

МЕЖГОДОВЫЕ РАЗЛИЧИЯ В СКОРОСТИ РОСТА ГОЛОТУРИЙ *EUPENTACTA FRAUDATRIX* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ СРЕДЫ

Л.С. Долматова

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
ул. Балтийская 43, г. Владивосток, 690041,
e-mail: dolmatova@poi.dvo.ru

Приведены сравнительные данные о динамике длины и массы тела двух цветных форм (с оранжевой и розовой окраской стенки тела) голотурий *Eupentacta fraudatrix*, обитающих в бухте Алексева (залив Петра Великого Японского моря), в 2011 и 2014 гг. Проведен анализ зависимости выявленных межгодовых различий от изменений температуры морской воды.

Ключевые слова: голотурии, длина тела, масса тела, цветные варианты вида, температурная зависимость.

В условиях общего потепления климата представляется необходимым понимание и предсказание последствий его влияний на живые системы и отдельные виды [9]. Голотурия *Eupentacta fraudatrix* обитает в шельфовых водах Японского моря. Этот вид является перспективным для использования в качестве фармакологического сырья в связи с высоким содержанием в тканях биологически активных веществ с иммуномодулирующими, антибактериальными, фунгицидными, ранозаживляющими свойствами [4]. Биология его, тем не менее, остается мало изученной. Исследованиями популяции голотурии в бухте Алексева (залив Петра Великого) в 2008–2010 гг. было выявлено наличие двух цветных форм, различающихся оранжевой и розовой окраской тела и расселяющихся в биотопах с преимущественным преобладанием одной из форм [2], сходных с ранее описанными несколькими цветными формами *Apostichopus japonicus* (трепанг), отличающимися как по цвету, так и распределением и темпами роста [8, 15]. Для обоих цветных вариантов *E. fraudatrix* была отмечена идентичная тенденция сезонной динамики размерных показателей, однако средняя длина и масса «оранжевых» и «розовых» животных существенно отличались [2]. Повышение среднегодовых температур в Приморье, отмечаемое в последнее время [14], диктует необходимость мониторинга состояния животных в меняющихся условиях среды. Для оценки состояния видов в экологических исследованиях в настоящее время широко используется показатель размера организма, поскольку он чувствителен к изменениям среды и является фундаментальной

его характеристикой, связанной со многими свойствами экосистемы [12]. Целью данного исследования явилось изучение межгодовых различий (2011 и 2014 гг.) динамики длины и массы тела двух цветных форм голотурий в зависимости от температуры морской воды.

Материал и методы

Сбор голотурий *E. fraudatrix* производился в бухте Алексева в июле–сентябре 2011 г. два раза в месяц и в июле–августе 2014 г. один–три раза в месяц. Отбор проводился с использованием легководолазного снаряжения на двух станциях на глубине 0,5–1 м (станция 1) и 1–2 м (станция 2) в местах компактного поселения животных розового и оранжевого варианта окраски соответственно (рис. 1). Для определения средних длины и массы отбирали 80–100 экземпляров.

Измерения длины животных проводили с точностью до 1 мм. Для измерения массы использовали весы электронные «CAS CUY 420H» (Корея) с ценой деления 0,01 г. Температуру воды в придонном слое определяли с помощью гидрологического термометра с точностью до 0,1° С.

Результаты обрабатывали статистически, используя для определения достоверности различий между группами *t*-критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Согласно данным Крючковой [5], благоприятной для нереста голотурий поверхностной температурой морской воды являются 19–21° С. Учитывая небольшую разницу в температуре придонного и поверхностного слоев воды на исследуемых станциях (0,1–0,2° С), мы сфокусировались на сроках прогрева воды в придонном слое до



Рис. 1. Схема расположения исследуемых станций в бухте Алексева

Fig. 1. Scheme of the studied stations location in the Alexeev Bay

20° С как соответствующей границе температур, благоприятных для нереста. Как показано в предшествующие годы исследований (2007–2009 гг.), такая температура воды в бухте Алексева достигалась не раньше конца июля – начала августа, охлаждение ниже этой отметки происходило не позже середины сентября, а максимальные температуры не превышали 23° С [1, 2]. Сравнение температуры морской воды в придонном слое в исследуемые годы показало, что в 2011 г. температура воды 20° С была достигнута уже к началу июля, а в 2014 г. – на две недели позже (рис. 2). При этом

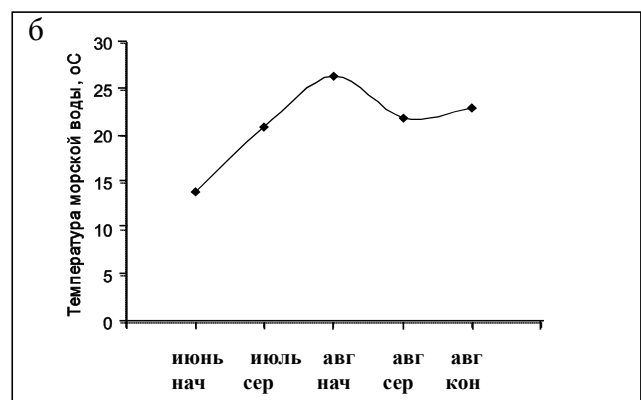
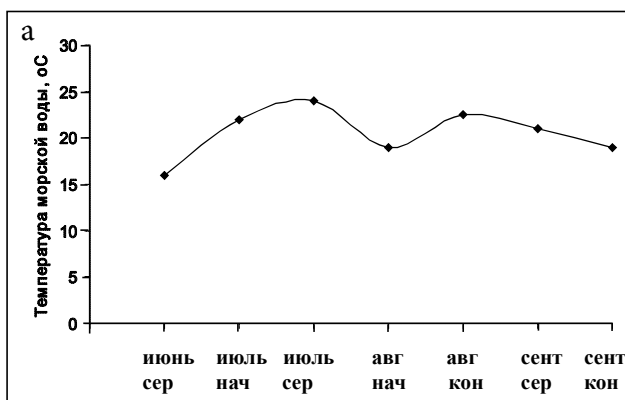


Рис. 2. Динамика температуры морской воды в придонном слое на станции 1 в бухте Алексева в 2011 (а) и 2014 (б) годах. Здесь и далее по оси абсцисс – декады месяцев

Fig. 2. Dynamics of the bottom seawater temperature in the Alexeev Bay, station 1, in 2011 (a) and 2014 (b). Hereinafter, along the x – decade of months

в 2011 г. максимальная температура 24° С была отмечена уже в середине июля, после чего началось постепенное ее снижение, даже кратковременно до значения ниже 20° С в августе. В 2014 г. максимальная температура 26,5° С отмечена к началу августа, и температура выше 20° С регистрировалась весь август.

В 2011 г. динамика длины тела голотурий розового цвета носила волнообразный характер, возрастая с середины июля до начала августа и с середины августа до начала сентября (рис. 3). Соответственно, минимумы длины наблюдали у «розовых» в середине июля и середине августа. В отличие от предыдущих лет (2008–2010 гг.), в которые длина оранжевых голотурий существенно превышала длину розовых [2], у представителей «розовых» длина тела в начале июля 2011 г. была на 32% выше, чем у «оранжевых», но к середине июля длины тел у представителей двух цветных форм сближались и в дальнейшей динамике длины тела «оранжевых» отслеживались те же пики, что и у «розовых». При этом минимумы были отмечены у «оранжевых» в начале июля и середине августа. Наличие не менее двух пиков и, соответственно, минимумов, было отмечено у обеих цветных форм и ранее (2008 г.), при этом сроки их появлений у розовых и оранжевых индивидуумов, в отличие от 2011 г., совпадали [1]. Появление нескольких минимумов средней длины тела, очевидно, связано с тем, что в период массового нереста активность последнего возрастает ежемесячно в периоды полнолуния [18]. Вхождение в последующие годы ювенильных особей, достигших определяемых размеров, в расчет для общей популяции вызывает появление минимумов средней длины тела.

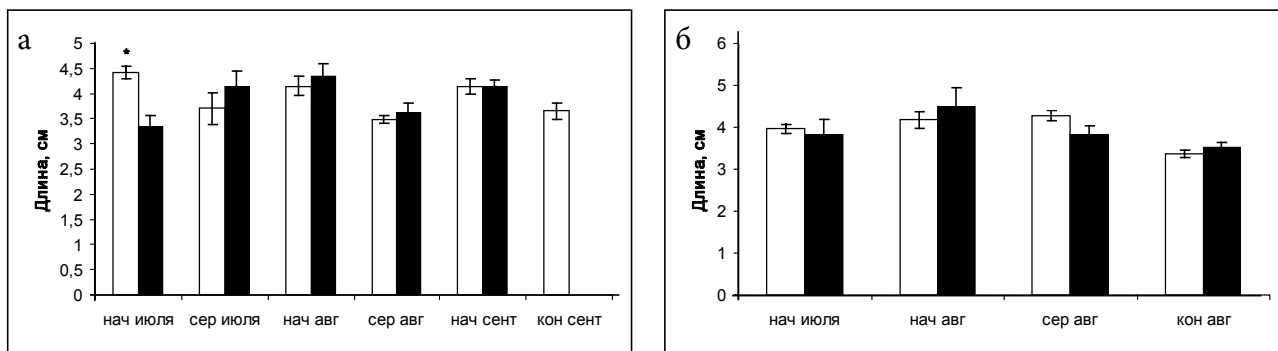


Рис. 3. Динамика средней длины тела голотурий *E. fraudatrix* в 2011 (а) и 2014 (б) годах. Здесь и далее: белые столбики – «розовый» вариант животных, черные – «оранжевый». * – $P < 0,05$ по сравнению с «оранжевым» вариантом

Fig. 3. Dynamics of the holothurian *E. fraudatrix* average body length, in 2011 (a) and 2014 (b) Hereinafter, white bars designate «pink» species, and black bars – «orange» individuals

В 2014 г. разница в средней длине тела розовых и оранжевых животных в наблюдаемые периоды времени была недостоверной (рис. 4). При этом с начала июля до конца августа наблюдался только один пик средней длины в августе: у «розовых» в середине месяца, а у «оранжевых» – в начале, с соответствующими минимумами в начале августа у «розовых» и в середине августа – у «оранжевых».

При этом максимальная средняя длина «розовых» составила в 2011 г. $4,42 \pm 0,12$ см (начало июля), «оранжевых» – $4,35 \pm 0,24$ см (начало августа). Максимальные значения средней длины в начале августа 2014 г. составили $4,28 \pm 0,12$ см для «розовых» и $4,5 \pm 0,45$ см для «оранжевых». Таким образом, рост голотурий в эти годы существенно не отличался друг от друга. При этом достижение максимальной длины розового, но не оранжевого, варианта голотурий в 2014 г. позднее, чем в 2011, связано, по-видимому, с более поздним прогревом морской воды в 2014 г. по сравнению с 2011 г. и большей чувствительностью «розового» вариан-

та к температурному влиянию. Позитивное влияние температуры морской воды на скорость роста морских организмов показано также для рыб [9], на которых влияние потепления морской воды наиболее изучено среди гидробионтов.

Вместе с тем, обращает на себя внимание, что в более «холодные» 2007–2009 гг. средняя длина тела оранжевых голотурий в августе была выше, а розовых – ниже, чем в 2011 и 2014 гг. Так, в 2008 г. максимальная средняя длина тела оранжевых экземпляров составила 5,5 см, а розовых – 3,8 см (наши неопубликованные данные). Возможно, это связано с более ранним созреванием молодых особей оранжевого варианта при повышении температуры воды (фенотипически пластичный ответ, известный как «температурно-размерное правило» [10]), и как следствие, увеличением в популяции молодых особей с маленьким размером тела, что сказывается на снижении максимальной величины средней длины тела, как это показано на эктотермальных позвоночных [9, 16] и беспозвоночных [17].

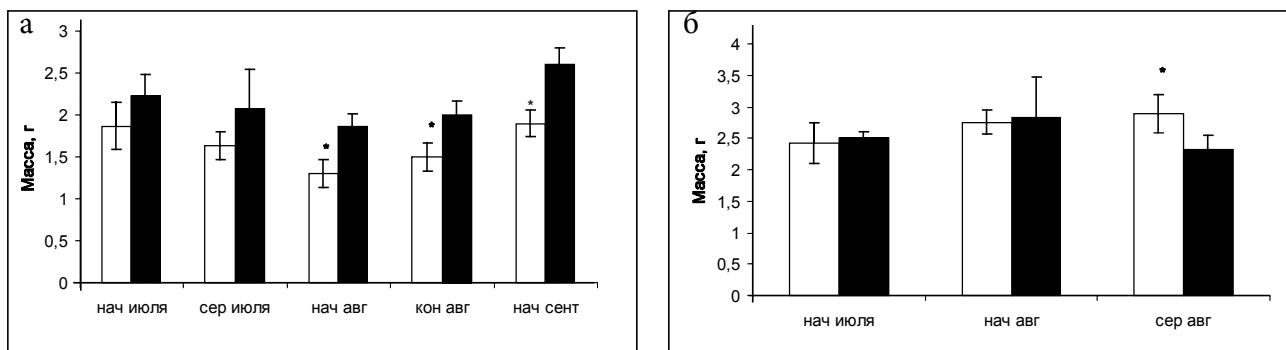


Рис. 4. Динамика средней массы голотурий *E. fraudatrix* в 2011 (а) и 2014 (б) гг.

Fig. 4. Dynamics of the *E. fraudatrix* average body mass, in 2011 (a) and 2014 (b)

Считается, что растворимый кислород является основным фактором, определяющим размерно-температурную зависимость [13], что связано со снижением аэробной метаболической активности при снижении растворения кислорода в морской воде при росте ее температуры. При этом, как подчеркивают Twomey et al. [19], различные виды обладают уникальными особенностями ответа на изменения среды. Эти особенности могут проявляться и внутри вида [10]. В частности, у особей рыб с повышенным содержанием каротиноидов показана более высокая устойчивость к температурному стрессу [6]. Различная окраска голотурий оранжевой и розовой форм, по-видимому, связанная с различным количеством каротиноидов в их тканях, также может лежать в основе их разных адаптивных возможностей, в пользу чего свидетельствуют данные о различиях в их способности накапливать тяжелые металлы (у «оранжевых» их накопление в гонадах было меньше, чем у «розовых») [3]).

Несмотря на отсутствие различий в длине тела, в 2011 г. масса оранжевых и розовых индивидуумов достоверно отличалась, особенно в конце периода наблюдений, а ее динамика была одинаковой для обоих цветных вариантов. В течение лета происходило накопление массы с $1,87 \pm 0,28$ г и $2,22 \pm 0,27$ г соответственно для «розовых» и «оранжевых» в начале июля до $1,9 \pm 0,16$ и $2,6 \pm 0,2$ в начале сентября. В предыдущие годы наблюдений также выявлена существенная разница в массе «розовых» и «оранжевых». Возможно, что одной из причин, обуславливающих такую разницу, является большая пищевая доступность на станции 2, отличающейся значительным биоразнообразием и плотностью видов, а значит, и органического материала, по сравнению со станцией 1. Однако, по-видимому, это не единственная причина, поскольку в ряде случаев находили розовых голотурий и на станции 2, при этом сохранялась разница в массе розового и оранжевого вариантов. При этом снижение средней массы тела с начала июля до начала августа обусловлено, по-видимому, снижением массы гонад в результате массового нереста, наиболее интенсивно происходящего в июле, о чем свидетельствует динамика гонадного индекса [11]. Появление первого минимума массы в период, когда температура воды превысила 20°C , отмечено в середине июля, а полнолуние состоялось 15 июля, второго минимума – в начале–середине августа (полнолуние было 16 августа), что также свидетельствует в пользу зависимости активности нереста от фаз луны. Последующее возрастание средней массы обусловле-

но, вероятно, интенсивным питанием в отсутствие нереста (конец августа – сентябрь).

Однако в 2014 г. средняя масса, как и длина тела, не отличалась существенно у оранжевых и розовых животных, составив максимум $2,89 \pm 0,31$ г у «розовых» в середине августа и $2,83 \pm 0,65$ см у «оранжевых» в начале августа. При этом появление минимумов массы у «розовых» (в начале августа) по времени опережало «оранжевых» (середина августа) на две недели. Это соответствует показанному нами так же различию сроков появления минимумов гонадного индекса у розовых и оранжевых голотурий соответственно в начале и середине августа, что, по-видимому, свидетельствует о том, что «розовые» массово отнерестились на две недели раньше «оранжевых», при том, что полнолуние было 10 августа [11]. Примечательно, что максимальная масса тела голотурий в 2014 г. достигала больших значений, чем в 2011 г.

Таким образом, более раннее достижение максимальных величин длин тела голотурий в 2011 г. по сравнению с 2014 г., вероятно, связано с более поздним прогревом морской воды в 2014 г. по сравнению с 2011 г. В свою очередь, более высокие значения температуры воды в 2014 г. по сравнению с 2011 г. способствовали более быстрому накоплению их массы в 2014 г. Полученные данные свидетельствуют о том, что длительный период сохранения температуры морской воды на уровне около 20°C оказывал позитивное влияние на рост и накопление массы голотурий и сближение этих показателей для двух цветных форм. Вместе с тем, ранее для дальневосточной голотурии *Apostichopus japonicus* было показано неблагоприятное воздействие температуры выше 25°C [7]. Достижение таких температур в бухте Алексева происходило в 2014 г. и сопровождалось появлением минимумов массы розовых *E. fraudatrix* раньше, чем оранжевых. По-видимому, это отражает более ранний срок нереста розовых голотурий по сравнению с оранжевыми и, вероятно, связано с большей чувствительностью «розовых» к температурному стрессу, порог которого близок к таковому для трепанга. Вместе с тем, отмеченное снижение средней максимальной длины оранжевых голотурий дает основание для заключения о том, что прослеживаемая тенденция к повышению температуры морской воды может оказать негативное влияние на оба цветных варианта. Механизмы, обеспечивающие адаптивные возможности двух цветных вариантов *E. fraudatrix*, нуждаются в дальнейшем изучении.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Долматова Л.С. Перспективы выращивания морских гидробионтов голотурий как источника фармакологического сырья // Современные проблемы регионального развития: материалы II междунар. науч. конф., 06–09 октября 2008 г., Кульдур, Биробиджан. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2008. С. 111–112.
2. Долматова Л.С. Исследование сезонной динамики роста голотурии *Eupentacta fraudatrix* // Морские прибрежные экосистемы. Водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки: тезисы докладов IV междунар. науч. конф., 19–22 сентября 2011 г., Южно-Сахалинск. Южно-Сахалинск: СахНИРО, 2011. С. 26–27.
3. Долматова Л.С., Слинко Е.Н., Колосова Л.Ф. Содержание тяжелых металлов в тканях голотурий *Eupentacta fraudatrix* в заливе Петра Великого // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, № 1(5). С. 1287–1291.
4. Долматова Л.С., Тимченко Н.Ф., Стасенко Н.Я. Характеристика состава и медико-биологические исследования комплекса биологически активных веществ из дальневосточных видов голотурий // Дальневосточные моря России. Кн. 2. Исследование морской экологии и биоресурсов. М.: Наука, 2007. С. 684–694.
5. Крючкова Г.А. Краткий определитель личинок морских ежей, офиур и голотурий залива Петра Великого Японского моря: препринт № 22. Владивосток: ИБМ ДВНЦ АН СССР, 1987. 56 с.
6. Лебедева О.А. Температурные адаптации эмбрионов сиговых // Природа и хозяйственное использование озер Псковской и прилегающих областей. Псков: ПГПИ, 1971. С. 122–126.
7. Левин В.С. Дальневосточный трепанг. Биология, промысел, воспроизводство. СПб.: Голанд, 2000. 199 с.
8. Селин Н.И., Черняев М.Ж. Особенности распределения, состав поселений и рост дальневосточного трепанга в заливе Восток Японского моря // Биология моря. 1994. Т. 20, № 1. С. 73–81.
9. Baudron A.R., Needle C.L., Marshall C.T. Implications of a warming North Sea for the growth of haddock *Melanogrammus aeglefinus* // J. Fish. Biol. 2011. Vol. 78, N 7. P. 1874–1889.
10. Carey N., Sigwart J.D. Size matters: plasticity in metabolic scaling shows body-size may modulate responses to climate change // Biol. Lett. 2014. Vol. 10, N 8. Pii: 20140408.
11. Dolmatova L.S. Interannual and seasonal dynamics of gonad index of two color variants of the holothurian *Eupentacta fraudatrix* in Alexeev Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) // The 8th Ocean Science Workshop: Program of the East Asian Cooperative Experiments (PEACE): Abstracts, 29–31 August 2016, Vladivostok. Vladivostok: FEB RAS, 2016. P. 14.
12. Economo E.P., Kerkhoff A.J., Enquist B.J. Allometric growth, life-history invariants and population energetics // Ecol. Lett. 2005. Vol. 8. P. 353–360.
13. Forster J., Hirst A.G., Atkinson D. Warming-induced reductions in body size are greater in aquatic than terrestrial species // Proc Natl Acad Sci USA. 2012. Vol. 109, N 47. P. 19310–19314.
14. Gayko L.A. Recent temperature changes along the Russian coast of the Japan sea // The 8th Ocean Science Workshop: Program of the East Asian Cooperative Experiments (PEACE): Abstracts, 29–31 August 2016, Vladivostok. Vladivostok: FEB RAS, 2016. P. 15.
15. Kan-no M., Kijima A. Genetic differentiation among three color variants of Japanese sea cucumber *Stichopus japonicus* // Fish. Sci. 2003. Vol. 69. P. 806–812.
16. Martinez E., Porreca A.P., Colombo R.E., Menze M.A. Tradeoffs of warm adaptation in aquatic ectotherms: live fast, die young? // Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol. 2016. Vol. 191. P. 209–215.
17. Sheridan J.A., Bickford D. Shrinking body size as an ecological response to climate change // Nat. Clim. Change. 2011. Vol. 1. P. 401–406.
18. Toral-Granda M.V., Martínez P.C. Reproductive biology and population structure of the sea cucumber *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875) (Holothuroidea) in Caamaño, Galápagos Islands, Ecuador // Marine Biology. 2007. Vol. 151. P. 2091–2098.
19. Twomey M., Brodte E., Jacob U. et al. Idiosyncratic species effects confound size-based predictions of responses to climate change // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.. 2012. Vol. 367. P. 2971–2978.

*The author presents the comparative data on the dynamics of body length and mass for two color variants (pink and orange color of the body wall) of the holothurian *Eupentacta fraudatrix* two different biotopes living in the Alexeev Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) – for 2011 and 2014. The analysis of interannual variations, dependent on the seawater temperature, is given by the author.*

Keywords: holothurians, body length, body mass, color variants of the species, temperature dependence.