

Федеральное агентство научных организаций
Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН
Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН
Российский фонд фундаментальных исследований

МОРСКИЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Всероссийская научно-практическая конференция
с международным участием,
приуроченная к 145-летию
Севастопольской биологической станции*

Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.

Сборник материалов

Том 1

Севастополь
ЭКОСИ-Гидрофизика
2016

УДК 574.5(063)
ББК 28.082.14
М 80

Редактор д.б.н., проф. А.В. Гаевская

Морские биологические исследования: достижения и перспективы :
М 80 в 3-х т. : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции (Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.) / под общ. ред. А.В. Гаевской. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. – Т. 1. – 493 с.
ISBN 978-5-9907936-5-1
ISBN 978-5-9907936-6-8 (том 1)

Сборник подготовлен на основании материалов докладов, представленных на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции. В первый том вошли статьи по истории морских фундаментальных и прикладных биологических исследований, биологии и экологии гидробионтов, экологической биоэнергетике, биохимии и генетике гидробионтов.

УДК 574.5(063)

ББК 28.082.14

Marine biological research: achievements and perspectives: in 3 vol. : Proceedings of All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation dedicated to the 145th anniversary of Sevastopol Biological Station (Sevastopol, 19–24 September, 2016). – Sevastopol : EKOSI-Gidrofizika, 2016. – Vol. 1. – 493 p.

Proceedings were prepared on the basis of reports submitted to the All-Russian scientific-practical conference with international participation dedicated to the 145th anniversary of Sevastopol Biological Station. The first volume includes articles on the history of marine biological research, biology and ecology of aquatic organisms, ecological bio-energetics, biochemistry and genetics of aquatic organisms.

Сборник издан при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-04-20627)

Редакционная коллегия не несет ответственности
за оригинальность и достоверность подаваемых авторами материалов

Печатается по решению ученого совета
Института морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН
(протокол № 7 от 24.06.2016 г.)

ISBN 978-5-9907936-5-1
ISBN 978-5-9907936-6-8 (том 1)

© Авторы статей, 2016
© Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, 2016
© Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, 2016

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА НЕРЕСТ МОРСКИХ ЕЖЕЙП. М. Жадан¹, М. А. Вашенко², Т. Н. Альмяшова¹¹ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, РФ,
pzhadan@poi.dvo.ru²ФГБУН Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток, РФ

Представлены результаты исследований влияния различных факторов среды (фитопланктон, температура, соленость, содержание кислорода, лунный цикл, уровень прилива и время суток) на запуск нереста в природных поселениях морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* в северо-западной части Японского моря. Установлено, что повышение концентрации фитопланктона является ключевым фактором для запуска нереста в поселениях морских ежей, а лунный цикл и циркадный ритм, по-видимому, оказывают модулирующее влияние на чувствительность животных к внешним стимулам.

Ключевые слова: иглокожие, нерест, фитопланктон, температура, лунный цикл, циркадный ритм

Репродуктивный цикл морских беспозвоночных животных с внешним оплодотворением завершается нерестом, приуроченным к сезону с оптимальными условиями для развития потомства (температурой и соленостью воды, наличием пищи для потомства) [1, 2]. Синхронизация нереста у особей разных полов в пределах одного поселения чрезвычайно важна для успешности воспроизводства вида, что обусловлено малой продолжительностью жизни половых клеток во внешней среде и быстрым разбавлением гамет [3, 4]. Следовательно, для успешного оплодотворения необходим внешний стимул, который бы обеспечивал одновременный выброс гамет в воду у достаточного количества особей обоих полов [3, 5]. Морские биологи давно заметили, что появление планктотрофных личинок беспозвоночных совпадает с цветением фитопланктона [6]. Биологический смысл этого явления очевиден – фитопланктон служит пищей для личинок. Высказано предположение, что появление лецитотрофных личинок вместе с планктотрофными также биологически оправдано, поскольку это снижает воздействие пресса хищников [7]. Вместе с тем, данные полевых и лабораторных исследований дают основание полагать, что температура, фазы лунного цикла, продолжительность светового дня и химические вещества, выделяемые самими животными, также могут служить факторами, способствующими стимуляции и синхронизации нереста [8]. Кроме того, на основании полевых исследований высказывались предположения, что нерест может происходить и в отсутствие внешнего синхронизирующего стимула [9].

В настоящей работе представлен обзор результатов наших исследований (включая данные последних лет) репродуктивного цикла морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* и влияния различных факторов среды (фитопланктон, температура, соленость, содержание кислорода, лунный цикл, уровень прилива и время суток) на успешность его нереста в природных поселениях в северо-западной части Японского моря.

Материал и методы. Исследования проведены в 2008–2015 гг. в северо-западной части Японского моря вдоль побережья Приморского края. Основная часть работ выполнена в б. Киевка (42°50' с.ш., 133°41' в.д.). На первом этапе (2008–2010 гг.) был исследован репродуктивный цикл морских ежей, для чего использовали классические методы определения гонадного индекса (ГИ) и гистологического анализа с классификацией степени зрелости гонад по [10]. Отбор животных проводили ежемесячно. О

состоянии среды обитания судили по данным спутникового мониторинга. На втором этапе (2011–2012 гг.) отбор животных проводили в среднем раз в 4 сут в нерестовый период (август–сентябрь). Определяли ГИ и стадию зрелости гонад методом анализа мазков в соответствии с классификацией [11]. Непосредственно в местах обитания морских ежей с помощью океанографического зонда измеряли концентрацию хлорофилла *a* (Chl) – показателя содержания фитопланктона в воде, температуру, соленость, содержание кислорода, уровень моря и фотосинтетически активную радиацию. Кроме того, путем STD-зондирования эти же параметры среды измеряли на 26 станциях по всей водной толще до глубины 60 м. Детали методов и статистического анализа описаны в [10, 11]. На третьем этапе (2014–2015 гг.) был использован разработанный нами метод оптической регистрации поведения морских ежей в нерестовый период с одновременным измерением параметров морской среды. Суть метода заключается в покадровой (с интервалом в 1 мин) видеосъемке и регистрации с помощью океанографического зонда (с интервалом в 10 мин) параметров среды.

Результаты и обсуждение. Морской еж *S. intermedius*, обитающий в б. Киевка, имеет годовой репродуктивный цикл: его гонады становятся зрелыми в конце июля – начале августа, а нерест происходит в августе – сентябре [10]. В 2008 г. мы обнаружили не описанное ранее у морских ежей явление – отсутствие нереста. Оказалось, что, несмотря на сезонное созревание гонад у 100% самок и самцов, в некоторые годы до 90% особей в поселении не завершают свой репродуктивный цикл нерестом (95 и 54% не отнерестившихся самок в 2008 и 2009 гг. соответственно) [10]. В середине сентября у не отнерестившихся самок начиналась массовая фрагментация яйцеклеток (рис. 1). Гонады самцов были зрелыми («текущими») вплоть до марта следующего года. Таким образом, было получено первое свидетельство того, что нерест морских ежей не происходит спонтанно после созревания гамет, а зависит от состояния среды обитания. Анализ данных спутникового мониторинга показал, что нерест *S. intermedius* отсутствовал в районах с низким содержанием Chl. Мы предположили, что для этого вида стимулом, запускающим нерест, является повышение концентрации фитопланктона [10].

Исследования связи между динамикой нереста в поселениях *S. intermedius* и факторами среды, проведенные в нерестовый период (август–сентябрь) в б. Киевка на 3 станциях в 2011 г. и на 4 станциях в 2012 г., не выявили связи между температурой, соленостью, растворенным кислородом, приливной активностью и событиями нереста. В то же время обнаружена достоверная зависимость событий нереста от концентрации Chl (рис. 2А). В этих исследованиях мы также сопоставили динамику нереста с фазами лунного цикла. Оказалось, что промежутки времени, в которые регистрировали нерест, в большинстве случаев совпадали с фазами новой и полной луны (рис. 2Б).

Детальные сведения о связи между событиями нереста у двух видов морских ежей, *S. intermedius* и *Mesocentrotus nudus*, и факторами среды получены с помощью оптической регистрации их поведения в нерестовый период с одновременным измерением параметров морской среды. Эти исследования, с одной стороны, подтвердили тесную связь между событиями нереста и уровнем Chl в среде, а с другой стороны, выявили суточный (циркадный) ритм нерестовой активности морских ежей: большинство эпизодов нереста было зарегистрировано в промежутке между 16 и 2 ч (рис. 3). Таким образом, впервые было показано, что нерестовая активность морских ежей может быть подчинена не только лунному, но и циркадному ритму.

В целом, наши исследования выявили три фактора, в разной степени влияющих на нерест морских ежей. Повышение концентрации фитопланктона является ключевым

фактором для запуска нереста в поселениях морских ежей. Лунный и циркадный ритмы, по-видимому, оказывают модулирующее влияние на чувствительность животных к внешним стимулам.

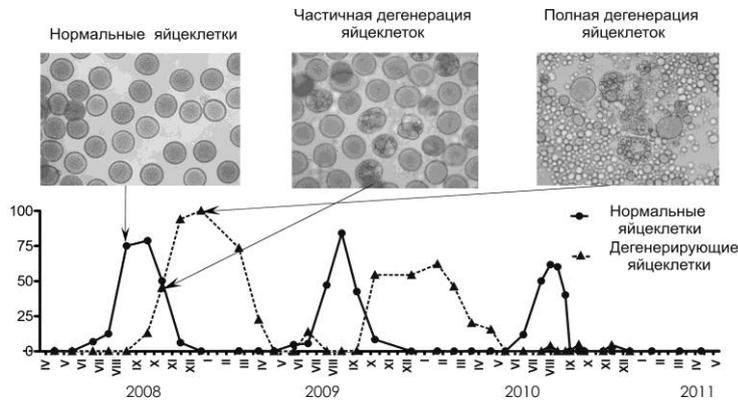


Рис. 1 Многолетняя (2008–2011 гг.) динамика доли самок *Strongylocentrotus intermedius* из б. Киевка (Японское море), которые выделяли из гонад нормальные или фрагментированные яйцеклетки

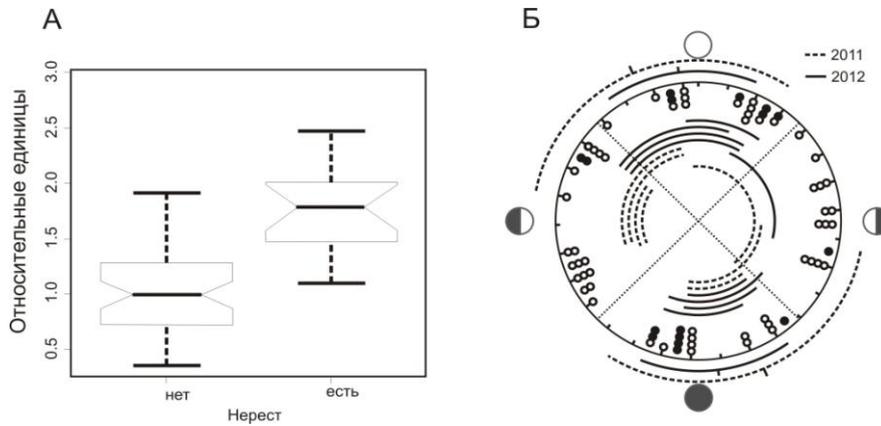


Рис. 2 Диаграммы, иллюстрирующие зависимость вероятности нереста морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* от отношения максимальной концентрации хлорофилла *a* к его средней концентрации в нерестовый период (август–сентябрь, 2011 и 2012 гг.) (А) и связь между нерестом и фазами лунного цикла (Б). А: по оси абсцисс – события нереста, по оси ординат – концентрации хлорофилла *a*. Б: сплошные и штриховые дуги внутри круга соответствуют интервалам, когда был зарегистрирован нерест в 2011 и 2012 гг. Белые кружки соответствуют датам, когда нерест не был зарегистрирован, черные – датам нереста. Сплошные и штриховые дуги вне круга соответствуют угловому стандартному отклонению для временного интервала, в котором был зарегистрирован нерест в 2011 и 2012 гг. соответственно

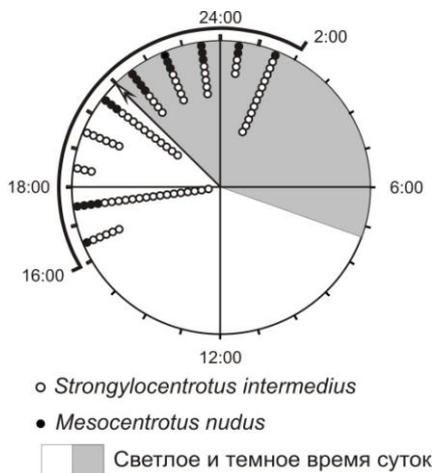


Рис. 3 Диаграмма суточного распределения эпизодов нереста морских ежей *Strongylocentrotus intermedius* и *Mesocentrotus nudus*. Дуга вне круга соответствует времени суток, в течение которого был зарегистрирован нерест

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00083а и программы «Дальний Восток» Российской Академии наук (проект № 15-И-6-007 о).

1. Giese A.C. Comparative physiology: annual reproductive cycles of marine invertebrates // *Annual Review of Physiology*. 1959. Vol. 21. P. 547–576.
2. Himmelman J.H. Spawning, marine invertebrates // *Encyclopedia of Reproduction, Vol. 4* / eds. E. Knobil, J.D. Neill. New York: Academic Press, 1999. P. 524–533.
3. Pennington J.T. The ecology of fertilization of echinoid eggs: the consequences of sperm dilution, adult aggregation, and synchronous spawning // *Biol. Bull.* 1985. Vol. 169. P. 417–430.
4. Levitan D.R., Petersen C. Sperm limitation in the sea // *Trends. Ecol. Evol.* 1995. Vol. 10. P. 228–231.
5. Petersen C., Levitan D.R. The Allee effect: a barrier to recovery by exploited species // *Conservation of exploited species* / eds. J.D. Reynolds, G.M. Mace, K.H. Redford, J.G. Robinson. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2001. P. 281–300.
6. Thorson G. Reproduction and larval development of Danish marine bottom invertebrates, with special reference to the planktonic larvae of the Sound (Øresund) // *Medd. Komm. Danm. Fiskeri-og. Havunders. Ser. Plankton.* 1946. Vol. 4. P. 1–523.
7. Starr M., Himmelman J.H., Therriault J.C. Direct coupling of marine invertebrate spawning with phytoplankton blooms // *Science*. 1990. Vol. 247. P. 1070–1074.
8. Mercier A., Hamel J.-F. Endogenous and exogenous control of gametogenesis and spawning in Echinoderms // *Adv. Mar. Biol.* 2009. Vol. 55. P. 1–302.
9. González-Irusta J.M., De Cerio F.G., Canteras J.C. Reproductive cycle of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in the Cantabrian Sea (northern Spain): environmental effects // *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 2010. Vol. 90. P. 699–709.
10. Zhadan P.M., Vaschenko M.A., Almyashova T.N. Spawning failure in the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* in the northwestern Sea of Japan: potential environmental causes // *J. Exper. Mar. Biol. Ecol.* 2015. Vol. 465. P. 11–23.
11. Zhadan P.M., Vaschenko M.A., Lobanov V.B., Sergeev A.F., Kotova S.A. Fine-scale temporal study of the influence of hydrobiological conditions on the spawning of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* // *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 2016. Vol. 550. P. 147–161.

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE SEA URCHIN SPAWNING

P. M. Zhadan¹, M. A. Vaschenko², T. N. Almyashova¹

¹V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, RF, pzhadan@poi.dvo.ru

²A.V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology FEB RAS, Vladivostok, RF

The results of the studies of the influence of environmental variables (phytoplankton, temperature, salinity, dissolved oxygen, moon cycle, tide level and time of the day) on triggering of spawning in natural populations of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* are reported. Phytoplankton concentration has been shown to be the main factor for initiation of *S. intermedius* spawning, and the lunar cycle and circadian rhythm may serve as additional factors which can modulate the animal's sensitivity to external stimuli.

Key words: Echinoderms, spawning, phytoplankton, temperature, moon cycle, circadian rhythm