

УДК 639.27.053.7(265.54)

Е.Э. Борисовец^{1,2}, Д.А. Соколенко¹, С.В. Явнов^{1*}

¹ Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;

² Дальневосточный федеральный университет,
690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕРРИПЕСА ГРЕНЛАНДСКОГО *SERRIPES GROENLANDICUS* (BIVALVIA, CARDIIDAE) В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Изучено пространственное и батиметрическое распределение серрипеса гренландского *Serripes groenlandicus* в зал. Петра Великого по данным трех дражных съемок, выполненных в 2010–2012 гг. Батиметрический диапазон обитания вида находится в пределах от 20 до 75 м, самые плотные скопления приурочены к песчанистым илам в центральной части залива на глубинах 55–60 м. Изученная площадь поселения *S. groenlandicus* составляет 2255 км², предполагаемая — 3430 км². Оцененный ресурс моллюсков лежит в пределах 8538–9831 т, в среднем составляя 8731 т.

Ключевые слова: серрипес гренландский, двустворчатый моллюск, *Serripes groenlandicus*, распределение, поселение, запас, зал. Петра Великого, Японское море.

Borisovets E.E., Sokolenko D.A., Yavnov S.V. Distribution of greenland smoothcockle *Serripes groenlandicus* (Bivalvia, Cardiidae) in Peter the Great Bay (Japan Sea) // Izv. TINRO. — 2017. — Vol. 189. — P. 88–102.

Spatial and bathymetric distribution of greenland smoothcockle *Serripes groenlandicus* in Peter the Great Bay (Japan Sea) is considered on the data of 3 dredge surveys conducted in 2010–2012. The species is distributed within the depth range 20–75 m, the densest aggregations are located at the depths of 55–60 m on sandy silts in the central part of the bay. Total area of its settlement is estimated presumably as 3430 km², its main part (2255 km²) is surveyed. Total biomass of the species is assessed in the range 8538–9831 t, on average 8731 t.

Key words: greenland smoothcockle, bivalve mollusc, *Serripes groenlandicus*, spatial distribution, clam settlement, species stock, Peter the Great Bay, Japan Sea.

Введение

Двустворчатый закапывающийся моллюск серрипес гренландский *Serripes groenlandicus* — широко распространенный бореально-арктический вид (Скарлато, 1981), является объектом промысла в странах Скандинавии, США и Канаде (Christian et al., 2010). В арктических морях известен как компонент питания моржа, тюленей и демер-

* Борисовец Евгений Эммануилович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, e-mail: borisovets@tinro.ru; Соколенко Дмитрий Анатольевич, заведующий сектором, e-mail: dmitriy.sokolenko@tinro-center.ru; Явнов Сергей Васильевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: dservas@rambler.ru.

Borisovets Evgeny E., Ph.D., head of laboratory, e-mail: borisovets@tinro.ru; Sokolenko Dmitry A., head of section, e-mail: dmitriy.sokolenko@tinro-center.ru; Yavnov Sergey V., Ph.D., leading researcher, e-mail: dservas@rambler.ru.

сальных рыб (Dolgov, Yaragina, 1990; Fisher, Stewart, 1997). О том, что южный одноперый терпуг *Pleurogrammus azonus* активно питается серрипесом в зал. Петра Великого, упоминала ещё Л.В. Микулич (1949) в середине прошлого века. Однако современных сведений по распределению и биологии этого объекта в водах Приморья крайне мало (Явнов, Игнатьев, 2009; Явнов, Соколенко, 2011). Известно, что обитающий в зал. Петра Великого рассматриваемый вид создает плотные концентрации, имеет крупные размеры и высокие показатели индекса мягких тканей (Явнов, Соколенко, 2011), что позволяет рассматривать его как перспективный для промысла объект.

Цель настоящей работы — изучение особенностей распределения серрипеса в зал. Петра Великого.

Материалы и методы

Материал собран при проведении трех учетных дражных съемок ТИНРО-центра в 2010–2012 гг. Работы выполнены на большей части шельфа и верхнем горизонте материкового склона зал. Петра Великого, за исключением наиболее мелководных бухт, акваторий морского заповедника, портов, хозяйств марикультуры и запретных для плавания районов (рис. 1). Диапазон охваченных глубин составил 6–217 м, площадь исследованной акватории — 8750 км². Всего за трехлетний период были выполнены 352 дражные станции и поймано 6372 особи серрипеса (табл. 1).

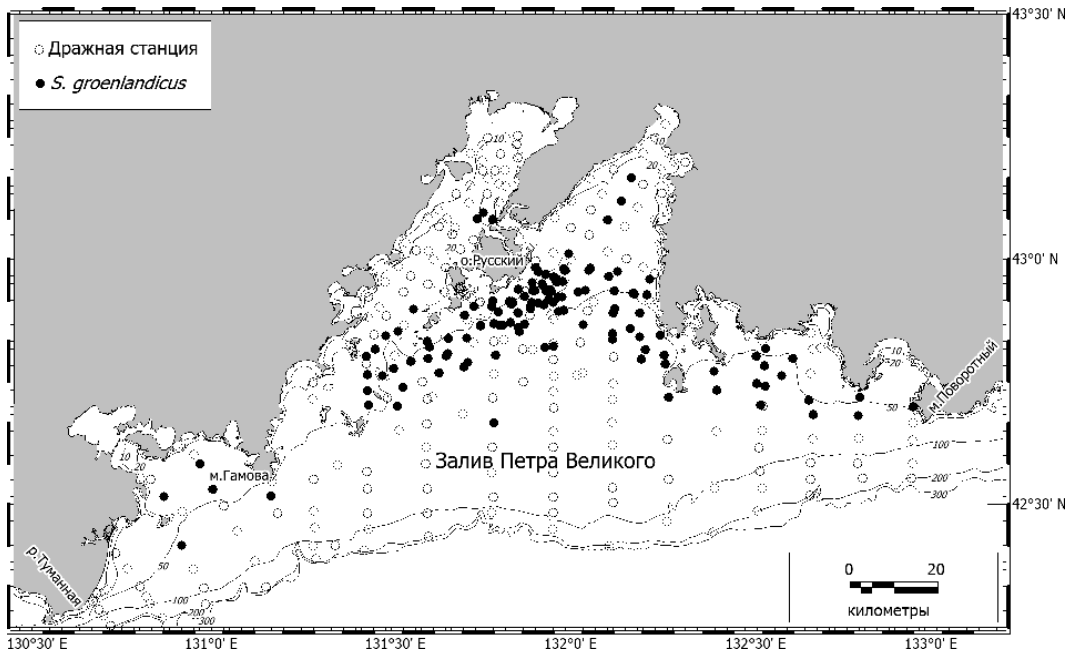


Рис. 1. Карта-схема встречаемости серрипеса в зал. Петра Великого (по данным дражных съемок 2010–2012 гг.)

Fig. 1. Scheme of *S. groenlandicus* occurrence in Peter the Great Bay (data of 2010–2012)

Таблица 1

Характеристика исходного материала

Table 1

Data description

Показатель	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2010–2012 гг.
Дражные станции, шт.	43	65	244	352
Станции с серрипесом, шт.	30	51	61	142
Кол-во учетных особей, экз.	1394	2698	2280	6372

Используемая драга (Мизюркин, Явнов, 2013) имела ширину 1,6 м, массу — 450 кг, размер ячеи в кутце — 40 мм. Длина ваера зависела от глубины, в среднем равнялась 3–4-кратному ее значению. Время драгирования в зависимости от типа

грунта и прочих условий варьировало от 5 до 20 мин. Пространственные параметры работы драги фиксировали с помощью навигационной программы MaxSea 10.3 с комплектом карт C-Мар v.2 2011, подключенной к судовому GPS-приемнику.

Для проверки статистических гипотез о равенстве средних использовали *t*-критерий Стьюдента (в парном варианте) и дисперсионный анализ (при сравнении трех и более значений) (Кобзарь, 2006). Сопоставление дисперсий выполняли на основе критериев Левена и Брауна-Форсайта (Jadwiszczak, 2009). Гипотезы об однородности одномерных распределений выполняли на основе статистик Колмогорова-Смирнова и Андерсона (Кобзарь, 2006). Отметим, что в классическом варианте перечисленные выше статистики имеют те или иные ограничения по применимости (Кобзарь, 2006; Лемешко и др., 2010). Чтобы снять ограничения, при проверке статистических гипотез в большинстве случаев использовали подход, основанный на рандомизации (Шитиков, Розенберг, 2013). В этом случае уровни значимости оцениваются на основе вычислительных экспериментов. При этом обычно выбирали число реализаций, равное 10 000. Нами учтены поправки на критические значения уровня значимости, связанные с проведением множественных сравнений (Шитиков, Розенберг, 2013).

Для получения интервальных оценок различных величин (в том числе и оцененного ресурса) в условиях неизвестного распределения исходных данных использованы бутстреп-методы (Эфрон, 1988; Шитиков, 2012; Шитиков, Розенберг, 2013), в основе которых также лежат компьютерные имитации. В большинстве случаев применяли «стюдентизированные» бутстреп-интервалы (Шитиков, Розенберг, 2013) при числе повторов 10 000.

Для расчетов применяли пакеты STATISTICA 8.0 (Боровиков, 2003), Rndom Pro 3.14 (Jadwiszczak, 2009), программу Resampling Ховела (Howell, 2002). Кроме перечисленных выше программных средств широко использована статистическая среда R (Мастицкий, Шитиков, 2014). Географические вычисления и карты выполнены в ГИС MapInfo Professional 10.5 (Ерунова, Гостева, 2004) с комплектом векторных электронных слоев зал. Петра Великого. Пространственные распределения получены с помощью расширения Vertical Mapper 3.1. Интерполяция выполнена методом естественного соседа (Natural Neighbor). При этом береговая линия материкового побережья и островов отбивалась точками с нулевыми значениями удельных плотностей и биомасс. Эти «фиктивные» точки затем использовались при расчете пространственных распределений. Данный прием исключает «выход» интерполированных значений на сушу, а его правомочность основана на том, что морские объекты не обитают на побережье. При расчете статистических характеристик (средние, стандартные отклонения и т.д.) плотностей и биомасс использованы только те дражные станции, на которых был отмечен целевой объект. Станции с нулевыми значениями плотностей и биомасс в этом случае исключались из вычислений. Для оценки ресурсов серрипеса использован метод изолиний (Аксютин, 1968).

Результаты и их обсуждение

На основе объединенных данных дражных съемок 2010–2012 гг. была составлена карта встречаемости живых особей серрипеса в зал. Петра Великого (рис. 1). Доля результативных дражирований (доля встреч, %) по годам и их доверительные интервалы, оцененные на основе бутстреп-процедур, приведены в табл. 2. Результаты 2010 и 2011 гг. близки между собой (соответственно почти 70 и 78 %) и характеризуют встречаемость данного моллюска внутри области его распространения. В то же время в целом по заливу (данные 2012 г.) его встречаемость заметно ниже и составляет 25 % при доверительном 95 %-ном интервале 20–30 % (табл. 2). Таким образом, учитывая градации встреч, используемые рядом авторов (Шейко, Федоров, 2000; Тупоногов, Кодолов, 2014), можно заключить, что в местах обитания в зал. Петра Великого серрипес является многочисленным объектом, а в целом по заливу — обычным.

Встречаемость серрипеса в зал. Петра Великого (2010–2012 гг.), %

Occurrence of *S. groenlandicus* in Peter the Great Bay in 2010–2012, %

Год	Частота встречаемости	95 %-ный бутстреп-интервал
2010	69,77	51,16–81,39
2011	78,46	64,62–86,15
2012	25,00	19,67–29,99

Подчеркнем, что в 2012 г. на область распространения этого моллюска пришлось относительно немного станций, в то время как в предыдущие годы (2010, 2011) распространение серрипеса было изучено с большей подробностью. Поэтому для дальнейшего анализа желательно было объединить данные, собранные в течение трех лет, показав статистически корректность такого объединения. В силу сложившейся практики самыми употребимыми характеристиками выборки являются среднее арифметическое и дисперсия. Статистическому сравнению подвергались станции, собранные на сопоставимых акваториях.

В табл. 3, 4 даны характеристики плотности поселений (экз./м²) и биомассы (г/м²) серрипеса в целом по съемкам в разные годы, а также по «аналогичным» акваториям. Отметим, что средние биомасса и плотность в 2010 и 2011 гг. вполне схожи. Напротив, эти же характеристики, полученные по данным 2012 г., оказались заметно ниже. Но причина этого, по-видимому, состоит в том, что именно в 2012 г. были охвачены краевые области ареала с пониженными характеристиками обилия. Кроме этого, в 2012 г. не было отмечено столь высоких уловов серрипеса, как в предыдущие годы. По-видимому, это тоже следствие меньшей плотности станций в ядре ареала. По «сопоставимым» районам параметры биомассы и плотности оказались более близкими (табл. 3, 4).

Использование t-критерия Стьюдента для сравнения средних значений плотности поселения в разные годы дало диапазон уровня значимости $p = 0,177–0,909$ (всего было исследовано три пары), для средних биомасс — $0,542–0,578$. При выполнении дисперсионного анализа для проверки гипотезы о равенстве трех (за разные годы) показателей средней плотности расчетный уровень значимости составил $0,274$, то же при сравнении показателей средней биомассы — $0,559$. Следовательно, во всех вариантах различия между средними оказались статистически незначимыми. Это же справедливо и для дисперсий. Для плотности диапазон уровня значимости p составил $0,497–0,560$ (критерий Левена) и $0,455–0,908$ (статистика Брауна-Форсайта), для биомасс — соответственно $0,485–0,659$ и $0,705–0,967$. Таким образом, самые «популярные» параметры (среднее и дисперсия) в разные годы оказались статистически неразличимыми. Эти же характеристики, по нашему мнению, весьма важны и при оценке запасов. Тем не менее равенство указанных выше показателей еще не означает равенства распределений.

Сопоставление распределений плотности и биомассы дало следующие результаты: критерий Колмогорова-Смирнова — уровень значимости p для плотности $0,133–0,272$, для биомассы $0,145–0,513$; критерий Андерсона — p для плотности $0,052–0,632$ и для биомассы $0,547–0,776$. Таким образом, во всех случаях эмпирические распределения и плотности, и биомассы можно считать статистически идентичными. Следовательно, приведенные выше результаты дают основание объединить в одну выборку данные, собранные в разные годы (2010–2012).

Несомненно, ежегодно в популяции серрипеса зал. Петра Великого происходят пополнение, рост и естественная убыль особей. Промысловая смертность отсутствует, поскольку добыча данного моллюска в заливе не ведется. Доказанное выше равенство биомасс и плотностей свидетельствует о том, что ежегодный прирост (рост плюс пополнение) равен убыли (естественная смертность), т.е. популяция находится в стационарном состоянии.

Для изучения батиметрического распределения данного моллюска мы использовали среднюю глубину драгирования, взятую как полусумма глубин начала и окончания драгировки. Весь диапазон исследованных глубин был разбит на пятиметровые интервалы.

Таблица 3

Статистические характеристики плотности сеприпеса в зал. Петра Великого (по результатам съемок 2010–2012 гг.), экз./м²

Table 3

Statistical characteristics of *S. groenlandicus* population density (ind./m²) in Peter the Great Bay (2010–2012)

Годы	Число драгирований	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Ошибка средней
2010–2012	142	0,0504	0,012	0,001	0,319	0,0727	144,145	0,006
<i>Совокупно по всем годам</i>								
<i>Раздельно по съемке каждого года</i>								
2010	30	0,057	0,012	0,001	0,302	0,079	138,943	0,014
2011	51	0,062	0,019	0,001	0,319	0,078	125,720	0,011
2012	61	0,037	0,006	0,001	0,219	0,063	168,777	0,008
<i>Сопоставимые акватории 2010–2012 гг.</i>								
2010–2012	64	0,083	0,052	0,001	0,319	0,089	108,167	0,011
2010	24	0,059	0,009	0,001	0,302	0,086	145,663	0,018
2011	24	0,096	0,072	0,002	0,319	0,095	98,939	0,019
2012	16	0,097	0,082	0,001	0,219	0,083	84,946	0,021
<i>Сопоставимые акватории 2011, 2012 гг.</i>								
2011, 2012	85	0,061	0,018	0,001	0,319	0,077	125,553	0,008
2011	51	0,062	0,019	0,001	0,319	0,078	125,720	0,011
2012	34	0,060	0,012	0,001	0,219	0,076	127,149	0,013
<i>Сопоставимые акватории 2010, 2012 гг.</i>								
2010, 2012	48	0,069	0,043	0,001	0,302	0,080	116,139	0,012
2010	30	0,057	0,012	0,001	0,302	0,079	138,943	0,014
2012	18	0,089	0,067	0,001	0,219	0,081	89,767	0,019

Statistical characteristics of *S. groenlandicus* biomass (g/m²) in Peter the Great Bay (2010–2012)

Годы	Число драгирований	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Ошибка средней
<i>Совокупно по всем годам</i>								
2010–2012	142	10,208	2,562	0,001	73,286	14,676	143,768	1,2316
<i>Раздельно по съемке каждого года</i>								
2010	30	13,212	2,814	0,033	73,288	18,574	140,588	3,3912
2011	51	12,584	3,847	0,079	63,740	15,488	123,078	2,169
2012	61	6,745	1,139	0,001	41,704	10,863	161,063	1,391
<i>Сопоставимые акватории 2010–2012 гг.</i>								
2010–2012	64	17,116	11,607	0,033	73,289	18,262	106,699	2,283
2010	24	14,074	2,224	0,033	73,289	20,384	144,832	4,161
2011	24	19,774	16,782	0,159	63,740	18,696	94,549	3,816
2012	16	17,689	16,365	0,280	41,704	14,184	80,183	3,546
<i>Сопоставимые акватории 2011, 2012 гг.</i>								
2011, 2012	85	11,873	3,736	0,001	63,741	14,494	122,078	1,572
2011	51	12,584	3,847	0,079	63,741	15,488	123,078	2,169
2012	34	10,806	2,943	0,001	41,704	13,013	120,419	2,232
<i>Сопоставимые акватории 2010, 2012 гг.</i>								
2010, 2012	48	14,392	8,182	0,033	73,288	16,879	117,277	2,436
2010	30	13,212	2,814	0,033	73,288	18,574	140,588	3,391
2012	18	16,359	13,649	0,280	41,704	13,876	84,819	3,271

По нашим данным в зал. Петра Великого серрипес встречается в батиметрическом диапазоне 20–75 м (рис. 2). При этом глубины от 20 до 35 м не являются характерными, частота встреч (по данным трех лет) не превышает 15 %, а доверительный интервал включает 0. Наиболее оптимальны глубины 45–65 м. Здесь доля встреч лежит в пределах 76–88 %, а нижняя граница 95 %-ного доверительного интервала всегда не ниже 50 % (рис. 2, А). На меньших (35–45 м) и на больших (65–75 м) глубинах доля встреч заметно ниже, а доверительные интервалы шире. Несколько иная картина наблюдается по распределению плотности (рис. 2, Б). Здесь оптимальным батиметрическим диапазоном следует считать интервал 50–70 м. При этом наибольшая плотность (в среднем) — 11,67 экз. на 100 м² — была зафиксирована в диапазоне 55–60 м. Отметим, что глубинам, где отмечена высокая плотность (50–70 м), соответствуют и более широкие доверительные интервалы (рис. 2, Б). Это означает, что здесь выражена изменчивость характеристик плотности и велико влияние максимальных уловов. В то же время на других глубинах обитания серрипеса доверительные интервалы относительно более узкие, и, следовательно, здесь отмечены стабильно низкие показатели плотности.

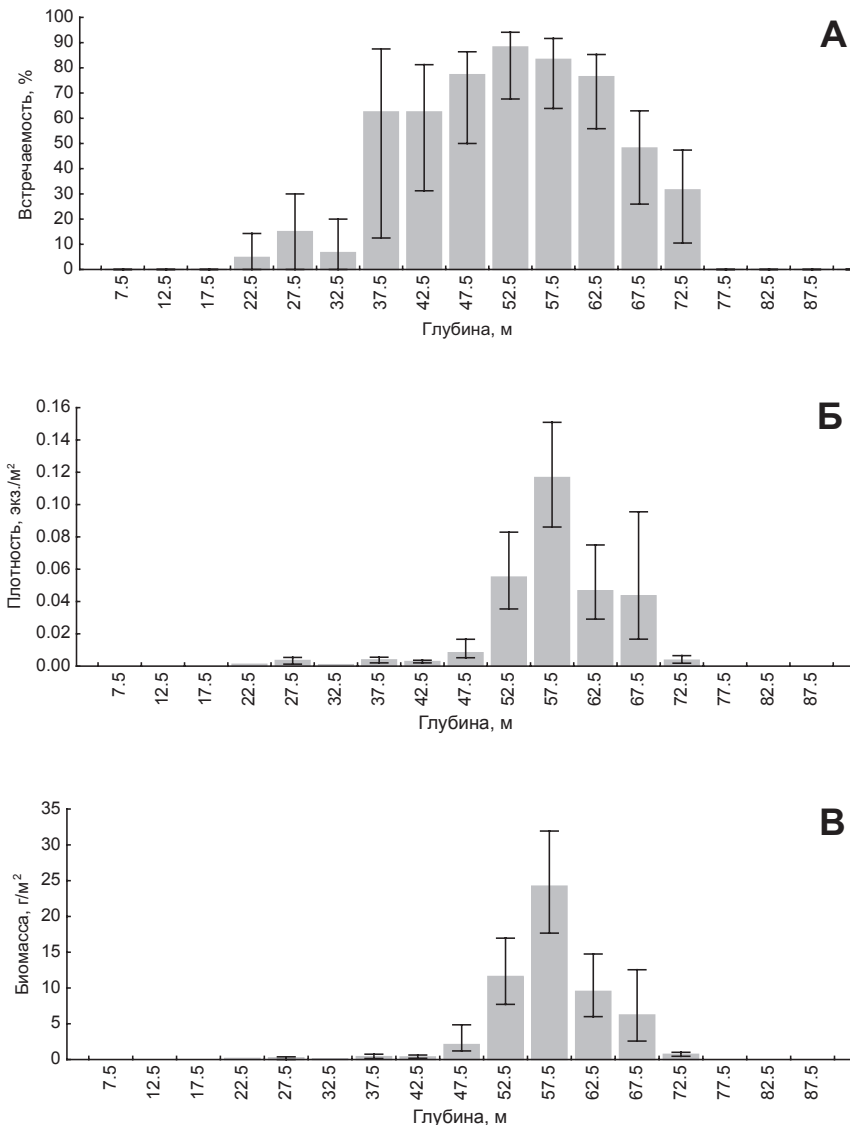


Рис. 2. Частота встречаемости (А), средняя плотность (Б) и биомасса (В) серрипеса по диапазонам глубин

Fig. 2. Occurrence (A, %), mean population density (Б, ind./m²) and biomass (В, g/m²) of *S. groenlandicus*, by depth ranges

Сходная картина характерна и для батиметрического распределения биомассы (рис. 2, В). Наибольшие в среднем показатели биомассы присущи диапазону 50–70 м, при этом максимальные (24,21 г/м²) — интервалу 55–60 м. Для глубин с большой удельной биомассой характерна и ее большая изменчивость и, как следствие, более широкий доверительный интервал. В других местах отмечаются стабильно низкие, мало изменчивые показатели. Исключение составляет лишь диапазон 45–50 м, где средние показатели удельной биомассы относительно невелики (2,09 г/м²), а доверительный интервал относительно широк. По крайней мере он шире, чем на других батиметрических горизонтах с низкой биомассой.

Таким образом, учитывая приведенные выше данные, можно заключить, что для серрипеса в зал. Петра Великого оптимальны глубины 50–65 м. Наибольшие в среднем плотность и биомасса отмечены для изобат 55–60 м.

Рассмотрим приуроченность объекта к грунтам (рис. 3). Наиболее часто моллюск встречался на песчанистом илу (почти 57,0 %) и илистом песке (46,3 % встреч). На чистых илах и на песках данный объект демонстрирует заметно меньшую встречаемость

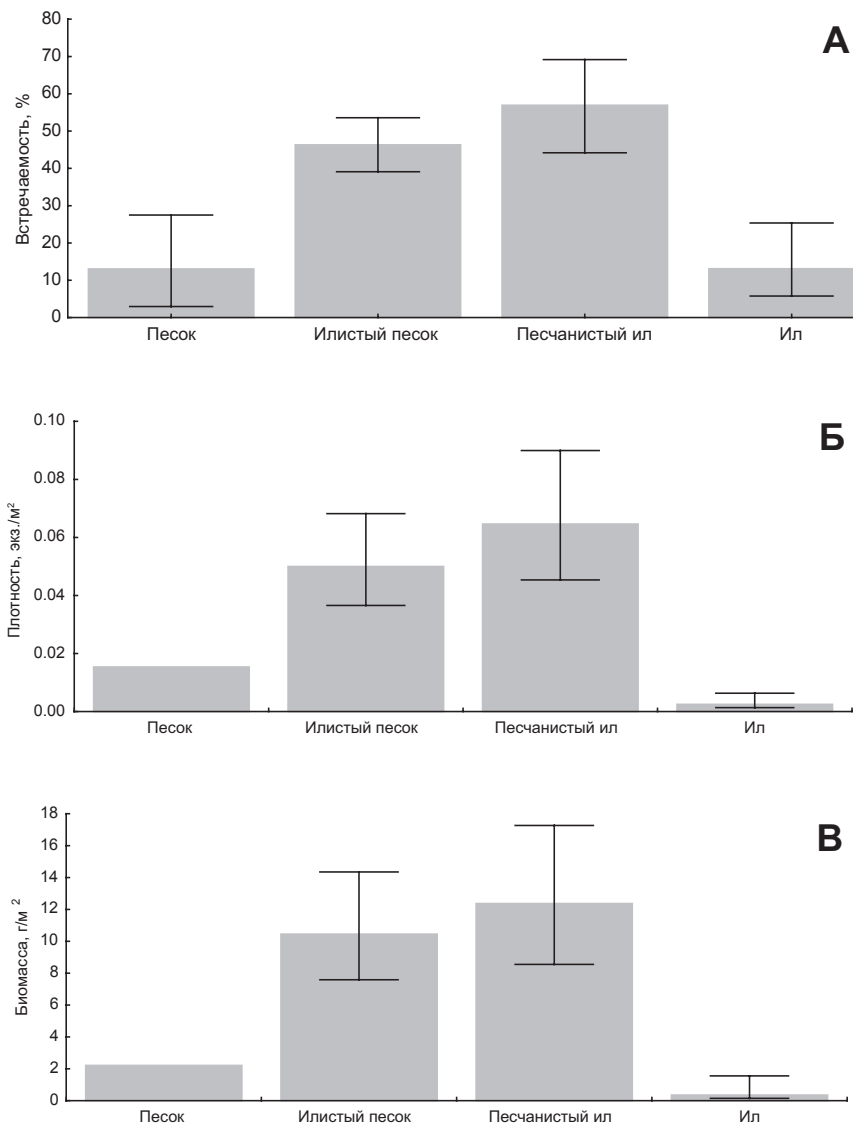


Рис. 3. Частота встречаемости (А), средняя плотность (Б) и биомасса (В) серрипеса в зависимости от типа грунтов

Fig. 3. Occurrence (A, %), mean population density (Б, ind./m²) and biomass (В, g/m²) of *S. groenlandicus*, by types of bottom sediments

(около 13 % на каждом). Но такое распределение встреч серрипеса может объясняться не «предпочтениями» самого моллюска, а соотношением этих грунтов на изученных акваториях залива в целом. Для проверки этой гипотезы мы использовали пространственный критерий хи-квадрат Пирсона (Кобзарь, 2006). Отметим, что в данном случае условия его применения вполне корректны, в связи с чем мы не использовали рандомизацию. В результате получены следующие значения: величина критерия хи-квадрат — 36,34 при трех степенях свободы, уровень значимости $p = 0,0000$. Таким образом, гипотеза однородности может быть отвергнута, и, следовательно, серрипес в зал. Петра Великого демонстрирует четкую приуроченность к определенным типам грунтов. Следует отметить, что 95 %-ные доверительные интервалы частот встреч на илистых песках и песчанистых илах заметно перекрываются (рис. 3, А), что может свидетельствовать об их статистической неразличимости (Гланц, 1998). Чтобы не перегружать данную работу математическими выкладками, мы не стали формулировать и проверять соответствующие гипотезы. Тем не менее, основываясь на изложенных выше фактах, можно сделать заключение о практически одинаковой предпочтительности песчано-илистых и илисто-песчаных субстратов. Аналогичные результаты характерны для илов и песков (рис. 3, А).

На рис. 3 (Б, В) представлены средние показатели плотности и биомассы моллюска в зависимости от грунтов, здесь же даны и их доверительные интервалы. Для песков мы не стали вычислять доверительный интервал, поскольку за трехлетний период работы на таких грунтах было отмечено всего три точки с результативными уловами моллюска. Следовательно, возможны всего 10 вариантов различных сгенерированных выборок (Бродский, 2008). В таких условиях даже бутстреп-процедуры не могут дать удовлетворительных оценок. Напротив, для илистого дна за весь период работы было отмечено 8 уловов серрипеса, что дает 6435 вариантов, применение бутстрепирования в данном случае вполне оправдано. На рис. 3 (Б, В) видно, что наибольшие в среднем плотность и биомасса приурочены к песчанистому илу, а на втором месте — илистый песок. Приведенные выше рассуждения относительно частот встреч и их доверительных интервалов вполне применимы к плотности и биомассе. Таким образом, серрипес предпочитает илисто-песчаные и песчано-илистые донные отложения. Именно здесь он встречается наиболее часто и имеет высокие показатели обилия. Чисто илистые и песчаные грунты не будут в зал. Петра Великого подходящим типом субстрата для данного вида.

По типу питания серрипес является подвижным сестонофагом и потребляет растворенные органические вещества, детрит и микроводоросли (Наумов, 2006). В местах наиболее концентрированных скоплений он выступает как вид-эдификатор, внося свою лепту в трансформацию биотопов, которая выражается в увеличении содержания переработанной им органики (псевдофекалий и фекалий). Не исключено, что повышенные показатели плотности и биомассы моллюсков на песчанистых илах и илистых песках (рис. 3, Б, В) в какой-то мере обусловлены именно такой биотрансформацией.

Зарывающиеся двустворчатые моллюски преобладают в сообществах подвижных сестонофагов верхней сублиторали Японского моря. Их дыхание может составлять до 60 % от общего метаболизма сообщества (Тарасов, 1978, 1981).

Рассмотрим распределение значений плотности моллюска по акватории (рис. 4). Наибольшие плотности поселения серрипеса (от 1 экз. на 100 м²) зафиксированы юго-восточнее островной зоны (о-ва Русский, Рейнеке, Рикорда), в юго-восточной части Уссурийского залива, а также от о-вов Путятин и Аскольд до зал. Восток. Отдельные области с разреженными поселениями отмечены в открытой части зал. Посыета, в центральной части Уссурийского залива, а также в Амурском заливе, северо-западнее о. Русского.

Аналогичная картина характерна для пространственного распределения биомассы моллюска (рис. 5). Области с высокими значениями расположены юго-восточнее о. Русского, южнее о. Желтухина, в юго-восточной, открытой части Уссурийского залива, юго-западнее зал. Восток.

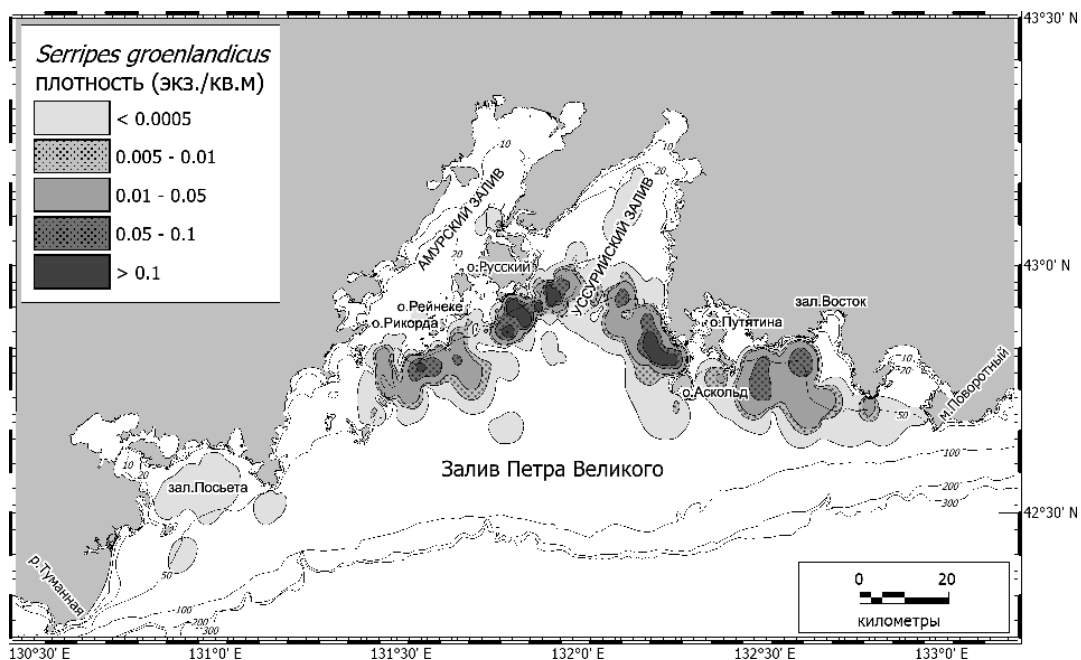


Рис. 4. Распределение показателей плотности (экз./м²) поселения серрипеса в зал. Петра Великого

Fig. 4. Spatial distribution of *S. groenlandicus* population density (ind./m²) in Peter the Great Bay

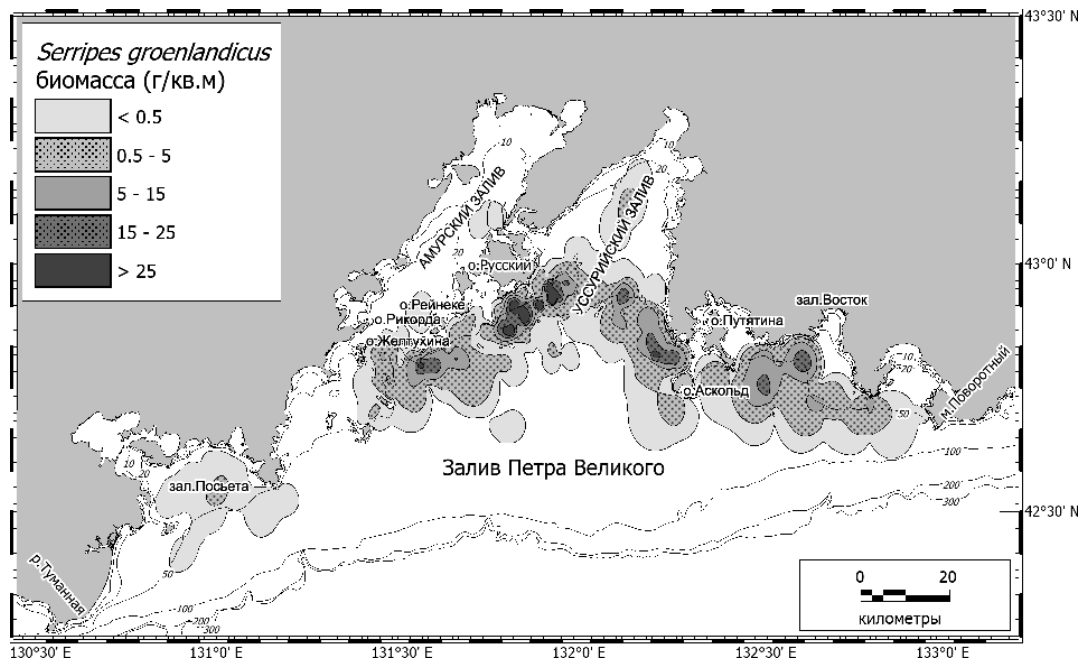


Рис. 5. Распределение показателей биомассы (г/м²) поселения серрипеса в зал. Петра Великого

Fig. 5. Spatial distribution of *S. groenlandicus* biomass (g/m²) in Peter the Great Bay

Основываясь на представленных выше материалах, а именно: местах поимки серрипеса (см. рис. 1), встречаемости (см. рис. 2, А, 3, А), распределении биомассы и плотности (рис. 2, Б, В) по батиметрическим диапазонам, предпочитаемым грунтам (см. рис. 3, Б, В), а также на пространственном распределении плотности и биомассы (см. рис. 4, 5), мы попытались реконструировать ареал серрипеса в зал. Петра Великого. Результаты реконструкции представлены на рис. 6. Обследованная площадь, занятая

этим моллюском в зал. Петра Великого, составляет 2255 км². Ареал состоит из двух неравных областей (рис. 6). Центральная часть простирается от глубоководной котловины южной части Амурского залива через пролив между о. Стенина и о-вами Желтухина и Циволько в широтной протяженности до крайней восточной части в районе мыса Поворотного, ее площадь составляет около 1900 км². Очертания прибрежного контура ареала примерно соответствуют положению изобаты 40 м, а мористого — изобатам 60 и 70 м. К этой же области можно отнести небольшой участок обитания серрипеса площадью 16 км², расположенный в Амурском заливе на выходе из прол. Босфор Восточный. Вполне вероятно, что он непрерывно соединяется с центральной частью через пролив, однако установить это не представляется возможным в связи с тем, что данная акватория принадлежит порту Владивосток и закрыта для проведения дражных работ.

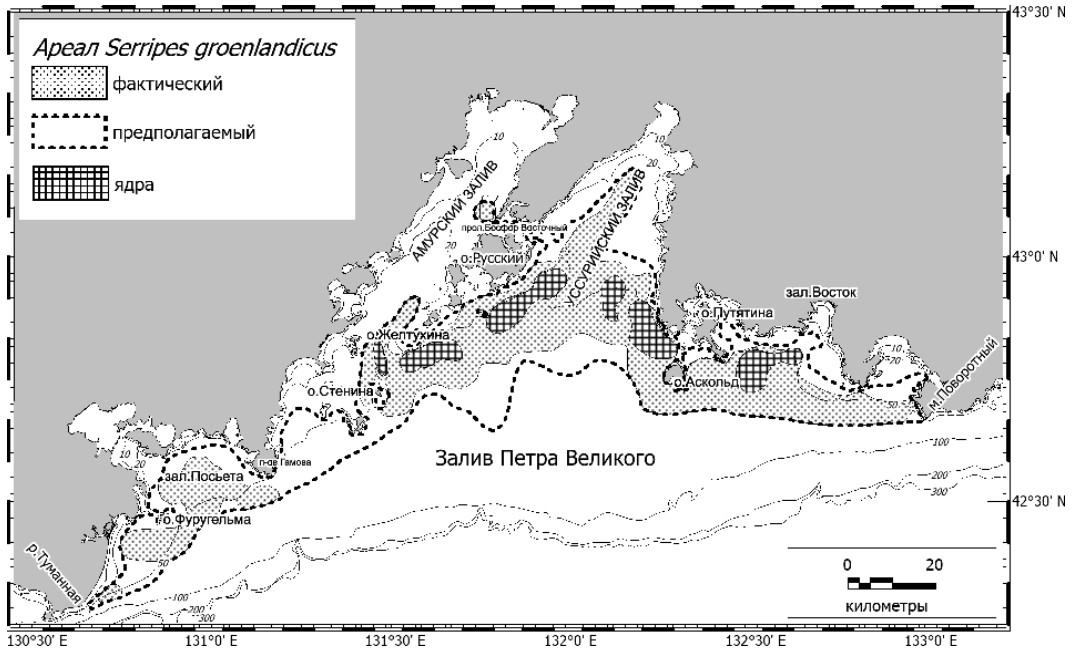


Рис. 6. Карта-схема ареала серрипеса в зал. Петра Великого
Fig. 6. *S. groenlandicus* areal in Peter the Great Bay

Южная часть ареала расположена в юго-западной части зал. Петра Великого и состоит из двух участков: первый находится севернее траверза устья р. Туманной, второй простирается от подводной депрессии, расположенной к юго-западу от о. Фуругельма, до п-ова Гамова, включая котловину центра зал. Посыета, его площадь составляет порядка 340 км².

В представленной схеме существуют разрывы, обусловленные отсутствием живых моллюсков в наших сборах. Они включают в себя акватории, занимаемые Дальневосточным морским биосферным заповедником, на которых невозможно проведение дражной съемки. Мы учли места обнаружения пустых створок серрипеса, наличие предпочитаемых им грунтов и глубин обитания, а также сведения из литературных (Lutaenko, 1999, 2005; Лутаенко, 2002; Lutaenko, Noseworthy, 2012) и собственных данных, в результате чего оценили площадь предполагаемой области распространения вида в водах зал. Петра Великого в 3430 км² (рис. 6).

Серрипес гренландский является бореально-арктическим видом, для которого характерно явление вертикальной субмергенции (Кафанов, Кудряшов, 2000), выражающейся в том, что в южных частях ареала батиметрический диапазон распространения этого холодноводного, относительно стенотермного вида смещается на большие глубины. Южная граница ареала по материковому побережью проходит примерно по середине Корейского полуострова (36–38° с.ш.) (Lutaenko, Noseworthy, 2012), т.е. зал. Петра Великого, с учетом его океанографического режима, можно отнести к южной

части ареала вида. В высокобореальных и арктических морях моллюск обитает даже в самой верхней сублиторали. Например, в Белом море он обнаружен на глубинах от 2 до 70 м, а максимальные его концентрации зафиксированы на 7–10 м (Наумов, 2006). В Татарском проливе живые особи обнаружены до 51° с.ш. на глубинах 10–20 м, максимальная глубина обитания — 62 м (Дуленина, 2013).

Исследования особенностей биологии серрипеса как индикатора изменений окружающей среды и антропогенного воздействия в южной части Баренцева моря с использованием паттернов изотопов ^{18}O и ^{13}C и соотношений Sr/Ca показали, что рост моллюсков прекращается с повышением температуры осенью и возобновляется ранней весной, когда отмечаются минимальные значения температуры. Однако основным инициатором роста моллюсков являются не изменения температуры, а наличие пищи — так называемое «весеннее цветение» фитопланктона (Carroll et al., 2009). У раковин серрипеса из зал. Петра Великого годовые метки соответствуют максимумам температур роста (6,5–7,6 °C), т.е. теплая вода ингибирует рост (Явнов, Игнатъев, 2009). Аналогичные результаты получены при изучении моллюсков из вод восточной Канады (Kilada et al., 2007). Оптимальные температуры обитания и размножения серрипеса находятся в пределах соответственно от минус 0,4 до плюс 8,0 °C и от 0 до 10 °C (Golikov and Scarlato, 1973).

Информация о размножении серрипеса в наших водах практически отсутствует, однако известно, что в Амурском заливе пелагические личинки серрипеса встречаются в апреле-июне (Куликова и др., 2014). Поэтому можно предположить, что в водах зал. Петра Великого массовый нерест моллюсков наблюдается весной, что соответствует экологическим предпочтениям вида в других частях ареала (Garcia et al., 2003).

По неопубликованным данным М.В. Калининой, у серрипеса, собранного 13 сентября 2016 г. в юго-западной части Уссурийского залива с глубины 48–60 м, гонады находились в нерестовом состоянии. Индекс мягких тканей моллюсков составлял в среднем $49,30 \pm 1,80\%$, что значительно выше, чем у особей из этого района, выловленных в июле-августе 2010 г. — $35,57 \pm 0,45\%$ (Явнов, Соколенко, 2011) и в июне-июле 2012 г. — $25,80 \pm 3,80\%$ (Шульгина и др., 2015). Вероятно, у серрипеса в зал. Петра Великого может наблюдаться два пика нереста — весенний и осенний.

Приуроченность основных концентраций серрипеса в зал. Петра Великого к диапазону глубин 50–60 м можно объяснить воздействием нескольких факторов. Отмечено, что в зал. Петра Великого глубже 50 м практически не наблюдается сезонных изменений температуры.

Зимой вследствие льдообразования и выхолаживания формируется поток плотной холодной воды, который движется из Амурского залива через прол. Босфор Восточный, формируя антициклональную циркуляцию вокруг о. Русского, летом наблюдается обратный поток. Повышенное содержание биогенов и пониженные концентрации кислорода к югу от о. Русского зимой и ранней весной свидетельствуют о проникновении сюда глубинных вод открытого моря (Сойфер, 2002). Этот апвеллинг инициирует зимнюю и весеннюю вспышки фитопланктона, которые, в свою очередь, запускают процесс нереста серрипеса, обеспечивая его пелагические личинки обильным кормом.

Описанная выше картина вполне согласуется с пространственным распределением моллюсков (см. рис. 4, 5), зонам апвеллинга соответствуют участки с повышенными показателями обилия животных (ядра).

Наблюдения за оседанием личинок двустворчатых моллюсков на искусственные субстраты в Исландии показали, что серрипес оседает в августе и сентябре при прогреве воды свыше 8 °C (Garcia et al., 2003). Где обитают личинки после нереста, каковы особенности и длительность пелагической стадии — неизвестно. Вполне возможно, что у данного вида имеет место два типа оседания — личиночное и постличиночное, отмеченное для *Mytilus trossulus* из зал. Восток Японского моря (Семенихина и др., 2000). После нереста планктотрофные личинки пребывают в пелагической стадии в течение нескольких недель, концентрируясь в районе обитания взрослых особей, активно питаясь фитопланктоном, часть личинок уносится течениями, обеспечивая функцию расселения, а оставшаяся оседает на дно. Это наиболее характерная репродуктивная

стратегия для двустворчатых моллюсков с пелагическим развитием (Милейковский, 1981; Касьянов, 1989). Какое-то время осевшие личинки находятся на дне, прикрепляясь биссусом к субстрату, а затем летом, с изменением направления придонных течений, начинают открепляться и мигрировать, пока будет позволять масса ювенильной раковины. Вероятно, такой механизм вторичного постличиночного оседания и наличие двух пиков нереста и позволил этому бореально-арктическому виду существенно расширить свой ареал на юг, образуя порой эфемерные поселения, не имеющие собственного воспроизводства и пополняющиеся только миграцией извне.

Проанализировав пространственное распределение размерных групп серрипеса, мы отметили тенденцию обособленного обитания самых мелких моллюсков, встречающихся на периферии скопления на глубинах менее 40 и более 60 м. Вероятно, эти области не вполне благоприятны для существования вида. Личинки моллюсков регулярно заносятся сюда течениями, однако редко выживают и растут, не достигая дефинитивных размеров. Возможно, что это стерильные области выселения (Кафанов, Кудряшов, 2000), т.е. особи, обитающие здесь, не участвуют в размножении. Наиболее крупные, старые моллюски найдены в районах локальных депрессий дна только на глубинах свыше 40 м, что объясняется наличием в этих районах стационарных условий среды, максимально удовлетворяющих потребности вида.

Не исключено, что *S. groenlandicus* может выступать как индикатор условий среды. Его наиболее плотное скопление, расположенное в центральной части зал. Петра Великого, маркирует зону апвеллинга холодных придонных вод с повышенным содержанием биогенов. Обнаружение живых особей данного вида на какой-либо акватории в южной части его ареала может свидетельствовать о постоянном или регулярном влиянии глубинной шельфовой водной массы на этот район.

Как указано ранее, для получения оценки ресурсов серрипеса в зал. Петра Великого мы использовали метод изолиний (Аксютин, 1968). На его основе была организована соответствующая бутстреп-процедура. Подробное описание техники вычислений выходит за рамки настоящей работы, поэтому приведем только результаты. Средняя оценка ресурсов в штучном выражении составила 45488 тыс. экз. при 95 %-ном доверительном интервале 44007–50078 тыс. экз. В весовом выражении оцененный запас составил 8731 т с интервалом 8538–9831 т.

Заключение

Подводя итоги исследований, можно заключить, что в зал. Петра Великого гренландский серрипес обитает на глубинах от 20 до 75 м. Наиболее плотные его скопления отмечены на песчаных илах в центральной части залива в диапазоне 55–60 м. Изученная площадь поселения составляет 2255 км², предполагаемая — 3430 км². В зал. Петра Великого этот моллюск можно рассматривать как вид-индикатор, который своим присутствием маркирует глубинные водные шельфовые массы. Оцененный по нашим данным диапазон ресурсов серрипеса лежит в пределах 8538–9831 т, в среднем составляя 8731 т. В целом по заливу серрипес является обычным объектом, а в пределах своего ареала — многочисленным.

Список литературы

- Аксютин З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1968. — 288 с.
- Боровиков В.П.** STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. 2-е изд. : моногр. — СПб. : Питер, 2003. — 688 с.
- Бродский Я.С.** Статистика. Вероятность. Комбинаторика : учеб. пособие. — М. : Оникс ; Мир и Образование, 2008. — 544 с.
- Гланц С.** Медико-биологическая статистика : моногр. — М. : Практика, 1998. — 459 с. (Пер. с англ.)
- Дуленина П.А.** Видовой состав двустворчатых моллюсков западной части Татарского пролива Японского моря // Бюл. Дальневост. малакол. о-ва. — 2013. — Вып. 17. — С. 27–78.

Ерунова М.Г., Гостева А.А. Географические и земельно-информационные системы. Ч. 2. Картографирование средствами инструментальной ГИС MapInfo : методические указания. — Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2004. — 83 с.

Касьянов В.Л. Репродуктивная стратегия морских двустворчатых моллюсков и иглокожих : моногр. — Л. : Наука, 1989. — 181 с.

Кафанов А.И., Кудряшов В.А. Морская биогеография. Учебное пособие. — М. : Наука, 2000. — 176 с.

Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников : моногр. — М. : Физматлит, 2006. — 816 с.

Куликова В.А., Колотухина Н.К., Омеляненко В.А. Пелагические личинки двустворчатых моллюсков Амурского залива Японского моря // Биол. моря. — 2014. — Т. 40, № 5. — С. 342–352.

Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б., Горбунова А.А. О применении и мощности критериев проверки однородности дисперсий. Ч. I. Параметрические критерии // Измерительная техника. — 2010. — № 3. — С. 10–16.

Лутаенко К.А. Фауна двустворчатых моллюсков Амурского залива (Японское море) и прилегающих районов. Часть 1. Семейства Nuculidae — Cardiidae // Бюл. Дальневост. малакол. о-ва. — 2002. — Вып. 6. — С. 5–60.

Мастицкий С.Э., Шитиков В.К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R : метод. пособие : электронная книга. — 2014 (<http://r-analytics.blogspot.com>).

Мизюркин М.А., Явнов С.В. Универсальная дрга для учетных работ и добычи закапывающихся моллюсков // Рыб. хоз-во. — 2013. — № 4. — С. 93–96.

Микучич Л.В. Выедание терпугом крупных моллюсков *Serripes groenlandicus* // Изв. ТИНРО. — 1949. — Т. 31. — С. 199–200.

Милейковский С.А. Экология размножения морского бентоса : моногр. — М. : Наука, 1981. — 91 с.

Наумов А.Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа : моногр. — СПб. : ЗИН РАН, 2006. — 367 с. (Исслед. фауны морей; Т. 59(67).)

Семенихина О.Я., Колотухина Н.К., Брыков В.А. Вторичное оседание тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus* в заливе Восток Японского моря // Бюл. Дальневост. малакол. о-ва. — 2000. — № 4. — С. 102–103.

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

Сойфер В.Н. Радиоэкология северного шельфа Японского моря : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2002. — 254 с.

Тарасов В.Г. Дыхание донных сообществ мягких грунтов залива Восток (Японское море) в зависимости от факторов среды и плотности поселений макробентоса // Биол. моря. — 1981. — № 2. — С. 32–39.

Тарасов В.Г. Распределение и трофическое районирование донных сообществ мягких грунтов залива Восток Японского моря // Биол. моря. — 1978. — № 6. — С. 16–22.

Тупоногов В.Н., Кодолов А.С. Полевой определитель промысловых и массовых видов рыб дальневосточных морей России. — Владивосток : Русский Остров, 2014. — 336 с.

Шейко Б.А., Федоров В.В. Глава 1. Класс Cephalaspidomorphi — Миноги. Класс Chondrichthyes — Хрящевые рыбы. Класс Holocephali — Цельноголовые. Класс Osteichthyes — Костные рыбы // Каталог позвоночных Камчатки и сопредельных морских акваторий. — Петропавловск-Камчатский : Камчатский печатный двор, 2000. — С. 6–85.

Шитиков В.К. Использование рандомизации и бутстрепа при обработке результатов экологических наблюдений // Принципы экологии. — 2012. — Т. 1, № 1. — С. 4–24.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R : моногр. — Тольятти : Кассандра, 2013. — 289 с.

Шульгина Л.В., Соколенко Д.А., Давлетшина Т.А. и др. Характеристика двустворчатого моллюска серрипеса гренландского (*Serripes groenlandicus*) в связи с его рациональным использованием // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 181. — С. 263–272.

Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа : сб. статей. — М. : Финансы и статистика, 1988. — 263 с. (Пер. с англ.)

Явнов С.В., Игнатъев А.В. Выделение годовых слоев и рост закапывающихся моллюсков серрипеса *Serripes groenlandicus* и сердцевидки *Clinocardium californiense* // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 158. — С. 187–194.

Явнов С.В., Соколенко Д.А. Распределение и особенности биологии серрипеса гренландского в заливе Петра Великого Японского моря // Морские прибрежные экосистемы. Водорос-

ли, беспозвоночные и продукты их переработки : тез. докл. Четвертой междунар. науч.-практ. конф. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2011. — С. 122–123.

Carroll M.L., Johnson B.J., Henkes G.A. et al. Bivalves as indicators of environmental variation and potential anthropogenic impacts in the southern Barents Sea // *Mar. Pollut. Bull.* — 2009. — Vol. 59, Iss. 4–7. — P. 193–206.

Christian J.R., Grant C.G.J., Meade J.D., Noble L.D. Habitat Requirements and Life History Characteristics of Selected Marine Invertebrate Species Occurring in the Newfoundland and Labrador Region : *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* — 2010. — № 2925. — 226 p.

Dolgov A.V., Yaragina N.A. Daily feeding rhythms and food intake of the Barents Sea cod and haddock in the summer of 1989 : ICES Council Meeting (Collected Papers). — Copenhagen (Denmark), 1990. — 22 p.

Fisher K.I., Stewart R.E.A. Summer foods of Atlantic walrus, *Odobenus rosmarus rosmarus*, in northern Foxe Basin, Northwest Territories // *Can. J. Zool.* — 1997. — Vol. 75, № 7. — P. 1166–1175.

Garcia E.G., Thorarinsdottir G.G., Ragnarsson S.A. Settlement of bivalve spat on artificial collectors in Eyjafjordur, North Iceland // *Hydrobiologia.* — 2003. — Vol. 503(1). — P. 131–141.

Golikov A.N. and Scarlato O.A. Method for indirectly defining optimum temperatures of inhabitation for marine cold-blooded animals // *Mar. Biol.* — 1973. — Vol. 20(1). — P. 1–5.

Howell D.C. Resampling Statistics: Randomization and the Bootstrap. — 2002 (<http://www.uvm.edu/~dhowell/StatPages/Resampling/Resampling.html>).

Jadwiszczak P. Rndom Pro 3.14 Software for classical and computer-intensive statistics available free from the New Rndom Site. — 2009 (<http://www.pjadw.tripod.com>).

Kilada R.W., Roddick D., Mombourquette K. Age determination, validation, growth and minimum size of sexual maturity of the Greenland smoothcockle (*Serripes groenlandicus*, Bruguiere, 1789) in eastern Canada // *J. Shellfish Res.* — 2007. — Vol. 26, № 2. — P. 443–450.

Lutaenko K.A. Additional data on the fauna of bivalve mollusks of the Russian continental coast of the Sea of Japan: middle Primorye and Nakhodka Bay // *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.* — 1999. — Vol. 38, № 5/6. — P. 255–286.

Lutaenko K.A. Bivalve mollusks of Ussuriysky Bay (Sea of Japan). Part 1 // *Бюл. Дальневост. малакол. о-ва.* — 2005. — Вып. 9. — С. 59–81.

Lutaenko K.A., Noseworthy R.G. Catalogue of the Living Bivalvia of the Continental Coast of the Sea of Japan (East Sea). — Vladivostok : Dalnauka, 2012. — 247 p.

Поступила в редакцию 3.04.17 г.

Принята в печать 7.04.17 г.