

АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО

УДК 57.03:574.6:594.11 (69.25)

**МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НАЧАЛА НЕРЕСТА И ОСЕДАНИЯ
ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА (*MIZUHOPECTEN YESSOENSIS*)
В БУХТЕ МИНОНОСОК (ЗАЛИВ ПОСЬЕТА, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

© 2020 г. Н. И. Григорьева

Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН,
Владивосток, 690041
e-mail: grigoryeva04@mail.ru

Поступила в редакцию 4.10.2019 г.

Проанализированы многолетние изменения начала нереста и оседания приморского гребешка (*Mizuhopecten (=Patinopecten) yessoensis* Jay, 1857) в бухте Миноносок (зал. Посьета, зал. Петра Великого, Японское море) в 1970–2011 гг. Рассчитана энтропия процессов и на ее основе исследована мера рассеивания фенодат по годам.

Ключевые слова: температура воды, межгодовая изменчивость, фенодата, нерест, оседание личинок, спат, приморский гребешок, *Mizuhopecten (=Patinopecten) yessoensis* Jay, 1857, бух. Миноносок, зал. Посьета, зал. Петра Великого, Японское море.

ВВЕДЕНИЕ

Наступление нереста, первое появление личинок в планктоне и начало их оседания являются основными этапами развития моллюсков. В зал. Петра Великого (рисунк) у приморского гребешка (*Mizuhopecten (=Patinopecten) yessoensis* Jay, 1857) они происходят в разное время и зависят от прогрева воды. Изучение этих фенодат важно для прогнозирования оптимальных сроков выставления коллекторов, поскольку раннее выставление приводит к оседанию обрастаний и заилению субстратов, позднее — к потере урожая (Белогрудов, Скокленева, 1983). В мариккультуре данным сезонным явлениям уделяется особое внимание, поскольку от них зависит количество спата на коллекторах. Как правило, главными отслеживающими факторами за наступлением определенных дат являются: наблюдение за температурой воды, расчет гонадного индекса у взрослых особей, а также отбор планктонных проб с замерами личинок и последующий подсчет осевшей молодежи (Ventilla, 1982).

В зал. Посьета фенологические периоды анализировали преимущественно

в 1971–1979 гг., и на их основе делались попытки прогнозирования сроков оседания личинок (Белогрудов, Мальцев, 1975; Белогрудов и др., 1977; Белогрудов, Скокленева, 1983). В дальнейшем подсчитывали лишь среднее оседание на коллекторы (Григорьева и др., 2005); исследованиями ежегодных колебаний сроков нереста и оседания *M. yessoensis* не занимались.

Вариации наступлений основных фенодат и меру их рассеивания во времени лучше всего исследует энтропия, где за единицу информации принимаются биты. При этом их количество характеризует разброс сроков по годам, и чем больше показатель, тем выше энтропия. В научных исследованиях энтропию применяют во многих областях, в биологии ее используют не только для исследования фенологических процессов (Зайцев, 1984), но и для изучения термодинамики биологических процессов как меру упорядоченности состояний систем (Рубин, 1984; Demirel, 2007).

Цель настоящей работы — оценка многолетней изменчивости наступления нереста и начала оседания приморского гре-

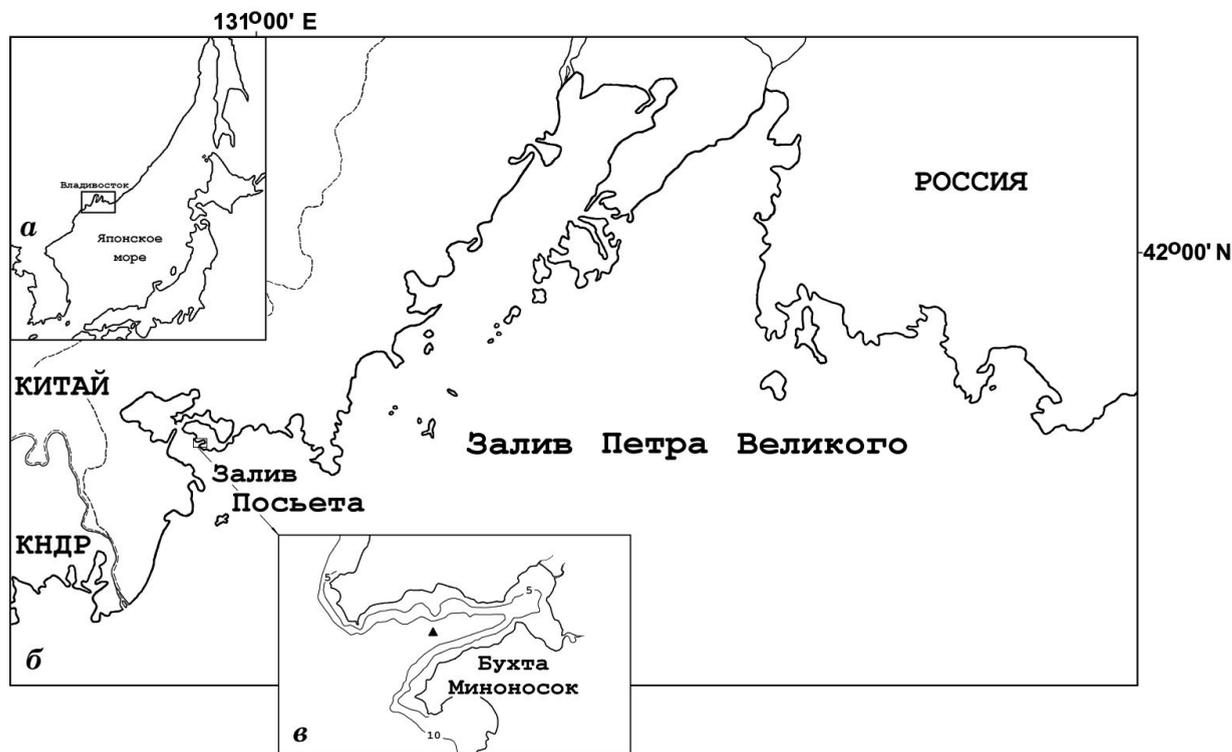


Рисунок. Карта-схема района исследований: Японское море (а), зал. Петра Великого (б) и бух. Миноносок (в), ▲ — планктонная станция.

бешка в зал. Посъета (зал. Петра Великого, Японское море) на основе использования методов энтропии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для анализа использовали данные по срокам наступления нереста, первого появления личинок и начала оседания приморского гребешка в бух. Миноносок с 1970 по 2011 гг. Использовали литературный материал (Белогрудов, 1981; Коновалова, Поликарпова, 1983; Габаев, 1990), а также неопубликованные: собственные данные (за 1988–2004 гг.) и результаты наблюдений В. Регулева и Т. Регулевой (за 2005–2011 гг.). Время наступления нереста и оседания определены стандартными методами — по снижению гонадного индекса и достижению личинками размеров 250–270 мк (Белогрудов, Мальцев, 1975; Белогрудов, 1981). Первое появление личинок в планктоне дано для середины бухты (рису-

нок). Общая выборка наблюдений составила 42 года, с учетом пропусков — 36 лет.

Энтропия процессов рассчитана по методу Шеннона-Хартли для определения меры рассеивания фенодат и приведена в битах (Зайцев, 1984). Календарные даты преобразовывали в числа непрерывного ряда, расчеты проводили для каждой фазы сезонного развития в отдельности. Особенности годовой динамики сроков нереста и оседания рассчитывали путем статистического анализа рядов их распределений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В зал. Посъета нерест приморского гребешка проходит в течение 1,5 мес в зависимости от прогрева воды в конкретных биотопах (Белогрудов, 1987). В мелководных бухтах он начинается раньше, в открытых районах сдвигается на более поздние даты. Различие в сроках может составлять от нескольких дней до трех–четырёх недель.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НАЧАЛА НЕРЕСТА И ОСЕДАНИЯ

В таблице представлены сроки наступления нереста, первого появления личинок и начала оседания приморского гребешка в бух. Миноносок зал. Посъета (Японское море). По данным за 1970–2011 гг., нерест варьировал с 1 мая по 9 июня (40 дней). Рассчитанная среднемноголетняя дата начала нереста приходилась на 17–18 мая. Самое

Таблица. Сроки наступления нереста, первого появления личинок и начала оседания приморского гребешка (*Mizuhopecten yessoensis* Jay, 1857) в бух. Миноносок зал. Посъета (зал. Петра Великого, Японское море) в 1970–2011 гг.

Годы	Начало нереста	Дата первого появления личинок	Дата начала оседания
1970	20.05	10.06	25.06
1971	9.06	18.06	2.07
1972	21.05	2.06	25.06
1973	18.05	5.06	20.06
1974	24.05	12.06	1.07
1975	1.05	15.05	20.06
1976	19.05	1.06	11.06
1977	22.05	7.06	15.06
1978	19.05	3.06	11.06
1979	22.05	5.06	24.06
1980	5.06	15.06	*
1981	20.05	4.06	16.06
1982	20.05	7.06	14.06
1983	20.05	7.06	17.06
1984	22.05	1.06	7.06
1985	8.05	4.06	12.06
1986	18.05	6.06	12.06
1987	1.05	20.05	10.06
1988	19.05	3.06	12.06
1989	10.05	31.05	8.06
1990	10.05	23.05	5.06
1996	15.05	-	10.06
1998	6.05	12.05	6.06
1999	15.05	9.06	14.06
2000	10.05	30.05	10.06
2001	20.05	4.06	10.06
2002	10.05	2.06	4.06
2003	10.05	22.05	5.06
2004	10.05	24.05	7.06
2005	15.05	31.05	16.06
2006	15.05	2.06	15.06
2007	10.05	29.05	6.06
2008	8.05	16.05	4.06
2009	20.05	31.05	20.06
2010	1.06	6.06	5.07
2011	1.06	14.06	28.06

раннее наступление нереста зафиксировано 1–8 мая (1975, 1985, 1987, 1998, 2008 гг.), наиболее позднее — 1–9 июня (1971, 1980, 2010, 2011 гг. По литературным материалам (Белогрудов, 1981; Белогрудов, Скокленева, 1983), за период с 1971 по 1979 гг. средне-многолетняя дата начала нереста в бух. Миноносок приходилась на 20–21 мая. Возможно, небольшой сдвиг сроков нереста на более ранний срок связан с современным потеплением климата (Пономарев и др., 2007).

Даты первого появления личинок в средней части бух. Миноносок варьировали с 12.05 по 18.06. Но стандартным методом первое появление личинок фиксируется неточно, т.к. личинки определяются до вида после достижения размеров 125–150 мм (Белогрудов, 1981). Также следует отметить, что сначала личинки появляются на мелководных участках, а затем распространяются по всей акватории. Одной станции недостаточно для выявления точной даты первого появления личинок в планктоне.

Оседание личинок в зал. Посьета начинается в июне на глубинах 6–15 м и заканчивается в середине июля (Белогрудов и др., 1977). Оно может иметь несколько пиков из-за поселения на одних и тех же коллекторах нескольких генераций личинок, приносимых из других районов залива (Белогрудов, 1986; Колотухина, Семенихина, 1998). По данным 1970–2011 гг., в бух. Миноносок оседание личинок происходило с 4 июня по 5 июля (32 дня). Рассчитанная средне-многолетняя дата начала оседания приходилась на 14–15 июня. Самое раннее оседание отмечено 4–8 июня (1984, 1989, 1990, 2002, 2003, 2004, 2007, 2008 гг.), наиболее позднее — 1–5 июля (1971, 1974, 2010 гг.). По литературным материалам (Белогрудов, Скокленева, 1983), с 1971 по 1979 гг. начало оседания гребешков в бух. Миноносок варьировало с 11 по 26.06; точная дата не рассчитывалась.

Поскольку классический статистический анализ не исследует меру рассеивания анализируемых процессов (стандартное отклонение одинаково для двух дат — нере-

ста и оседания и составляет соответственно 8,8 и 8,4 дня), нами была рассчитана энтропия, которая выявляет частоту выпадения всех анализируемых дат с вычислением вероятности их наступления. Энтропия дат начала нереста составила 3,5 биты, оседания — 4,1 биты. Эти цифры показывают, что первый процесс проходит в более сжатые сроки, чем второй.

Из общего разброса данных по срокам нереста с 1 мая по 9 июня (40 дней) 12 дат (с вероятностью $P=47,2\%$) выпадали чаще в промежутке дней между 10 и 20 мая. Из общего числа вариаций сроков оседания с 4 июня по 5 июля (32 дня) 10 дат (с вероятностью $P=28,6\%$) выпадали чаще в промежутке дней между 10 и 20 июня. Несмотря на то, что наступление нереста оказалось более растянутым, на промежуток между 10 и 20 мая выпадала наибольшая плотность, крайние даты вариационного ряда имели низкий показатель вероятности. Напротив, даты оседания оказались менее сгруппированы и более равновероятны в своем промежутке рассеивания, основная плотность приходилась на даты между 10 и 20 июня, но с вероятностью почти в 1,7 раза ниже, чем у аналогичного промежутка дат нереста. Таким образом, количество бит показывает, что дата начала нереста является определяющей из двух дат, и должна фиксироваться более тщательно. Для даты первого появления личинок энтропия не рассчитывалась из-за неточности анализируемых данных.

Известно, что фенологические наблюдения ведутся одновременно в различных регионах земного шара, так как сравнительный аспект в исследованиях, учитывающий географическое распространение моллюсков в конкретных биотопах, играет здесь важную роль. Сравнение наступления сроков нереста и оседания *M. yessoensis* показывает, что различия связаны преимущественно с температурным режимом акваторий (Kosaka, 2016).

В зал. Петра Великого, как сказано выше, нерест и оседание зависят от прогресса воды. В мелководных бухтах зал. Посьета

нерест гребешков начинается в мае, в более открытых районах, например, у о. Фуругельма, или севернее, в зал. Восток, он происходит на 10–15 дней позже (Белогрудов, 1987). Соответственно сдвигаются и сроки оседания.

На восточном побережье Кореи и у берегов Японии созревание гонад у гребешков происходит раньше. Нерест наступает преимущественно в апреле (реже в конце марта) и только при неблагоприятных условиях растягивается до конца мая—начала июня (Kang et al., 1982; Kawamata, 1983, 1988; Chung et al., 2005; Uddin, 2007). Важно подчеркнуть, что здесь в зимнее время температура воды не опускается до минусовых значений; гаметогенез начинается в октябре, и гребешки готовы к нересту уже к марту—началу апреля (Kosaka et al., 1996; Uddin, 2007). Лишь на севере о. Хоккайдо (Япония) в оз. Сарома гонады у *M. yessoensis* созревают к маю, а нерест происходит с мая по июнь (Ventilla, 1982; Maru, 1985, 1994), как в зал. Петра Великого.

К сожалению, для других районов бассейна Японского моря точные даты нереста и оседания *M. yessoensis* по годам не приводятся и не обсуждаются. Преимущественно указываются календарные месяцы наступления этих периодов. Следует отметить, что для мариводов в Корею сами сроки наступления благоприятных температур давно не играют решающего значения, т.к. личинок получают в инкубаториях, где даты оседания сдвинуты на месяц-два вперед от природных (Kang et al., 1982). Также фермеры используют спат из Китая, который имеет размеры 10–15 мм уже в февралемарте (Kim et al., 2014).

Таким образом, новый анализ данных длительного мониторинга наблюдений за сроками нереста и оседания личинок *M. yessoensis* показал значительное варьирование по годам. Возможно, это приведет к лучшему пониманию происходящих процессов и сможет снизить существующие риски культивирования приморского гребешка в зал. Петра Великого, позволяя перейти к более

лучшему варианту управления воспроизводством.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сроки нереста и оседания приморского гребешка в бух. Миносок (зал. Посыета, зал. Петра Великого, Японское море) значительно варьируют год от года. Диапазон сроков наступления нереста в 1970–2011 гг. составлял 40 дней (с 1 мая по 9 июня), начала оседания — 32 дня (с 4 июня по 5 июля), со среднемноголетними датами 17–18 мая и 14–15 июня соответственно. Наибольшая вероятность наступления нереста приходилась на промежуток с 10 по 20 мая ($P=47,2\%$), оседания — с 10 по 20 июня ($P=28,6\%$). Из двух сроков начало нереста имело меру неопределенности ниже (3,5 биты), чем наступление оседания (4,1 биты), и, таким образом, нерест должен наблюдаться более тщательно, что чрезвычайно актуально в условиях изменяющегося климата с резкими колебаниями местных погодных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белогрудов Е.А. Биологические основы культивирования приморского гребешка *Ratinopecten yessoensis* (Jay) (Mollusca, Bivalvia) в заливе Посыета (Японское море): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 1981. 23 с.

Белогрудов Е.А. Культивирование // Приморский гребешок. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. С. 201–211.

Белогрудов Е.А. Биология и культивирование приморского гребешка // Культивирование тихоокеанских беспозвоночных и водорослей. М.: Агропромиздат, 1987. С. 66–71.

Белогрудов Е.А., Мальцев В.Н. Нерест гребешка в заливе Посыета // Изв. ТИНРО. 1975. Т. 96. С. 273–278.

Белогрудов Е.А., Мокрецова Н.Д., Бочкарева Н.А., Раков В.А. Экологические и биотехнические основы разведения некоторых видов беспозвоночных в заливе Пе-

- тра Великого (Яп. море) // Второй советско-японский симп. по аквакультуре (Proc. 2-nd Soviet-Japan Joint Symp. Aquaculture). Tokyo, November 1973. М.: ВНИРО, 1977. С. 185–198.
- Белогрудов Е. А., Скоклеева Н. М. Прогнозирование сроков установки коллекторов и количества спата приморского гребешка // Марикультура на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИПРО, 1983. С. 10–13.
- Габаев Д. Д. Биологическое обоснование новых методов культивирования некоторых промысловых двустворчатых моллюсков в Приморье: Автореф. дис. канд. биол. наук. Владивосток: ТИПРО, 1990. 30 с.
- Григорьева Н. И., Регулёв В. Н., Золотова Л. А., Регулева Т. А. Культивирование моллюсков в западной части залива Посыет (залив Петра Великого, Японское море) // Рыбн. хоз-во. 2005. № 6. С. 63–66.
- Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
- Колотухина Н. К., Семенихина О. Я. Динамика численности личинок мидии *Mytilus trossulus* и модиолуса *Modiolus kurilensis* в планктоне бухты Троицы (залив Посыета) и залива Восток Японского моря // Биология моря. 1998. Т. 24. № 2. С. 129–131.
- Коновалова Н. Н., Поликарпова Г. В. Промышленный сбор спата приморского гребешка // Рыбн. хоз-во. 1983. № 9. С. 27.
- Пономарев В. И., Каплуненко Д. Д., Дмитриева Е. В. и др. Климатические изменения в северной части Азиатско-Тихоокеанского региона // Дальневосточные моря России. Кн. 1. Океанологические исследования. М.: Наука, 2007. С. 17–48.
- Рубин А. Б. Термодинамика биологических процессов. М.: Изд-во МГУ, 1984. 284 с.
- Chung E.-Y., Park Y.-J., Lee J.-Y., et al. Germ cell differentiation and sexual maturation of the hanging cultured female scallop *Patinopecten yessoensis* on the east coast of Korea // J. Shellfish Res. 2005. V. 24. N. 4. P. 913–921.
- Demirel Y. Fundamentals of equilibrium thermodynamics // Non-equilibrium Thermodynamics. 2nd Edition. Elsevier Science B. V., 2007. P. 1–52.
- Kang H. W., Cheong S. C., Jo J. K., et al. The study on the artificial seed production of scallop *Patinopecten yessoensis* (Jay) in the hatchery // Bull. Fish. Res. and Dev. Agency. 1982. V. 30. P. 111–118.
- Kawamata K. Reproduction cycle of the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay), planted in Funka Bay, Hokkaido // Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn. 1983. V. 25. P. 15–20.
- Kawamata K. Gonadal development of the cultured scallops, *Patinopecten yessoensis* (Jay), off Rumoi, Hokkaido // Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn. 1988. V. 31. P. 9–13.
- Kim H.-Y., Oh B.-S., Cha B.-J., Park M. — S. Investigation of interference current distribution in a long line scallop cage aquaculture // Korean J. Malacol. 2014. № 30 (3). P. 273–279.
- Kosaka Y. Scallop Fisheries and Aquaculture in Japan // S. E. Shumway, & G. J. Parsons (Eds.), Developments in Aquaculture and Fisheries Science. Scallops Biology, Ecology, Aquaculture, and Fisheries. 2016. V. 40. P. 891–936.
- Kosaka Y., Aisaka K., Kawamura K. Maturation and spawning of the hanging cultured scallop in Mutsu Bay // Annu. Rep. Aquacult. Cent. Aomori Pref. 1996. V. 26. 121–129.
- Maru K. Ecological studies on seed production of a scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay) // Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn. 1985. V. 27. P. 1–53.
- Maru K. Some factors causing fluctuations in the collection of natural seed of the Ezo giant scallop, *Patinopecten yessoensis* // Proceedings of the 9th International Pectinid Workshop, Nanaimo, B.C., Canada, April 22–27, 1993. Can. Tech. Rep. of Fish. and Aqua. Sci. 1994. V. 1. P. 179–186.
- Uddin M. J., Park K.-I., Kang D.-H., et al. Comparative reproductive biology of Yezo scallop, *Patinopecten yessoensis*, under two different culture systems on the east coast of Korea // Aquaculture. 2007. V. 265. P. 139–147.
- Ventilla R. The scallop industry in Japan // Marine Biology. 1982. V. 20. P. 309–350.

**THE LONG-TERM VARIABILITY OF THE BEGINNING
OF THE YESSO SCALLOP (*MIZUHOPECTEN YESSOENSIS*) SPAWNING
AND LARVAE SETTLEMENT IN MINONOSOK BAY
(POSYET BAY, SEA OF JAPAN)**

© 2020 y. N. I. Grigoryeva

*National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Science,
Vladivostok, 690041*

The long-term changes of the beginning of the Yesso scallop (*Mizuhopecten* (= *Patinopecten*) *yessoensis* Jay, 1857) spawning and larvae settlement in Minonosok Bay (Posyet Bay, Peter the Great Bay, East Sea/Sea of Japan) were analyzed in 1970–2011. The entropy of the processes was calculated, and on its basis the extent of data dispersion over years was studied. *Key words:* water temperature, interannual variability, phenological date, spawning, larvae settlement, spat, Yesso scallop; *Mizuhopecten* (= *Patinopecten*) *yessoensis* Jay, 1857, Minonosok Bay, Posyet Bay, Peter the Great Bay, East Sea/Sea of Japan.