

О. В. МАШУКОВА, Ю. Н. ТОКАРЕВ

**ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ  
ЧЕРНОМОРСКОГО ГРЕБНЕВИКА *BEROE OVATA*  
(СТЕНОФНОРА: *BEROIDA*) В СВЯЗИ С УСЛОВИЯМИ ПИТАНИЯ**

Исследованы изменения биофизических характеристик светоизлучения в связи с условиями питания у недавнего вселенца в Чёрное море гребневика *Beroe ovata* (Eschscholtz). Установлено, что амплитуда биолюминесценции накормленных ктенофор *B. ovata* в 3 раза превышает аналогичные показатели у свежевывловленных особей и в 4 раза у голодающих в течение 2-х сут организмов. Максимальные значения энергии биолюминесценции наблюдаются у накормленных гребневиков, в 4 раза превышающие аналогичные показатели у свежевывловленных особей. Сделан вывод, что различия в характеристиках светоизлучения гребневика *B. ovata* обусловлены как модификацией уровня их метаболизма при разной обеспеченности пищей, так и изменчивостью их биохимического состава в зависимости от условий питания.

Экосистема Чёрного моря подверглась значительным изменениям вследствие техногенного пресса и глобального изменения климата. Одно из проявлений этого – вселение в Чёрное море в 1980-е гг. ктенофоры *Mnemiopsis leidyi*, занесенной вместе с балластными водами судов из эстуариев Северной Америки и радикально повлиявшей на черноморскую экосистему [8]. Так как сроки нереста мнemiописиса и массового размножения теплолюбивых видов рыб совпадают, мнemiописис конкурирует в питании с личинками рыб, что сказывается на резком снижении кормового зоопланктона (особенно копепода), увеличении доли личинок рыб с пустыми желудками [4].

Последовавшее за этим вселение в Чёрное море гребневика *Beroe ovata* привело к уменьшению биомассы *Mnemiopsis* и, как следствие, улучшению трофического состояния пелагических рыб и рыболовства [8].

Таким образом, вклад гребневиков в круговорот вещества и энергии в экосистеме и важность изучения их эколого-физиологических характеристик трудно переоценить. Вместе с тем, наряду с хорошо изученными эколого-физиологическими параметрами гребневиков [3, 10], биолюминесцентные характеристики их жизнедеятельности, являющиеся важными показателями функционального состояния организмов и элементом их экологии, исследованы недостаточно.

При этом одним из наиболее важных направлений исследований представлялось изучение характеристик биолюминесценции гребневиков *B. ovata* в зависимости от их питания.

**Материал и методы.** Экспериментальные исследования проводили в отделе биофизической экологии ИнБЮМ НАН Украины в октябре-ноябре 2007 - 2008 гг. Гребневиков *B. ovata* и *M. leidyi* собирали малой сетью Джеди в слое 0 – 30 м прибрежной зоне г. Севастополя с удалением от берега до 2-х миль. У *B. ovata* измеряли общую длину тела, у *M. leidyi* – орально-аборальную. Для экспериментов отбирали только неповреждённые особи. Для определения влияния кормления гребневиков берое на их биолюминесценцию организмы разделяли на 3 группы: 1) одноразмерные (50 мм) гребневиков *B. ovata* без содержимого в гастроваскулярной полости (контроль); 2) голодавшие в течение 2-х сут особи; 3) накормленные берое, объектом питания которых были свежевывловленные одноразмерные гребневиков *M. leidyi*: 35 - 40 мм. В каждой группе было по 40 особей. Сухую массу тела гребневиков определяли путём взвешивания на микроаналитических весах AN 50 с точностью до 0,1 мг после

высушивания при температуре 60 °С., сырой вес – по объёму вытесненной морской воды в мерном цилиндре. Сырой вес *M. leidyi* – 9,16 г, *B. ovata* – 10,88 г. Сухая масса тела исследуемых гребневиков *M. leidyi* – 0,86 г, *B. ovata* – 2,36 г.

Свежевыловленных берое в течение 2 ч адаптировали к экспериментальным условиям в ёмкостях с профильтрованной (диаметр пор мембранных фильтров 35 мкм) морской водой объёмом 5 л при температуре  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ . Выбор температуры был обусловлен тем, что данные температурные условия можно считать оптимальными для содержания гребневиков в лабораторных условиях [3, 7]. Характеристики биолюминесценции свежевыловленных гребневиков 1 группы регистрировали через 2 ч после экспозиции, у гребневиков 2 группы (голодающих особей) – через 2 сут. Для подготовки к кормлению ктенофор 3 группы берое отсаживали индивидуально в 5-ти литровые ёмкости с профильтрованной морской водой. Пищу (мнемиопсиса) после предварительного взвешивания вносили по 1 экз. в каждый сосуд. Проводили визуальные наблюдения за пищевым поведением берое. Фиксировали время захвата жертвы и окончание переваривания, непосредственно после которого проводили высвечивание гребневиков.

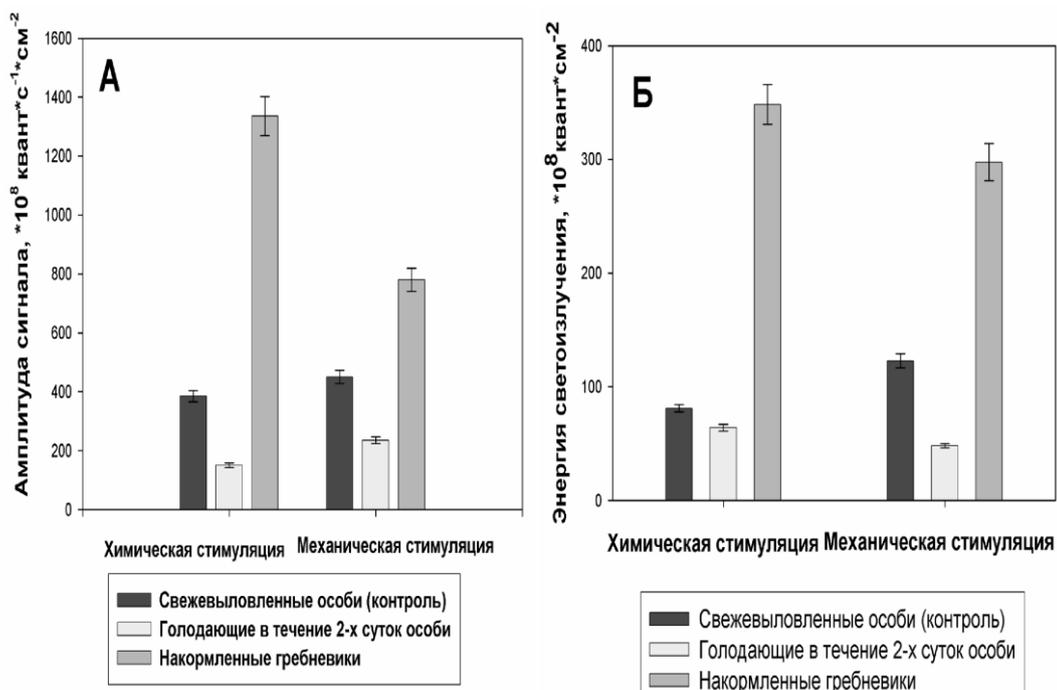
Характеристики биолюминесценции гребневиков регистрировали при помощи приборного лабораторного комплекса “Свет” [5]. Биофизические характеристики светоизлучения ктенофор изучали методом механической и химической стимуляции. Определение характеристик биолюминесценции гребневиков проводили при полной темноте в дневное время.

Для получения адекватного природным стимулам раздражения использовали механическую стимуляцию гребневиков [2]. Метод механической стимуляции сводился к созданию потока воды в сосуде с биолюминесцентом с помощью насосного электромеханического устройства. Возникающие при перемещении воды изменения гидрофизических характеристик приводят к деформации клеточной мембраны гребневика, которая, в свою очередь, индуцирует возникновение потенциала действия, и как следствие, светоизлучения.

Для получения информации о максимальном биолюминесцентном потенциале гребневиков использовался метод химической стимуляции. При помощи шприца в кювету вводили  $3 - 5 \text{ см}^3$  96 % спирта, выбранного в качестве химического раздражителя.

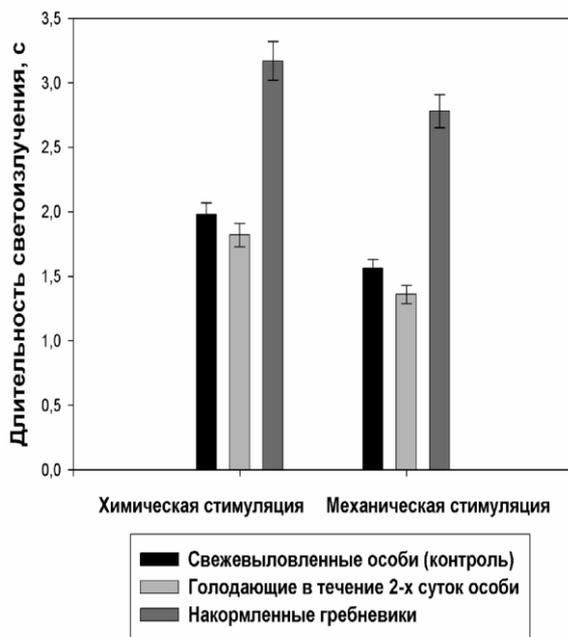
Для определения степени влияния пищевого фактора сопоставили показатели биолюминесценции у свежевыловленных, накормленных и голодающих особей *B. ovata* при равных температурных условиях ( $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

**Результаты.** Пищевое поведение берое достаточно хорошо изучено [3, 7]. В наших исследованиях 90 % особей *B. ovata* при питании захватывали жертву (мнемиопсис) меньшую по размерам целиком, а остальные питались, разрывая её на части. Захват пищи наблюдался в среднем через 2 ч после её внесения. После того, как берое заглатывает жертву, гребневик приобретает шарообразную форму и время переваривания пищи в экспериментах продолжалось в среднем 4 - 5 ч. Характеристики высвечивания накормленных гребневиков берое исследовались после переваривания пищи и сравнивались с таковыми у свежевыловленных и голодающих особей. Зависимость характеристик биолюминесценции ктенофоры *B. ovata* от степени накормленности организмов представлена на рис. 1, 2. Максимальные значения амплитуды биолюминесценции накормленных *B. ovata* в 3 раза превышали аналогичные показатели свежевыловленных особей (рис. 1 А) и в 4 раза – голодающих в течение 2-х сут организмов ( $p < 0,05$ ). Показатели энергии у свежевыловленных, накормленных и голодающих особей также существенно отличаются.



**Рисунок 1.** Соотношение амплитуды (А) и энергии светоизлучения (Б) свежевыловленных, голодающих в течение 2-х суток и накормленных гребневику *B. ovata* при механической и химической стимуляции

**Figure 1.** The amplitude (A) and energy of the light-emission (B) ratio of just-caught, starved for two days species and fed ctenophora *B. ovata* at the mechanical and chemical stimulation



**Рисунок 2.** Соотношение длительности светоизлучения свежевыловленных, голодающих в течение 2-х суток и накормленных гребневику *B. ovata* при механической и химической стимуляции

**Figure 2.** The duration of the light-emission ratio of just-caught, starved for two days species and fed ctenophora *B. ovata* at the mechanical and chemical stimulation

Так, максимальных значений энергия светоизлучения (рис. 1Б) достигает у накормленных гребневику, составляя  $(348,35 \pm 17,41) \cdot 10^8$  квант·см<sup>-2</sup>, что в 4 раза выше аналогичных показателей свежевыловленных организмов.

Однако энергетические показатели свежевывловленных гребневигов в 2,5 раза превышают таковые у голодающих особей, составляя  $(122,82 \pm 6,14) \cdot 10^8$  квант·см<sup>-2</sup> – при механической стимуляции и  $(81,10 \pm 3,24) \cdot 10^8$  квант·см<sup>-2</sup> – при химической.

Известно, что характеристики биолюминесценции гребневигов существенно отличаются при разном типе стимуляции [6]. В данных исследованиях наиболее высокие значения амплитуды и энергии светоизлучения у накормленных особей наблюдались при химической стимуляции, а более низкие значения – при механической.

Длительности вспышек свежевывловленных и накормленных особей (рис. 2) практически не отличаются. Однако более длительный сигнал вспышки – до 3,5 с, особенно при механической стимуляции, наблюдается у накормленных гребневигов, превышая в 2 раза ( $p < 0,05$ ) время светоизлучения голодающих в течение 2-х сут особей.

Таким образом, самые низкие энергетические и временные показатели биолюминесценции, как при химической, так и механической стимуляции наблюдаются у голодающих гребневигов.

**Обсуждение.** Характеристики биолюминесценции свежевывловленных, накормленных и содержащихся при голодании гребневигов имеют выраженные отличия, которые могут быть обусловлены особенностями потребления ими кислорода. Можно предположить, что наиболее интенсивное свечение у накормленных и свежевывловленных гребневигов обусловлено тем, что уровень потребления ими кислорода составляет максимальные значения [9, 10]. Интенсивность потребления кислорода у голодающих особей значительно снижается в течение 2-х сут, вследствие чего снижаются и энергетические параметры их биолюминесценции, в частности, амплитуда.

Учитывая биохимическую природу биолюминесцентных реакций, можно также предположить, что изменения биофизических характеристик светоизлучения гребневигов при голодании вызвано изменением их биохимического состава. Так, по данным Аннинского Б.Е. [1], известна связь химического состава гребневигов со степенью их обеспеченности пищей. Наиболее энергоёмкими соединениями являются липиды, которые ктенофоры не обладают способностью резервировать в больших количествах, и поэтому могут получать их только из пищи. Наблюдаемое в экспериментах угнетённое состояние гребневигов при голодании и минимальные показатели их биолюминесценции объясняются, по-видимому, снижением содержанием резервного полисахарида – гликогена. Так, состав гликогенов в полисахаридах, достигающий максимума у свежевывловленных организмов ( $76,0 \pm 7,9$  %), уменьшается при голодании до  $34,4 \pm 2,7$  %, а состав моносахаридов *B. ovata*, выделенных из общего состава углеводов, снижается от 39,9 % до 13,5 % [9].

Накормленные гребневики *B. ovata*, при достаточной обеспеченности пищей, имеют максимальные концентрации органического вещества, поэтому, во время светоизлучения дают наиболее интенсивную вспышку.

Исследованные зависимости характеристик светоизлучения гребневигов от обеспеченности пищей вносят существенный вклад в выявление закономерностей трофических взаимодействий хищник-жертва, важных при исследовании функционирования водных организмов и экосистем.

**Выводы.** 1. Установлена зависимость характеристик биолюминесценции ктенофоры *B. ovata* от степени обеспеченности организмов. 2. Наиболее высокие энергетические показатели светоизлучения наблюдаются у гребневигов после кормления, а низкие – при голодании. 3. Параметры биолюминесценции свежевывловленных гребневигов в 2,5 раза выше, чем аналогичные показатели у голодающих особей. 4. Различия в биолюминесценции гребневигов *B. ovata*

обусловлены как модификацией уровня их метаболизма при разной обеспеченности пищей, так и изменением биохимического состава, связанного с условиями питания.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность за помощь при работе с лабораторным оборудованием и составлением программы калибровки ведущим инженерам отдела биофизической экологии ИнБЮМ НАНУ В.И. Василенко и М.И. Силакову, за ценные советы – старшим научным сотрудникам ИнБЮМ НАНУ, к.б.н.: А.Н. Ханайченко (отдел марикультуры и прикладной океанологии), З.А. Романовой и Г.И. Аболмасовой (отдел физиологии животных и биохимии). Особую благодарность авторы выражают за сбор экспериментального материала сотрудникам отдела планктона – к.б.н. С.А. Хворову и вед. инж. Д.Я. Алтухову.

1. Аннинский Б. Е. Состав органического вещества медузы *Aurelia aurita* и двух видов гребневиков Чёрного моря // Биология моря. – 1994. – **20**, № 4. – С. 291–295.
2. Бородин Д. В. Стимуляция биолуминесценции морских динофлагеллят: Анализ методов // Экология моря. – 2002. – **21**, №5. – С. 315 – 320.
3. Востоков С. В., Арашкевич Е. Г., Дриц А. В. и др. Эколого-физиологические характеристики гребневика *Beroe ovata* в прибрежной зоне Чёрного моря: численность, биомасса, размерная характеристика популяции, поведение, питание и метаболизм // Океанология. – 2001. – **41**, № 1. – С. 109 – 115.
4. Гордина А. Д., Ткач А. В., Павлова Е. В. и др. Состояние ихтиопланктонных сообществ в Севастопольской бухте (Крым) в мае – сентябре 1998 и 1999 гг. // Вопросы ихтиологии. – 2003. – **43**, № 2. – С. 184 – 193.
5. Токарев Ю. Н. Основы биофизической экологии гидробионтов. – Севастополь: ЭКОСИ – Гидрофизика, 2006. – 342 с.
6. Токарев Ю. Н., Машукова О. В., Василенко В. И. Биолуминесценция черноморских гребневиков-вселенцев *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* при механической и химической стимуляции // Экология моря. – 2008. – **76**. – С. 61 – 65.
7. Финенко Г. А., Романова З. А., Аболмасова Г. И. Новый вселенец в Чёрное море – гребневик *Beroe ovata* Brunguiere // Экология моря. – 2000. – **50**, № 5. – С. 21 – 25.
8. Шушкина Э. А., Мусаева Э. И., Анохина Л. Л. и др. Роль желетелого макропланктона: медуз аурелий, гребневиков мнемипсиса и берое в планктонных сообществах Чёрного моря // Океанология. – 2000. – **40**, №6. – С. 859 – 861.
9. Anninsky B. E., Finenko G. A., Abolmasova G. I. et al. Effect of starvation on the biochemical compositions and respiration rates of ctenophores *Mnemiopsis leidyi* and *Beroe ovata* in the Black Sea // J.Mar. Biol. Assoc. U.K. – 2005. – **85**, No. 3. – P. 549 – 561.
10. Finenko G. A., Romanova Z. A., Abolmasova G. I. et al. Population dynamics, ingestion, growth and reproduction rates of the invader *Beroe ovata* and its impact on plankton community in Sevastopol Bay, the Black Sea // J. Plankton Res. – 2003. – **25**, No. 5. – P. 539 – 549.

Институт биологии южных морей НАН Украины,  
г. Севастополь

Получено 00.00.2009

O. V. MASHUKOVA, Yu. N. TOKAREV

**VARIABILITY OF THE BIOLUMINESCENCE CHARACTERISTICS BLACK SEA CTENOPHORE  
*BEROE OVATA* (CTENOPHORA: BEROIDA) IN CONNECTION WITH CONDITIONS OF NUTRITION**

**Summary**

The changes of the biophysical characteristics of light-emission of ctenophore *Beroe ovata* (Eschscholtz) - recent introducer to the Black sea in connection with conditions of nutrition have been researched. Established that the bioluminescence amplitude of fed ctenophore *B. ovata* was 3 times more, than similar parameters in just-caught and 4 times more in starved for two days species. The bioluminescence energy of the fed ctenophora *B. ovata* are maximal, 4 times more than analogical indices of the just-caught species. The substantiated conclusion: distinctions in the light-emitting characteristics of ctenophora *B. ovata*

are caused as level modification of their metabolism in dependence on food supplies as variability of their biochemical structure depending on conditions of nutrition.