

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМЫ СПИКУЛ КОЖИ ТЕЛА ШЕСТИ ВИДОВ ГОЛОТУРИЙ РОДА *CUCUMARIA* (ECHINODERMATA: HOLOTHURIOIDEA)

*Comparative analysis of the spicular shape of the body wall of six  
species of the cucumariids (Echinodermata: Holothurioidea)*

В.Г.Степанов\*, Р.А.Шаповрев\*\*

\*Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский

\*\*Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и  
океанографии, Петропавловск-Камчатский

Систематике и биологии голотурий рода *Cucumaria* посвящено множество работ, тем не менее, таксономические отношения внутри рода до сих пор нельзя считать окончательно установленными. Так, последние исследования показали, что вид *C. japonica* сборный, и ареал его распространения значительно уже, чем считалось ранее.

Одним из важнейших в таксономическом отношении признаков у голотурий является форма спикул. В связи с вышесказанным, нами был проведен сравнительный анализ шести видов кукумарий: *C. frondosa*, *C. japonica*, *C. savelijevae*, *C. djakonovi*, *C. conicospermium* и *C. levini*; два из них, а именно *C. conicospermium* и *C. levini*, описаны нами сравнительно недавно (Левин, Степанов, 2002; Степанов, Пильганчук, 2002). Для анализа использовано по 100 спикул из стенки тела у каждого экземпляра каждого вида.

Были рассчитаны количественные показатели, характеризующие различные особенности формы спикул кукумарий, краткое описание которых приводится ниже. Для вычисления количественных показателей формы спикул написана компьютерная программа, позволяющая производить оцифровку графического изображения спикулы в числовой массив и рассчитывать необходимые показатели с занесением их в базу данных (Степанов, Гайдаев, Левин, 2000).

А. *Удлиненность*. Коэффициент сферичности Рилея (Шванов, 1969)  $K_y = \sqrt{q/D}$ , где  $d$  - диаметр вписанного в контур фигуры круга,  $D$  - диаметр описанного круга; показатель формы  $K_\phi = q/D^2$  и показатель эллиптичности  $K_\epsilon = \pi D^2/4q$ , где  $D$  - диаметр описанного круга,  $q$  - площадь фигуры (Викторов, 1986).

Б. *Односторонняя удлиненность*. Индекс односторонней удлиненности "ракеткообразности"  $K_m = c/D$ , где  $c$  - расстояние между центрами вписанного и описанного кругов,  $D$  - диаметр описанного круга (Гудимова, 1991, 1999).

В. *Расчлененность края*. Индекс кругообразности  $K_x = 4\pi q/P^2$  и коэффициент расчлененности  $K_p = P/2\sqrt{\pi q}$ , где  $P$  - периметр фигуры,  $q$  - площадь фигуры (Викторов, 1986).

Г. *Характеристика отверстий*. Коэффициент относительной площади отверстий  $Q_{\text{отн}} = Q/Q_1$ , связывающий площадь спикулы с суммарной площадью отверстий, где  $Q$  - площадь спикулы,  $Q_1$  - суммарная площадь отверстий (Степанов, Гайдаев, Левин, 2000).

Все коэффициенты для каждого вида были проверены на нормальность распределения по критерию Колмогорова-Смирнова. Для распределения некоторых коэффициентов, эксцесс и асимметрия которых незначительны, характерно наличие крайних малочисленных "выскакивающих" вариантов, приводящих к ненормальности распределения. Удаление подобных вариантов позволило в ряде случаев получить нормальное распределение. Особенно это присуще "нулевым" значениям коэффициентов, которые для данной формы спикулы невозможно рассчитать, но которые аналитически должны равняться нулю. Выбраковка таких вариантов производилась на основе сравнения их значений с 95% доверительным интервалом. А именно, если  $\bar{X}$  - среднее значение показателя,  $\sigma$  - стандартное отклонение этого показателя,  $t_{0,95} = 1.994$  - критическое значение критерия при 95% уровне значимости, то доверительный интервал. Если значение выскакивающей варианты больше или меньше доверительного интервала, делалось заключение о "выбраковке" такой варианты.

Задача дифференциации видов по коэффициентам формы спикул сводилась к следующему. Для каждого коэффициента формы спикул каждого вида проводили проверку на нормальность распределения по критерию Колмогорова-Смирнова. В случае подтверждения гипотезы о нормальности распределения производили сравнение средних значений коэффициентов по t-критерию Стьюдента. Таким образом, делался вывод о разделении видов на основе различия средних значений присущих этим видам коэффициентов формы спикул. Если гипотеза о нормальности распределения отклонялась, использовали двухвыборочный тест Колмогорова-Смирнова для сравнения форм распределений. Заключение о видовом разделении делалось на основе разницы средних значений коэффициентов формы спикул при нормальности распределений или на несовпадении самих форм распределений в противном случае. Естественно, что показатели, обладающие нормальным законом распределения предпочтительнее, в силу меньшей требовательности к объему выборки по сравнению с ненормальным.

Ниже приведены различия в форме спикул кожи тела у рассматриваемых видов кукумарий.

*C. frondosa* отличается от других видов по коэффициентам  $K_y$ ,  $K_\phi$ ,  $K_z$  и  $Q_{\text{отн}}$ . По форме распределения коэффициентов  $K_x$  и  $K_p$  она отличается от всех видов. t-критерий Стьюдента не показал отличия в средних значениях коэффициента  $K_x$  этого вида с видами *C. djakonovi* ( $p=0.067$  (здесь и далее  $p$  - 5% уровень значимости для t-критерия Стьюдента)) и *C. levini* ( $p=0.15$ ) и отличия в средних значениях коэффициента  $K_p$  этого вида с *C. djakonovi* ( $p=0.06$ ).

*C. japonica* отличается от других видов (за исключением *C. levini*) по коэффициентам  $K_{\phi}$  и  $K_3$ ; а от *C. levini* - по коэффициентам  $K_y$ ,  $K_x$ ,  $K_p$  и  $Q_{om}$ . По коэффициентам  $K_x$  и  $K_p$  *C. japonica* отличается от всех видов кроме *C. conicospermium*. Кроме того, *C. japonica* отличается от всех рассмотренных видов по коэффициентам  $K_y$  и  $Q_{om}$ .

*C. savelijevae* по форме распределения коэффициента  $K_y$  отличается от всех видов, t-критерий Стьюдента показал отличия в средних значениях этого коэффициента от всех видов за исключением *C. conicospermium* ( $p=0.086$ ); от *C. conicospermium* она отличается по коэффициентам  $K_{\phi}$ ,  $K_3$ ,  $K_x$ ,  $K_p$  и  $Q_{om}$ . По форме распределения коэффициента  $Q_{om}$  *C. savelijevae* отличается от всех видов, t-критерий Стьюдента показал отличия в средних значениях этого коэффициента от всех видов за исключением *C. levini* ( $p=0.45$ ). Кроме того, *C. savelijevae* отличается от всех видов по коэффициентам  $K_{\phi}$ ,  $K_3$ ,  $K_x$  и  $K_p$ .

*C. djakonovi* отличается от всех рассмотренных видов по коэффициентам  $K_y$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_3$  и  $Q_{om}$ . По форме распределения коэффициентов  $K_x$  и  $K_p$  *C. djakonovi* отличается от всех видов, t-критерий Стьюдента показал отличия в средних значениях этих коэффициентов от всех видов за исключением *C. frondosa*.

*C. conicospermium* отличается от всех видов по коэффициенту  $K_y$ , t-критерий Стьюдента показал отличия в средних значениях этого коэффициента от всех видов за исключением *C. savelijevae* ( $p=0.15$ ); от *C. savelijevae* она отличается по коэффициентам  $K_{\phi}$ ,  $K_3$ ,  $K_x$ ,  $K_p$  и  $Q_{om}$ . По коэффициентам  $K_x$  и  $K_p$  *C. conicospermium* отличается от всех видов за исключением *C. levini* и *C. japonica*. Кроме того, *C. conicospermium* отличается от всех рассмотренных видов по коэффициентам  $K_{\phi}$ ,  $K_3$  и  $Q_{om}$ .

*C. levini* отличается от других видов (за исключением *C. japonica*) по коэффициентам  $K_{\phi}$  и  $K_3$ , характеризующим степень удлиненности; от *C. japonica* она отличается по коэффициентам  $K_y$ ,  $K_x$ ,  $K_p$  и  $Q_{om}$ . По форме распределения коэффициентов  $K_x$  и  $K_p$  *C. levini* отличается от всех видов за исключением *C. conicospermium*, t-критерий Стьюдента не показал разницу в средних значениях коэффициента  $K_x$  между *C. levini* и *C. frondosa* ( $p=0.15$ ). Кроме того, *C. levini* отличается от всех рассмотренных видов по коэффициентам  $K_y$  и  $Q_{om}$ .

В ходе выполнения исследования было выяснено следующее:

1) предлагаемая методика количественного анализа формы спикул голотурий дает приемлемые результаты и может оказаться полезной при решении таксономических и популяционных задач;

2) проведенный сравнительный анализ формы спикул кожи тела *C. frondosa*, *C. japonica*, *C. savelijevae*, *C. djakonovi*, *C. conicospermium* и *C. levini* показал различия между ними по таким характеристикам формы спикул как удлиненность, расчлененность края и перфорированность;

3) у разных видов могут встречаться спикулы сходного строения, но "ансамбль" из наиболее часто встречающихся спикул качественно отличается у каждого вида и может быть использован, как важный диагностический признак;

4) коэффициенты  $K_{\phi}$  и  $K_{\sigma}$  равнозначно определяют различия между видами и для таксономического анализа можно использовать один из них (предпочтительней  $K_{\sigma}$ , т.к. в большинстве случаев он подчиняется закону нормального распределения);

5) коэффициенты  $K_k$  и  $K_p$  равнозначно определяют различия между видами и для таксономического анализа можно использовать один из них.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Викторов А.С. 1986. Рисунок ландшафта. М.: Мысль. С. 1-179.

Гудимова Е.Н. 1991. Методы количественного анализа формы спикул голотурий рода *Cucumaria* // Биол. моря. №6. С.80-87.

Гудимова Е.Н. 1999. Голотурия *Cucumaria frondosa* (Gunnerus) Баренцева моря: систематика, биология, использование // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб: ЗИН РАН. 21 с.

Левин В.С., Степанов В.Г. 2002. *Cucumaria conicospermium* sp. n. (Dendrochirotida, Cucumariidae) - новая голотурия из Японского моря // Биол. моря. Т.28, №1. С.66-69.

Степанов В.Г., Гайдаев В.Э., Левин В.С. 2000. Компьютерные методы количественного анализа формы спикул голотурий (на примере рода *Cucumaria*) // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-Западной части Тихого океана: Сб. науч. тр. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. Вып.5. С.205-210.

Степанов В.Г., Пильганчук О.А. 2002. *Cucumaria levini* sp. n. (Dendrochirotida, Cucumariidae) - новый вид голотурий из Охотского моря // Зоол. журнал. Т.81, №11. С.1392-1397.

Шванов В.Н. 1969. Песчаные породы и методы их изучения. Л.: Недра. С.1-248.