

***Ruditapes philippinarum* (Bivalvia) из субтропических и низкореальных районов Японского моря: сравнение субфоссильных скоплений раковин**

А.В. Силина

Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
Владивосток 690041, Россия
e-mail: allasilina@mail.ru

Проведен сравнительный анализ размерного и возрастного составов береговых субфоссильных скоплений из популяций двустворчатого моллюска *Ruditapes philippinarum*, обитающих в самой южной части Японского моря, у восточного япономорского берега о-ва Чеджу (Южная Корея) и у о-ва Попова зал. Петра Великого Японского моря. Установлено, что размерный и возрастной составы изучаемых выборок различаются в высшей степени значимо. Выборка с о-ва Чеджу представлена существенно более мелкими (H=10–30 мм, L=12.5–40 мм) молодыми (0.5–4 года) особями, чем выборка раковин с о-ва Попова (H=20.5–37.5 мм, L=28–54 мм, 3–20 лет). Ретроспективно исследован линейный рост моллюсков в выборках по кольцам роста с помощью предложенного ранее метода. Линейный рост моллюсков из двух исследованных мест обитания различается статистически значимо. Более высокие темпы роста наблюдались для южной популяции. При общей схожести средних показателей морфометрических соотношений раковины моллюска из сравниваемых мест ареала, противоположны возрастные тенденции изменений отношений высоты раковины к ее длине.

***Ruditapes philippinarum* (Bivalvia) from subtropical and boreal areas in the Sea of Japan: comparison of subfossil shell assemblages**

A.V. Silina

A.V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology, Far East Branch,
Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690041, Russia
e-mail: allasilina@mail.ru

Size and age structures of the bivalve *Ruditapes philippinarum* from coastal subfossil shell accumulations derived from populations inhabiting the east coast of Jeju Island (South Korea) (the most southern part of the Sea of Japan = East Sea) and the coast of Popova Island (Peter the Great Bay, middle part of the Sea of Japan) were compared. It was found that the structures differ at a high degree. The sample from Jeju Island contained smaller (H=10–30 mm, L=12.5–40 mm) young (0.5–4 years) individuals than sample from Popova Island (H=20.5–37.5 mm, L=28–54 mm, 3–20 years). The linear growth rates of bivalves were retrospectively determined by growth rings using method proposed earlier. The linear growth rates statistically significantly differ for bivalves inhabiting two studied areas. Higher growth rates were observed for southern population. Under general similarity of average values of the ratios of morphometric parameters of bivalve from studied areas, the age tendencies in the ratio height:length were opposite for studied bivalve populations.

Зарывающийся двустворчатый моллюск филиппинский петушок *Ruditapes philippinarum* (Adams et Reeve) (сем. Veneridae) в Японском море встречается от п-ова Корея до западного Сахалина, а также у островов Хоккайдо и севера Хонсю. Обитает на глубине 2–46 м [Скарлато, 1981]. Таким широким диапазоном широт и глубин обитания моллюска соответствует широкий диапазон температуры воды, при которой живет моллюск. Очевидно, что на разных участках ареала продолжительность времени с оптимальным или неблагоприятным для данного вида температурным режимом различается. Если для южных участков ареала можно ожидать продолжительные периоды с благоприятной температурой для моллюска, то для северных участков наиболее вероятны длительные периоды с близкой к предельной толерантной температуре воды для исследуемого низкорореального вида. Известно, что температура воды является одним из определяющих факторов для развития и роста пойкило-

термных беспозвоночных [MacDonald, Thompson, 1985; Laing, 2000].

В некоторых случаях отбор проб из живых популяций животных невозможен или затруднителен. В то же время, возможно получение многих популяционных и индивидуальных характеристик по субфоссиальным¹ остаткам для организмов, имеющих такую регистрирующую структуру, как раковина [Силина, 1990; Лутаенко, 1994; Hallam, 1967; Shimoyama, 1984; Silina, Pozdnyakova, 1996]. В связи с этим, в данной работе предпринята попытка сравнения размерного и возрастного составов выборок из береговых субфоссиальных скоплений, происходящих из популяций филиппинского петушка, обитающих в самой южной части Японского моря, у восточного япономорского берега о-ва Чеджу (местность Сёнсан – Seongsan; Южная Корея) и у о-ва Попова зал. Петра Великого Японского моря, а также сравнение темпов его роста на южном и северном участках ареала.

Материал и методы

Южный участок ареала. Раковины петушка были собраны в октябре 2008 г. на песчаном берегу открытой бухты в восточной япономорской части о-ва Чеджу в местности Сёнсан (Южная Корея) (рис. 1). Субфоссиальные раковины (67 экз.) были отобраны в период отлива на участке площадью около 75 м² (15×50 м). Грунт в прилегающей акватории – песок между рифами.

Северный участок ареала. Для сравнения состава выборки и линейного роста взята выборка петушка (134 экз.) в сентябре 2009 г. на галечном берегу

открытой бухты Алексеева о-ва Попова зал. Петра Великого Японского моря. Пробы были собраны с площади около 25 м² (25×1 м). Грунт в прилегающей акватории – гравий, песок и камни.

У петушков измеряли штангенциркулем длину, высоту и, при наличии обеих створок, толщину раковины. С помощью предложенного ранее метода, основанного на изучении внутреннего

¹ В некоторых случаях целесообразно употреблять термин «субрецентные», так как подразумевается, что «субфоссиальные» остатки организмов уже прошли ранние стадии фоссилизации (*ред.*).



Рис. 1. Внешний вид пляжа со скоплениями раковин в районе Сёнсан, о-в Чеджу (фото К.А. Лутаенко и А.В. Силиной).

Fig. 1. Views of the beach with shell concentrations in Seongsan, Jeju Island (photo by K.A. Lutaenko and A.V. Silina).

строения и сезонного формирования микрослоев раковины и годовых колец роста на наружной поверхности створок моллюска [Силина, Попов, 1989] ретроспективно исследовали линейный рост и возраст каждой особи моллюска, по

которым установили возрастной состав моллюсков из субфосильных скоплений. Для сравнения линейного роста и соотношений морфометрических параметров раковин петушков из различных выборок был применен t-test.

Результаты и обсуждение

Сравнение параметров окружающей среды. Известно, что наиболее благоприятные грунты для филиппинского петушка – песок и гравий [Cigarría, Fernandez, 2000]. Таким образом, относительно данного фактора среды обе исследуемые популяции обитают в благоприятных условиях.

Петушок встречается преимущественно при солёности 32–34‰ [Скарлато, 1981]. Южный участок располагался на открытом япономорском побережье, практически незащищенном от океана, рек поблизости не наблюдалось, т.е. в районе исследования была водная масса с нормальной океанической солёнос-

тью. Северный участок также открытый, с соленостью в основном не менее 32–33‰ (данные автора).

В исследованных районах существенно различается температурный режим. Остров Чеджу омывается теплым течением Курисио. Летом температура воды около 22–26°C, максимум в августе, 28.8°C. Минимальная температура наблюдается в январе–феврале, 13–14°C [Noseworthy, 2007]. В б. Алексеева о-ва Попова в месте обитания популяции температура зимой около –1.5°C, а летом в августе поднимается до 20°C (данные автора). Оптимум для петушка – 20°C [Han et al., 2008]. При повышении температуры до 20–25°C скорость его роста повышается, а после 25°C наблюдается термальный стресс [Isono et al., 1998; Kanazawa, Sato, 2008]. Таким образом, более длительный период, благоприятный для роста моллюска, существует в южном районе.

Сравнение размерного и возрастного составов выборок. Размерные диапазоны раковин петушка из субфоссильных скоплений из южной и северной популяций существенно различаются. Выборка с о-ва Чеджу представлена значительно более мелкими (высота раковин (H) от 10 до 30 мм, длина раковин (L) от 12.5 до 40 мм), чем выборка раковин с о-ва Попова (H=20.5–37.5 мм, L=28–54 мм) (рис. 2). В размерных структурах выборок петушка из субфоссильного отложения о-ва Чеджу преобладали раковины высотой 16–26 мм, а у о-ва Попова 26–30 мм. Мелких особей с высотой раковин менее 10 мм практически не встречено. Это объясняется разрушением мелких, наиболее хрупких раковин во время транспортировки по дну и при шторме. Более подвержены

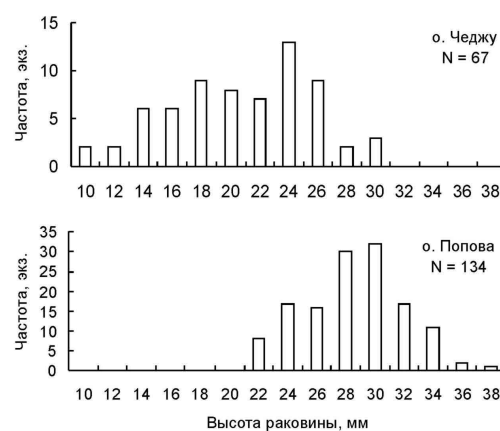


Рис. 2. Размерная структура субфоссильных скоплений раковин *Ruditapes philippinarum* на островах Чеджу и Попова.

Fig. 2. Size distribution of subfossil shell assemblages of *Ruditapes philippinarum* on the coasts of Jeju and Popova islands.

разрушению раковины мелких особей в районе о-ва Попова, скорее всего, из-за галечного грунта, о который разбиться у тонких раковин вероятность выше, чем об песок.

Классическая кривая смертности двустворчатых моллюсков имеет максимум для только что осевшей молодежи, а далее с увеличением возраста особей постепенно снижается, повышаясь вновь на геронтической стадии, определенной для каждого вида [Янин, 1983]. В соответствии с такими теоретическими представлениями размерно-возрастная структура идеально сохранившихся субфоссильных моллюсков должна иметь максимум для петушков в возрасте до 1 года. Хотя субфоссильный материал представлял собой усредненную во времени аккумулятивную выборку моллюсков, когда короткопериодные воздействия окружающей среды на популяцию исключены, в исследуемом материале сохранились

практически только те, возраст которых не менее одного года, о-в Чеджу, или трех лет, о-в Попова. Это также объясняется тем, что в этом открытом районе подверженном прибою, раковины молодых особей быстрее разрушаются и редко остаются в отложениях, т.е. в данном случае происходит сортировка мертвого раковинного материала.

Выборка с о-ва Чеджу представлена существенно более молодыми особями (0.5–4 года), чем выборка раковин с о-ва Попова (3–20 лет) (рис. 3). Среди моллюсков из северной популяции преобладают створки 3.5–8.5-летних, а среди южных петушков – 1–3-летних моллюсков (рис. 3). Максимальная продолжительность жизни исследуемого вида двустворчатых моллюсков различается в четыре раза. Это обычное явление для пойкилотермных животных, в частности для филиппинского петушка, когда продолжительность жизни вида выше для северных популяций. Однако, такая низкая продолжительность жизни для исследуемого вида как четыре года,

не встречалась ранее для петушков, обитающих у берегов Южной Кореи. Обычно в популяции петушка, но обитающей на более закрытых участках, максимальный возраст 6 лет [например: Cho, 2007, 2008]. Такая высокая, практически максимальная, степень открытости океаническим водам, как в исследованном мной районе, ранее в литературе не встречалась.

Наибольшая смертность среди петушков о-ва Чеджу наблюдалась в возрасте около полутора лет (одна треть всех особей), во второй зимний период их жизни (со второй половины осени до первой половины весны). А среди северных моллюсков – также в зимний период, но в возрасте 6.5 лет. Скорее всего, у о-ва Чеджу основной причиной повышенной смертности в этот сезон стали штормовые выбросы моллюсков на берег, а у о-ва Попова, дополнительно, и продолжительный период низкой для вида температуры воды. Второй сезон по частоте смертности петушков у о-ва Чеджу – лето, когда ими достигается возраст 2 года.

Причина, скорее всего, в высоких энергетических тратах и стрессе во время нереста, а также повышенная ($>20\text{--}25^\circ\text{C}$) для вида температура воды.

В обоих исследованных районах для старших возрастных классов встречаемость раковин субфоссильных моллюсков постепенно уменьшается, за исключением небольшого увеличения час-

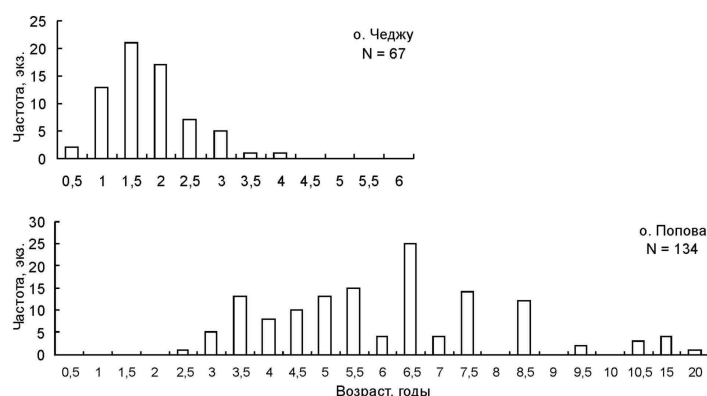


Рис. 3. Возрастная структура субфоссильных скоплений раковин *Ruditapes philippinarum* на островах Чеджу и Попова.

Fig. 3. Age distribution of subfossil shell assemblages of *Ruditapes philippinarum* on the coasts of Jeju and Popova islands.

тоты встречаемости 15-летних особей, обитающих у о-ва Попова, вероятно, это возраст геронтической стадии для вида в данном районе (рис. 3). Это соответствует экспоненциальной классической кривой смертности, обычной для большинства двустворчатых моллюсков.

Сравнение роста моллюска из южной и северной популяций. Линейные параметры одновозрастных южных и северных моллюсков статистически значимо ($P > 0.001$ для всех возрастов) различимы как для младших, так и для старших возрастных групп. У о-ва Чеджу темпы линейного роста петушка существенно выше, чем в выборке из южного Приморья (рис. 4), т. е. в южном районе условия для их роста (но не выживаемости) более благоприятны. В то же время максимальные параметры раковин значительно выше у моллюсков из выборки, сделанной в северном районе. Так, наибольшая высота раковины петушка из б. Алексеева составила 37.5 мм (длина 54 мм), а из прибрежья о-ва Чеджу – только 30 мм (длина 40 мм). Предельные размеры

достигаются за существенно разное время жизни моллюска. Для петушков из северного района за 20 лет, а из южного – за 4 года.

Сравнение соотношений морфометрических параметров моллюска. Получено, что в обоих районах высота раковины моллюска с ее длиной связаны прямолинейной зависимостью с высшей степенью достоверности:

у о-ва Чеджу, $L = 1.2226H + 3.4154$,
 $R = 0.984$;

у о-ва Попова, $L = 1.4867H - 2.185$,
 $R = 0.975$.

Средние показатели морфометрических соотношений раковины моллюска из сравниваемых мест ареала статистически неразличимы. Отношения высоты раковины к ее длине для популяций филиппинского петушка в среднем равны 0.71 ± 0.01 и 0.71 ± 0.00 , соответственно для выборок с островов Чеджу и Попова. Несколько неожиданно были обнаружены противоположные статистически значимые возрастные тенденции изменений отношений высоты раковины к ее длине (рис. 5). Если в южной популяции, обитающей на песке, раковина с возрастом моллюска становится более вытянутой (увеличение H относительно L), то в северной популяции, живущей на гальке, раковина напротив, округляется. Возможно, что в популяции, обитающей в открытом районе у о-ва Чеджу, со временем остаются в живых преимущественно более вытянутые особи, способные быстрее и глубже закапываться в грунт, тем самым избегая выброса на берег при штормах.

Отношение толщины раковины к ее длине с возрастом моллюска увеличивается в обеих популяциях, только у о-ва Чеджу статистически значимо, а у

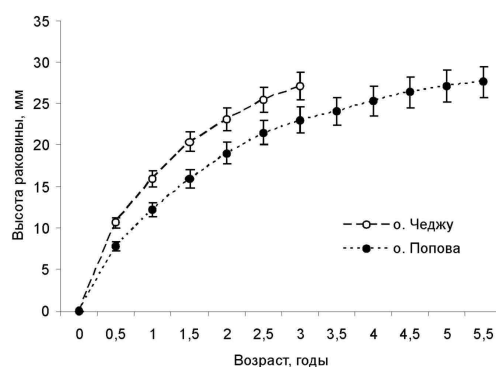


Рис. 4. Линейный рост *Ruditapes philippinarum* у островов Чеджу и Попова.

Fig. 4. Growth rates of *Ruditapes philippinarum* near the coasts of the Jeju and Popova islands.

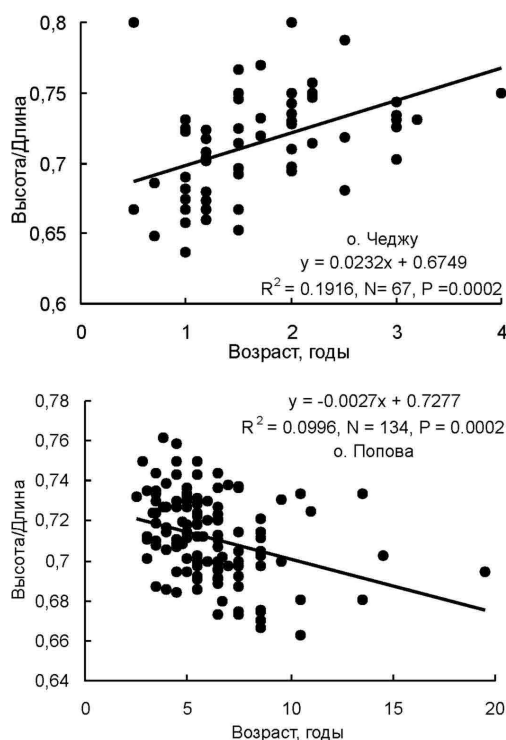


Рис. 5. Динамика соотношения высоты раковины к ее длине у *Ruditapes philippinarum* с его возрастом в разных местах обитания.

Fig. 5. Tendencies of height/length ratio of *Ruditapes philippinarum* shells with mollusk age on the coasts of Jeju and Popova islands.

о-ва Попова – незначительно (рис. 6). Таким образом, для петушка характерно постепенное увеличение объема тела и уменьшение площади тела с увеличением возраста моллюска, что свидетельствует об уменьшении потери энергии, положительно коррелированной с площадью поверхности тела, т.е. о сбережении энергии. Округление раковины

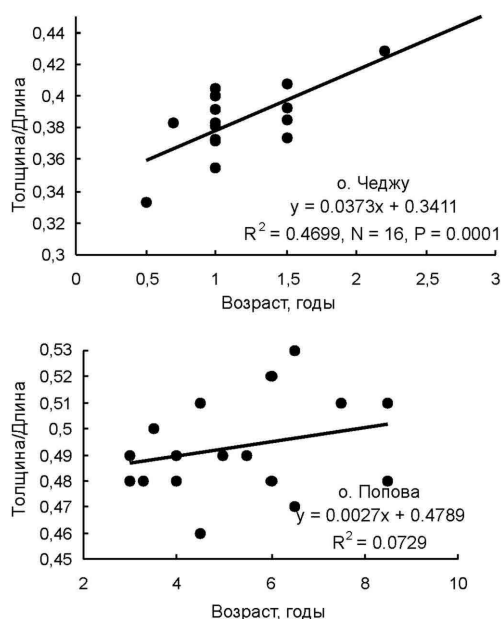


Рис. 6. Динамика соотношения толщины раковины к ее длине у *Ruditapes philippinarum* с его возрастом в разных местах обитания.

Fig. 6. Tendencies of width/length ratio of *Ruditapes philippinarum* shells with mollusk age on the coasts of Jeju and Popova islands.

(выравнивание Н и L) также свидетельствует о снижении отношения поверхность/объем тела, что способствует увеличению продолжительности жизни моллюска при суровых условиях среды.

Таким образом, исследование выборок субфоссильного раковинного материала из популяций, обитающих в условиях, существенно различающихся по температурному режиму, показало разительные отличия между популяциями по всем изученным показателям.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта APN (ARCP2007-12NMY). Искренне благодарю к.б.н. К.А. Лута-

енко (ИБМ ДВО РАН) за организацию экспедиции на о-в Чеджу, фотографии и за помощь в подборе литературы.

Литература

- Лутаенко К. 1994. Актюпалеонтологическое изучение пляжевых танатоценозов двустворчатых моллюсков Японского моря // Палеонтологический журнал. № 2. С. 21–30.
- Силина А.В. 1990. Сравнительное исследование размерной и возрастной структур популяций живых гребешков, их субфоссильных скоплений и четвертичных отложений // Распространение и экология современных и ископаемых морских организмов. Владивосток: ДВО АН СССР. С. 142–152.
- Силина А.В., Попов А.М. 1989. Исследования линейного роста двустворчатого моллюска *Ruditapes philippinarum* из залива Петра Великого Японского моря по структуре его раковины // Биология моря. № 4. С. 50–56.
- Скарлато О.А. 1981. Двустворчатые моллюски умеренных широт западной части Тихого океана. Л.: Наука. 479 с.
- Янин Б.Г. 1983. Основы тафономии. М.: Недра. 184 с.
- Cho S.M., Jeong W.G. Ecological study of short-necked clam *Ruditapes philippinarum* from the Jindu coast of Hansan Island, Korea // Korean Journal of Malacology. 2007. V. 23, N 1. P. 25–30.
- Cho S.M., Jeong W.G., Lee S.J. 2008. Ecologically sustainable management of short-necked clam, *Ruditapes philippinarum*, on the coast of Yeongi at Tongyeong, Korea // Korean Journal of Malacology. V. 24, N 3. P. 189–197.
- Cigarria J., Fernandez J.M. 2000. Management of Manila clam beds. I. Influence of seed size, type of substratum and protection on initial mortality // Aquaculture. V. 182. P. 173–182.
- Hallam A. 1967. The interpretation of size-frequency distribution in molluscan death assemblages // Palaeontology. V. 10. P. 25–42.
- Han K.N., Lee S.W., Wang S.Y. 2008. The effect of temperature on the energy budget of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* // Aquaculture International. V. 16, N 2. P. 143–152.
- Isono R.S., Kita J., Kishida C. 1998. Upper temperature effect on rates of growth and oxygen consumption of the Japanese littleneck clam, *Ruditapes philippinarum* // Nippon Suisan Gakkaishi. V. 64, N 3. P. 373–376.
- Kanazawa T., Sato S. 2008. Environmental and physiological controls on shell microgrowth pattern of *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae) from Japan // Journal of Molluscan Studies V. 74. P. 1. P. 89–95.
- Laing I. 2000. Effect of temperature and ration on growth and condition of king scallop (*Pecten maximus*) spat // Aquaculture. V. 183. P. 325–334.
- MacDonald B., Thompson R.J. 1985. Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus*: I. Growth rates of shell and somatic tissue // Marine Ecology Progress Series. V. 25. P. 279–294.
- Noseworthy R.G., Lim N.R., Choi K.S. 2007. A catalogue of the mollusks of the Jeju Island, South Korea // Korean Journal of Malacology. V. 23, N 1. P. 65–104.
- Shimoyama S. 1984. Size-frequency distributions of living population and dead shell assemblages of *Macoma (Macoma) incongrua* (Martens) on an intertidal mud-flat in North Kyushu // Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series D, Geology. V. 25, N 2. P. 271–287.
- Silina A.V., Pozdnyakova L.A. 1996. *Spisula sachalinensis* in living population, subfossil and Holocene shell assemblages // Annual Report of the Western Society of Malacologists. V. 28. P. 3–6.