

РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА И СМЕРТНОСТЬ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ТРЕПАНГА *APOSTICHOPUS* *JAPONICUS* (ASPIDOSHIROTIDA, STICHOPODIDAE) У ОСТРОВА КУНАШИР, ЮЖНЫЕ КУРИЛЫ

С. В. Дубровский¹, Д. И. Вышкварцев²

¹Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Южно-Сахалинск); ²Институт биологии моря ДВО РАН (Владивосток)

Дальневосточный трепанг *Apostichopus japonicus* обитает в прибрежных водах Желтого, Восточно-Китайского, Японского морей и на самом юге Охотского моря на глубинах от 0,5 до 30–40, иногда до 150 м (Левин, 2000). Данный вид голотурии является одним из наиболее полно изученных видов иглокожих. Исследованию дальневосточного трепанга посвящены десятки публикаций, о чем можно судить по монографии В. С. Левина (2000). Однако знания о некоторых аспектах жизнедеятельности данного вида голотурий и, в частности, об особенностях его роста и смертности остаются очень ограниченными. Исследования Ю. Э. Брегмана (1971), М. Г. Бирюлиной и В. Ф. Козлова (1971) более 30 лет остаются единственными детальными отечественными исследованиями возраста данной голотурии в зал. Петра Великого, хотя имеют явные недостатки, что обсуждалось в литературе (Раков, 1982; Селин, Черняев, 1994; Левин, 2000). Имеются сведения о росте трепанга, полученные японскими специалистами (Nanano et al., 1989). Однако темпы роста, смертности, как и некоторые особенности жизнедеятельности трепанга, зависят от локальных условий среды и в пределах ареала могут значительно различаться. Знание возрастной структуры популяции и смертности является обязательным условием рациональной эксплуатации вида. Таким образом, цель настоящего исследования заключалась в изучении размерно-возрастной структуры и смертности дальневосточного трепанга в прибрежье охотоморской стороны острова Кунашир.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материала для изучения размерно-возрастной структуры популяции трепанга проводили у охотоморского побережья острова Кунашир на участке мыс Ивановский – мыс Лесистый (рис. 1) в период август–сентябрь 2000 и 2002 гг. водолазным способом. Работы выполнялись в диапазоне глубин от 0 до 30 м. В отдельных случаях погружения осуществлялись до 40 м. Всего для изучения группового роста было собрано в 2000 г. 5120 особей, а в 2002 г. –

4401 особь трепанга, кожно-мышечные мешки (КММ) которых взвешивались с точностью до 1 г. Значения массы КММ затем группировались в размерно-частотный ряд с интервалом 15 г.

Для изучения возраста трепанга исходили из традиционного представления о том, что распределение размера животных в каждой размерно-возрастной группе подчиняется закону нормального распределения, нерест происходит один раз в году, в августе, а рост особей – изометрический. Весовой рост трепанга описывали классическим уравнением Берталанфи весового роста $W_t = W_\infty * [1 - \exp(-K*(t-t_0))]^3$ (Sparre, Venema, 1998), где W_t – масса в возрасте t лет; W_∞ – асимптотическая масса; t_0 – условный возраст, при котором $W_t=0$; 3 – коэффициент b в уравнении размерно-весового соотношения $W=q*L^b$, при $b=3$ в процессе роста не происходит изменения формы, пропорций тела (рост особи – изометрический).

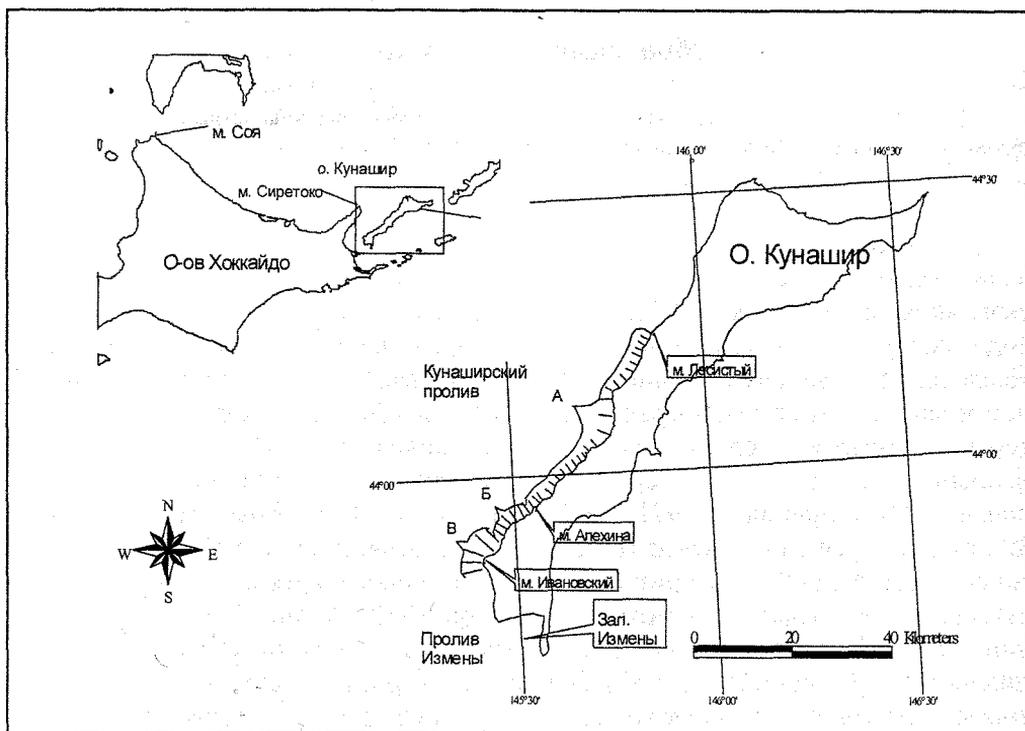


Рис. 1. Район проведения работ у острова Кунашир: А, Б, В – выделенные участки с однотипным размерно-возрастным составом

Оценку параметров роста уравнения Берталанфи, общей смертности и модальный анализ выполняли при помощи программ и методов пакета FISAT (FAO-ICLARM Fish Stock Assessment Tools) (Gayanillo et al., 1996). Для определения среднего асимптотического веса W_∞ использовался метод Powell-Wetherall (Powell, 1979; Wetherall, 1986). Коэффициент роста K нашли при помощи программы ELEFAN. Условный возраст t_0 был вычислен при помощи уравнения Pauly (1979): $\log_{10}(-t_0) = -0.392 - 0.275 \log_{10} W_\infty - 1.038 \log_{10} K$, где W_∞ и K – параметры уравнения Берталанфи. Исходя из представления о нормальном распределении размеров в каждой размерно-возрастной группе, размерно-частотные ряды за 2000 и 2002 гг. были проанализированы при помо-

щи программы модального анализа методом Bhattacharya (Bhattacharya, 1967) для разделения смесей нормального распределения. Оценку общей смертности (Z) отдельно для 2000 и 2002 гг. проводили методом «length-converted catch curve» – в нашем переводе «кривая размерно-частотного преобразования состава улова». Продолжительность жизни была вычислена при помощи уравнения Pauly (Pauly, 1984): $t_{max} = 3/K$, где K – коэффициент роста в уравнении Бергаланфи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первые данные, позволившие составить относительно полное представление об особенностях распределения размерно-возрастных групп трепанга в прибрежье острова Кунашир, были получены в 2000 г. (Дубровский, Вышкварцев, 2002). До этого периода скопления данной голотурии облавливались очень незначительно, и поэтому можно считать, что они находились под влиянием только естественных факторов среды.

В 2000 г. в водолазных сборах присутствовали особи трепанга с массой КММ от 11 до 379 г, при среднем значении $139,2 \pm 56,2$ г (рис. 2А). В 2002 г. масса КММ собранных животных варьировалась в пределах 20–410 г, составив в среднем $132,3 \pm 56,7$ г (рис. 2Б). В результате применения модального анализа для выборок 2000 и 2002 гг. были выделены размерно-возрастные когорты, получены их средние значения и относительное распространение когорт в уловах. Результаты данного анализа представлены в таблице 1. Здесь же, для соответствующего возраста, приведены значения массы КММ, полученные с помощью уравнения Бергаланфи.

Таблица 1

Данные анализа Bhattacharya размерно-частотного распределения дальневосточного трепанга за 2000 и 2002 гг. (рис. 1) и значения W_i для полученного уравнения Бергаланфи

| Возраст, годы | M±SD, г (встречаемость, %) | | Значения W_i для уравнения Бергаланфи |
|---------------|----------------------------|----------------------|---|
| | 2000 г. | 2002 г. | |
| 3 | 77,9±22,2 (4,2) | 77,4±20,1 (26,9) | 78,7 |
| 4 | 130,8±23,6 (59,6) | 136,8±31,6 (34,0) | 132,6 |
| 5 | 178,4±16,0 (19,6) | 181,5±19,4 (26,5) | 183,8 |
| 6 | 214,3±18,3 (11,0) | 228,3±20,7 (9,1) | 227,7 |
| 7 | 261,9±24,2 (3,4) | 264,9±22,5 (3,2) | 263,3 |
| 8 | 297,8±21,8 (0,9) | 299,2±22,5 (0,3) | 291,0 |
| 9 | 310,0±16,1 (1,3) | – – | 312,1 |
| 10 и более | – (0,07) | – – | 327,9 |

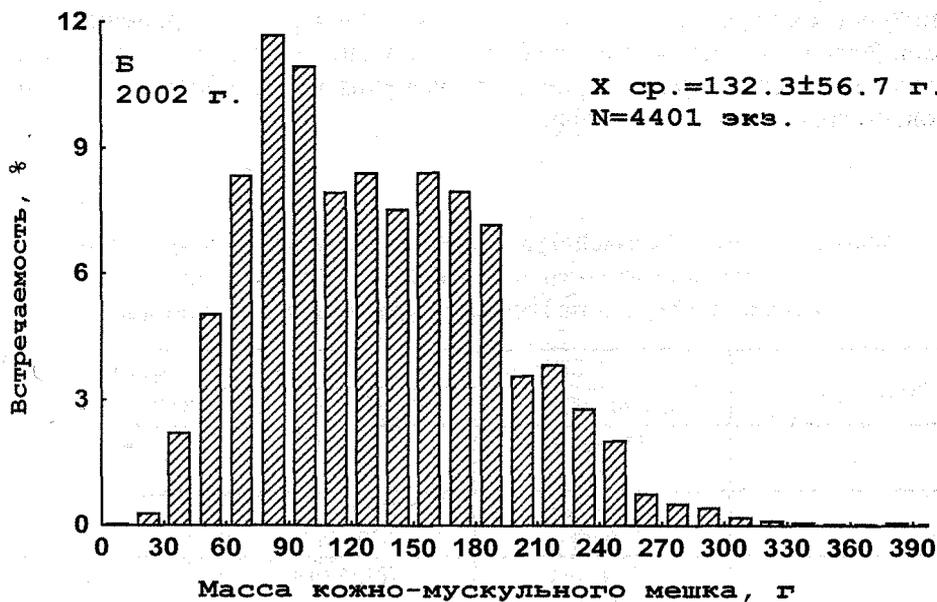
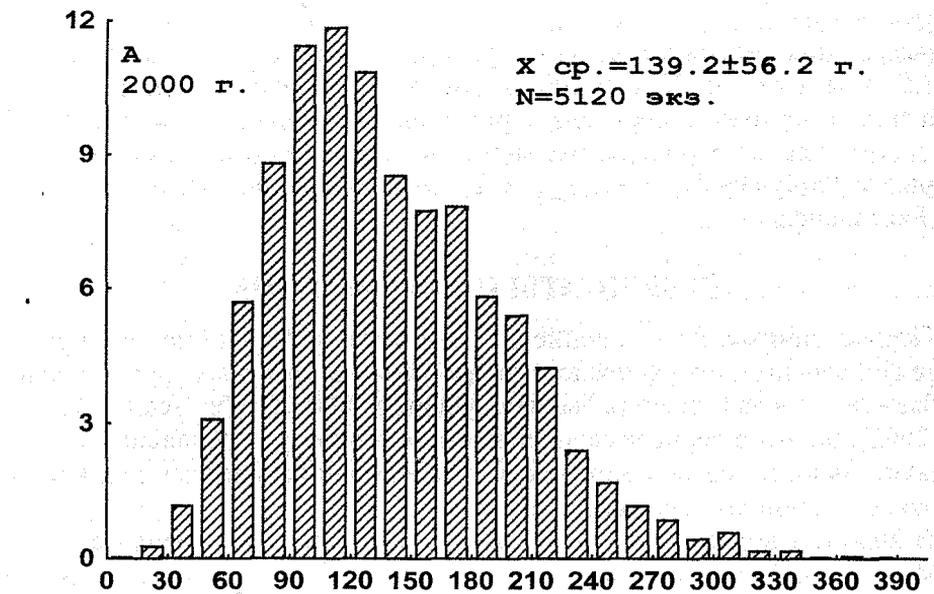


Рис. 2. Размерный состав дальневосточного трепанга у острова Кунашир по массе КММ в 2000 г. (А) и 2002 г. (Б)

Уравнение Бергаланфи для роста массы КММ трепанга имеет следующий вид:

$$W_t = 370.7 * (1 - e^{-0.33 * (t - 0.25)})^3.$$

Данное уравнение хорошо описывает полученные в результате анализа Bhattacharya модальные значения, что отражено в таблице 1, а также на «кривой» роста, построенной с помощью уравнения Бергаланфи (рис. 3).

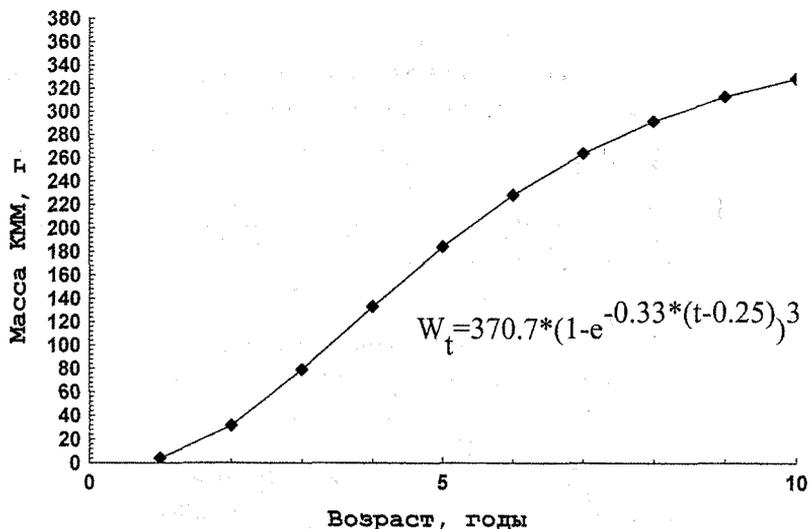


Рис. 3. Теоретическая кривая роста массы КММ трепанга по полученному уравнению Бергаланфи

Наибольшее распространение имели особи возрастом до 6 лет, а в сборах водолазов в основном присутствуют трепанги 4–6-летнего возраста в 2000 г. и 3–6-летнего в 2002 г. (табл. 1). Средние значения массы КММ особей в возрасте 1 и 2 года, согласно уравнению Бергаланфи, составили 3,9 и 31,3 г. Как видно из таблицы 1, наибольшую встречаемость в уловах в 2000 и 2002 гг. имели животные в возрасте 4 года, составив в уловах по всему району в каждом году соответственно 59,5 и 34,0%. Количество особей пятилетнего возраста в 2002 г. относительно 2000 г. было заметно выше – соответственно 26,5 и 19,6%. В более старшем возрасте встречаемость трепангов в 2002 г. относительно 2000 г., в соответствующих возрастных группах, несколько снижается (табл. 1). Так, в девяти- и десятилетнем возрасте в 2002 г. размерно-возрастные когорты уже не идентифицируются, тогда как в 2000 г. была выделена когорта девятилетних особей, встречаемость которых составляла 1,3%, а также очень незначительное количество (0,07%) и более взрослых особей (табл. 1). Таким образом, встречаемость животных возрастом 6 лет и старше в водолазных сборах 2000 г. лишь немногим превышает соответствующие показатели 2002 г. Продолжительность жизни, согласно уравнению Pauly (Pauly, 1984), составила 9 лет. Поскольку в 2000 г. с помощью модального анализа выделялось очень незначительное количество более взрослых животных, продолжительность жизни трепанга, вероятно, можно определить сроком 10 лет.

Японские исследователи (Nanano et al., 1989) проводили работу по изучению роста трепанга, используя для построения размерно-частотной встречаемости промеры длины тела особей, поэтому сравнивать наши данные затруднительно. Можно отметить, что линейный размер голотурий очень сильно изменчив и зависит от многих факторов, что может отразиться на результатах. Лишь Ю. Э. Брегман (1971) приводит данные по массе КММ первых семи возрастных групп, и мы имеем возможность сравнить полученные им данные по росту трепанга в бухте Троицы залива Петра Великого и наши (табл. 2). При этом необходимо сделать поправку на то, что у Брегмана неправильно опреде-

Модальные значения массы КММ трепанга в возрасте 1–8 лет
по данным различных авторов

| Возраст, лет | | | | | | | | Источник |
|--------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 23 | 57 | 100 | 133 | 160 | 180 | 195 | – | Брегман, 1971 |
| 3,04 | 23,9 | 76,0 | 129,9 | 181,4 | 225,7 | 261,7 | 289,8 | По данным авторов |

лен первый возрастной класс, и полученные им значения следует сдвинуть относительно возрастной шкалы вправо, что уже обсуждалось в литературе (Раков, 1982; Селин, Черняев, 1994; Левин, 2000).

Анализируя представленные Брегманом данные, можно видеть, что массовое распространение в скоплениях трепанга в Приморье имели особи возрастом до 6 лет, что характерно и для изучаемого нами района. До 2 лет модальные значения массы КММ в соответствующих возрастных группах имеют близкие значения, т. е. темпы роста трепанга в Приморье и на Курилах до этого возраста примерно одинаковые. Однако начиная с возраста 3 года и старше модальные значения массы в соответствующих возрастных группах на Курилах имеют заметно более высокие значения, и с возрастом разница возрастает. В результате на Кунашире значения массы КММ в возрасте 5 и более лет значительно превосходят аналогичные показатели для бухты Троицы в Приморье. Наши данные по росту трепанга в первые 2 года согласуются и с данными В. А. Ракова (1982), который утверждает, что к возрасту 2 года трепанг может достигать массу тела до 20–30 г.

На рисунке 4 представлены результаты преобразования размерно-частотного распределения голотурий, показанного на рисунке 2, и линии регрессии.

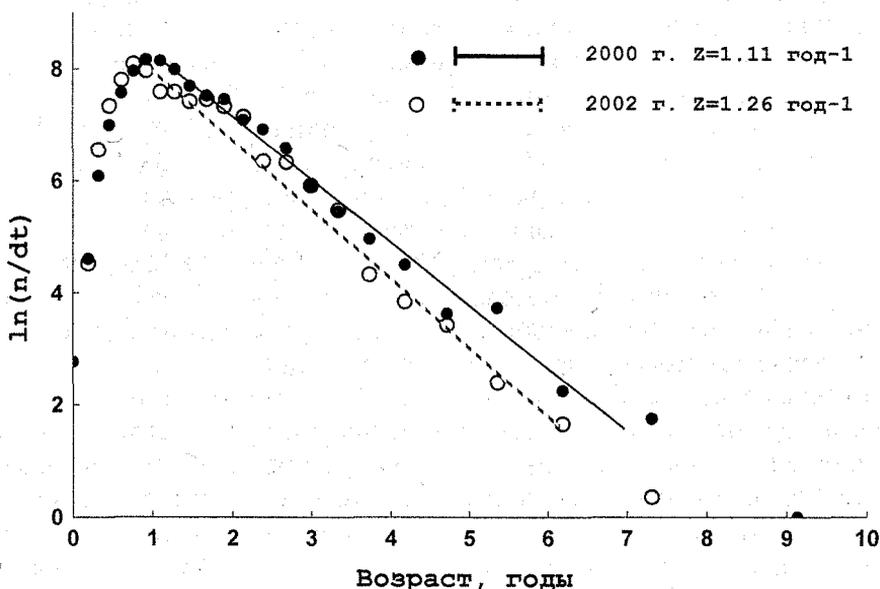


Рис. 4. Размерно-частотное преобразование и линии регрессии для определения смертности по материалам 2000 и 2002 гг.

В данном случае коэффициент регрессии b является коэффициентом общей смертности (Z). Соответственно для 2000 и 2002 гг. он составил $1,11 \pm 0,04$ и $1,26 \pm 0,05$ год⁻¹.

Выше уже говорилось, что до 2000 г. включительно существенного изъятия трепанга у острова Кунашир не проводилось, и численность животных находилась под влиянием только естественных факторов. Поэтому можно принять, что коэффициент общей смертности трепанга (Z), определенный по данным 2000 г., является коэффициентом естественной смертности. О подобном способе указывает А. В. Засосов (1976), назвав его способом оценки коэффициента естественной смертности по составу первого улова.

В результате анализа размерно-возрастного состава уловов трепанга была выявлена пространственная дифференциация размерно-возрастных групп. Средняя масса КММ особей в скоплениях на юге района возрастает. Так, на протяженном участке мыс Лесистый–мыс Алехина (участок (А) [см. рис. 1]) средняя масса КММ трепангов составила $103,4 \pm 46,6$ г. Здесь доминируют, по данным уловов водолаза, животные в возрасте 3 года. На участке (Б) (см. рис. 1) между мысами Алехина и Ивановский средний показатель массы КММ составил $162,4 \pm 39,9$ г. Основное распространение здесь имеют трепанги в возрасте 4–5 лет. На самом южном участке (В) (см. рис. 1) у мыса Ивановский особи с массой КММ менее 120 г встречаются очень редко, и средний вес КММ возрастает до $196,7 \pm 38,8$ г. Здесь в основном распространены голотурии возрастом 5 лет и старше.

ВЫВОДЫ

1. Уравнение роста Бергаланфи массы кожно-мышечного мешка дальневосточного трепанга на южных Курилах имеет вид: $W_t = 370,7 * (1 - e^{-0,33 * (t - 0,25)})^3$.

2. Наибольшее распространение имели особи возрастом до 6 лет, а в сборах водолазов в основном присутствовали трепанги 4–6-летнего возраста в 2000 г. и 3–6-летнего – в 2002 г. Продолжительность жизни трепанга можно определить сроком 10 лет.

3. Коэффициент общей смертности соответственно для 2000 и 2002 гг. составил $1,11 \pm 0,04$ и $1,26 \pm 0,05$ год⁻¹. Можно принять, что коэффициент общей смертности трепанга (Z), определенный по данным 2000 г., является коэффициентом естественной смертности.

4. Средняя масса КММ особей и их возраст на юге района возрастают. Так, на северном участке доминируют животные в возрасте 3 года, средняя масса КММ которых составила $103,4 \pm 46,6$ г. На самом южном участке у мыса Ивановский в основном распространены голотурии возрастом 5 лет и старше, средняя масса КММ которых составила $196,7 \pm 38,8$ г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюлина, М. Г. К методике определения возраста трепанга по весу / М. Г. Бирюлина, В. Ф. Козлов // Зоол. журн. – 1971. – Т. 50, вып. 10. – С. 1564–1568.
2. Брегман, Ю. Э. Рост трепанга (*Stichopus japonicus*) в заливе Петра Великого / Ю. Э. Брегман // Зоол. журн. – 1971. – Т. 50, вып. 6. – С. 839–845.
3. Дубровский, С. В. Распределение дальневосточного трепанга *Apostichopus japonicus* у острова Кунашир, Южные Курилы / С. В. Дубровский, Д. И. Вышкварцев // Биология, состоя-

ние запасов и условия обитания гидробионтов Сах.-Курил. региона и сопред. акваторий : Тр. СахНИРО. – Ю-Сах. : СахНИРО, 2002. – Т. 4. – С. 236–244.

4. **Засосов, А. В.** Динамика численности промысловых рыб / А. В. Засосов. – М. : Пищ. пром-ть, 1976. – 311 с.

5. **Левин, В. С.** Дальневосточный трепанг. Биология, промысел, воспроизводство / В. С. Левин. – СПб. : Голанд, 2000. – 199 с.

6. **Раков, В. А.** Темпы роста и продолжительность жизни дальневосточного трепанга в заливе Посъета / В. А. Раков // Биология моря. – 1982. – № 4. – С. 52–54.

7. **Селин, Н. И.** Особенности распределения, состав поселений и рост дальневосточного трепанга в заливе Восток Японского моря / Н. И. Селин, М. Ж. Черняев // Биология моря. – 1994. – Т. 20, № 1. – С. 73–81.

8. **Bhattacharya, C. G.** A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components / C. G. Bhattacharya // Biometrics. – 1967. – Vol. 23. – P. 115–135.

9. **Gayanilo, F. C.** FAO-ICLARM stock assessment tools (FiSAT). FAO Computerized Information Series (Fisheries) / F. C. Gayanilo, P. Sparre, D. Pauly. – FAO, Rome, 1996. – No. 8. – 262 p.

10. **Hamano, T.** Population dynamics of (Holothuroidea: Echinodermata) in an intertidal zone and on the adjacent subtidal bottom with artificial reefs for Sargassum / T. Hamano, M. Amio, K. I. Hagashi // Suisan zoshoku. – 1989. – Vol. 37. – P. 179–186.

11. **Pauly, D.** Theory and management of tropical multispecies stocks: a review with emphasis on the Southeast Asian demersal fisheries / D. Pauly. – 1979. – ICLARM Studies Review 1. – 35 p.

12. **Pauly, D.** Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators / D. Pauly. – 1984. – ICLARM Studies Review 8. – 325 p.

13. **Powell, D. G.** Estimation of mortality and growth parameters from the length-frequency in the catch / D. G. Powell // Rapp. P.-V. Réun. CIEM, 175. – 1979. – P. 167–169.

14. **Sparre, P.** Introduction to tropical fish stock assessment / P. Sparre, S. C. Venema // Part 1. Manual. FAO Fisheries Technical Paper. – Rome, FAO. – 1998. – No. 306.1, Rev. 2. – P. 1–407.

15. **Wetherall, J. A.** A new method for estimating growth and mortality parameters from length-frequency data / J. A. Wetherall // ICLARM Fishbyte, 4 (1). – 1986. – P. 12–14.

Дубровский, С. В. Размерно-возрастная структура и смертность дальневосточного трепанга *Apostichopus japonicus* (Aspidochirotida, Stichopodidae) у острова Кунашир, южные Курилы / С. В. Дубровский, Д. И. Вышкварцев // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Труды Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – Ю-Сах. : СахНИРО, 2004. – Т. 6. – С. 265–272.

Цель настоящего исследования заключалась в изучении размерно-возрастной структуры и смертности дальневосточного трепанга *Apostichopus japonicus* на основе материала, собранного при проведении водолазных исследований в прибрежье охотоморской стороны о. Кунашир. В результате применения программы по разделению смеси нормальных распределений Bhattacharya были выделены размерно-возрастные когорты, получены их средние значения и относительное распространение когорт в уловах водолазов. С помощью программ пакета FiSAT определены параметры роста трепанга для уравнения Бергаланфи. Установлено, что массовое распространение в сборах водолазов имеют особи возрастом до 6 лет. Продолжительность жизни определяется сроком 9–10 лет. Коэффициент общей смертности соответственно для 2000 и 2002 гг. составил $1,11 \pm 0,04$ и $1,26 \pm 0,05$ год⁻¹. Выявлена дифференциация размерно-возрастного состава вдоль побережья.

Табл. – 2, ил. – 3, библиогр. – 14.

Dubrovskiy, S. V. Size-age structure and mortality of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Aspidochirotida, Stichopodidae) near the Kunashir Island (southern Kuril Islands) / **S. V. Dubrovskiy, D. I. Vyshkvartsev** // Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas : Transactions of the Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography. – Yuzhno-Sakhalinsk : SakhNIRO, 2004. – Vol. 6. – P. 265–272.

The aim of this work is to study a size-age structure and mortality of the Far East sea cucumber *Apostichopus japonicus* based on the material collected during the diving surveys in the coastal zone of Kunashir Island from the Okhotsk Sea side. As a result of applying a program on division of the mixed common distribution of Bhattacharya, the size-age cohorts were distinguished and their mean estimates and relative distribution of cohorts from the divers' catches were obtained. Using a program FiSAT, parameters of the sea cucumber growth for the Bertalanffy equation were determined. It was ascertained that specimens to 6-age have a mass prevalence in the divers' catches. Life duration is determined as 9–10 years. Mortality coefficients, respectively for 2000 and 2002, were $1,11 \pm 0,04$ and $1,26 \pm 0,05 \text{ year}^{-1}$. A differentiation of size-age composition along the coast was revealed.

Tabl. – 2, fig. – 3, ref. – 14.