
БИОЛОГИЯ

УДК 578.087::575.061.1

НОВЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ФОРМ ОРГАНИЗМОВ

В.П. Пекин

e-mail: pekin_valera@mail.ru

Челябинский государственный университет, г Челябинск, Россия

Статья поступила 30 мая 2003 г.

Несмотря на то, что изменчивость формы биологических объектов издавна служит объектом пристального внимания биологов, сама форма как таковая с ее уникальными свойствами до сих пор остается за рамками исследований. В качестве основной причины этого называют отсутствие количественных методов описания формы [1]. Надежду на решение проблем изучения форм организмов связывают с группой количественных методов геометрической морфометрии основанных на описании формы системой координат точек на поверхности объекта.

Несомненным достоинством методов геометрической морфометрии является возможность количественного изучения динамики формы вне зависимости от размеров, однако в этом методическом подходе форма описывается только в объеме признаков выделенных исследователем, в связи с чем в описании не отражаются её свойства, а форма трактуется только как геометрическое понятие. Например, два шара, центр тяжести у одного из которых смещен от середины методами геометрической морфометрии не распознаваемы. Вместе с этим свойства таких шаров резко отличны.

Цель данной работы — предложить единый подход количественного описания и сравнения форм организмов независимо от их родства на основе общих принципов построения биологических конструкций и общих свойств форм. Предлагаемый в работе подход призван решить следующие задачи:

Количественное описание и сравнение форм независимо от размера и уровня сложности форм, а также независимо от количества признаков, доступных для измерения и вовлекаемых в описание.

Сравнение форм независимо от наличия — отсутствия гомологии.

Возможность описания филогенетической, онтогенетической и этологической динамики форм организмов.

Эталон формы

Основа нового подхода описания форм организмов в введении единой метрической системы форм и эталона формы отражающим все её свойства.

Для выбора эталона формы существенными являются следующие её свойства:

1. Форма не зависит от природы материального носителя.
2. Форма не связана с линейными размерами тела.

Первые два свойства формы позволяют уйти от того, чтобы эталоном формы было конкретное тело.

3. Форма опосредует взаимодействие тел и сама проявляется через это взаимодействие. Форма, как пространственно ориентированное свойство материи, вне системы взаимодействия лишена смысла.

Изменение пространственной ориентации объекта приводит к изменению характера взаимодействия тела организованного формой, с окружающей средой. Поэтому для сравнения двух форм нужно обязательно приводить их к определенной ориентации в пространстве путем вращения одной формы относительно другой и относительно системы взаимодействия тел (это именно то, что делает человек, вращая форму в руках, рассматривая ее). Поэтому первым качеством, которым должен обладать эталон формы — это простота его пространственной ориентации или в качестве эталона должна быть использована пространственно неориентированная форма.

4. Изменение формы всегда сопряжено с движением, причем пространственная переориентация формы есть не что иное, как ее изменение.

5. Масса, движение и форма связаны между собой. Так как движение есть смещение центра тяжести тела в пространстве, то увеличение массы тела без изменения формы обязательно приводит к его смещению в пространстве относительно любой произвольной точки, не совпадающей с центром тяжести. В свою очередь, изменение формы без пространственного смещения центра тяжести тела возможно только на фоне изменения массы.

Изменение формы сопровождается изменением энергии. Потенциальная энергия формы меняется при изменении пространственной ориентации формы в гравитационном поле, поэтому любая система, стремящаяся к минимуму внутренней энергии, стремится приобрести шарообразную форму.

Четвертое и пятое свойства формы, по сути, определяют характер связи формы с ее материальным носителем. Перераспределение масс тела и связанное с этим смещение центра тяжести приводит к пространственной переориентации тела, то есть к новой форме. В соответствии с этим, два шара являются разными формами, если у одного из них центр тяжести смещен от середины. При смещении центра тяжести тела, меняется потенциальная энергия и шары по-разному ориентируются в пространстве, проявляя разные свойства.

Наиболее простым выражением указанных свойств формы обладает однородный шар, который мы и предлагаем в качестве эталона формы. Шар, как наиболее простая форма, определяется только радиусом, через который, без риска потерять другие отношения, возможно сравнение любых форм.

Кроме этого, однородный шар — пространственно неориентированная форма, поэтому возможно сравнение с шаром форм, находящихся в различных системах взаимодействия и различно двигающихся в пространстве.

Принципы эталонного сравнения форм вытекают из их свойств:

Так как форма — пространственное свойство материи, она может быть описана в полярной системе координат, центр которых совмещен с центром тяжести тела.

Так как форма связана с материальным носителем, то между различными формами существуют постоянные отношения. Так, отношение радиуса шара к длине ребра куба такого же объема есть величина постоянная, равная 1,612, к величине ребра тетраэдра такого же объема равна ... и т. д. Вместе с этим форма никак не связана с линейными размерами тела. Проблема снятия размерного фактора при количественном описании формы легко разрешается заданием масштаба системы координат. При введении эталона формы, единичной координатой является радиус эталонного шара, равного по объему объекту, форму которого описывают.

Сравниваемая с эталоном форма должна быть определённым образом ориентирована. Однако в случае применения в качестве эталона пространственно неориентированной формы, какой является однородный шар, необходимость процедуры ориентации отпадает. В случае сравнения двух форм между собой через эталон, формы должны быть одинаково ориентированы. Так как все формы обычно рассматриваются в системе с планетой Земля, они должны быть одинаково ориентированы относительно вектора силы тяжести.

Так как ориентация формы в пространстве связана с движением, то сравниваемые формы должны находиться в одинаковых условиях движения и взаимодействия с другими телами.

Принципы организации форм организмов

В качестве объекта для апробации нашего метода были выбраны насекомые, чья форма благодаря экзоскелету наиболее стабильна, а также семена растений и яйца птиц. Описание форм животных и растительных организмов в полярной системе координат, центр которых совмещен с центром тяжести тела, позволило выделить ряд общих принципов, в соответствии

с которыми эти формы построены [2]. Знание общих принципов построения форм организмов значительно упрощает их описание и сравнение.

Первый принцип организации форм. Организм симметричен. Симметрию организма в данном случае мы понимаем, прежде всего, как симметричное распределение масс тела, на фоне которого формируется симметрия органов и структур. Уменьшение осей симметрии есть результат морфофункциональной дифференциации и перераспределения масс тела на фоне пространственной ориентации свойств формы. Принцип давно описан как процесс эволюционного преобразования формы организмов от форм пространственно неориентированных с многолучевой симметрией до форм строго ориентированных в пространстве, билатерально симметричных и форм асимметричных, вернее, составленных из симметричных элементов различно ориентированных в пространстве, такие как многие моллюски и модулярные организмы. Количество осей симметрии является отражением уровня сложности форм, что определенно показано В.Н. Беклемишевым [3].

Второй принцип организации форм живых организмов — принцип пассивной стабилизации пространственной ориентации организма. Суть этого принципа сводится к тому, что все части организма формируются строго сбалансировано по моменту сил относительно центра тяжести тела. Этим достигается минимизация энергетических затрат организма на поддержание стабильного положения тела в пространстве. На наш взгляд гравитация, в силу постоянства своего действия на все биологические конструкции, отражена в каждой из них в виде системы сбалансированных по моменту силы масс, что в свою очередь является сквозным принципом организации существующего многообразия форм.

Третий принцип организации форм. Возможные позы неподвижного организма определяются формой его подвижно сочлененных частей и отвечают условию, при котором сумма моментов сил относительно центра тяжести равна нулю. Форма, у которой геометрический центр всех проекций совпадает с проекциями центра тяжести тела, относится к типу *пространственно стабилизированных форм*. Для выяснения типа формы необходим анализ ее свойств, в какой либо системе взаимодействия, например, в свободном падении. В данной системе взаимодействия, тела имеющие форму пространственно стабилизированного типа, свободно вращаются относительно своего центра тяжести по трем осям, так как не возникает момент силы, стремящийся изменить его пространственную ориентацию. Простейшими пространственно стабилизированными формами являются шар, куб, тетраэдр, то есть формы, сумма моментов сил которых относительно центра тяжести тела равна нулю. Большинство насекомых в состоянии покоя относится к данному типу форм.

Четвертый принцип. Движение организмов в пространстве осуществляется за счет перехода пространственно стабилизированного типа формы в форму пространственно нестабилизированного типа и обратно, а также за счет изменения ориентации пространственно нестабилизированных форм. Движение — переход из одной формы в другую.

К пространственно нестабилизированному типу форм относятся формы, у которых геометрический центр хотя бы одной из проекций не совпадает с проекцией центра тяжести тела (суммарный момент сил не равен нулю). Форма, обладающая такими свойствами, при взаимодействии с другими телами будет постоянно менять свою пространственную ориентацию, пока возникающий момент силы не будет компенсирован внешней силой. Пространственно нестабилизированным типом формы обладают насекомые в состоянии полета или pedalной локомоции, а также их куколки, отдельные модули растений и яйца птиц.

В соответствии с мерностью пространства существует три типа пространственно нестабилизированных форм организмов. Примером пространственно нестабилизированной формы первого типа является крылатка клёна. В потоке воздуха возникает вращение крылатки за счет того, что у трех проекций геометрический центр не совпадает с проекцией центра тяжести. Переориентация формы идет по трем координатам (пропеллирующий полет).

К пространственно нестабилизированным формам второго типа относятся формы, у которых геометрический центр не совпадает с проекцией центра тяжести на двух проекциях. В потоке воздуха тело такой формы будет ориентироваться в направлении проекции, где такое совпадение будет иметь место. В случае падения в воздухе — прямолинейное движение вниз. (Переориентация пространственно нестабилизированной формы второго типа идет по одной

координате — парашютирование). К этому типу форм относятся семена одуванчика, круглые яйца птиц, многие яйца и куколки насекомых.

У пространственно нестабилизированных форм третьего типа геометрический центр проекций не совпадает с проекцией центра тяжести только на одной проекции. Такая форма переориентируется по двум координатам. В нашем случае с падением, тело будет двигаться по наклонной (планирование). К данному типу форм относятся яйца птиц имеющие тупой и острый конец, насекомые в состоянии планирующего и пропеллирующего прямолинейного полета и pedalной локомоции.

Пятый принцип организации форм. При членении формы все образующиеся части (другие формы) получают такую пространственную ориентацию, что их сумма равна пространственной ориентации исходной формы (иными словами, из осколков кувшина мы всегда можем сложить разбившийся кувшин).

В качестве иллюстрации данного принципа можно привести несозревшие крылатки клена, которые соединены попарно, образуя пространственно стабилизированную форму второго типа. При созревании форма распадается на две крылатки — пространственно нестабилизированные формы первого типа, пространственная ориентация которых противоположна.

Данный принцип важен для описания сложных форм унитарных организмов и их динамики по геометрическим центрам подвижно сочлененных частей, а также модулей модулярного организма относительно центра тяжести целого тела.

Метод описания формы организмов

Включает в себя три основных этапа:

1. Определение центра тяжести тела и геометрических центров проекций;
2. Ориентация формы в пространстве;
3. Определение координат точек, описывающих форму относительно центра тяжести.

Методика определения центра тяжести тела, применяемая нами, представляет собой модернизацию ранее известных способов [4, 5] и сводится к вывешиванию насекомого на осях вращения в проекционном аппарате. Центр тяжести определялся как точка пересечения двух линий отвеса при вывешивании тела на двух произвольно взятых осях вращения, а для билатерально симметричных организмов, как точка пересечения линии отвеса с плоскостью симметрии.

Ориентация формы в пространстве и определение координат точек, описывающих форму, относительно центра тяжести осуществляется при помощи круговой матрицы — основного инструмента, на котором проводят описание в единой системе координат независимо от набора имеющихся морфологических признаков.

Матрица представляет собой полярную систему координат, центр которой совмещен с центром тяжести тела.

В нашем методе описание формы тела ведется на трехмерной круговой матрице состоящей из 120-ти лучей (количество лучей определяется желаемым уровнем детализации описания формы и может быть любым кратным мерности пространства). В качестве рабочего инструмента достаточно одной плоскости матрицы, на которой отражается одна из проекций формы (рис. 1).

При проекции формы на матрицу важно соблюдать три условия:

1. Геометрический центр проекции должен быть совмещен с центром матрицы.
2. Плоскость проекции должна быть строго перпендикулярна оптической оси проектора.
3. Относительно матрицы пространственно нестабилизированная форма должна быть ориентирована таким образом, чтобы ось вращения формы с минимальным моментом инерции совпадала с лучом № 1 (для билатерально симметричных животных это продольная ось тела) (рис. 2).

Пространственно стабилизированные формы должны быть ориентированы относительно вектора силы тяжести таким образом, чтобы суммарное расхождение геометрических центров всех проекций и проекций центра тяжести были минимальны. При этом матрица ориентируется относительно вектора силы тяжести так, чтобы луч № 1 был направлен вверх. Другими словами, описываемая форма должна быть ориентирована в пространстве естественным образом. В принципе, для описания формы может быть использована любая проекция, как и их совокупность, однако наиболее информативными являются проекции, на которых максимально расхождение геометрического центра проекции и проекции центра тяжести тела. Для пространствен

но нестабилизированного типа форм нами использовались дорзовентральная и латеральная проекция [5].

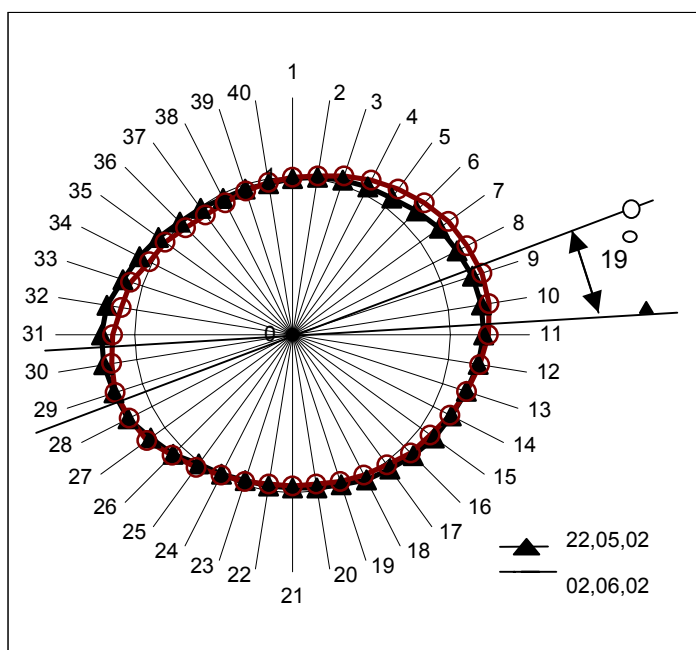


Рис. 1. Круговая матрица и проекции куриного яйца сразу после кладки и через 11 дней его развития в инкубаторе

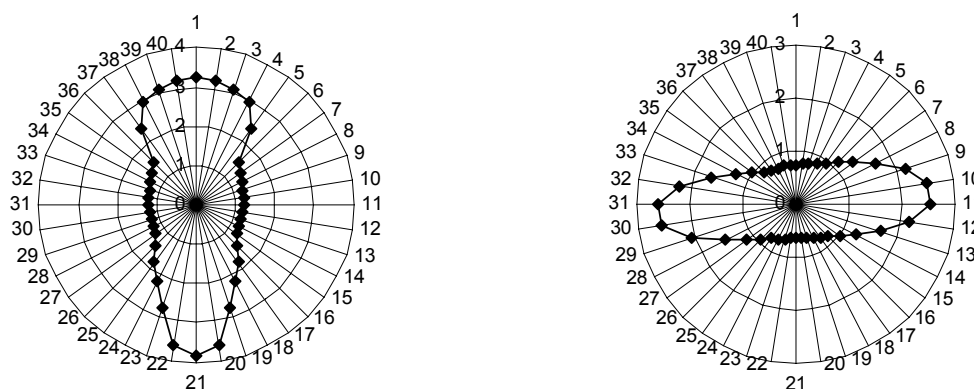


Рис 2. Проекция нимфы и яйца *Gryllus bimaculatus* Deg

На следующем этапе работы определяются координаты точек пересечения лучей с краем проекции. Для этого, проводится измерение расстояний от центра матрицы до точек пересечения лучей с краем проекции. Расстояние от центра матрицы до края проекции соотносится с длиной радиуса шара, равного по объему описываемой форме.

Заключение

Предлагается единая метрическая система форм. В качестве эталона формы предлагается использовать однородный шар равный по объему с телом, форму которого описывают. Описание форм организмов проводится на симметричной круговой матрице, центр которой совмещен с центром тяжести тела. Матрица представляет собой полярную систему координат с углом в 9° между лучами. Предлагаемый методический подход позволяет проводить описание и сравнение форм в единой метрической системе форм независимо от их размеров, наличия или отсутствия гомологичных структур, что в свою очередь открывает возможность проведения широких межтаксонных сравнений и построение классификации жизненных форм.

Список литературы

1. Павлинов И.Я., Волцит О.В., Россолимо О.Л. Анализ изменчивости формы методами «геометрической морфометрии»: демонстрация некоторых возможностей на примере гнатосомы клещей (Acari: *Ixodes*) и коренного зуба полевок (Mammalia: *Alticola*) // Журнал общей биологии. 1994. Т. 55, 1, С. 110—118.
2. Пекин В.П., Чичков Б.М. Общие принципы организации форм насекомых. XII Съезд Русского энтомологического общества. Санкт–Петербург, 19—24 августа 2002 г. С.–Петербург, 2002. С. 277.
1. Беклемишев В.Н. Методология систематики. Москва: KMK Scientific Press Ltd., 1994. 250 с.
2. Александер Р. Биомеханика. М: Мир, 1970. 339 с.
3. Бровар В.Я. Силы тяжести и морфология животных. М: Наука. 1960. 239 с.