

УДК 593.95:591.16

РЕПРОДУКТИВНАЯ БИОЛОГИЯ МОРСКИХ ЕЖЕЙ *STRONGYLOCENTROTUS INTERMEDIUS* И *STRONGYLOCENTROTUS NUDUS*

В.В. Евдокимов, И.В. Матросова

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (690950 г. Владивосток, пер. Шевченко, 4)

Ключевые слова: беспозвоночные, водоросли, гонада, гаметогенез.

Получены данные по гистологической организации и клеточному составу половых желез у морских ежей *Strongylocentrotus intermedius* и *Strongylocentrotus nudus*, которые дополняют сведения об их репродуктивной биологии и позволяют конкретизировать нерестовый период. Проанализировано влияние некоторых основных экологических факторов на размножение этих гидробионтов. Они могут быть использованы не только для познания особенностей биологии размножения данных беспозвоночных, но и для развития прибрежного рыболовства в связи с рациональным ведением промысла этих организмов и их воспроизводством. Все это логично и убедительно представлено в научных разработках основателя направления репродуктивной биологии гидробионтов – д-ра мед. наук, профессора П.А. Мотавкина, о чем свидетельствуют ссылки на его публикации в данной статье.

Мониторинг репродуктивной функции морских ежей – промысловых гидробионтов – имеет важное теоретическое и практическое значение. Знания о процессах гонадо- и гаметогенеза и влиянии на них экологических факторов необходимы как для понимания становления репродуктивной стратегии вида в эволюции, так и для рациональной, научно обоснованной организации его промысла и воспроизводства. Современные методы разведения морских организмов в искусственных условиях позволяют получить жизнестойкую молодь в разное время года. Наиболее широко при искусственном разведении используется метод температурного регулирования созревания половых продуктов и стимулирования нереста. Для разработки метода регуляции гаметогенеза в искусственных условиях требуются глубокое и детальное изучение различных аспектов биологии размножения и физиологического состояния гидробионтов. Об этом свидетельствуют научные разработки основателя направления репродуктивной биологии гидробионтов П.А. Мотавкина [15]. Успехи в понимании процессов гаметогенеза сделали возможным использование отдельных его стадий для управления развитием гонад.

Определенное внимание исследователей уделяется гибридизации морских ежей. Межвидовое скрещивание этих животных в одних случаях ограничивает генетическая неоднородность, в других – различия в образе жизни, несоответствие хронологии нерестов. Проследить и учесть все это в среде естественного обитания животных достаточно трудно. В аквариумах моделирование природных условий устраняет экологические препятствия на пути образования гибридов.

Евдокимов Владимир Васильевич – д-р биол. наук, профессор, заведующий сектором размножения лаборатории культивирования беспозвоночных ТИНРО-центра; e-mail: ingam@rbcmail.ru

В благоприятных условиях морские ежи живут достаточно долго, и при межвидовом скрещивании иногда получают жизнеспособные особи.

Изучение гибридных форм морских ежей интересно с нескольких сторон. Во-первых, это получение чистых линий для научных исследований, во-вторых, уточнение некоторых вопросов систематики этих гидробионтов (в естественных условиях встречаются очень похожие виды, например, серые ежи *Strongylocentrotus intermedius* и *Strongylocentrotus pallidus*). В третьих, это важно и с практической точки зрения: возможно, гибридные формы могут быть более рентабельными, чем исходные, при выращивании в морских хозяйствах.

Размножение – важная функция живого организма, обеспечивающая воспроизводство вида. Репродукция морских холонокровных животных – это циклический физиологический процесс. Для большей части видов морских беспозвоночных животных, обитающих в умеренной климатической зоне и имеющих в жизненном цикле стадию пелагической личинки, характерен годовой репродуктивный цикл с нерестом, приуроченным к сезону с оптимальными условиями для развития потомства (температурой и соленостью воды, наличием пищи для потомства и т.д.). Роль естественных экологических факторов, важнейшие из которых – температура и фотопериод (в сочетании или по отдельности), в регуляции процессов размножения морских беспозвоночных животных исследуется на протяжении уже 100 лет [15, 17, 21].

Мониторинговые исследования размножения гидробионтов в лабораторных сообществах и в прибрежных показали, что репродуктивный процесс у них протекает согласно закономерностям, характерным для данных животных и описанным ранее рядом авторов [3, 7, 9, 14, 15, 17].

В половом цикле морских ежей, обитающих в лабораторных условиях в сообществах с разными водорослями, отмечаются различия в плодовитости, коэффициенте зрелости гидробионтов и других показателях. Это характерно и для животных из естественных сообществ [4, 8, 9]. В наибольшей степени вышеперечисленные различия отмечаются у организмов, обитающих в сообществах с бурыми, красными и зелеными водорослями, в наименьшей – при обилии зеленых водорослей. Судя по всему, гидробионты, живущие в зарослях макрофитов, находятся в значительной степени под воздействием их метаболитов, особенно аминов [16]. Данные литературы свидетельствуют, что благодаря разнообразному качественному

составу и количественному накоплению, лабильности и полифункциональности воздействия на метаболические процессы в клетке, амины относятся к числу важнейших биологически активных веществ, оказывающих существенное влияние на жизнедеятельность гидробионтов и формирование качества природной воды [10].

Известно, что регуляторами клеточных функций в нервной системе животных являются полиамины: путресцин (2,4-диаминобутан), кадаверин (2,5-диаминопентан), спермидин и спермидин [15]. Известно также, что водорослями в среду обитания выделяются γ -аминомасляная, аспарагиновая и глутаминовые кислоты и таурин, которые относятся к категории медиаторов [9, 11]. Очевидно, выделяемая красными водорослями γ -аминомасляная кислота оказывает положительное влияние на плодовитость и потенциальные возможности формирующихся гамет беспозвоночных прибрежных сообществ. Это предположение согласуется с данными, полученными ранее в экспериментальных условиях [8, 19]. В сообществах с зелеными водорослями у животных плодовитость и коэффициент зрелости гонад ниже, чем в сообществах с красными, бурыми и зелеными водорослями [6]. Вероятно, в данном случае водорослями выделяются биологически активные вещества, выступающие в роли нейротрансмиттеров, тормозящих репродуктивный процесс.

В настоящее время установлено, что арахидоновая кислота и другие биологически активные вещества тормозят развитие гонад беспозвоночных, снижают содержание оогониев и сперматогониев, не нарушая структуру клеток [8]. Этим можно объяснить различную плодовитость гидробионтов в сообществах. Есть также данные, свидетельствующие, что присутствие в среде жирных кислот в определенных концентрациях вызывает гибель некоторых видов [7]. В конечном счете, на выставляемые коллекторы оседает определенное количество спата, что, по всей видимости, зависит от жизнестойкости сформировавшейся молоди и воздействия на них аттрактантов и репеллентов [9].

Вероятно, сигналы, поступающие из среды обитания в клетки организмов, посредством нейротрансмиттеров воздействуют на формирование в репродуктивных органах внутриклеточных регуляторных систем в оогенезе [2, 14, 17, 19]. Сформировавшиеся при этом гаметы в полной мере обладают основными регуляторными системами [1, 20]. Принимая во внимание то, что исследовались сообщества в водных акваториях, не подверженных антропогенному воздействию, можно предположить, что количество спата, оседающего на коллекторах в различных местах, объясняется, вероятно, жизнестойкостью эмбрионов, которые развиваются из гамет, обладающих различной потенциальной возможностью (как сформировавшихся под воздействием различных биотических и абиотических факторов в сообществах). Это согласуется с высказанной ранее гипотезой о том, что в процессе развития ооцита

формируются системы внутриклеточной моноамин-, холин-, пептидергической и стероидной регуляции, принимающие участие в созревании ооцитов, оплодотворении гамет и регуляции раннего онтогенеза [17, 19]. При этом следует упомянуть более раннюю концепцию функционирования репродуктивных органов при экзометаболическом взаимодействии гидробионтов, из которой следует, что в условиях метаболической стимуляции организмов проявляется повышенная реализация потенций гамет, справедливая как для искусственного, так и для естественного сообществ [20]. Это подтверждается и другими данными [6, 9].

Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований светового воздействия позволил заключить, что свет с длиной волны 520 нм угнетает, а 720 нм активизирует гаметогенез у морских ежей (рис. 1, 2). Это свидетельствует о существовании функциональной связи между длиной световых волн и репродуктивным процессом, что выражается в количестве сформировавшихся гамет и жизнестойкости потомства у данных животных (рис. 3) [5].

Известно, что для прибрежной зоны характерны резкие колебания температуры воды в разные сезоны года. В связи с этим половой цикл беспозвоночных животных, обитающих здесь, сильно зависит от температуры воды, а сроки нереста приходятся на наиболее благоприятный период. А при отрицательных температурах происходит резорбция половых клеток. У многих видов иглокожих нерест растягивается на длительное время, но репродуктивный сезон может быть укорочен, если условия окружающей среды благоприятны только на короткий период. При сохранении благоприятных условий нерест у гидробионтов может повторяться дважды [12, 15]. Наличие зрелых гамет в гонадах ежей в южном районе в течение длительного периода позволяет животным производить максимум потомства в наиболее благоприятных условиях.

Сезонные изменения в половых железах исследованных животных коррелируют с температурой среды их обитания. В зависимости от температурных условий года, сроки наступления той или иной стадии развития половых желез могут не совпадать во времени [17]. Это можно объяснить тем, что в большинстве своем морские ежи являются близкими по биогеографическому происхождению и обитанию при одинаковых температурных условиях. В природе подобное совпадение в сроках нереста характерно не только для рассматриваемых нами видов, принадлежащих к одному семейству, но и для видов, относящихся даже к разным типам, например к иглокожим (трепанг) и моллюскам (устрица, японский гребешок, анадара), обитающим в условиях одного биотопа и нерестящихся в одном диапазоне температур [14, 15]. Выявленная особенность созревания половых продуктов и нереста у гидробионтов, несомненно, является важным приспособительным свойством вида, значительно повышающим эффективность размножения.

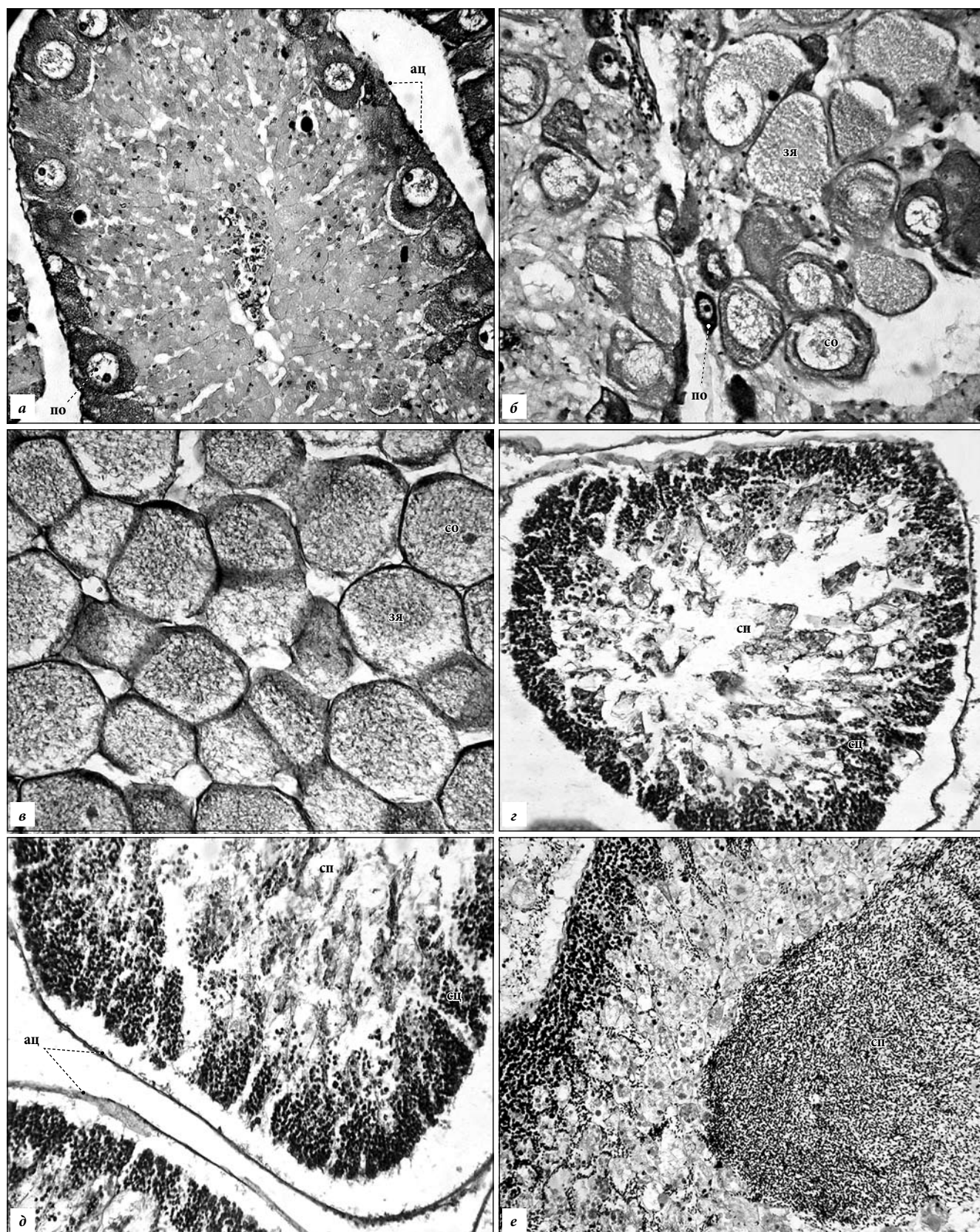


Рис. 1. Гонада серого морского ежа *S. intermedius*, содержащегося под воздействием света 720 нм:

а – яичник перед помещением в опыт, б – яичник через 15 суток воздействия светом, в – яичник через 30 суток воздействия светом, г – семенник перед помещением в опыт, д – семенник через 15 суток воздействия светом, е – семенник через 30 суток воздействия светом; ац – ацинус, по – пристеночный ооцит, со – свободное лежащий ооцит, зя – зрелая яйцеклетка, сп – сперматозоиды, сп – спермии. Окр. гематоксилином и эозином, $\times 400$.

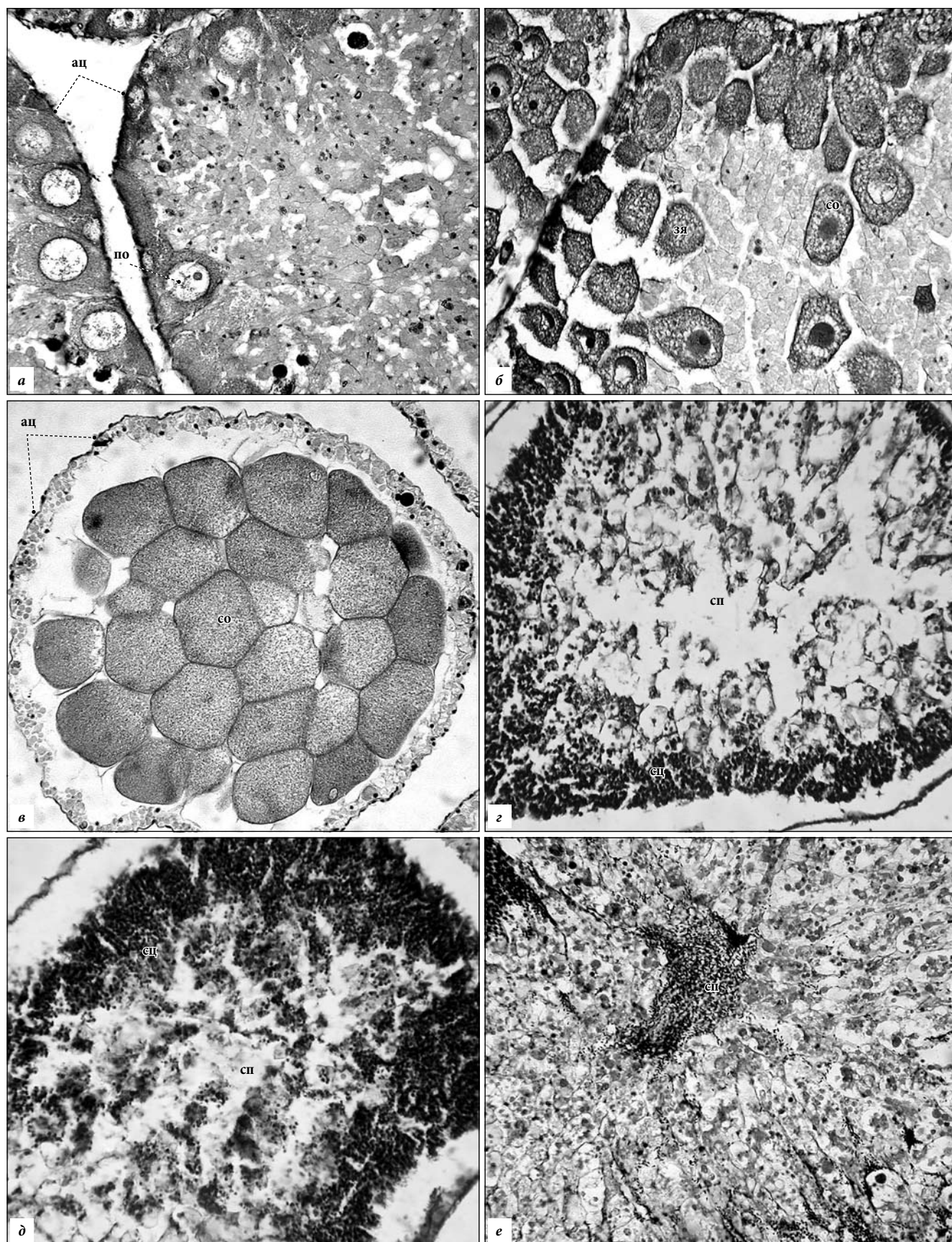


Рис. 2. Гонада серого морского ежа *S. intermedius*, содержавшегося под воздействием света 520 нм:

а – яичник перед помещением в опыт, б – яичник через 15 суток воздействия светом, в – яичник через 30 суток воздействия светом, г – семенник перед помещением в опыт, д – семенник через 15 суток воздействия светом, е – семенник через 30 суток воздействия светом; ац – ацинус, по – пристеночный ооцит, со – свободлежащий ооцит, зя – зрелая яйцеклетка, сц – сперматоциты, сп – спермии. Окр. гематоксилином и эозином, $\times 400$.

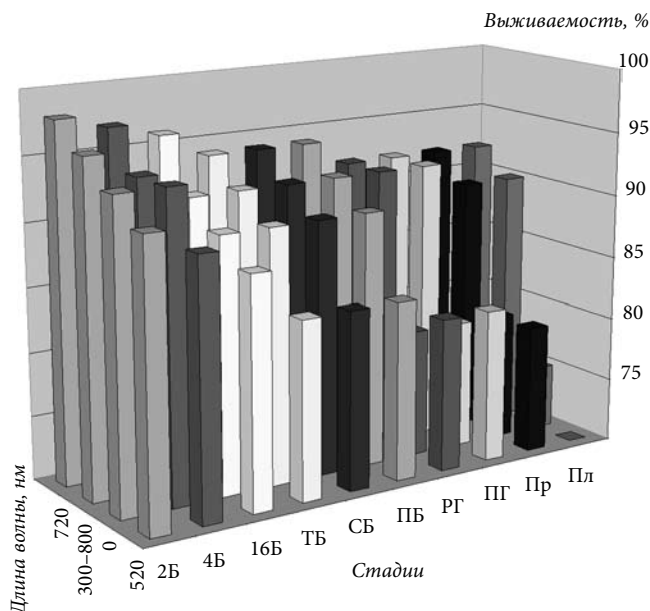


Рис. 3. Развитие морского ежа:

2Б – стадия 2 бластомеров, 4Б – стадия 4 бластомеров, 16Б – стадия 16 бластомеров, ТБ – толстостенная бластула, СБ – средняя бластула, ПБ – поздняя бластула, РГ – ранняя гаструла, ПГ – поздняя гаструла, Пр – призма, Пл – плутеус.

Исследования репродуктивной биологии в лабораторных и прибрежных сообществах позволяют предположить, что размножение гидробионтов зависит в определенной степени от биологически активных веществ, выделяемых различными организмами, формирующими сообщество [6, 7, 19]. Эти вещества действуют в комплексе с другими экологическими факторами, определяющими жизнедеятельность морских гидробионтов. При этом пищевой, температурный и световой факторы являются главными в размножении организмов наряду с другими экологическими условиями.

Морфологические, морфометрические, цитохимические и эмбриологические исследования свидетельствуют о том, что яйцеклетки, полученные в результате температурной стимуляции гаметогенеза от морских ежей осенью, зимой и весной, являются вполне полноценными и не отличаются от яиц, сформировавшихся в естественных условиях [12, 13]. Это свидетельствует о том, что метод температурной стимуляции может быть использован для получения зрелых половых клеток этих гидробионтов в любое время года для выращивания молоди в морских хозяйствах [9, 19].

Получение межвидовых гибридов морских ежей рода *Strongylocentrotus* – типичных представителей фауны прибрежных вод Японского моря – из гамет, взятых в естественных и искусственных условиях, посредством температурной стимуляции свидетельствует, что их развитие до средней гаструлы ничем не отличалось от развития родительских форм [12, 13]. На стадии поздней гаструлы закладка первичных спикул личиночного скелета у гибридов происходила однотипно с *S. intermedius*. При развитии гибридов от зиготы до плутеуса I стадии доля отклонений от нормы варьировала от 0,8 до 1,2 %. Плутеус I стадии формировался через двое

суток, при этом необходимо отметить, что у полученных гибридов базальные иглы имели на дистальном конце крупные выросты без характерных для личинок *S. nudus* выростов, образующих замок. Вторично базальные иглы были недоразвиты. Начиная с плутеуса I стадии до метаморфоза в развитии гибридной личинки преобладали материнские признаки. Необходимо отметить, что для гибридов характерно наличие всего лишь одной педицеллярии, в то время как у черного ежа их три, а у серого они отсутствуют. Расстояние между верхними и нижними эполетами у гибридов незначительное по сравнению с исходными формами.

Плутеус II стадии формировался на 12-е, III стадии – на 16-е сутки. Метаморфоз у гибридных личинок начинался на 21–29-е сутки и протекал соответственно закономерностям, характерным для морских ежей [7, 12, 19]. На 30–38-е сутки личинка переформировывалась в морского ежа.

Впервые в лабораторных условиях гибридные морские ежи рода *Strongylocentrotus* получены в 1978 г. [13]. Развитие гибридов в искусственных условиях происходит примерно в те же сроки, что и родительских видов. Гибридные личинки при преобладании материнских признаков заметно отличаются от исходных родительских форм, что исключает партеногенетическое развитие яйца [18].

Данные по гистологической организации и клеточному составу половых желез у морских ежей дополняют сведения об их репродуктивной биологии, позволяя конкретизировать нерестовый период. Они могут быть использованы не только для познания особенностей биологии размножения данных гидробионтов, но и для развития прибрежного рыболовства в связи с рациональным ведением промысла этих организмов и их воспроизводством. Все это логично и убедительно представлено в научных разработках основателя направления репродуктивной биологии гидробионтов – д-ра мед. наук, профессора Павла Александровича Мотавкина, о чем свидетельствуют ссылки на его публикации в данной статье.

References

1. Buznikov G.A. The neurotransmitters in embryogenesis. M.: Nauka, 1987. 232 p.
2. Varaksin A.A. The regulatory peptides and sex steroid hormones in the regulation of reproduction clams and sea urchins: Tethys. Vladivostok, 1994. 53 p.
3. Viktorovskaja G.I., Sedova L.G., Borisov E.Je. et al. Biological characteristic clusters of gray sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* (Agassiz) in the coastal zone of Primorye (The Japan sea), *Izv. TINRO*. 2004. Vol. 139. P. 225–259.
4. Evdokimov V.V., Rodin V.E., Viktorovskaja G.I., Pavljuchkov V.A. The reproduction of sea urchins and scallops in coastal communities, the Japan sea, *Ontogenez*. 1997. Vol. 28, No. 1. P. 49–54.
5. Evdokimov V.V., Birjukova I.V., Evdokimov A.V. The different wavelengths light exposure to the gametogenesis black sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*), *Morfologija*. 2001. Vol. 120, No. 6. P. 75–79.
6. Evdokimov V.V., Evdokimov A.V. The interaction of aquatic polyculture under controlled conditions reproduced, *Izv. TINRO*. 2002. Vol. 131. P. 373–380.
7. Evdokimov V.V. The researches of sea urchins reproduction in

- the mariculture TINRO Center, *Izv. TINRO*. 2005. Vol. 141. P. 284–295.
8. Evdokimov V.V., Matrosova I.V. Seasonal patterns of gametogenesis in commercial aquatic, *Citologija*. 2009. Vol. 51, No. 10. P. 856–864.
 9. Evdokimov V.V. The reproductive biology of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* and *Strongylocentrotus nudus*. Vladivostok: TINRO-Centr, 2008. 116 p.
 10. Klochenko P.D. The amines of exo- and algae endometabolism, *Gidrobiol. zhurn.* 1994. Vol. 30, No. 5. P. 42–62.
 11. Motavkin P.A. The introduction to neuroscience. Vladivostok: Medicina DV, 2003. 251 p.
 12. Motavkin P.A., Evdokimov V.V. The getting in the sea urchin in vitro mature germ cells and their functional characteristics, *Biol. morja*. 1975. No. 1. P. 58–67.
 13. Motavkin P.A., Evdokimov V.V. A hybrid kind of sea urchins *Strongylocentrotus*, *DAN SSSR*. 1978. Vol. 241, No. 10. P. 1451–1453.
 14. Motavkin P.A., Varaksin A.A. The Histophysiology nervous system and the regulation of reproduction in bivalve mollusks. M.: Nauka, 1983. 203 p.
 15. Motavkin P.A., Hotimchenko Ju.S., Deridovich I.I. The regulation of breeding and biotechnology produce gametes in bivalve molluscs. M.: Nauka, 1990. 216 p.
 16. Sirenko L.A., Kozickaja V.N.. The biologically active substances of algae and water quality. Kiev: Naukova dumka, 1988. 256 p.
 17. Hotimchenko Ju.S., Deridovich I.I., Motavkin P.A. The reproductive biology, regulation of gametogenesis and spawning echinoderms. M.: Nauka, 1993. 168 p.
 18. Brandrif B., Hinegardner R., Steinhardt R. Metamorphosis of Echinoderms, *J. Exp. Zool.* 1975. Vol. 192. P. 13–17
 19. Deridovich I.I., Motavkin P.A., Evdokimov V.V. et al. Endocrinology and reproduction, *Marine biotechnology*. New Delhi, Calcutta, Oxford: IBH Publishing Co. PVT. Ltd, 1998. P. 1–78.
 20. Evdokimov V.V. and Matrosova I.V. Seasonal Characteristics of Gametogenesis of Some Marketable Hydrobionts, *J. Cell and Tissue Biology*. 2009. Vol. 3, No. 6. P. 593–602.
 21. Lawrence A.M., Soame J.M. The effects of climate change on the reproduction of coastal invertebrates, *IBIS*, 2004. Vol. 1. P. 29–39.

Поступила в редакцию 12.03.2011.

REPRODUCTIVE BIOLOGY OF SEA URCHINS STRONGYLOCENTROTUS INTERMEDIUS AND STRONGYLOCENTROTUS NUDUS

V.V. Evdokimov, I.V. Matrosova

Pacific Scientific Research Fisheries Center (4, Shevchenko Al. Vladivostok 6900950 Russian Federation)

Summary – The data about histological organization and gonads cell composition of hydrobionts were receive, which complete information about their reproductive biology and allow give concrete expression to spawning period. Influence of some important ecological factors on the reproduction of these hydrobionts was analyses. They may be use for cognition peculiarities biology of reproduction present invertebrates and for development of coastal fishery in connection of rational fishery these organisms and their reproduction.

Key words: invertebrates, algae, gonad, gametogenesis.

Pacific Medical Journal, 2012, No. 2 p. 105–110.

УДК 592:591.16:574.632

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ НА СОСТОЯНИЕ РЕПРОДУКТИВНОЙ ФУНКЦИИ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ

М.А. Ващенко¹, П.М. Жадан²

¹Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (690041 г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17),

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН (690041 г. Владивосток, ул. Балтийская, 43)

Ключевые слова: гаметогенез, репродуктивный цикл, морской еж, загрязнение.

В обзоре обобщены результаты многолетних лабораторных и полевых исследований влияния загрязнения среды на гаметогенез, развитие потомства и репродуктивные циклы морских ежей и двусторчатых моллюсков. Сделан вывод, что нарушение процессов гаметогенеза может служить чувствительным индикатором загрязнения морской среды. Оценена информативность различных показателей состояния репродуктивной функции исследованных видов. Приведены данные исследований о сроках нереста *Strongylocentrotus intermedius* из районов северо-западной части Японского моря с различной антропогенной нагрузкой. Обнаружен сдвиг сроков нереста с осени на раннее лето в поселениях морского ежа из сильно загрязненных районов. Обсуждаются возможные механизмы этого явления.

Размножение – важнейшая функция живого организма, обеспечивающая воспроизводство вида. Репродукция морских холонокровных животных – циклический физиологический процесс. Для большей части видов морских беспозвоночных, обитающих в умеренной климатической зоне и имеющих в жизненном цикле

стадию пелагической личинки, характерен годовой репродуктивный цикл с нерестом, приуроченным к сезону с оптимальными условиями для развития потомства (температурой и соленостью воды, наличием пищи для потомства) [14]. Репродуктивный цикл – одна из важнейших биологических характеристик вида; это генетически контролируемая реакция на определенные условия окружающей среды, выработанная в процессе биологической эволюции, сопряженной с изменениями климата Земли. Экологические факторы, важнейшие из которых температура и фотопериод (в сочетании или по отдельности), влияют на последовательность стадий репродуктивного цикла и обеспечивают их синхронность у разных особей популяции [18, 22]. Действие этих факторов на гаметогенез и нерест у морских беспозвоночных опосредуется эндогенными регуляторными механизмами с участием стероидных гормонов и нейрогомонов [7, 8, 23].

Сравнительно недавно (с появлением индустриального общества) возник еще один существенный экологический фактор, сила воздействия которого на

Ващенко Марина Александровна – канд. биол. наук, зав. лабораторией цитофизиологии ИБМ ДВО РАН; тел.: +7 (423) 231-11-86, e-mail: mvaschenko@mail.ru.