вычислении относительных деформаций позволяет варьировать параметр α , включать и исключать однородную компоненту. Отображает на экране изменения формы в виде трансформационной решетки или векторов, распределение экземпляров в пространствах частных и относительных деформаций; позволяет сохранить экранные изображения в графическом файле).

Данный пакет программ широко используется для фенетических и экологических исследований. Как уже сказано выше, методы компьютерной морфометрии успешно использовались для изучения изменчивости живыхных (грызунов, рыб), асимметрии листьев растений в ходе экологических исследований [5]. Для вычисления достоверности полученных данных применялся пакет Statistica.

В биоиндикационном исследовании использовались выборочные популяционные наблюдения и комплекс методов камеральной обработки. Сбор материала проводился дважды: в июне и июле. Таким образом, выборки содержат насекомых двух поколений. Подготовка и обработка материала включает 6 основных этапов:

1. Отбор 20–30 особей из каждой популяции.

2. Обездвиживание насекомых при помощи эфира.

3. Сканирование каждой особи с разрешением 1200–2400 dpi.

4. Создание TPSфайла для каждой выборки при помощи программы tpsUtil.

5. Двукратная расстановка меток-ландмарков для каждой особи в программе tpsDig.

6. Файлы с подготовленными изображениями клопа-солдатика помещали в отдельный каталог. На готовых изображениях (формат JPEG) производили расста-

новку меток (landmarks) в программе TrpDig. Для нашего объекта мы выбрали 34 метки, расположенные в местах наибольшей кривизны рисунка и формы тела. Обработка TPS-файлов в программе trpRelw. Для оценки ошибки измерений провели предварительную работу по повторной расстановке меток на пробных серях одних и тех же изображений P. Arterus. Программа TrpRelw методом наложения (суперпозиции) с применением Прокрустового анализа позволяет получить консенсусное изображение для каждой выборки, которое можно использовать как для графического сравнения различных популяций между собой, так и для дальнейшей статистической обработки. Многомерную ординацию объектов проводили методом главных компонент формы в программе TrpRelw, где координаты каждого объекта выводятся на касательную (тангенциальную) плоскость по отношению к Кендалову пространству исходных ординат. Полученные в этой плоскости координаты (относительные деформации – relative warps) обрабатывались далее обычными статистическими методами. Прокрустов анализ вычисляет частные и относительные деформации и размер центроида, а также линейные переменные формы UnifX и UnifY, создает текстовые файлы с координатами и значениями.

Анализ изменчивости формы и размеров тела животных проводился по нескольким направлениям:

- изучение изменчивости между особями разного пола;
- сравнение двух популяций, обитающих на разных участках ботанического заказника Урочище Лиман;
- сравнение популяций урбанизированных и заповедных территорий.

3. Полученные результаты

Сравнение самцов и самок проводили по размеру центроида. Этот показатель характеризует общие размеры тела – корень квадратный из суммы квадратов расстояний от каждой лантмарки (метки) до центра изображения. Обработка материала показала различия между особями разных полов по направлениям изменчивости формы тела (рис. 1).

На рис. 2 видно, что у самок форма тела сильнее изменяется в продольном направлении, по сравнению с самцами. Изменчивость формы тела самцов, согласно данному рисунку, проявляется в поперечном направлении.

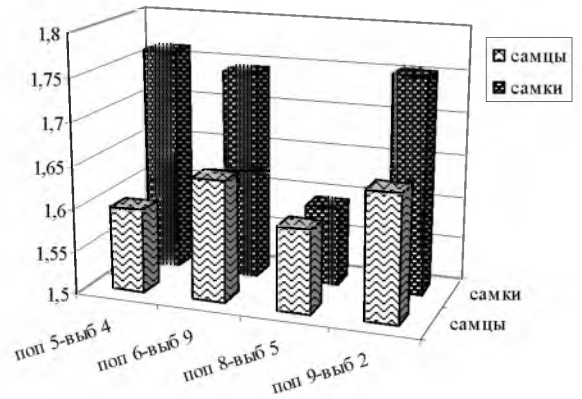


Рис. 1. Сравнение размера центроида самцов и самок клопов-солдатиков из популяций Алексеевского района

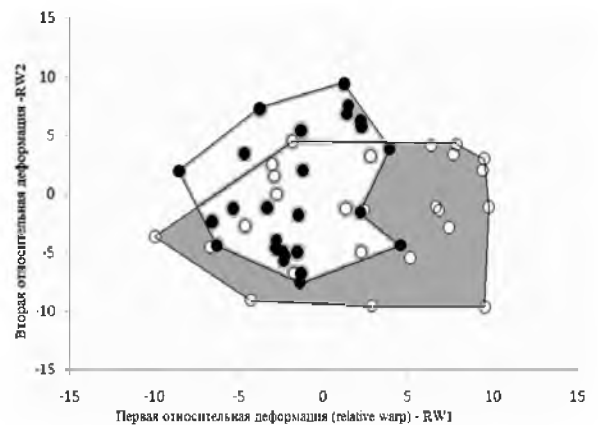


Рис. 2. Полигоны изменчивости формы тела особей клопа-солдатика в пространстве первых двух относительных деформаций:
○ – самки; ● – самцы

После обработки TPS-файлов с помощью программы TPS Relw нами были получены следующие результаты. На рис. 3 видно, что выборки из заповедной территории достоверно не различаются по форме тела. Различия между выборками одного сезона вдоль первой оси CVA1 незначительны и недостоверны. Вдоль второй оси – CVA2 – наблюдаются сезонные различия в обеих популяциях. То есть насекомые, собранные в июне, крупнее июльских особей.

Из полученных данных можно сделать выводы о том, что обе популяции территории заказника Лиман испытывают сходное воздействие среды.

Далее мы сравнили изменчивость насекомых, обитающих на городских и заповедных территориях.

При сравнении выборок заказника Лиман и городского парка видно, что выборки Лимана (июнь) и Парка (июнь) четко различаются по форме тела, которая

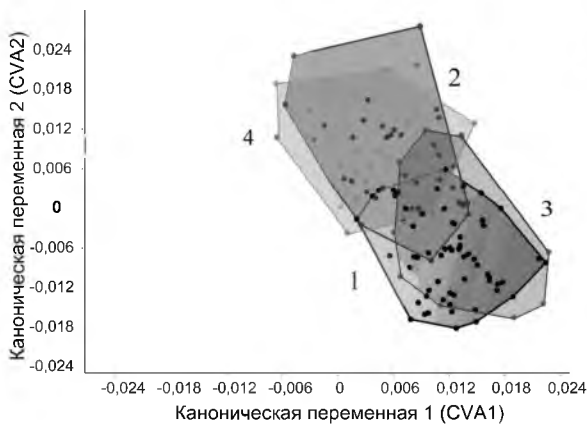


Рис. 3. Результаты канонического анализа формы тела клопа-солдатика из популяций заказника Лиман в июньских (1, 3) и июльских (2, 4) выборках в пространстве первой и второй канонических переменных (CVA1, CVA2)

варьирует заметно меньше, чем в июльских выборках из этих локалитетов, которые также существенно различаются. Видно, что, если вдоль первой оси – CVA1 проявляются различия «заповедник – город», то вдоль второй оси – CVA2 – сезонные различия (сверху вниз). Изменчивость в июле в обеих выборках резко возрастает, а форма несколько изменяется (рис. 4).

Заключение

Изменчивость формы тела клопа-солдатика во всех проанализированных выборках достоверно изменяется в зависимости от сезонов (поколений) по второй канонической переменной.

Выявлены достоверные различия изменчивости в выборках из популяций городских и заповедных территорий.

Таким образом, можно сделать вывод, что в нашем случае на изменчивость формы тела *Rytrhocoris apterus* L. достоверно повлияла степень урбанизации, мест обитания насекомых, а также сезон-

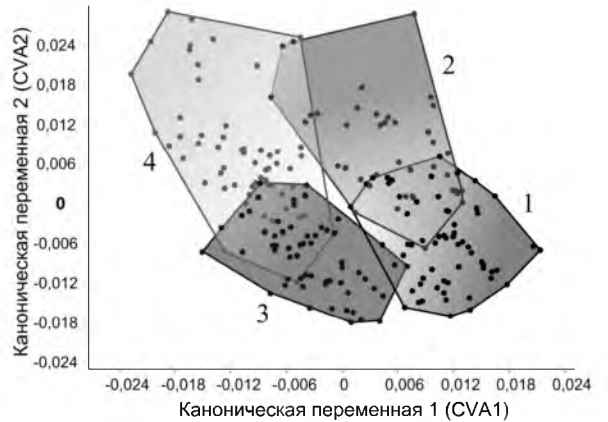


Рис. 4. Результаты канонического анализа формы тела клопа-солдатика из заповедной (1, 2) и городской (3, 4) популяций в июньских (1, 3) и июльских (2, 4) выборках в пространстве первой и второй канонических переменных (CVA1, CVA2)

ные факторы. Данные выводы доказывают целесообразность применения компьютерной морфометрии в экологических исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Kendall D. G.* Shape-manifolds, procrustean metrics and complex projective spaces // *Bull. London Mat. Soc.* 1984. V. 16. № 1. P. 81–121.
- [2] *Bookstein F. L.* Morphometric tools for landmark data: geometry and biology. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1991. 198 p.
- [3] *Marcus L.* Software // Eds *Marcus L.F., Bello E., Garcia-Valdesas A.* Contributions to morphometrics. Madrid: C.S.C.I., 1993. P. 259–264.
- [4] *Павлинов И. Я.* Геометрическая морфометрия – новый аналитический подход к сравнению компьютерных образов // Информационные и телекоммуникационные ресурсы в зоологии и ботанике. СПб., 2001. С. 65–90.
- [5] *Войта Л. Л.* Анализ внутривидовой изменчивости и популяционной структуры полевки Максимовича (*Microtus Maximowiczii* Schrenk, 1858) в Забайкалье // Материалы конференции молодых ученых. Екатеринбург, 2005. С. 37–47.