

## АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО

УДК 591.5; 594.117

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

© 2010 г. В.А. Брыков, Н.К. Колотухина

Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток 690041

Поступила в редакцию 19.02.2009 г.

Окончательный вариант получен 29.06.2009 г.

Приведены результаты многолетних (1986-2002 гг.) исследований, полученные в процессе разработки технологии выращивания приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Jay). Представлены сведения о динамике численности личинок в планктоне и эффективности сбора молоди гребешка на коллекторы. Оценены выживаемость и рост моллюсков на коллекторах и в донной культуре. Показано, что экономически предпочтительным вариантом культивирования гребешка оказывается донный способ выращивания этих моллюсков.

**Ключевые слова:** аквакультура, двустворчатые моллюски, приморский гребешок, динамика численности, рост, технология выращивания.

Приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis* (Jay) – один из важнейших объектов промысла и культивирования. В прибрежных водах Приморья моллюски этого вида распространены от зал. Посъета на юге до бухты Рудной на севере (Скарлато, 1981). Природные пространственные группировки гребешка обычно регистрируются в диапазоне глубины 6-30 м и приурочены к зонам распространения песчаных грунтов (Разин, 1934).

К началу 70-х годов прошлого столетия в прибрежных водах Приморского края было отмечено повсеместное снижение промысловых запасов этих моллюсков, что послужило основанием для длительного запрета на промышленную добычу гребешка и стимулировало работы по его выращиванию (Бирюлина, Родионов, 1972; Силина, Брегман, 1986).

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на разработку технологий культивирования гребешка в прибрежных водах зал. Петра Великого Японского моря, были начаты сотрудниками ТИНРО МРХ СССР (ныне ФГУП «ТИНРО-Центр») в конце 60-х годов прошлого столетия. В 1971 г. в зал. Посъета производственным объединением «Приморрыбпром» было организовано первое опытно-промышленное хозяйство марикультуры (впоследствии Экспериментальная морская база «Посъет»), на котором приступили к разработке технологий выращивания нескольких видов двустворчатых моллюсков, в том числе и приморского гребешка. При этом был заимствован практический опыт культивирования этих моллюсков, накопленный к тому времени японскими кооперативами, закуплены необходимые для этих целей материалы и оборудование.

В результате совместных усилий рыбохозяйственной науки и производственных предприятий к началу 90-х годов была получена минимально необходимая биологическая информация (Белогрудов, 1973; Белогрудов, Мальцев, 1975), показана практическая возможность реализации технологических схем культивирования гребешка в зал. Посъета, разработаны временные инструкции по его выращиванию в подвесной (садковой) и донной культуре (Белогрудов, 1987). При этом все варианты базировались на общем начальном этапе технологического цикла: сборе планктонных личинок на размещаемые в водной толще коллекторы.

Время выставления коллекторов в море определяли исходя из информации о плотности и качественном составе личинок гребешка в планктонных пробах.

После достижения молодью гребешка размеров 8-10 мм (обычно в августе) гирлянды коллекторов снимали с установок и разбирали на специальной понтон-площадке. Для выращивания в подвесной культуре отсортированную молодь помещали в садки (площадь дна садка 0,12 м<sup>2</sup>) с плотностью 20 экз./садок, тогда как для последующего перевода в донную культуру – с плотностью 250 экз./садок. Заполненные садки собирали в гирлянды, состоящие из 10 однотипных элементов, и вновь размещали на горизонтальных канатах установок. Осенью установки с садками притапливали на 1,5-2 м от поверхности воды.

В мае следующего календарного года моллюсков, предназначенных для выращивания в подвесной культуре, пересаживали в новые садки, снижая плотность до 10 экз./садок. При такой плотности их содержали на установках до конца технологического цикла.

В это же время молодь гребешка, содержащуюся с плотностью 250 экз./садок, освобождали из садков и помещали в транспортные емкости, в которых моллюсков доставляли морем к местам отсадки на грунт. Рекомендованная начальная плотность при выращивании гребешка в донной культуре составляла 10-15 экз./м<sup>2</sup>.

Продолжительность технологического цикла при выращивании гребешка в подвесной культуре составляла три, а для донной культуры – четыре года. Расчетная урожайность в эквиваленте прижизненной массы достигала 26 и 8 т/га, соответственно.

За последние 30 лет предложенные технологические схемы не претерпели существенных изменений, а объемы выращивания гребешка в Приморье так и не достигли промышленных (Арзамасцев и др., 2001). В условиях изменившихся в последнее десятилетие социально-экономических обстоятельств особую актуальность приобретает не принципиальная возможность демонстрации того или иного способа выращивания гребешка, а экономическая целесообразность реализации таких технологических схем культивирования этих моллюсков, которые обеспечивают промышленные масштабы и приемлемую рентабельность хозяйств марикультуры.

Цель работы заключается в анализе и обобщении результатов многолетних исследований, полученных сотрудниками Лаборатории экологии беспозвоночных ИБМ ДВО РАН в процессе разработки технологии промышленного выращивания приморского гребешка, адаптированной к условиям прибрежных вод Приморского края.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Представлены результаты комплексных исследований, проводившихся в прибрежных водах Приморского края в 1986-2002 гг. Научно-исследовательские и экспериментальные работы выполняли в заливах Посыета и Восток, в бухте Мелководная (рис. 1).

Отбор проб личиночного планктона в разные годы осуществляли с мая по сентябрь включительно с 5-дневной дискретностью. На всех полигонах использовали идентичные орудия лова (сеть Джеди с диаметром входного отверстия 37 см и конусом из мельничного сита №62) и аналогичные приемы отбора, фиксации и обработки проб (Куликова, Колотухина, 1989). После идентификации и подсчета личинок приморского гребешка в каждой из проб

выполняли пересчет их концентрации на  $1 \text{ м}^3$  водного объема. В статье приведены средние значения плотности личинок гребешка в поверхностном 10-12-метровом слое воды каждой акватории.

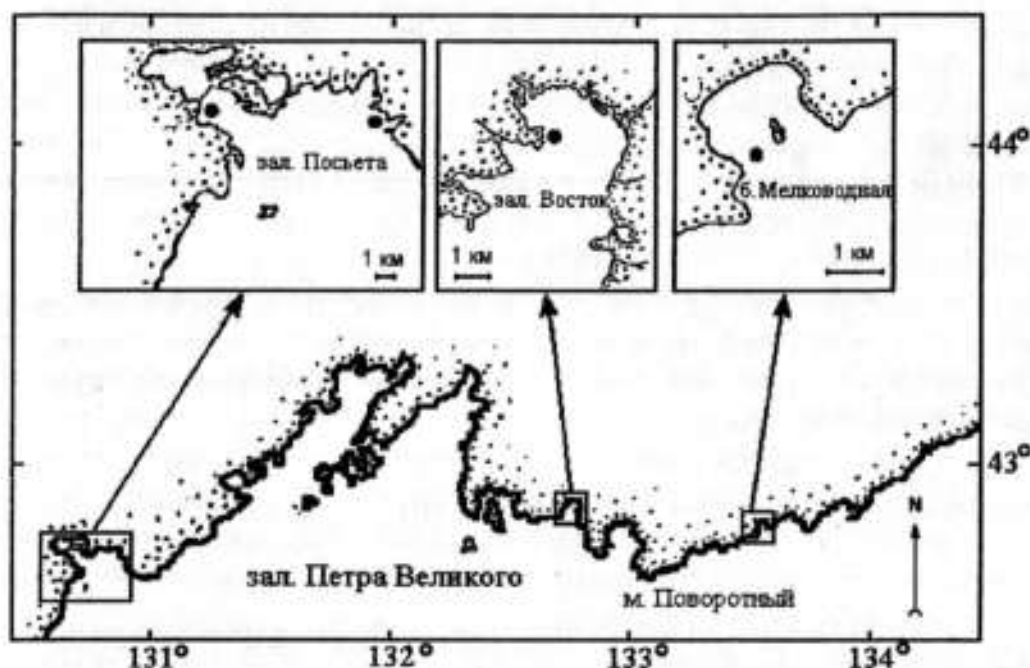


Рис. 1. Карта-схема районов работ. Точками обозначены местоположения установок для сбора молоди *Mizuhopecten yessoensis* на коллекторы.

Fig. 1. A schemitized map of the working area. The dots indicate location of installations for collection of *Mizuhopecten yessoensis* spat on collectors.

Эффективность сбора молоди приморского гребешка на коллекторы в зависимости от глубины их размещения и времени выставления в море оценивали в процессе экспериментальных работ. Для этого во всех случаях использовали идентичные коллекторы, представляющие собой оболочку (мешок) размером 60x35 см из капроновой дели с ячейей 5x5 мм, в которую помещали наполнитель из полиэтиленового сетного рукава длиной 1,5 м. Для придания коллекторам объемной формы рукав из полиэтилена собирали «гармошкой» и равномерно распределяли внутри мешка.

Мешочные коллекторы завязывали в верхней части и последовательно крепили к капроновому шнуру диаметром 6 мм с интервалом 1 м. Собранные гирлянды коллекторов, каждая из которых состояла из 10 мешков, на нижних концах оснащали грузами массой 1 кг, а на верхних – петлями для крепления к горизонтальным хребтинам установок. Установки представляли собой гибкие гидротехнические сооружения, состоящие из однотипных элементов, конструктивные особенности которых были описаны ранее (Брыков и др., 2004).

Гирлянды коллекторов оснащали пластиковыми бирками с указанием даты выставления и сериями по 5 шт. ежеледекадно последовательно вывешивали на оснащенные плавучестями горизонтальные хребтины установок. Расстояние между вертикально размещенными вдоль хребтины гирляндами составляло 1 м.

Все серии гирлянд коллекторов, выставленных в различное время, во второй половине октября одновременно снимали с установок. В процессе их разборки отдельно для каждого мешочного коллектора регистрировали дату его выставления, глубину размещения, определяли количество собранных ювенильных особей



гребешка, а также обилие других сопутствующих организмов, в том числе морских звезд *Asterias amurensis* Lütken, находившихся внутри коллекторов.

Информацию о размерной структуре и росте ювенильных особей гребешка на коллекторах, а также об изменении их численности в подвесной культуре получали экспериментально. Для этого на установки одновременно выставляли партию (25-30 шт.) гирлянд коллекторов, а в дальнейшем (после завершения оседания личинок гребешка) ежемесячно снимали серии по 5 гирлянд. Отдельно для каждого коллектора регистрировали количество живых особей гребешка, выполняли измерения высоты их раковины, определяли обилие и измеряли линейные параметры (длина луча) сопутствующих морских звезд. Результаты измерений использовали для оценки линейного роста и анализа размерной структуры молоди гребешка и морской звезды в подвесной культуре.

Снятую с коллекторов сеголетнюю молодь гребешка во второй половине октября отсаживали на предварительно выбранные обособленные участки дна зал. Восток с плотностью 20-30 экз./м<sup>2</sup>. В зависимости от площади донных участков численность отсаживаемых на грунт ювенильных особей составляла 120-460 тыс. экз. Спустя три года на этих же полигонах с использованием акваланга осуществляли оценку численности трехлетних особей. В зависимости от площади и конфигурации биотопа гребешка применяли либо рамочный метод (площадь учетной рамки 1 м<sup>2</sup>), либо метод трансект. В каждом варианте суммарная площадь учетных площадок превышала 2% от площади занятого гребешком донного участка. Численность оценивали экстраполяцией средних значений плотности трехлетнего гребешка на общую площадь занятого им биотопа. Исходя из сведений о количестве отсаженной на грунт молоди гребешка и результатов учета численности трехлетних моллюсков, оценивали выживаемость гребешка в донной культуре.

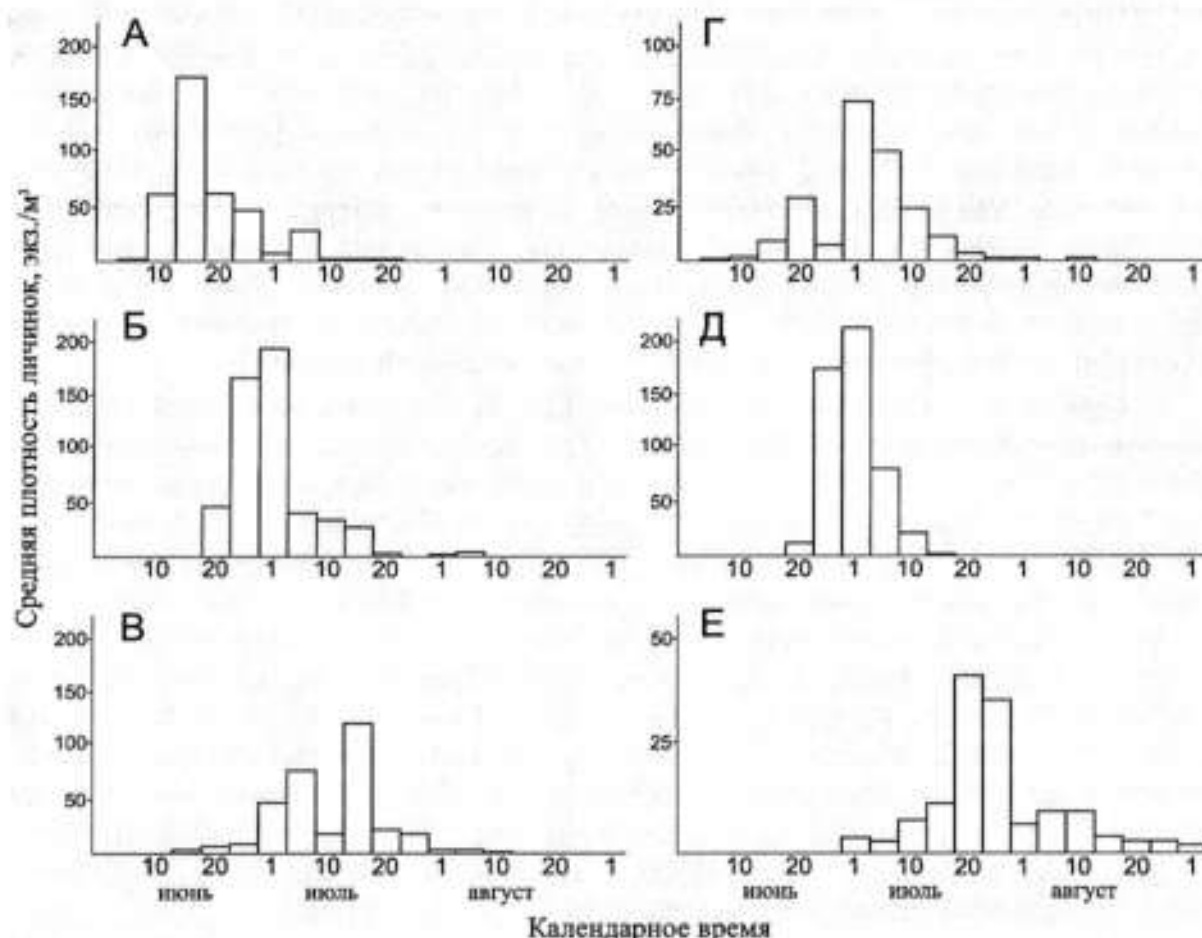
Индивидуальный возраст моллюсков определяли по скульптурным особенностям микрорельефа верхней (левой) створки раковины под микроскопом (Силина, 1978). Количественную оценку группового линейного роста и роста прижизненной массы приморского гребешка в естественных поселениях прибрежных вод северо-западной части Японского моря выполняли по средним значениям высоты раковины (прижизненной массы) каждого представленного в одномоментной пробе (объем выборок не менее 300 экз.) возрастного класса. Среднегодовые приросты размеров и массы оценивали как разность между средними значениями высоты раковины (прижизненной массы) животных последующей и предыдущей генерации.

Статистическую обработку данных выполняли общепринятыми методами вариационной статистики (Урбах, 1964).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

*Динамика численности личинок гребешка в планктоне.* Анализ результатов планктонных съемок за ряд лет, выполненных на различных акваториях, показал, что обнаружение личинок приморского гребешка в прибрежных водах Приморья возможно с последних чисел мая до конца августа (рис. 2). В разные сезоны размножения в одном районе характер динамики численности личинок может существенно варьировать. Например, в юго-восточной части зал. Посъета в 1995 г. личинки гребешка появились в планктоне 5 июня и регистрировались до 20 июля (рис. 2А). Максимум их обилия был отмечен 15 июня, когда среднее значение плотности превысило 170 экз./м<sup>3</sup>. В последующих пробах в этот сезон размножения

концентрация личинок моллюсков снижалась, а, начиная со второй декады июля, их плотность составляла всего 2-3 экз./м<sup>3</sup>.



**Рис. 2.** Динамика численности личинок *Mizuhopecten yessoensis* в планктоне прибрежных вод Приморского края: А – залив Посыета, 1995 г.; Б – залив Посыета, 1996 г.; В – залив Восток, 1989 г.; Г – залив Восток, 1990 г.; Д – залив Восток, 1992 г.; Е – бухта Мелководная, 1992 г.

**Fig. 2.** The dynamics of *Mizuhopecten yessoensis* larvae density in the plankton samples of the coastal waters of Primorsky Krai: А – Posyet Bay, 1995; Б – Posyet Bay, 1996; В – Vostok Bay, 1989; Г – Vostok Bay, 1990; Д – Vostok Bay, 1992; Е – Melkovodnaya Bight, 1992.

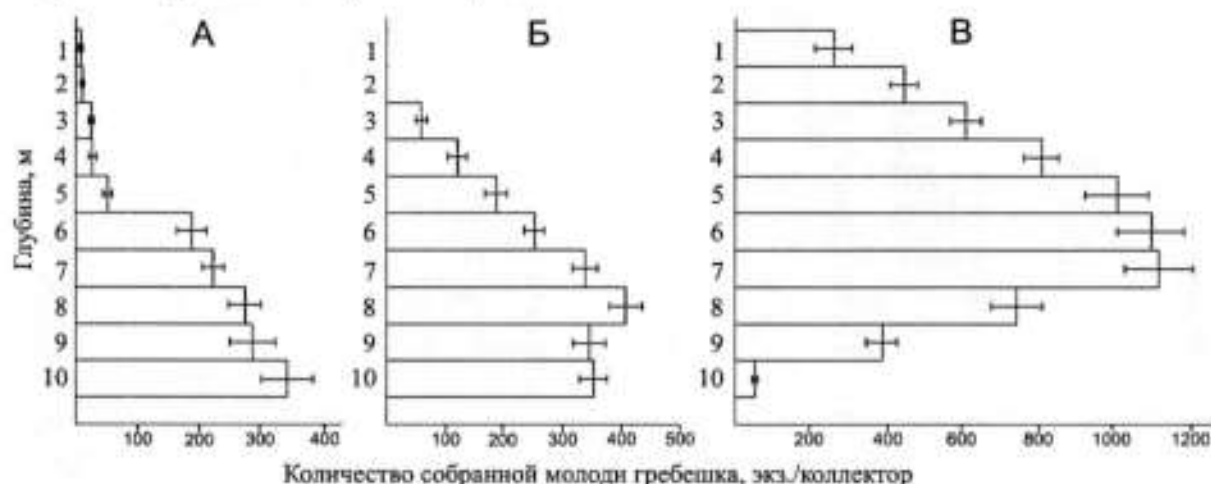
В следующий сезон размножения личинки гребешка были обнаружены здесь лишь 20 июня и присутствовали в планктонных пробах вплоть до 10 августа (рис. 2Б). Сравнительно высокие концентрации велигеров (свыше 150 экз./м<sup>3</sup>) в 1996 г. были зарегистрированы в конце июня-начале июля. В первой половине июля плотность личинок гребешка составляла 27-40 экз./м<sup>3</sup>, а в последующих пробах встречались лишь единичные экземпляры.

Подобные межгодовые различия динамики численности личинок гребешка характерны и для других акваторий. В зал. Восток в разные годы появление личинок в планктоне может регистрироваться как в начале (рис. 2Г), так и во второй половине июня (рис. 2Д). При этом изменение плотности личинок во времени может характеризоваться как бимодальным распределением (рис. 2В, Г), так и описываться одновершинной кривой (рис. 2Д). Максимальные значения обилия личинок в разные сезоны размножения могут различаться в несколько раз, а время их нахождения в планктоне варьировать от одного (рис. 2Д) до двух месяцев (рис. 2В, Г).

В расположенной северо-восточнее зал. Восток б. Мелководная личинки гребешка в планктоне обычно регистрируются на протяжении двух (июль-август) месяцев (рис. 2Е). В частности, летом 1992 г. велигеры моллюсков этого вида появились в планктоне в первых числах июля, а их максимальная плотность ( $43 \text{ экз./м}^3$ ) была отмечена здесь 20 июля.

На фоне межгодовых вариаций динамики численности личинок гребешка прослеживается очевидная закономерность: по направлению от южного Приморья (зал. Посыета) к среднему (б. Мелководная) периоды обнаружения личинок в планктоне и пики их максимальной численности смещаются на более позднее время (рис. 2).

**Эффективность коллекторного сбора молоди гребешка.** Результаты экспериментальных работ свидетельствуют о том, что в прибрежных водах Приморья эффективность сбора молоди приморского гребешка на коллекторы существенно зависит от глубины их размещения (рис. 3). При этом зависимости между обилием ювенильных особей гребешка и глубиной значительно различаются в региональном отношении. Например, среднее количество молоди моллюсков, собранной на один стандартный мешочный коллектор в юго-восточной части зал. Посыета летом 1995 г., изменялось от нескольких особей на глубине 1 м до  $340 \pm 41$  экз./коллектор на горизонте 10 м (рис. 3А). При общей тенденции увеличения эффективности коллекторного сбора с глубиной эта зависимость может быть аппроксимирована S-образной кривой.



**Рис. 3.** Зависимость эффективности сбора молоди *Mizuhopecten yessoensis* на коллекторы от глубины их размещения: А – залив Посыета, 1995 г.; Б – залив Восток, 1989 г.; В – бухта Мелководная, 1992 г. Горизонтальные линии – ошибка средней.

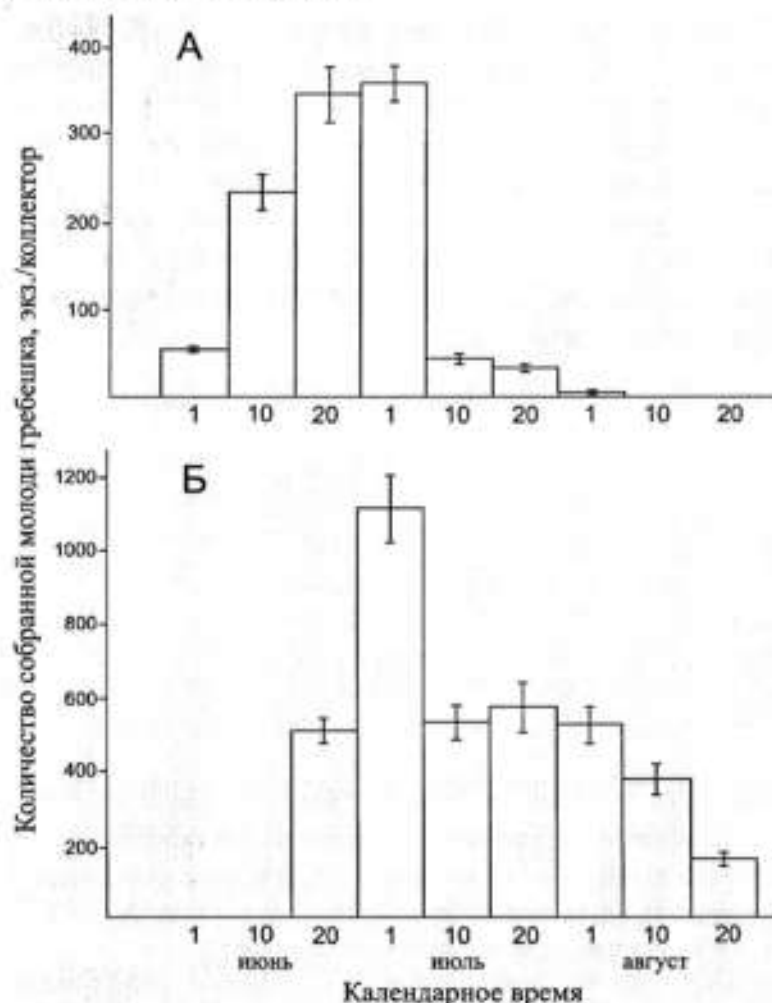
**Fig. 3.** Relationship between the numbers of collected *Mizuhopecten yessoensis* spat and the depth of collector placing: А – Posyet Bay, 1995; Б – Vostok Bay, 1989; В – Melkovodnaya Bight, 1992. Horizontal bars represent SEMs.

В зал. Восток, как показали результаты эксперимента 1989 г., молодь гребешка на коллекторах в поверхностном двухметровом слое воды в этот сезон размножения полностью отсутствовала (рис. 3Б). В диапазоне глубины 3-8 м обилие ювенильных особей линейно возрастало от  $58 \pm 9$  до  $405 \pm 27$  экз./коллектор, а глубже изобаты 8 м незначительно снижалось.

В б. Мелководная, при достаточно высокой эффективности коллекторного сбора в 1992 г., количество молоди гребешка в поверхностном слое воды линейно увеличивалось от  $260 \pm 48$  (глубина 1 м) до  $1\,120 \pm 93$  экз./коллектор на глубине 7 м (рис. 3В). С дальнейшим увеличением глубины обилие собранных

особей гребешка резко снижалось и составило на горизонте 10 м всего  $54 \pm 7$  экз./коллектор.

Во всех районах проведения работ эффективность сбора молоди гребешка существенно зависит не только от глубины расположения, но и от времени выставления коллекторов в море (рис. 4). Например, летом 1989 г. в зал. Восток с серии коллекторов, выставленных 1 июня на глубине 10 м, в среднем было получено лишь  $53 \pm 2$  экз. (рис. 4А). Обилие ювенильных особей гребешка на следующих сериях мешочных коллекторов увеличивалось и достигало максимального значения ( $363 \pm 21$  экз./коллектор) на серии, размещенной на установке 1 июля. Количество молоди гребешка на коллекторах, выставленных 10 и 20 июля, не превышало 50 экз., а на установленных 1 августа были обнаружены лишь единичные особи этих моллюсков.



**Рис. 4.** Зависимость эффективности сбора молоди *Mizuhopecten yessoensis* на коллекторы от времени их выставления в море: А – залив Восток, 1989 г.; Б – бухта Мелководная, 1992 г. Вертикальные линии – ошибка средней.

**Fig. 4.** Relationship between the numbers of collected *Mizuhopecten yessoensis* spat and the time of their placement in the sea: А – Vostok Bay, 1989; Б – Melkovodnaya Bight, 1992. Vertical bars represent SEMs.

В б. Мелководная в сезон размножения 1992 г. на глубине 7 м максимальная эффективность сбора молоди была зарегистрирована на коллекторах, выставленных в море 1 июля (рис. 4Б). На один стандартный коллектор этой серии в среднем было получено  $1120 \pm 93$  экз. В два раза меньше молоди гребешка было



обнаружено на коллекторах, размещенных на установке 20 июня, т.е. на одну декаду раньше. Количество ювенильных особей на коллекторах, выставленных на установку в период с 10 июля по 1 августа, превышало 500 экз., и лишь на двух сериях, установленных 10 и 20 августа, обилие собранной молодежи гребешка существенно снижалось.

Анализ результатов этого раздела работы свидетельствует о том, что на эффективность коллекторного сбора молодежи гребешка в прибрежных водах Приморья весьма существенное влияние оказывают как глубина расположения, так и время выставления коллекторов в море (рис. 3, рис. 4). При этом зависимости между обилием собираемой молодежи и этими параметрами во всех районах выращивания имеют нелинейный характер.

*Размерная структура и рост молодежи гребешка на коллекторах.* Достаточно продолжительный (от одного до двух месяцев) период обнаружения личинок гребешка в планктоне и последовательный характер их оседания на субстрат способствуют формированию своеобразной размерной структуры молодежи моллюсков, собираемой на коллекторы (рис. 5). Например, оседание личинок гребешка в б. Рейд Паллады зал. Посыета в 2002 г. было отмечено в конце июня и продолжалось вплоть до третьей декады июля. В результате 10 августа размеры (высота раковины) молодежи гребешка на коллекторах варьировали от 3,3 до 12,4 мм. При этом модальный класс размерно-частотного распределения был представлен особями с высотой раковины 9-12 мм, доля которых в совокупной тотальной выборке составила 78,0% (рис. 5А). Средние размеры моллюсков в это время достигли  $10,1 \pm 0,1$  мм.

Спустя месяц средние размеры молодежи гребешка увеличились до  $13,0 \pm 0,1$  мм, а высота раковины отдельных особей достигала 18 мм. Модальный класс случайной выборки был представлен моллюсками с размерами 12-15 мм, на долю которых пришлось 44,7% от общей численности пробы (рис. 5Б).

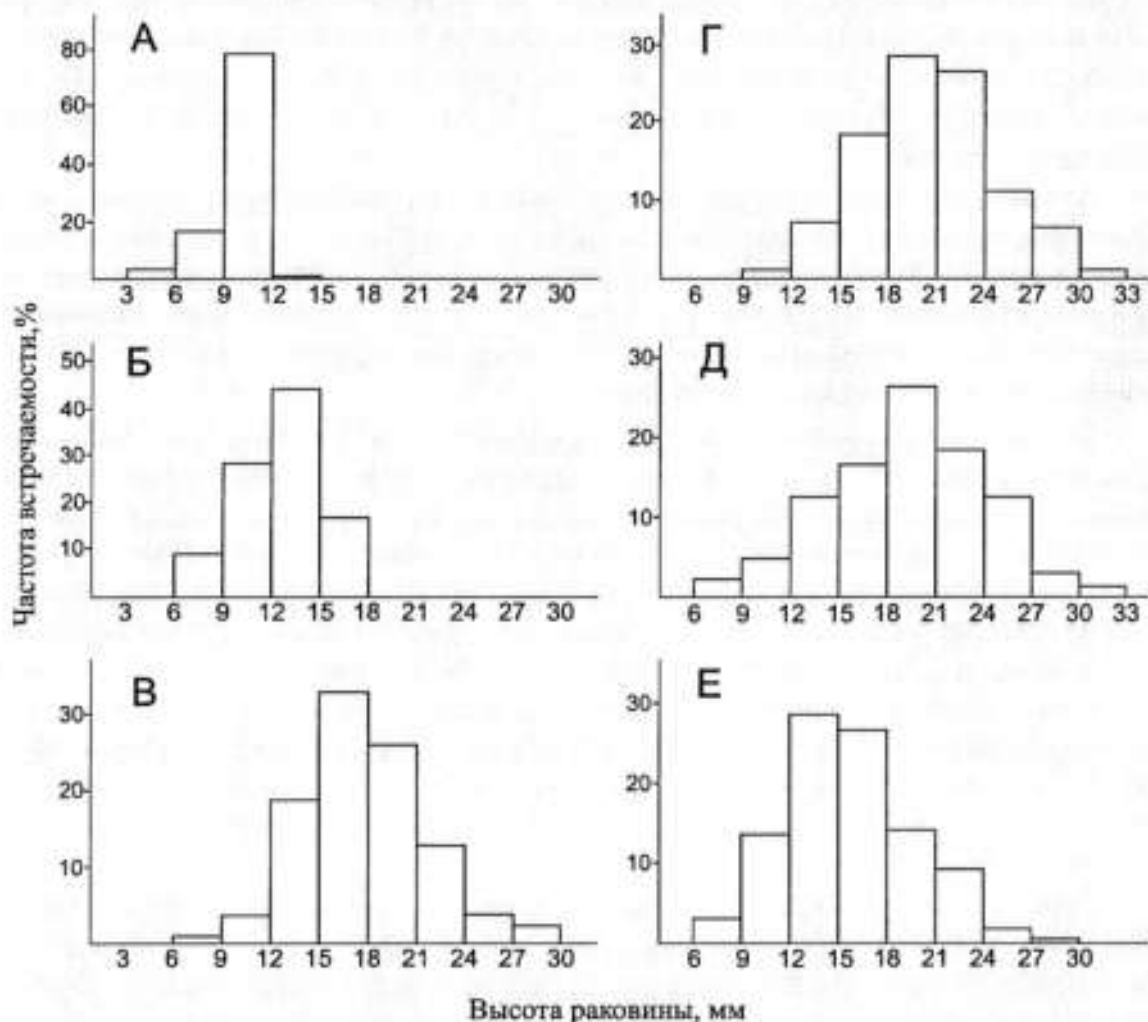
В дальнейшем (10 октября) высота раковины самых крупных особей достигала 30 мм, а средние размеры гребешка на коллекторах увеличились до  $18,1 \pm 0,2$  мм (рис. 5В). В это время свыше 75% моллюсков имели размеры, превышающие 15 мм.

Сравнительно высокие темпы линейного роста молодежи гребешка сохранялись и на протяжении следующего месяца. К середине ноября, когда возраст моллюсков составлял примерно 4 мес., средняя высота их раковины достигла  $27,7 \pm 0,3$  мм, а размеры самых крупных особей превысили 40 мм. Значительная часть (свыше 85%) моллюсков в это время имели высоту раковины более 20 мм.

Таким образом, из представленных материалов следует, что среднемесячные приросты высоты раковины молодежи гребешка генерации 2002 г. в б. Рейд Паллады зал. Посыета в процессе культивирования изменялись от 3 до 10 мм/мес., а ее средние размеры к середине ноября составили  $27,7 \pm 0,3$  мм.

В разных районах Приморья размерная структура молодежи гребешка, собираемой на коллекторы, значительно отличается (рис. 5Г, Д, Е). При общем характере размерно-частотных распределений, которые в большинстве случаев могут аппроксимироваться функцией Гаусса, их параметры имеют выраженные различия. В частности, средние размеры моллюсков во второй половине октября 1995 г. в юго-восточной части зал. Посыета составляли  $21,2 \pm 0,2$  мм, а высота раковины некоторых особей превышала 30,0 мм. При этом большинство ювенильных особей (92,0%) имели размеры свыше 15 мм (рис. 5Г).





**Рис. 5.** Размерная структура молоди *Mizuhopecten yessoensis* на коллекторах: А – залив Посъета 10 августа 2002 г.; Б – залив Посъета 10 сентября 2002 г.; В – залив Посъета 10 октября 2002 г.; Г – залив Посъета 20 октября 1995 г.; Д – залив Восток, 22 октября 1986 г.; Е – бухта Мелководная, 27 октября 1992 г.

**Fig. 5.** Size structure of *Mizuhopecten yessoensis* spat on collectors: А – Possyet Bay, August 10, 2002; Б – Possyet Bay, September 10, 2002; В – Possyet Bay, October 10, 2002; Г – Possyet Bay, October 20, 1995; Д – Vostok Bay, October 22, 1986; Е – Melkovodnaya Bight, October 27, 1992.

В зал. Восток собранная на коллекторы молодь (генерация 1986 г.) во второй половине октября имела размеры от 6,2 до 31,8 мм при среднем значении  $19,8 \pm 0,2$  мм (рис. 5Д).

В расположенной северо-восточнее зал. Восток б. Мелководная средняя высота раковины особей, собранных на коллекторы в 1992 г., в конце октября составляла  $17,8 \pm 0,2$  мм, а доля моллюсков с размерами менее 15,0 мм превышала 46% (рис. 5Е).

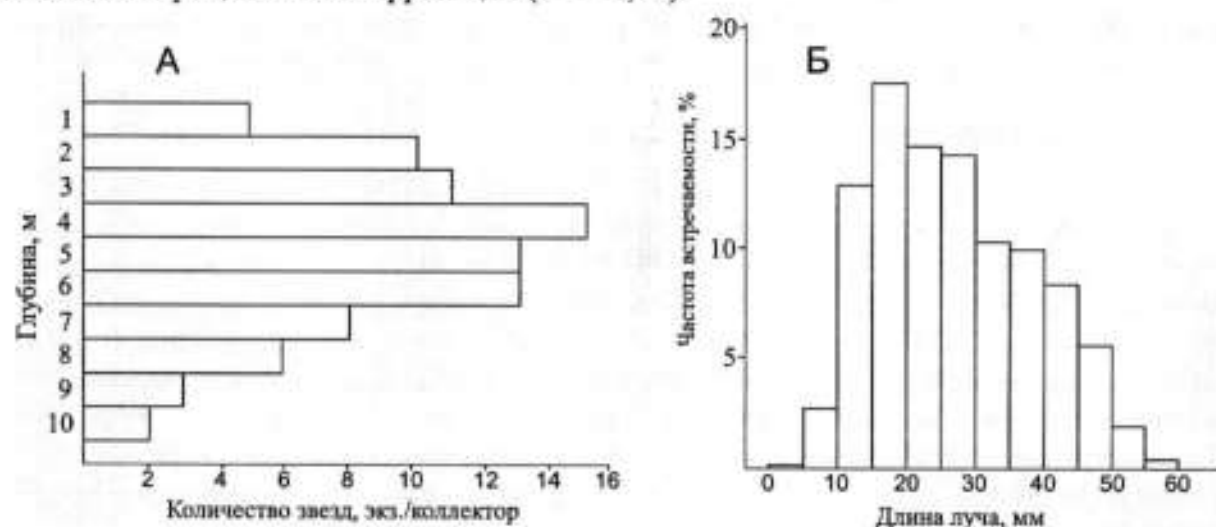
Сопоставление размерно-частотных распределений молоди приморского гребешка, получаемой при разборке коллекторов во второй половине октября в разных районах культивирования (рис. 5Г, Д, Е), позволяет заключить, что размеры ювенильных особей по направлению от южного Приморья (зал. Посъета) к среднему (б. Мелководная) в целом уменьшаются.

**Выживаемость молоди гребешка на коллекторах.** Период оседания личинок гребешка в разные сезоны размножения варьирует от двух недель до полутора-двух месяцев. Увеличение плотности ювенильных особей на коллекторах за счет

поступления личинок из планктона обычно сопровождается их частичной элиминацией. Конечный результат, т.е. количество моллюсков, регистрируемое в момент снятия коллекторов с установки, представляет собой разность между обилием осевших личинок гребешка и числом ювенильных особей, погибших от разных причин за последующие периоды культивирования.

Последовательная ежемесячная оценка численности молоди гребешка на коллекторах, выставленных в б. Рейд Паллады зал. Посьета 10 июня 2002 г. на глубине 10 м, показала, что 10 августа (примерно через 20 дней после завершения оседания личинок) плотность ювенильных особей на однотипных коллекторах значительно варьировала (от 1 950 до 2 460) при среднем значении  $2\,160 \pm 80$  экз./коллектор. Спустя месяц обилие моллюсков снизилось до  $1\,870 \pm 97$  экз./коллектор, а в конце первой декады октября составило в среднем  $1\,340 \pm 140$  экз./коллектор. Если принять за максимальную начальную численность значение августовской съемки, выживаемость молоди гребешка, т.е. вероятность дожить до определенного времени, за следующий месяц составит 0,86, а за два месяца – 0,62. Иными словами, из 100 учтенных на коллекторах 10 августа особей до второй декады октября в среднем доживает лишь 62 экз.

Снижение численности молоди моллюсков на коллекторах может быть обусловлено рядом причин, в том числе и воздействием морских звезд *Asterias amurensis*, личинки которых поступают из планктона одновременно с гребешком. Например, на гребешковых коллекторах, выставленных в море 15 июня 1995 г. в юго-восточной части зал. Посьета, обилие молоди амурской звезды, по состоянию на 15 октября, изменялось от 0 до 23 экз./коллектор. Анализ вертикального распределения показал, что средние значения плотности морской звезды существенно изменяются в зависимости от глубины расположения коллекторов (рис. 6А). При этом обилие молоди звезд на глубине 1 м составляло 5 экз./коллектор, а на горизонте 4 м достигало максимального значения – 15 экз./коллектор. С дальнейшим увеличением глубины средняя плотность снижалась до 2 экз./коллектор на глубине 10 м. Между обилием осевших звезд и количеством снятой с коллекторов молоди гребешка отмечена отрицательная корреляция ( $r = -0,71$ ).



**Рис. 6.** Вертикальное распределение (А) и размерная структура (Б) молоди *Asterias amurensis* на коллекторах в юго-восточной части залива Посьета 15 октября 1995 г.

**Fig. 6.** Vertical distribution (А) and size structure (Б) of *Asterias amurensis* juveniles on collectors in the southeastern part of Passyet Bay on October 15, 1995.

Размеры (длина луча) осевшей на коллекторы молоди амурской звезды в это время варьировали от 3 до 60 мм при среднем значении  $26,5 \pm 1,8$  мм (рис. 6Б). Модальный класс был представлен особями с длиной луча 15-20 мм, на долю которых пришлось 17,7% от общей численности пробы. Общий характер размерно-частотного распределения свидетельствует о достаточно длительном периоде оседания личинок этих иглокожих на коллекторы, а наличие в пробах в середине октября крупных особей с длиной луча свыше 50 мм – о весьма интенсивном росте животных в подвесной культуре. Элементарные расчеты показывают, что в летне-осенний период их среднемесячный линейный прирост может составлять 10-15 мм/мес.

*Рост и выживаемость гребешка на донных участках.* После оседания личинок и их метаморфозы молодь гребешка прикрепляется к субстрату биссусными нитями и довольно длительное время (два-три месяца) пребывает в таком положении. После достижения ювенильными особями размеров свыше 10 мм биссусный комплекс утрачивается, и моллюски переходят к свободному (в естественных условиях – донному) образу жизни. Как следует из наших материалов (рис. 5Г, Д, Е), во всех районах культивирования во второй половине октября подавляющая часть собранной на коллекторы молоди готова к переходу к подвижной бентосной стадии жизненного цикла.

Собранная на коллекторы в б. Рейд Паллады зал. Посыта молодь гребешка генерации 2002 г., размерная структура которой представлена на рисунке 5В, в период с 12 октября по 10 ноября того же года была отсажена на донный участок вдоль западного побережья этой бухты. Результаты измерений выборки выращиваемых на грунте особей, взятой 7 июля 2003 г., когда возраст моллюсков примерно соответствовал одному году, показали, что их размеры варьировали от 48,7 до 58,8 мм при средней высоте раковины  $54,3 \pm 1,2$  мм.

Размеры гребешка того же возраста (генерация 2001 г.), выращиваемого в садках в б. Миносок зал. Посыта, по результатам наших измерений, 2 июля 2002 г. изменялись от 13,2 до 54,1 мм при среднем значении высоты раковины всего  $31,7 \pm 2,7$  мм. Сопоставление этих материалов свидетельствует о менее интенсивной скорости роста молоди гребешка в подвесной культуре по сравнению с темпами линейного роста моллюсков на грунте, что, вероятнее всего, связано с высокой (150 экз./садок) плотностью размещения особей в садках.

Количественные характеристики группового линейного роста гребешка в естественных поселениях прибрежных вод северо-западной части Японского моря существенно различаются (табл. 1). Независимо от местообитания максимальный линейный прирост у особей этого вида обычно регистрируется на первом году жизни и составляет 40-55 мм/год. На втором году жизни темпы линейного роста остаются достаточно высокими, однако, после достижения особями двухлетнего возраста величины среднегодовых приростов высоты раковины заметно снижаются и в дальнейшем не превышают 30 мм/год. Соответственно, промысловых размеров (высота раковины свыше 100 мм) в различных районах обитания моллюски достигают за разное время.

Возрастные изменения средних значений прижизненной массы гребешка в графическом виде описываются S-образными кривыми и характеризуются значительными региональными различиями (табл. 2). Среднегодовые приросты массы моллюсков за первый год жизни в разных районах Приморья могут различаться в несколько раз и обычно не превышают 30 г/год. С возрастом скорость



роста массы гребешка существенно увеличивается. Максимальный среднегодовой прирост прижизненной массы гребешка в разных акваториях может регистрироваться на втором (зал. Восток), третьем (зал. Посыета) или четвертом (б. Мелководная) годах жизни (табл. 2). При этом масса особей одного возрастного класса может существенно различаться как в разных районах обитания, так и в пределах одного биотопа.

**Таблица 1.** Изменения средних значений высоты раковины (Н) и среднегодовых линейных приростов ( $\Delta H$ ) *Mizuhopecten yessoensis* в зависимости от индивидуального возраста в прибрежных водах Приморского края.

**Table 1.** Variations of mean values of shell height (H) and mean annual linear increments ( $\Delta H$ ) of *Mizuhopecten yessoensis* depending on individual age in the coastal waters of Primorsky Krai.

Возраст, годы	зал. Посыета		зал. Восток		б. Мелководная	
	Н, мм	$\Delta H$ , мм/год	Н, мм	$\Delta H$ , мм/год	Н, мм	$\Delta H$ , мм/год
1	50,2 $\pm$ 1,2	51,2	46,9 $\pm$ 0,8	38,9	44,2 $\pm$ 1,8	39,0
2	101,4 $\pm$ 1,2	24,5	85,8 $\pm$ 1,1	21,2	83,2 $\pm$ 1,3	26,4
3	125,9 $\pm$ 1,3	15,5	107,0 $\pm$ 1,0	11,8	109,6 $\pm$ 1,4	19,9
4	141,4 $\pm$ 1,9	10,4	118,8 $\pm$ 1,1	6,9	129,5 $\pm$ 1,3	10,5
5	151,8 $\pm$ 1,8	4,6	125,7 $\pm$ 1,3	2,6	140,0 $\pm$ 1,5	9,2
6	156,4 $\pm$ 2,5		128,3 $\pm$ 1,1		149,2 $\pm$ 2,7	

**Таблица 2.** Изменения средних значений прижизненной массы (W) и среднегодовых приростов массы ( $\Delta W$ ) *Mizuhopecten yessoensis* в зависимости от индивидуального возраста в прибрежных водах Приморского края.

**Table 2.** Variations of mean of living mass (W) and mean annual mass increments ( $\Delta W$ ) of *Mizuhopecten yessoensis* depending on individual age in the coastal waters of Primorsky Krai.

Возраст, годы	зал. Посыета		зал. Восток		б. Мелководная	
	W, г	$\Delta W$ , г/год	W, г	$\Delta W$ , г/год	W, г	$\Delta W$ , г/год
1	29,3 $\pm$ 3,1	104,3	27,7 $\pm$ 1,7	90,3	8,4 $\pm$ 2,7	60,8
2	133,6 $\pm$ 3,9	113,9	118,0 $\pm$ 5,7	66,5	69,2 $\pm$ 3,9	104,0
3	247,5 $\pm$ 9,3	91,4	184,5 $\pm$ 6,3	43,5	173,2 $\pm$ 14,0	128,6
4	338,9 $\pm$ 18,0	65,3	228,0 $\pm$ 8,9	23,5	301,8 $\pm$ 18,2	89,4
5	404,2 $\pm$ 14,7	77,9	251,5 $\pm$ 12,7	14,9	391,2 $\pm$ 14,3	92,2
6	482,1 $\pm$ 13,6		266,4 $\pm$ 15,6		483,4 $\pm$ 30,7	

Многолетние (1986-1990 гг.) экспериментальные осенние отсадки определенного количества собранной на коллекторы молоди гребешка и последующие учеты численности трехлетних особей, выполненные на ограниченных донных участках зал. Восток, позволили получить оценочные значения вероятности достижения моллюсками промысловых размеров в условиях донной культуры. Выживаемость гребешка на разных участках за трехлетний

период выращивания различалась более чем в два раза и изменялась от 0,12 до 0,27. Возможно, что в ряде случаев полученные результаты оказались завышенными за счет частичного поступления на экспериментальные полигоны молоди гребешка, осевшей на естественные субстраты. Вместе с тем, значения выживаемости гребешка до достижения им промысловых размеров (трехлетнего возраста) в диапазоне 0,1-0,2 представляются вполне реалистичными. При этом максимальная смертность молоди моллюсков в условиях донной культуры регистрировалась на первом году жизни. За этот период на разных участках может погибнуть 50-70% особей.

Наблюдения с аквалангом, проводившиеся в первые две недели после отсадки молоди на донные участки, показали, что гребешок хорошо переносит эту процедуру, проявляет нормальные физиологические и поведенческие реакции, демонстрирует высокую двигательную активность. Это позволяет ювенильным особям успешно избегать нападения обычных на этом биотопе морских звезд *Asterias amurensis* и *Distolasterias nipon*. Легкой добычей звезд в это время оказываются лишь агрегации моллюсков, состоящие из нескольких особей гребешка, скрепленных между собой биссусными нитями тихоокеанской мидии, т.е. ограниченные в подвижности моллюски.

Анализ содержимого желудков придонных рыб, отловленных в это время в местах отсадок, свидетельствует о том, что некоторые крупные особи камбал и бычков используют молодь гребешка в качестве компонента питания. При этом камбалами потреблялись лишь единичные (1-3 экз.) особи гребешка с высотой раковины менее 10 мм. Чаще и обильнее молодь гребешка была представлена в рационе бычков. В желудке одной особи длиной 37 см было обнаружено 11 экз. разноразмерных гребешков с высотой раковины от 8 до 22 мм. По-видимому, в этот период молодь гребешка чаще становится добычей рыб, чем морских звезд.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Жизненный цикл приморского гребешка типичен для большинства видов сублиторальных морских двустворчатых моллюсков. Нерест этих животных в бентосных поселениях прибрежных вод Приморского края происходит ежегодно однократно после того, как в процессе весенне-летнего прогрева воды ее температура в придонном слое превысит 8 °С. Половой зрелости самцы и самки обычно достигают в трехлетнем возрасте, однако в районах обитания с интенсивным ростом возможно участие в размножении и двухлетних особей. Плодовитость гребешка с возрастом увеличивается и изменяется от сотен тысяч до нескольких миллионов яйцеклеток, производимых одной самкой.

В прибрежных водах южного Приморья, в частности в зал. Посыета, нерест гребешка в разные годы регистрируется во второй половине мая – начале июня, тогда как в заливах и бухтах северо-восточнее м. Поворотный – на две-три декады позже. В пределах одной акватории раньше нерестятся особи мелководных поселений. Размножение моллюсков в сравнительно глубоководных местообитаниях может существенно запаздывать, что обусловлено значительным снижением температуры воды с глубиной в весенне-летний период.

Во время нереста самцы и самки гребешка выметывают половые продукты (яйцеклетки и сперматозоиды) в водную среду, где и происходит оплодотворение. Оплодотворенные яйца в эмбриогенезе претерпевают несколько стадий дробления и через 3-4 суток преобразуются в трохофору. Кратковременно живущая трохофора трансформируется затем в типичную для двустворчатых моллюсков личинку –

велигер (Касьянов, 1986; Kasyanov, 1991). Основная функция личиночной фазы жизненного цикла – расселение, благодаря чему обеспечивается пополнение численности бентосных группировок и происходит обмен генетической информацией между отдаленными локальными поселениями этих животных.

Продолжительность планктотрофной личиночной фазы гребешка зависит от температуры воды и обилия необходимой для развития личинок пищи и составляет 30-47 суток (Yamamoto, 1964; Ventilla, 1982). Пелагическая стадия завершается оседанием личинок на естественные (талломы и ризоиды водорослей, пустые раковины моллюсков и пр.) или антропогенные (полиэтилен, капрон, нетлон) субстраты. После оседания личинки гребешка прикрепляются к субстрату биссусными нитями и претерпевают метаморфоз, в процессе которого некоторые личиночные органы и системы замещаются дефинитивными. Размеры раковины в момент оседания личинок на субстрат составляют 280-300 мкм. В возрасте 2-3 года особи достигают половой зрелости и впервые участвуют в размножении. Продолжительность жизни гребешка в бентосных поселениях может достигать 16 лет. Соответственно, пропорционально продолжительности жизни особей возрастает кратность актов размножения и их суммарный репродуктивный вклад в пополнение численности донных поселений.

Динамика численности личинок гребешка отражает изменения их обилия во времени (рис. 2). Во всех районах проведения исследований регистрируются значительные межгодовые различия динамики численности личинок гребешка. Эти различия выражаются как во времени обнаружения личинок в планктоне, так и в существенных вариациях их обилия (рис. 2А, Б). При этом общий характер изменения плотности личинок во времени в межгодовом плане также может различаться (рис. 2В, Г, Д).

Муссонный климат прибрежных территорий Приморского края характеризуется слабой прогнозируемостью погодных явлений и отличается существенной межгодовой изменчивостью (Климат Владивостока, 1978). Климатические условия местности оказывают значительное (в некоторой степени взаимное) влияние на гидрологические процессы в прибрежных мелководных зонах северо-западной части Японского моря, в частности на динамику температуры воды в процессе весенне-летнего прогрева водной толщи, соленостный режим, скорость и направление течений, гидрохимические параметры. Межгодовая вариабельность динамики численности личинок гребешка, вероятнее всего, определяется комплексным воздействием ряда абиотических и биотических факторов среды, из многообразия которых сложно выделить какой-то определяющий или «ключевой». Вместе с тем, на фоне межгодовых различий, прослеживается очевидная закономерность. По направлению от южного Приморья (зал. Посыета) к среднему (б. Мелководная) время появления личинок гребешка в планктоне и пики их максимальной численности смещаются на более позднее время (рис. 2).

Региональные различия динамики численности личинок этих моллюсков связываются нами со снижением степени влияния холодного Приморского течения, направленного в районе работ с северо-востока на юго-запад (Арзамасцев и др., 2001). Действие этого течения в теплое время года проявляется в формировании температурного градиента приповерхностных вод, который выражается в повышении температуры по направлению от северного и среднего к южному Приморью, что оказывает влияние на сроки нереста гребешка и, в целом, на динамику численности личинок.



Аналогичная ситуация была отмечена нами ранее при анализе динамики численности личинок тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus* Gould в прибрежных водах северо-западной части Японского моря (Брыков и др., 2004). Можно предположить, что подобная закономерность будет наблюдаться и у других сублиторальных бентосных организмов со сходным жизненным циклом.

Независимо от используемых в дальнейшем технологических схем культивирования гребешка и способов его выращивания (садковая или донная культура), все варианты базируются на сборе планктонных личинок на размещаемые в водной толще коллекторы и последующем подращивании молоди этих моллюсков (Ventilla, 1982; Ito, 1991). Поэтому масштабы и эффективность всего дальнейшего процесса культивирования в значительной мере будут определяться результативностью начального этапа технологического цикла, т.е. количеством собранной на коллекторы молоди гребешка и ее кондициями.

Эффективность сбора молоди этих моллюсков существенно зависит от глубины размещения коллекторов (рис. 3). При возможных межгодовых вариациях обилия ювенильных особей, собираемых на однотипные коллекторы, в разных районах культивирования регистрируются специфические особенности вертикального распределения молоди гребешка. В южном Приморье (зал. Посыета) эффективность коллекторного сбора в поверхностном 5-метровом слое оказывается чрезвычайно низкой (рис. 3А). С увеличением глубины расположения коллекторов до 10-12 м средние значения обилия ювенильных особей гребешка здесь линейно возрастают.

В зал. Восток, при общей тенденции увеличения эффективности получения молоди с глубиной, плотность более 100 экз./коллектор была зарегистрирована на горизонтах глубже 3 м (рис. 3Б). Средние значения численности ювенильных особей гребешка линейно возрастали до глубины 8 м, а затем снижались. Распределение обилия молоди гребешка в зависимости от глубины расположения коллекторов в б. Мелководная, по результатам эксперимента 1992 г., характеризовалось выраженным максимумом, который приходился на диапазон глубины 5-7 м (рис. 3В). С увеличением глубины, также как и с ее уменьшением, эффективность коллекторного сбора резко снижалась.

Фактическое количество молоди гребешка, регистрируемое в процессе разборки коллекторов, представляет собой разность между численностью осевших на наполнитель личинок гребешка и числом ювенильных особей, погибших в дальнейшем за более чем двухмесячный период. Причинами смертности молоди гребешка в подвесной культуре могут быть как неблагоприятное влияние абиотических параметров среды, например, высокая (свыше 20 °С) температура воды, ее низкая соленость, повышенная мутность и пр. (Yamamoto, 1957), так и воздействие потенциальных хищников, личинки которых оседают на коллекторы совместно с гребешком (Габаев, 1981; Брыков, 1989; Магу, 1994).

После метаморфоза личинок молодь амурской морской звезды превосходит по темпам роста молодь гребешка и оказывает существенное влияние на его численность. Об этом свидетельствует достаточно плотная отрицательная корреляция ( $r = -0,71$ ) между обилием оказавшихся внутри коллекторов звезд и численностью собираемых с них ювенильных моллюсков. Очевидно, что в условиях ограниченного оболочкой коллекторов пространства звезды активно используют молодь гребешка в качестве компонента питания, снижая тем самым эффективность коллекторного сбора.

Анализ вертикального распределения осевшей на коллекторы молоди амурской звезды в зал. Посыета свидетельствует о преимущественном оседании личинок этих иглокожих в поверхностном 10-метровом слое воды с высокой плотностью в диапазоне глубины 2-6 м (рис. 6А). Нерест, оплодотворение яйцеклеток и развитие личинок до стадии бипиннарии у звезд этого вида возможны при температуре воды 14 °С и солености 31,6-32,6‰. Однако, только при температуре свыше 17 °С личинки за 37-44 сут. полностью проходят все этапы развития и успешно оседают на субстрат (Кашенко, 2005). По-видимому, сочетание параметров среды (температурный и соленостный режимы, достаточное обилие планктонных микроводорослей, необходимых для питания личинок) приповерхностного слоя в летние месяцы оказывается оптимальным для размножения и прохождения пелагической фазы развития *Asterias amurensis*. Низкая эффективность сбора молоди гребешка на коллекторы в поверхностном пятиметровом слое воды в зал. Посыета (рис. 3А) в значительной степени определяется обилием молоди этой звезды.

Оседание личинок амурской звезды на коллекторы в разные сезоны размножения может существенно варьировать. В заливах Посыета, Амурский и Уссурийский молодь звезд этого вида на гребешковых коллекторах регистрируется сравнительно часто, тогда как в зал. Восток и б. Мелководная ювенильные особи этих иглокожих встречаются лишь эпизодически. В отдельные годы на всех акваториях оседание личинок этой звезды не регистрируется. При этом амурская звезда повсеместно является обычным компонентом бентосных сообществ.

Вертикальное распределение собираемой на коллекторы молоди гребешка, таким образом, является не только функцией оседания личинок, но и результатом последующего комплексного воздействия ряда абиотических и биотических факторов среды, сочетание и степень воздействия которых в итоге определяют его региональные особенности.

В практической деятельности, для достижения максимальной эффективности получения молоди гребешка с целью его дальнейшего выращивания, мы рекомендуем размещать коллекторы с учетом полученных результатов. Оптимальный диапазон глубины размещения коллекторов на акватории зал. Посыета, скорректированный по материалам многолетних работ, составляет 8-15 м. Высокая вероятность достижения практических результатов в зал. Восток достигается при размещении коллекторов на глубине 6-12 м. Для б. Мелководная рекомендуемый диапазон составляет 4-8 м. Основной причиной региональных различий рекомендуемой глубины расположения коллекторов оказывается специфическая вертикальная температурно-соленостная стратификация водных масс этих акваторий в период оседания личинок и последующего развития молоди гребешка (Брыков и др., 2003).

Обилие собираемой на коллекторы молоди гребешка зависит не только от глубины их размещения, но и от времени выставления в море. При возможных межгодовых и региональных особенностях (рис. 4) подобная зависимость была отмечена на всех полигонах проведения работ.

Сравнительно низкие значения плотности молоди на первых выставленных в море сериях идентичных коллекторов, что особенно ярко выражено на примере зал. Восток (рис. 4А), могут объясняться исключительно реакцией личинок гребешка на качественные изменения субстрата. После помещения коллекторов в море на наполнителе формируется сообщество микроорганизмов-обрастателей, таких как

бактерии, инфузории, диатомовые и сине-зеленые водоросли, грибы, личинки беспозвоночных, зооспоры бурых водорослей и пр. В процессе первичной сукцессии микрообрастания увеличивается как его видовое разнообразие, так и обилие доминирующих микроорганизмов.

Регистрируемый феномен «старения» субстрата, вероятнее всего, обусловлен изменениями биохимического состава метаболитов организмов микрообрастания, которые могут как способствовать (индуцировать), так и препятствовать оседанию и метаморфозу личинок гребешка. Свойства некоторых органических веществ и соединений запускать или подавлять механизм метаморфоза у личинок морских бентосных беспозвоночных известны (Hadfield, 1986; Jamashita et al., 1989; Morse, 1990).

Таким образом, максимальная эффективность коллекторного сбора достигается при совпадении ряда обстоятельств: достаточно высокой концентрации в планктоне готовых к оседанию личинок гребешка, наличия на наполнителе коллекторов сообщества микроорганизмов соответствующего видового состава и благоприятного для дальнейшего развития сочетания абиотических и биотических факторов среды. Результаты экспериментальных работ свидетельствуют о том, что интервал времени, оптимального для выставления коллекторов, ограничен 10-15 сутками.

Для достижения максимальной эффективности получения молоди гребешка на акватории зал. Посыета выставление коллекторов в море следует производить в первой половине июня. В зал. Восток оптимальным периодом размещения коллекторов на установки оказывается вторая половина июня. В б. Мелководная максимальная вероятность достижения положительного результата возможна при выполнении этой операции в период с 20 июня по 10 июля.

В зависимости от темпов повышения температуры воды в процессе весенне-летнего прогрева водной толщи целесообразна корректировка этих временных интервалов. В тех случаях, когда повышение температуры воды запаздывает по сравнению со среднесезонным ходом (поздняя весна), выставление коллекторов на установки следует начинать на 7-10 суток позже. Напротив, в сезоны со сравнительно интенсивным повышением температуры эту технологическую операцию необходимо выполнять в первой половине отмеченных временных диапазонов.

В результате разновременности оседания личинок, в процессе последующего развития ювенильных особей, на коллекторах формируется разноразмерная когорта моллюсков одной генерации. При общем для всех районов характере размерно-частотных распределений (рис. 5Г, Д, Е), средние значения высоты раковины молоди гребешка по направлению от южного Приморья к среднему закономерно снижаются. Вероятнее всего эта зависимость обусловлена сравнительно ранним оседанием личинок и, соответственно, более продолжительным периодом роста ювенильных особей до момента снятия коллекторов с установок в южном Приморье.

Региональные различия количественных характеристик роста гребешка отмечены и для природных донных поселений этих моллюсков (табл. 1, 2). В зависимости от темпов роста в различных районах обитания особи достигают промысловых размеров (высота раковины более 100 мм) за разное время. Следовательно, при реализации донного варианта культивирования этих моллюсков, оптимальным по продолжительности может быть как трехлетний, так и



четырёхлетний технологический цикл. Для каждого конкретного района выращивания решение следует принимать, основываясь на сведениях о росте массы моллюсков и их выживаемости за тот или иной период культивирования. При этом максимизируемой переменной величиной является урожайность, т.е. общая прижизненная масса культивируемых особей, отнесенная к единице площади донного участка.

В прибрежных водах Японии культивирование приморского гребешка в конце 60-х годов прошлого столетия было поставлено на индустриальную основу. В зависимости от особенностей климата и гидрологического режима акваторий выращивание осуществляется по различным технологическим схемам. В зал. Муцу (северная часть о. Хонсю) гребешка преимущественно выращивают в садках (подвесная культура), тогда как в прибрежных водах охотоморского побережья о. Хоккайдо – на грунте, т.е. в донной культуре. При этом календарные графики и алгоритмы основных технологических операций в региональном отношении также существенно различаются (Ventilla, 1982).

В сравнительно тепловодном зал. Муцу, где зимой температура воды не опускается ниже 4 °С, гребешок нерестится в конце марта. Оседание личинок на коллекторы происходит здесь в конце апреля-первой половине мая. Спустя 2 месяца после завершения оседания (конец июля-начало августа), собранную молодь гребешка размером 6-10 мм размещают в садки для выращивания жемчужниц (основание садка 35х35 см, ячей сетки 3-4,5 мм) с плотностью 400-600 экз. В конце сентября-начале октября проводят первую сортировку молоди гребешка, понижая плотность до 50-70 экз. и заменяя садки на новые с ячей сетки 4,5 мм.

В ноябре-декабре, когда размеры моллюсков достигают 30-50 мм, выполняют следующую пересадку в садки, обтянутые сеткой с ячей 6 мм. При этом плотность посадки снижают до 20-25 экз.

В марте-апреле следующего календарного года проводят третью сортировку. К этому времени размеры гребешка достигают 50-74 мм, а их масса составляет примерно 35 г. В каждый садок из сетки с ячей 9 или 12 мм помещают по 10-15 особей для дальнейшего выращивания в подвесной культуре.

Часть молоди гребешка с высотой раковины свыше 30 мм в это время отсаживают на грунт с плотностью 5-6 экз./м<sup>2</sup>. Спустя 2,5-3,5 года выращивания моллюсков в донной культуре их добывают драгой.

Ранние сроки снятия и разборки коллекторов в зал. Муцу вызваны необходимостью снижения смертности молоди гребешка, основной причиной которой оказывается выедание их молодью морской звезды *Asterias amurensis*. В отдельные годы, при массовом оседании личинок этих иглокожих на коллекторы, гибель ювенильных особей может достигать 90%. Многократная сортировка, замена садков и последовательное снижение плотности моллюсков обеспечивают хорошие условия жизнедеятельности, питания и роста гребешка. Выживаемость в процессе выращивания молоди в садках за первый год может достигать 90%.

В прибрежных водах охотоморского побережья о. Хоккайдо оседание личинок гребешка происходит в конце июня – первой половине июля. В начале августа высота раковины ювенильных особей составляет всего 3 мм. Поэтому подращивание молоди моллюсков проводят здесь по упрощенной схеме.

В сентябре выполняют единственную сортировку, в процессе которой в каждый садок из 6 мм сетки помещают по 150 особей размером свыше 6 мм. Садки

не меняют до мая следующего календарного года, когда высота раковины моллюсков достигает 30 мм. Полученную молодь гребешка в конце мая-начале июня отсаживают на предварительно выбранные и размеченные участки дна. Продолжительность выращивания гребешка в донной культуре составляет 3 года. Моллюсков промыслового размера (четырёхлетнего возраста) добывают драгой.

Выживаемость гребешка в донной культуре достигает 25-30%. Молодь гребешка на донных участках может мигрировать, перемещаясь за 2 года на расстояние до 1 км. В хороших условиях обитания перемещение от места отсадки не превышает 0,5 км.

По климатическим условиям, особенностям гидрологического режима и параметрам биологических процессов объекта выращивания прибрежные воды Приморского края близки к северному Хоккайдо. Поэтому технологические схемы и практический опыт выращивания гребешка кооперативами этого региона представляют для нас особый интерес.

Экономические расчеты показывают, что в условиях прибрежных вод Приморского края подвесное (садковое) выращивание гребешка оказывается проблематичным (Жук, 2004). Это обусловлено как существенными материальными расходами на сооружение установок и изготовление садков, так и значительными трудовыми затратами при выполнении многочисленных операций по сортировке и пересадке гребешка до достижения им товарных размеров. Значительная (не менее трех лет) продолжительность технологического цикла и необходимость постоянного снижения плотности моллюсков в садках приводят к многократному (в десятки раз) увеличению в процессе выращивания количества и площади эксплуатируемых установок.

В летне-осенний период конструкции установок и выростные элементы (садки) за счет поступления из водной толщи и оседания личинок бентосных беспозвоночных и зооспор водорослей-макрофитов подвергаются интенсивному обрастанию. Необходимость очистки конструкций от организмов-обрастателей существенно увеличивает трудоемкость садкового выращивания гребешка, а поступление в донные сообщества значительного количества нетоксичного органического вещества в виде биомассы и продуктов жизнедеятельности организмов-обрастателей может привести к локальному эвтрофированию акваторий (Брыков и др., 2004).

Климатические условия и специфические особенности гидрологического режима прибрежных вод Приморья также создают дополнительные проблемы при выращивании гребешка в подвесной культуре. В условиях летнего муссона, когда преобладают ветры южных направлений, гидротехнические сооружения подвергаются интенсивному воздействию ветровых волн и зыби, поступающей из центральной части Японского моря. Решение проблемы надежности (штормоустойчивости) установок приводит к дополнительным материальным затратам за счет увеличения массы якорных устройств и использования синтетических материалов с высокими прочностными характеристиками.

В зимний период практически все закрытые и полужакрытые акватории зал. Петра Великого покрываются льдом, что также требует выполнения определенных технических мероприятий, направленных на сохранение установок от разрушения. Для этого все оснащенные плавучестью элементы гибких гидротехнических сооружений на зимний период с помощью временных якорей заглубляют на несколько метров от поверхности воды, а после схода ледового покрова весной

вновь выводят на поверхность, что приводит к дополнительным материальным и трудовым затратам.

Результаты планктонных съемок (рис. 2) свидетельствуют о том, что обилие личинок гребешка в прибрежных водах Приморья вполне обеспечивает возможность ежегодного получения молоди этих моллюсков. Для каждого конкретного района выращивания процесс сбора молоди гребешка необходимо оптимизировать как по времени выставления коллекторов в море, так и по диапазону глубины их размещения (рис. 3, 4). При этом следует избегать горизонтов возможного массового оседания личинок морской звезды *Asterias amurensis* (рис. 6А). Решение этих задач позволяет обеспечить необходимую эффективность оседания личинок и повысить выживаемость молоди гребешка на коллекторах.

Снятие коллекторов с установок, их разборку и сортировку молоди гребешка от сопутствующих организмов мы рекомендуем проводить во второй половине октября – начале ноября. В это время размеры подавляющей части ювенильных особей значительно превышают 10 мм (рис. 5Г, Д, Е). Значения температуры воды прибрежных акваторий к середине октября снижаются и выравниваются по всей толще (осенняя изотермия), что способствует хорошей переносимости молодью гребешка этой процедуры. Климатические условия (температура воздуха в дневное время, направление и скорость ветра, обилие атмосферных осадков, волнение моря) обычно также благоприятствуют выполнению этих работ.

Отсортированную молодь моллюсков в это же время отсаживают с борта судна на предварительно выбранные и размеченные донные участки со средней плотностью 25-30 экз./м<sup>2</sup>. Освобожденные после снятия коллекторов горизонтальные хребтины установок открепляют от якорных оттяжек и доставляют на береговую базу для очистки их от обрастаний и текущего ремонта. Якоря и оттяжки оставляют в море до начала следующего технологического цикла.

Очевидно, что смертность отсаживаемой на грунт сеголетней молоди гребешка будет выше, чем у более крупных особей, подращиваемых в садках до лета следующего календарного года. Тем не менее, при выживаемости гребешка до достижения им промысловых размеров свыше 0,1 (что соответствует результатам многолетних экспериментальных отсадок в зал. Восток) рекомендуемая технологическая схема обеспечивает достаточно высокую экономическую эффективность. В предлагаемом варианте донного культивирования приморского гребешка основные затраты и усилия направлены не на достижение максимальной выживаемости ювенильных особей, а на значительное (в 3-5 раз) увеличение начальной численности (плотности) отсаживаемых на грунт моллюсков.

Эффективность выращивания в значительной мере зависит от выбора участков, удовлетворяющих условиям нормальной жизнедеятельности гребешка. Температура воды в придонном слое на таких участках в период максимального прогрева водной толщи (июль-август) не должна превышать 20 °С, а ее соленость понижаться ниже 30‰. Важное значение имеют глубина в районах отсадок, характер донных отложений и рельеф дна, прибойность и интенсивность водообмена акватории, уровень возможного загрязнения промышленными и бытовыми стоками. Надежным критерием пригодности донных участков для выращивания гребешка служит длительное устойчивое существование природных пространственных группировок этих моллюсков, в которых представлены разновозрастные особи.



В зависимости от продолжительности технологического цикла (три или четыре года) целесообразно использование так называемой «трехпольной» или «четырепольной» схемы эксплуатации донных участков. Для этого все пригодные для донного выращивания площади делятся на три или четыре примерно равных участка, каждый из которых последовательно ежегодно насыщается молодью гребешка. В дальнейшем, после изъятия товарного гребешка, каждое из «полей» вновь заполняется собранной на коллекторы молодью моллюсков.

Урожайность (общая прижизненная масса особей промыслового размера, отнесенная к единице площади донного участка) зависит от выживаемости, скорости роста массы моллюсков и их миграционной активности. На практике значения средней плотности гребешка промысловых размеров в донной культуре лишь в редких случаях превышают 3 экз./м<sup>2</sup>, а средней биомассы – 0,7 кг/м<sup>2</sup>. Реальная для прибрежных вод Приморья урожайность обычно составляет 5-7 т/га за технологический цикл.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исходя из полученных нами результатов многолетних полевых гидробиологических и экспериментальных работ, учитывая климатические условия и особенности гидрологического режима прибрежных вод Приморского края, следует, что экономически предпочтительным вариантом промышленного культивирования приморского гребешка оказывается донный способ выращивания этих моллюсков. При этом возможно использование предельно простой технологической схемы, заключающейся в сборе молоди гребешка на коллекторы и ее подращивании в подвесной культуре, снятии коллекторов с установок поздней осенью, их разборке и одновременной отсадке полученной (сеголетней) молоди на предварительно выбранные участки с последующим (через три или четыре года) изъятием выращенной продукции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арзамасцев И.С., Яковлев Ю.М., Евсеев Г.А. и др. Атлас промысловых беспозвоночных и водорослей морей Дальнего Востока России. Владивосток: Аванте, 2001. 192 с.
- Белогрудов Е.А. Рост морского гребешка в садках // Изв. ТИНРО. 1973. Т. 87. С. 127-129.
- Белогрудов Е.А. Биология и культивирование приморского гребешка. В кн.: Культивирование тихоокеанских беспозвоночных и водорослей. М.: Агропромиздат, 1987. С. 66-71.
- Белогрудов Е.А., Мальцев В.Н. Нерест гребешка в зал. Посыета // Изв. ТИНРО. 1975. Т. 96. С. 273-278.
- Брыков В.А. Влияние осевшей из планктона молоди пятиугольного волосатого краба на эффективность коллекторного сбора приморского гребешка // Биология моря. 1989. №5. С. 70-72.
- Брыков В.А., Колотухина Н.К., Таупек Н.Ю., Радовец А.В. Эффективность сбора молоди приморского гребешка на коллекторы: решение оптимизационной задачи // Вопросы рыболовства. 2003. Т. 4. №2(14). С. 327-346.
- Брыков В.А., Колотухина Н.К., Семенихина О.Я., Радовец А.В. Культивирование тихоокеанской мидии в прибрежных водах северо-западной части Японского моря // Вопросы рыболовства. 2004. Т. 5. №4(20). С. 708-733.

Брыков В.А., Тюрин А.Н., Тяпкин В.С. Марикультура, как потенциальный источник эвтрофирования прибрежных вод. В кн.: Дальневосточный морской биосферный заповедник. Исследования. Владивосток: Дальнаука, 2004. Т. 1. С. 803-814.

Бирюлина М.Г., Родионов Н.А. Распределение, запасы и возраст гребешка в заливе Петра Великого. В кн.: Вопросы гидробиологии некоторых районов Тихого океана. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1972. С. 33-41.

Габаев Д.Д. Оседание личинок двустворчатых моллюсков и морских звезд на коллекторы в заливе Посыета (Японское море) // Биология моря. 1981. №4. С. 59-65.

Жук А.П. К вопросу формирования промышленной марикультуры // Дальневосточный регион – рыбное хозяйство. 2004. №1. С. 107-156.

Касьянов В.Л. Развитие. В кн.: Приморский гребешок. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. С. 131-143.

Кашенко С.Д. Развитие морской звезды *Asterias amurensis* в лабораторных условиях // Биология моря. 2005. №1. С. 45-50.

Климат Владивостока. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 167 с.

Куликова В.А., Колотухина Н.К. Пелагические личинки двустворчатых моллюсков Японского моря. Методы, морфология, идентификация. Препринт №21. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1989. 60 с.

Разин А.И. Морские промысловые моллюски Южного Приморья // Изв. ТИРХ. 1934. №8. С. 3-100.

Силина А.В. Определение возраста и темпов роста приморского гребешка по скульптуре поверхности его раковины // Биология моря. 1978. №5. С. 29-39.

Силина А.В., Брегман Ю.Э. Численность и биомасса. В кн.: Приморский гребешок. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. С. 190-200.

Скарлато О.А. Двустворчатые моллюски умеренных вод северо-западной части Тихого океана. Л.: Наука, 1981. 480 с.

Урбах В.Ю. Биометрические методы (Статистическая обработка опытных данных в биологии, сельском хозяйстве и медицине). М.: Наука, 1964. 415 с.

Ito H. Fisheries and aquaculture. Japan // *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. Development in Aquaculture and Fishery Sciences*. V. 21. Ed. S.E. Shumway. Elsevier Science Publications. 1991. Pp. 1017-1055.

Hadfield M.G. Settlement and recruitment of marine invertebrates: a perspective and some proposals // *Bulletin of Marine Sciences*. 1986. V. 39. №2. Pp. 418-425.

Kasyanov V.L. Development of the Japanese scallop, *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1857) // *Scallop biology and Culture. World Aquaculture Workshops*. №1. Ed. S.E. Shumway and P.A. Sandifer: World Aquaculture Society. 1991. Pp. 1-9.

Maru K. Some factors causing fluctuations in the collection of natural seed of the ezo giant scallop, *Patinopecten yessoensis* // *Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Pectinid Workshop*, Nanaimo, B.C. Canada, April 22-27, 1993. V. 2. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. 1994. Pp. 178-185.

Morse D.E. Recent progress in larval settlement and metamorphosis: closing the gaps between molecular biology and ecology // *Bulletin of Marine Sciences*. 1990. V. 46. №2. Pp. 465-483.

Ventilla R.F. The scallop industry in Japan // *Advances in Marine Biology*. 1982. V. 20. Pp. 309-382.

Yamamoto G. Tolerance of scallop spat to suspended silt, low oxygen tension, high and low salinities and sudden temperature changes // *Science Report of Tohoku University*, 4<sup>th</sup> Series (Biology). 1957. V. 22. Pp. 149-156.

*Yamamoto G.* Studies on the propagation of the scallops, *Patinopecten yessoensis* (Jay) in Mutsu Bay // Nippon Suisan-higen Hogokyokai. Suisan-zoshoku Sosho. 1964. №6. Pp. 1-77.

*Yamashita N., Eton H., Sakata K., Yagi A., Ina H., Ina K.* An acylated kaempferol glucoside isolated from *Quercus dentate* as a repellent against the blue mussel *Mytilus edulis* // Agricultural and Biological Chemistry. 1989. V. 53. №5. Pp. 1383-1385.

## BIOLOGICAL CONCEPTS OF JAPANESE SCALLOP CULTIVATION IN PRIMORSKY KRAI COASTAL WATERS

© 2010 y. V.A. Brykov, N.K. Kolotukhina

*A.V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology, Far East Branch,  
Russian Academy of Sciences, Vladivostok*

The results of the long-term (1986-2002) study, obtained in the process of development of the technology of industrial cultivation of the Japanese scallop *Mizuhopecten yessoensis* (Jay), are produced. The data on abundance dynamics of plankton larvae and efficacy of scallop juvenile collection from collectors in different cultivation areas are presented. Survival and growth of mollusks on collectors and in bottom culture are estimated. A conclusion about the highest efficiency of the bottom culture of industrial scallop cultivation in Primorsky Krai coastal waters is grounded.

*Key words:* aquaculture, bivalve mollusks, Japanese scallop, abundance dynamics, growth, technology of cultivation.