

- 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 нейрого르몬ов [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.

морские организмы уже очевидна – загрязнение среды обитания. Результаты многочисленных экспериментальных и полевых исследований свидетельствуют о том, что изменение химического состава воды и донных осадков вследствие загрязнения вызывает нарушение важнейших физиологических функций гидробионтов (размножения, дыхания, пищеварения), что ведет к ослаблению, различным заболеваниям и нарушению нормального воспроизводства.

Морские донные беспозвоночные испытывают влияние загрязнения и других неблагоприятных факторов среды на протяжении всего жизненного цикла: взрослые животные – гаметогенез – эмбриональное и личиночное развитие – ювенильное животное – взрослое животное следующей генерации. Большинство видов донных беспозвоночных выметывают половые клетки в окружающую среду, развитие зародышей и личинок происходит в водной толще. Однако загрязнение по-разному воздействует на разные стадии жизненного цикла организма. Эта разница обусловлена тем, что в силу относительной малоподвижности донных беспозвоночных их ювенильные особи в дорепродукционный период и половозрелые особи в период гаметогенеза испытывают постоянное воздействие всего комплекса неблагоприятных факторов среды, в то время как подвижные планктонные личинки могут перемещаться из загрязненных районов в чистые и наоборот. Кроме того, данные многочисленных токсикологических экспериментов свидетельствуют о том, что донные беспозвоночные на разных стадиях онтогенеза обладают различной чувствительностью к токсикантам.

История изучения влияния загрязнения на репродуктивную функцию донных беспозвоночных сложилась таким образом, что основное внимание уделялось проблеме влияния загрязняющих веществ на ранние стадии онтогенеза – от оплодотворения до формирования ранних личиночных стадий. Основным результатом этих исследований – вывод о том, что эмбрионы и личинки донных беспозвоночных в 10–100 раз более чувствительны к токсикантам, чем взрослые особи. Долгое время за рамками интересов токсикологов и биологов оставалась проблема влияния загрязнения на формирование половых клеток (гаметогенез) у морских беспозвоночных. В ИБМ ДВО РАН исследования влияния загрязняющих веществ на состояние репродуктивной функции донных беспозвоночных (морских ежей и двустворчатых моллюсков) были начаты в середине 1970-х годов по инициативе профессора П.А. Мотавкина, который в то время возглавлял созданную им лабораторию гаметогенеза. Его ученики впервые в мировой практике провели эксперименты по изучению влияния углеводородов нефти и тяжелых металлов на гаметогенез морских ежей и двустворчатых моллюсков и показали, что эти токсиканты нарушают процесс формирования половых клеток и вызывают появление неполноценного потомства. Наибольшее количество

данных получено в опытах с морскими ежами – классическим модельным объектом экспериментальной биологии и токсикологии. Описаны морфологические изменения половых и соматических клеток гонад, исследованы некоторые биохимические механизмы повреждающего действия углеводородов нефти и тяжелых металлов на половые клетки. Основным вывод, сделанный на основе этих ранних работ – заключение о том, что гаметогенез является самой чувствительной к загрязнению стадией жизненного цикла донных беспозвоночных [2]. Этот вывод был позднее подтвержден другими исследователями [10, 11]. Концентрации углеводородов и ионов кадмия, вызывавшие нарушение процессов гаметогенеза и приводившие к снижению качества половых клеток, были приблизительно в 10–100 раз ниже концентраций токсикантов, вызывавших 50 %-ное ингибирование оплодотворяющей способности сперматозоидов, раннего эмбриогенеза и формирования нормальных плутеусов в острых эмбриотоксикологических опытах. Так, минимальная концентрация ионов кадмия, которая вызвала нарушение гаметогенеза у морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*, составила всего 1 мкг/л, что соответствует предельно допустимой концентрации этого токсиканта для водоемов. Взрослые особи этого вида выживали в течение 40 суток в среде с концентрацией кадмия 1 мг/л, т.е. в 1000 раз большей. При этой же концентрации в течение 18 суток выживали 50 % особей *Anthocardis crassispina*, тогда как минимальная концентрация кадмия, оказавшая негативное влияние на гаметогенез, составила 10 мкг/л. Нарушения сперматогенеза у этого вида наблюдались при концентрации фенола 100 мкг/л, тогда как взрослые особи выживали в течение 4 недель при концентрации фенола 10 мг/л.

Основываясь на результатах лабораторных экспериментов, мы предположили, что в естественных условиях процесс формирования половых клеток также является наиболее чувствительной стадией жизненного цикла морских беспозвоночных и что нарушение этого процесса под воздействием комплекса загрязняющих морскую среду веществ является наиболее ранним и информативным показателем экологического состояния прибрежных экосистем.

В середине 1980-х годов мы начали исследование состояния репродуктивной функции массовых видов донных беспозвоночных, обитавших в загрязненных и относительно чистых районах зал. Петра Великого (Японское море), в сезон их размножения. Основным районом наших исследований был Амурский залив – один из заливов второго порядка зал. Петра Великого, на восточном берегу которого расположен Владивосток. Бытовые и промышленные сточные воды Владивостока являются основным источником загрязнения залива Амурского залива, экосистема которого загрязнена тяжелыми металлами, хлорорганическими пестицидами (ДДТ, гексахлорциклопексан) и полихлорированными бифенилами [4, 20].

Исследования, проведенные в период с 1984 по 1992 г., выявили высокую частоту гистопатологических изменений в гонадах и аномалий потомства морского ежа *S. intermedius* и приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis*, обитавших в прилегающих к городу акваториях (о. Скребцова, Первая Речка, Спортивная гавань, м. Токаревского) [2, 4, 5]. Частота регистрации патоморфологических изменений (дистрофия, разрушение и резорбция половых клеток, атрофия, некроз и разрушение вспомогательных клеток, наличие липофусцина) в гонадах животных из этих районов достигала 100 %. Наиболее характерной чертой развития потомства были заторможенность эмбриогенеза и угнетение роста личинок, которые погибали на ранних стадиях.

Исследования многолетней (1984–2003) динамики состояния репродуктивной функции морского ежа *S. intermedius*, обитавшего на трех станциях в прилегающей к г. Владивостоку зоне Амурского залива (о. Скребцова, Спортивная гавань, м. Токаревского) и на двух станциях в островной зоне зал. Петра Великого (б. Алексеева на о. Попова, о. Верховского), выявили значительные патологические изменения в гонадах и ухудшение качества потомства у животных из прилегающего к городу района во все годы [4]. В конце 1990-х – начале 2000-х годов эти явления были зарегистрированы и у животных из островной зоны залива, что свидетельствовало о расширении экологически неблагоприятной для обитания донных беспозвоночных области в сторону открытой части залива.

Анализ результатов этих исследований позволил сделать несколько выводов об информативности и ценности различных показателей состояния репродуктивной функции исследованных видов:

1. Гонадный индекс – наименее информативный показатель. Величина этого индекса зависит от разных факторов, среди которых основной – это доступность и обилие пищи [17];

2. Гистологический анализ обеспечивает ценную информацию о степени зрелости гонад и гистопатологических изменениях в них (гистопатологические изменения более выражены в яичниках);

3. Развитие потомства – наиболее значимый и чувствительный к загрязнению показатель состояния репродуктивной функции исследованных видов. Именно в развитии потомства наиболее ярко проявляются нарушения, возникающие в результате действия токсических веществ на половые клетки в период их формирования: заторможенность и асинхронность развития, появление большого количества аномалий, снижение скорости роста и уменьшение размеров личинок. Рост личинок – очень чувствительный показатель качества потомства и морских ежей, и гребешков, однако применение этого показателя в качестве биотеста ограничено из-за большой трудоемкости;

4. В качестве ранних индикаторов нарушения функции воспроизводства у морских ежей можно использовать торможение эмбриогенеза (анализ кинетики

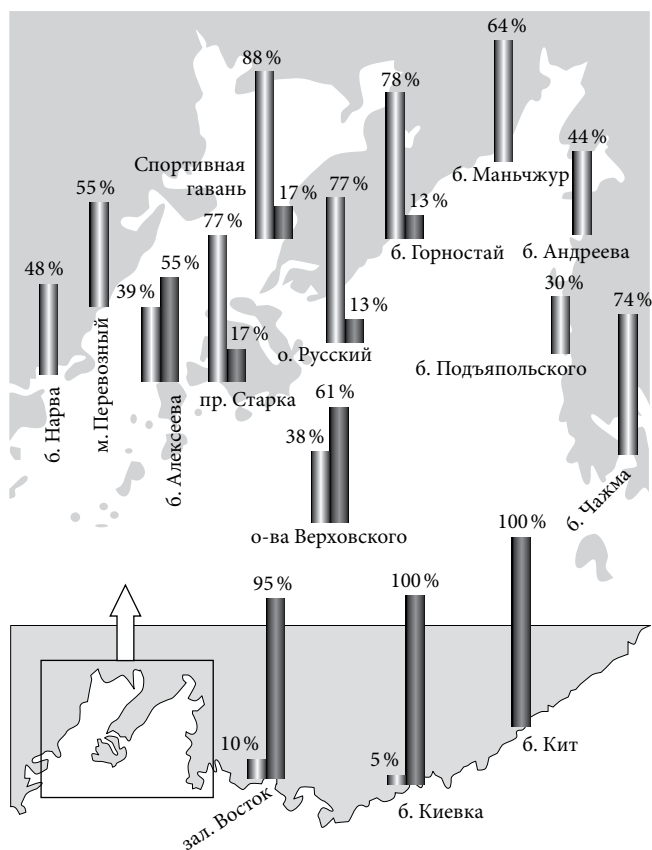


Рис. Доля самок морского ежа *S. intermedius*, нерестящихся ранним летом (светлые столбики) и осенью (темные столбики) на разных станциях в водах Японского моря у берегов Приморского края (по данным 2003–2010 гг.).

первого деления дробления [3]) и нарушение пропорций тела личинок (плутеусов в возрасте 3–4 суток) [2];

5. Нарушение процессов гаметогенеза морских ежей может служить чувствительным индикатором загрязнения среды; позднее этот вывод был подтвержден другими авторами [16, 21].

Анализируя данные многолетних исследований, мы заметили, что в конце 1990-х – начале 2000-х годов степень зрелости женских гонад морских ежей из прилегающего к Владивостоку района Амурского залива в августе, накануне массового нереста этого вида в зал. Петра Великого, была гораздо ниже, чем в 1980-х годах. Так, животные, обитавшие в районе Спортивной гавани, обладали высокими значениями гонадного индекса во все годы наблюдений, однако значения индекса зрелости гонад были гораздо выше в 1980-х годах, чем в начале 2000-х. Мы предположили, что загрязнение способно вызывать нарушение репродуктивного цикла морского ежа, которое может проявляться в изменении сроков нереста популяции. Это предположение нашло свое подтверждение в проведенных в 2003 и 2005–2009 гг. исследованиях сезонной динамики состояния гонад морских ежей *S. intermedius* из районов Японского моря с различным уровнем загрязнения (рис.).

Выявлены три типа поселений морского ежа, различающихся сроками нереста. Первый тип характеризовался ярко выраженным осенним нерестом: в

сентябре – начале октября. Эти поселения располагались в зал. Восток и за пределами зал. Петра Великого (бухты Киевка и Рудная). Значения гонадного индекса у морских ежей из этих поселений были высоки в течение летних месяцев и резко снижались в сентябре–октябре. Количество самок со зрелыми текущими гонадами достигало максимума в августе – начале сентября и резко снижалось во второй половине сентября – октябре. Второй тип поселений характеризовался ярко выраженным раннелетним нерестом – в конце мая – июне. Эти поселения располагались в прилегающем к Владивостоку прибрежном районе (Спортивная гавань в Амурском заливе, станция Горностай вблизи городской свалки в Уссурийском заливе), в зал. Стрелок у входа в б. Абрек (прежнее название – б. Чажма, место расположения военной базы), а также в прол. Старка между островами Русский и Попова. Значения гонадного индекса морских ежей из этих поселений достоверно снижались в июне–июле и либо оставались низкими на протяжении лета и ранней осени, либо быстро увеличивались и оставались высокими на протяжении всего года. Третий тип поселений морского ежа характеризовался двумя пиками нереста – раннелетним и осенним. Значения гонадного индекса мало менялись на протяжении лета и снижались в сентябре – октябре. Доля самок со зрелыми текущими гонадами высока в мае – начале июня и в конце августа – начале сентября. Такой тип нереста характерен для морских ежей, обитавших в островной зоне зал. Петра Великого (о-ва Рейнеке, Попова, Русский и Верховского), на станциях у западного берега Амурского залива (б. Нарва и м. Перевозный), а также на станциях у побережья Уссурийского залива, удаленных от основных источников загрязнения (бухты Маньчжур, Андреева, Подъяпольского).

Полученные данные о наличии поселений морских ежей с ярко выраженным весенне-летним и осенним сроками нереста, а также поселений, где оба типа нереста представлены практически у равной доли морских ежей, находятся в некотором противоречии с установившейся точкой зрения, что репродуктивный цикл, включая сроки нереста, синхронизован с циклически меняющимися природными процессами, которые контролируют последовательность стадий репродуктивного цикла и обеспечивают их согласованность у разных особей популяции.

Следует отметить, что наличие как одного, так и двух сроков нереста было описано для ряда масовых видов морских ежей: *Paracentrotus lividus* [15], *Pseudechinus magellanicus* [19], *S. droebachiensis* [12], *S. intermedius* [1, 6, 9] и др. Вместе с тем известна лишь одна работа, посвященная выяснению природы этого феномена у морских ежей одного вида. Основываясь на данных о сроках нереста морских ежей из разных мест обитания у о-ва Хоккайдо (побережье Японского моря, побережье Охотского моря и восточное Тихоокеанское побережье), японский исследователь Агацума выделил три типа репродуктивного цикла

у *S. intermedius*: 1) «япономорский» тип с осенним пиком нереста (сентябрь–октябрь), 2) «охотоморский и восточно-тихоокеанский» тип с растянутым периодом нереста (июнь–октябрь) и 3) тип цикла с двумя выраженными пиками нереста, весной (апрель–май) и осенью (август–октябрь) [9]. Последний тип цикла был характерен для морских ежей, обитавших в восточной части Сунгарского пролива и в б. Функа (южное побережье о-ва Хоккайдо). Эксперименты по трансплантации потомства, полученного от взрослых особей *S. intermedius* из Японского моря, в район восточного Тихоокеанского побережья и, наоборот, потомства, полученного от взрослых особей *S. intermedius*, из района восточного Тихоокеанского побережья в Японское море, показали, что в обоих случаях морские ежи сохраняли свой тип репродуктивного цикла. Это позволило исследователям предположить, что эти две популяции *S. intermedius* генетически разобщены, однако подтверждение этого предположения до сих пор не получено. Более того, Фуджи, изучавший репродуктивный цикл *S. intermedius* в восточной части Сунгарского пролива и в б. Функа в 1956 и 1959 г., показал, что сроки нереста в этой популяции такие же, как у ежей из Японского моря – с сентября по ноябрь [13]. Агацума объяснял расхождение результатов исследований 1980–1990-х годов с данными 1950-х годов тем, что за это время произошли существенные изменения гидрографического режима в этом районе, связанные с изменением направления теплого Цусимского течения и течения Оясио, что создало условия для переноса личинок *S. intermedius* из других районов Тихого океана [9].

Как показали результаты наших исследований, в начале 2000-х годов репродуктивный цикл морского ежа *S. intermedius* в Амурском заливе Японского моря не соответствовал «япономорскому» типу цикла с одним осенним пиком нереста [4], тогда как в 1970-е годы, по литературным данным, для этого вида в зал. Петра Великого был характерен именно осенний нерест [8]. Если вслед за японскими исследователями предположить, что сроки нереста у морского ежа *S. intermedius* жестко определены генетическими механизмами, то следует сделать вывод о существовании генетически разобщенных популяций этого вида в «пригородном» и «островном» районах Амурского залива, разделенных всего несколькими десятками километров. Этот вывод представляется маловероятным, принимая во внимание активную гидродинамику этого района, определяемую муссонным климатом. Летние ветры, преимущественно южных направлений, и северные осенние ветры создают выраженные ветровые течения, способствующие перемешиванию воды и переносу планктонных личинок беспозвоночных животных из открытой части залива во внутренние его районы и наоборот. Еще менее вероятным кажется предположение о таком изменении гидрографического режима в районе исследований за последние 30 лет, которое способствовало бы заносу личинок *S. intermedius*

в Амурский залив из сильно отдаленных районов, таких как Охотское море.

Нам представляется весьма вероятным, что отклонение репродуктивного цикла морского ежа *S. intermedius*, обитающего в прилегающих к Владивостоку районах зал. Петра Великого, от «япономорского» типа может быть объяснено фенотипической реакцией популяций на изменение среды обитания, обусловленное хроническим антропогенным загрязнением. Тем не менее в настоящее время мы проводим исследования репродуктивных и популяционно-генетических характеристик природных поселений морского ежа *S. intermedius* в северо-западной части Японского моря с целью проверки двух гипотез:

1. Поселения морских ежей *S. intermedius* в зал. Петра Великого генетически неоднородны, и в условиях хронического загрязнения преимущественно выживают особи с генетически запрограммированным раннелетним сроком нереста.

2. Поселения морских ежей *S. intermedius* в зал. Петра Великого генетически однородны, и в неблагоприятной экологической ситуации включается сформировавшийся в процессе эволюции генетический механизм, обеспечивающий «запасной» раннелетний срок нереста.

References

1. Voropaev V.M., Strahov A.A. The spring season for sexual products of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*, *Zoologicheskij zhurnal*. 1977. Vol. 56, No. 8. P. 1260–1262.
2. Vawenko M.A., Zhadan P.M. The impacts of marine pollution on the reproduction of marine benthic invertebrates, *Biol. morja*. 1995. Vol. 21, No. 6. P. 369–377.
3. Vawenko M.A., Zhadan P.M. The impaired development of the sea urchin offspring as an indicator of pollution, *Jekologija*. 2003. Vol. 34, No. 6. P. 459–465.
4. Vawenko M.A., Zhadan P.M., Almjasheva T.N., Slinko E.N. The perennial and seasonal dynamics of the reproductive function state of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* and sediment pollution in the Amur Bay (Peter the Great Bay, The Japan sea), *Reakcija morskoj bioty na izmenenija prirodnoj sredy i klimata: materialy kompleksnogo regionalnogo proekta DVO RAN po programme prezidiuma RAN*. Vladivostok: Dalnauka, 2007. P. 297–328.
5. Zhadan P.M., Vawenko M.A., Almjasheva T.N., Slinko E.N. The monitoring of the environmental status of coastal ecosystems of the Amur Bay (Peter the Great Bay, the Japan sea) on the biological and biogeochemical parameters, *Sostojanie morskih jekosistem, nahodjajushsja pod vlijaniem rechnogo stoka*. Vladivostok: Dalnauka, 2005. P. 201–227.
6. Kasjanov V.L., Medvedeva L.A., Jakovlev S.N., Jakovlev Ju.M. The reproduction echinoderms and bivalves. M.: Nauka, 1980. 207 p.
7. Motavkin P.A., Hotimchenko Ju.S., Deridovich I.I. The regulation of breeding and biotechnology produce gametes in bivalve molluscs. M.: Nauka, 1990. 217 p.
8. Hotimchenko Ju.S., Deridovich I.I., Motavkin P.A. The reproductive biology and regulation of gametogenesis and spawning in echinoderms. M.: Nauka, 1993. 168 p.
9. Agatsuma Y. Ecology of *Strongylocentrotus intermedius* // *Edible sea urchins: biology and ecology* / ed. J.M. Lawrence. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 427–441.
10. Au D.W.T., Lee C.Y., Chan K.L., Wu R.S.S. Reproductive impairment of sea urchins upon chronic exposure to cadmium. Part I: Effects on gamete quality, *Environ. Pollut.* 2001. Vol. 111. P. 1–9.
11. Au D.W.T., Yurchenko O.V., Reunov A.A. Sublethal effect of phenol on sea urchin *Anthodidaris crassispina* spermatogenesis, *Environ. Res.* 2003. Vol. 93. P. 92–98.
12. Brady S.M., Scheibling R.E. Changes in growth and reproduction of green sea urchins, *Strongylocentrotus droebachiensis* (Müller), during repopulation of shallow subtidal zone after mass mortality, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2006. Vol. 335. P. 277–291.
13. Fuji A. Studies on the biology of the sea urchin. III. Reproductive cycle of two sea urchins, *Strongylocentrotus nudus* and *S. intermedius*, in southern Hokkaido, *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 1960. Vol. 11. P. 43–48.
14. Giese A.C. Comparative physiology: annual reproductive cycles of marine invertebrates, *Ann. Rev. Physiol.* 1959. Vol. 21. P. 547–576.
15. Guettaf M., San Martin G., Francour P. Interpopulation variability of the reproductive cycle of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in the south-western Mediterranean, *J. Mar. Biol. Ass. UK*. 2000. Vol. 80. P. 899–907.
16. Krause P.R. Effects of an oil production effluent on gametogenesis and gamete performance in the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus* Stimpson), *Environ. Toxicol. Chem.* 1994. Vol. 13. P. 1153–1161.
17. Lawrence J.M., Plank L.R., Lawrence A.L. The effect of feeding frequency on consumption of food, absorption efficiency, and gonad production in the sea urchin *Lytechinus variegatus*, *Comp. Biochem. Physiol.* 2003. Vol. 134A. P. 69–75.
18. Lawrence A.J., Soame J.M. The effects of climate change on the reproduction of coastal invertebrates, *IBIS*. 2004. Vol. 146, suppl. 1. P. 29–39.
19. Marzinelli E., Bigatti G., Gimenez J., Penchaszadeh P. Reproduction of the sea urchin *Pseudechinus magellanicus* (Echinoidea: Temnopleuridae) from Golfo Nuevo, Argentina, *Bull. Mar. Sci.* 2006. Vol. 79. P. 127–136.
20. Monirith I., Ueno D., Takahashi S. et al. Asia-Pacific mussel watch: monitoring contamination of persistent organochlorine compounds in coastal waters of Asian countries, *Mar. Pollut. Bull.* 2003. Vol. 46. P. 281–300.
21. Quiniou F., Guillou M., Judas A. Arrest and delay in embryonic development in sea urchin populations of the Bay of Brest (Brittany, France): link with environmental factors, *Mar. Pollut. Bull.* 1999. Vol. 38. P. 401–406.
22. Sastry A.N. Physiology and ecology of reproduction in marine invertebrates, *Physiological ecology of estuarine organisms* / ed. F.J. Vernberg. Columbia: Univ. South Carolina Press, 1978. P. 279–299.
23. Wasson K.M., Watts S.A. Reproductive endocrinology of sea urchins, *Edible sea urchins: biology and ecology* / ed. J.M. Lawrence. Elsevier Science B.V., 2001. P. 43–57.

Поступила в редакцию 18.03.2011.

STUDYING EFFECTS FROM CHRONIC MARINE ENVIRONMENT POLLUTION ON THE STATE OF INVERTEBRATES REPRODUCTIVE FUNCTION

M.A. Vaschenko¹, P.M. Zhadan²

¹A. V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology (17 Palchevskogo St. Vladivostok 690041 Russian Federation), ²V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS (43 Baltiyskaya St. Vladivostok 690041 Russian Federation)

Summary – The paper summarises results of long-term laboratory and field studies on the effects of environmental pollution on the gametogenesis, breeding and reproductive cycles of sea urchins and bivalve molluscs. The disordered gametogenesis can serve as a sensitive indicator of marine environment pollution. The authors estimate informativity of various indicators of reproductive function of these species and cite data from the studies about spawning period of *Strongylocentrotus intermedius* from the north-western sea areas of the Sea of Japan with various anthropogenic stresses. The authors focus attention on a shift in the spawning period from autumn to early summer in sea urchin habitats known to be high-polluted, and discuss probable mechanisms of this phenomenon.

Key words: gametogenesis, reproductive cycle, sea urchin, pollution.

Pacific Medical Journal, 2012, No. 2, p. 110–114.