

ДИНАМИКА РОСТА ОТОЛИТОВ ЖЕЛТОПОЛОСОЙ КАМБАЛЫ *PSEUDOPLEURONECTES HERZENSTEINI* (PLEURONECTIDAE)

© 2021 г. А.Н. Вдовин¹, В.М. Бойко², А.Н. Четырбоцкий³

¹ Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Владивосток, 690091

² ПАО «Находкинская база активного морского
рыболовства», г. Владивосток, 690090

³ Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, 690000

E-mail: vdovin@tinro.ru

Поступила в редакцию 8.04.2021 г.

Динамика роста отолита желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini*, в целом, имеет сходный характер для самцов и самок. За первую треть жизни отолит достигает 2/3 от максимального размера у обоих полов. В росте отолита проявляются два этапа нелинейный и линейный. Половые различия лучше проявляются на начальном этапе. Линейный этап соответствует периоду половозрелости. В росте отолитов самцов больше проявляется скачкообразность, а в росте отолитов самок — монотонность. Удельная скорость роста отолита повышается при смене температурного режима: от весны к лету и от осени к зиме.

Ключевые слова: желтополосая камбала *Pseudopleuronectes herzensteini*, динамика роста отолита, нелинейный и линейный этапы роста.

ВВЕДЕНИЕ

Желтополосая камбала *Pseudopleuronectes herzensteini* распространена в Жёлтом и Японском морях повсеместно, встречается в южной части Охотского моря, в тихоокеанских водах — от юга Хонсю до середины Курильской гряды (Фадеев, 1987; Линдберг, Федоров, 1993; Новиков и др., 2002). Она является промысловым видом в водах России и Японии. Сведения о динамике её роста немногочисленны и носят фрагментарный характер. Публикаций по росту её отолита нами не найдено.

При обсуждении актуальности изучения роста отолитов рыб приоритет отдается связи роста отолита с линейным ростом и возрастом. Главной целью при этом является разработка методик верификации оценок возраста (Шелехов, 2000, 2002; Pannella, 1974; и др.). Кроме того, данные по росту отолита

могут использоваться для исследований по стадийности онтогенеза, полового диморфизма и географической изменчивости рыб (Шелехов, 2017; Фукс, 2020; Stevenson, Campana, 1992; и др.). Динамика роста отолита обычно не рассматривается как самостоятельный предмет исследования.

Цель работы — исследовать динамику роста отолита желтополосой камбалы в течение онтогенеза, за исключением личиночного и малькового периодов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал собран в 2013–2016 гг. в российских водах Японского моря, примыкающих к материковому берегу (морская акватория Приморского и Хабаровского краев). Данные собирались научными судами БИФ ФГБНУ «ВНИРО» — РКМРТ «Бухоро», СТР «Владимир Сафонов» и мотобот «РПР

3098» с конца марта до середины августа при проведении донных траловых съемок. На биологический анализ взято 223 самца, 341 самка и 44 ювенильных рыбы, у которых не удалось определить пол — всего 608 особей. Основной регистрирующей структурой при определении возраста являлся отолит *sagitta*. У некоторых особей просматривались два отолита — правый и левый (Вдовин и др., 2021). Было просмотрено 233 отолита у самцов, 351 отолит у самок и 54 отолита у ювенильных рыб — всего 638 отолитов. Общая длина тела (*TL*) варьировала от 5,5 до 40,2 см.

Радиус отолита измерялся от центра до заднего края в виду его наибольшей величины. Объем выборки промеров отолитов составил 18109 значений. Соответственно такой же объем выборки оказался и для расчетных значений возраста. Методика определения возраста подробно описана в отдельной публикации (Вдовин и др., 2021).

Данные усреднялись по возрастным интервалам: для возрастной группы 1–15 месяцев, через 0,5 месяца, в даль-

нейшем через 1 месяц. Количество усредненных значений и по возрасту, и по промерам радиуса для каждого параметра отолита для ювенальных особей составило 22, для самцов 111 и для самок — 199; в целом 332 пары значений по экспертным оценкам возраста и промерам радиуса отолита.

Мерой интенсивности роста отолита выступает удельная (относительная) скорость роста $k(t_i)$ (Вдовин и др., 2017):

$$k(t_i) = \frac{1}{r_i} \times \frac{r_{i+1} - r_i}{t_{i+1} - t_i},$$

где r и t — радиус отолита и возраст особи, i и $i+1$ — текущий и последующий возрастные шаги.

Для сравнения величин разных порядков удельной скорости применялась процедура логарифмирования их значений, умноженных на 1000.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отолиты желтополосой камбалы растут всю жизнь (рис. 1). Визуальный анализ, в представленном масштабе, не выявляет половых различий в динамике

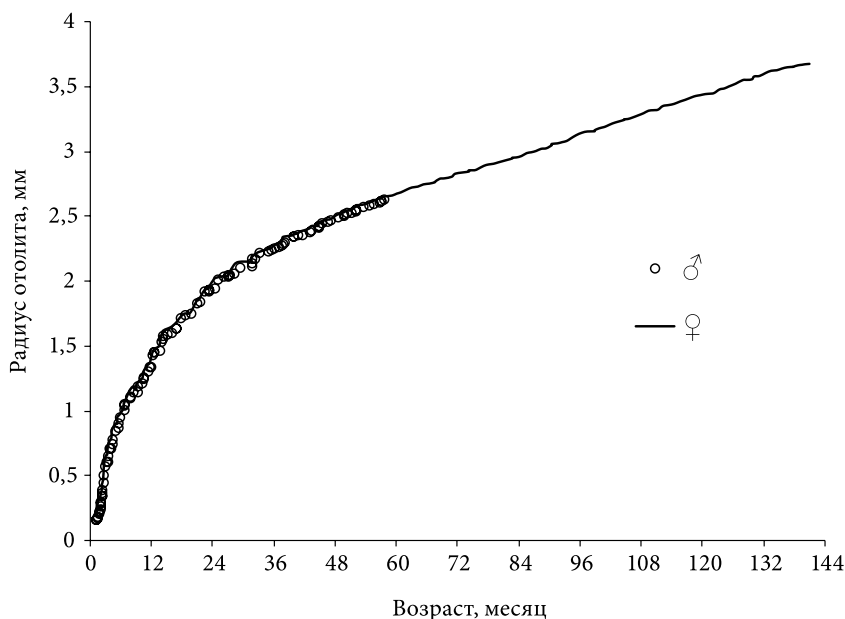


Рис. 1. Рост отолита у самцов и самок желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini*.

ке роста отоликов. Тем не менее, во всех возрастных классах средние значения радиуса отоликов у самцов меньше, чем у самок.

В нашей выборке продолжительность жизни самцов в 2,4 раза меньше, чем у самок: соответственно 57,6 мес. (4,8 года) и 141 мес. (11,8 года). Из-за разной продолжительности жизни про-

тяженность этапов роста отолита у самцов и самок отличается. Начальный этап нелинейного роста у самцов длится 33 мес. (2,8 года), а у самок — 48 мес. (4 года) (рис. 2а).

На этом этапе половые различия в росте отолита проявляются более отчетливо, чем на предыдущем. Эти различия проявляются и на логарифмических

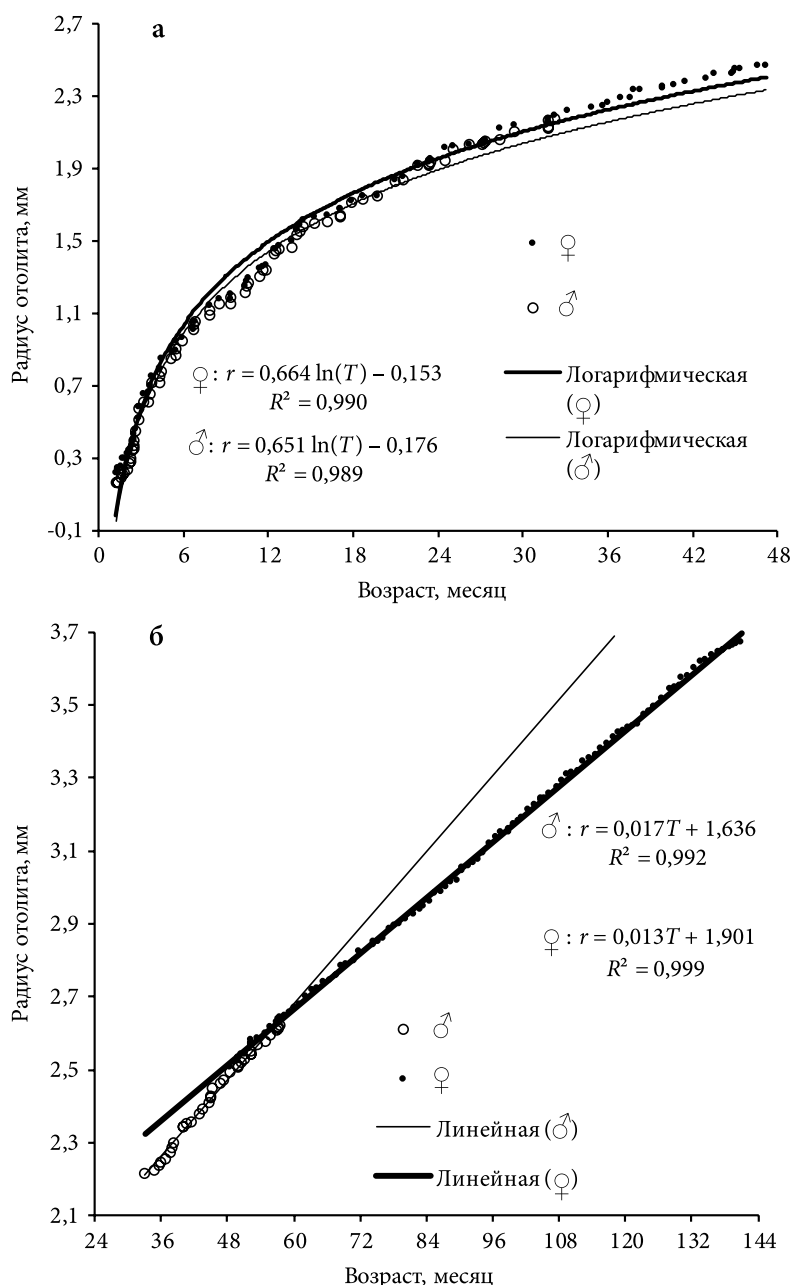


Рис. 2. Нелинейный (а) и линейный (б) этапы роста отолита у желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini*.

трендах зависимости возраст-радиус отолита.

Следующий, линейный этап роста у самцов длится с 33 до 57,6 мес. (2,1 года), а у самок с 48 до 141 мес. (7,8 года) (рис. 26). По-видимому, продолжительность жизни самцов и самок несколько больше, чем в рассматриваемой выборке. Представляется, что значительными эти различия быть не могут.

В нашей выборке длина самого большого самца составляла 33,1 см, а самки — 40,2 см. Общая выборка промеров (объединенная с биологическими анализами) за 1978–2020 гг. составляет 10697 экз. Следует отметить, что в базе данных ТИНРО имеются артефакты, связанные, прежде всего, с забивкой данных. Тщательная корректировка данных позволила выявить, что длина самого большого экземпляра составляла 44 см (Панченко и др., 2016). Доля рыб крупнее 40 см составляла всего 0,21%. Это при том, что крупные экземпляры почти всегда отбирались для биологического анализа. На биологический анализ было взято 1539 самцов. В размерном классе 33–34 см было проанализировано 22 экз., в том числе и 2 особи из нашей выборки. Размерный класс 34–35 см был представлен 10 экз., а последний размерный класс 35–36 см включал 2 особи. В целом на самцов крупнее 34 см приходилось 0,78%.

Предположительно максимальная продолжительность жизни самцов составляет 5 лет, а самок 12–14. Период линейного роста, как у самцов, так и у самок является периодом половозрелости. У самцов к концу третьего года встречаются только половозрелые особи, а у самок, с пятого года — впервые созревающие и половозрелые.

Если говорить об относительной протяженности этих периодов, то половые различия получаются весьма зна-

чительными. У самцов нелинейный этап роста составляет 56% от продолжительности жизни, а линейный — 44%. У самок длительность соответствующих этапов составляет 33,5% и 66,5%. Вероятно, благодаря большей продолжительности жизни самок период относительно стабильного линейного роста составляет 2/3 онтогенеза.

Тем не менее, в росте отолита у разных полов, в большей степени проявляются общие закономерности. Особенно наглядно они проявляются при сопоставлении относительных радиусов отолитов в **безразмерной** шкале времени (Мюррей, 2009) (рис. 3). Первую треть жизни рост отолитов самцов отстает от роста самок, затем превосходит.

При этом рост самок более равномерен, устойчив, а рост самцов больше подвержен спорадическим колебаниям. Иначе говоря, в росте отолитов самцов больше проявляется скачкообразность, а в росте отолитов самок — монотонность. В целом, графическое представление распределения относительных размеров отолитов по шкале безразмерного времени у обоих полов весьма сходно. У того и другого пола за одну треть жизни отолит достигает 2/3 от максимального размера.

Приросты отолитов на большем протяжении онтогенеза имеют минимальные различия (рис. 4). В среднем, приросты самок крупнее всего на 0,003 мм.

Более крупные отолиты у самок (в среднем) в любом возрасте, определяются значительной разницей на первых месяцах жизни. В возрасте 1,5 мес. радиус отолита у самок в 1,26 раза больше, чем у самцов: соответственно 0,236 и 0,187 мм (рис. 4). В дальнейшем разница по приростам между самками и самцами практически нивелируется: средняя величина половых различий приро-

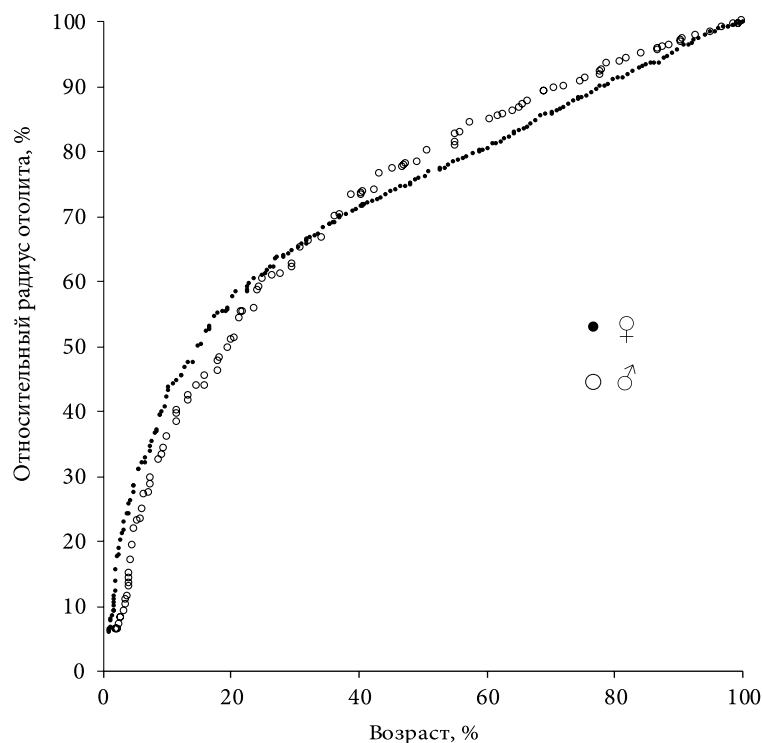


Рис. 3. Относительный рост отолита у самцов и самок желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini*. Безразмерные шкалы строятся относительно максимальных размеров отолитов и максимального возраста для каждого пола.

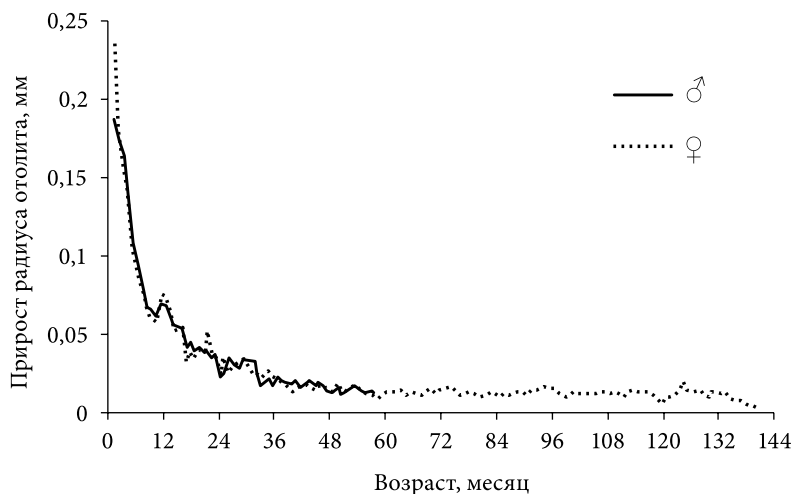


Рис. 4. Приросты отолитов у самцов и самок желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini*.

ста отолита приближается к 0 и составляет 0,0003 мм.

Вероятнее всего, в первые полтора месяца, скорость роста отолита у самок, должна быть значительно выше, чем у самцов. Не имея информации о размерах отолита в личиночном периоде,

мы не можем определить величины скорости. В дальнейшем удельная скорость роста отолита и динамика этого показателя практически не отличается у самцов и самок.

Удельная скорость роста самок составляет 98,8% от скорости самцов.

Синхронность изменения удельной скорости у самок и самцов позволяет выявить общие закономерности в сезонной динамике роста отоликов (рис. 5).

В целом, удельная скорость понижается с возрастом, достигая минимума к концу онтогенеза. Рост отолика, как регистрирующая структура, только отражает рост рыбы. Скорость роста, в свою очередь, отражает интенсивность обмена веществ (Бретт, Гроувс, 1983; Дгебуадзе, 2010). Постепенное снижение обмена веществ с возрастом характерно для многих групп позвоночных (Шмидт-Ниельсен, 1987). Возможно резкое снижение удельной скорости роста отолика, с конца 11-го года, позволяет предположить, что возраст 11–12 лет близок к предельному.

Для возрастной изменчивости роста отолика, с дискретностью 1 год, характерно плавное понижение его скорости, которое хорошо описывается логарифмической зависимостью (рис. 5). Сезонная изменчивость скорости роста, напротив характерна скачкообразными изменениями. Все значения выше линии тренда, обозначенные не закрашенными маркерами, мы условно называем пиковыми. Из ряда наблюдений в 47 значе-

ний на пиковые приходится 18. Из них по 6 приходится на лето и зиму и по 3 — на весну и осень. При этом резкое повышение скорости наблюдается только при переходе от весны к лету, или от осени к зиме.

Обычно принимается, что у пойкилотермных животных повышение температуры, как правило, ускоряет биохимические реакции и повышает интенсивность физиологических процессов (Шмидт-Ниельсен, 1982; и другие). Вместе с тем, многочисленные эксперименты показывают, что большее стимулирующее действие на обмен веществ рыб оказывают смена температурного режима и, особенно, осцилляция температуры (Бретт, 1983; Константинов и др., 1989, 1996). Л. Проссер (1977) приводит показательный пример в опытах с серебряным карасем *Carassius auratus gibelio*: избыточный подъем интенсивности обмена наблюдается при быстром изменении температуры в том и другом направлениях. В данном случае, удельная скорость роста отолика обычно повышается при повышении температуры во время перехода от весны к лету и при понижении температуры от осени к зиме. Следует добавить, что в эти

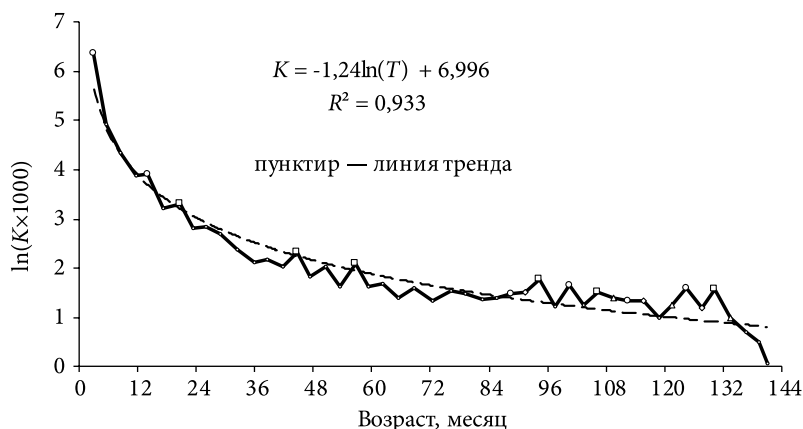


Рис. 5. Сезонная динамика скорости роста отоликов у желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini*. Условные обозначения: ниже линии тренда — точки; выше линии тренда не закрашенные маркеры: кружок — лето, ромб — осень, квадрат — зима, треугольник — весна.

переходные периоды разрушаются относительно стабильные термические структуры — зимняя и летняя (Зуенко, 1994).

ВЫВОДЫ

1. Динамика роста отолита имеет сходный характер для самцов и самок. За первую треть жизни отолит достигает 2/3 от максимального размера у обоих полов.

2. Размеры отолитов у самцов в любом возрасте, в среднем, меньше, чем у самок. Данное обстоятельство определяется начальным периодом жизни. В первые полтора месяца радиус отолита у самок в 1,26 раза больше, чем у самцов. В дальнейшем приросты отолитов у обоих полов практически не различаются.

3. В первую треть жизни относительные размеры отолитов у самцов меньше, чем у самок; последние 2/3 жизни, напротив — крупнее.

4. В росте отолитов самцов больше проявляется скачкообразность, а в росте отолитов самок — монотонность.

5. В росте отолита проявляются два этапа нелинейный и линейный. Половые различия лучше проявляются на начальном этапе. Линейный этап соответствует периоду половозрелости.

6. Удельная скорость роста отолита повышается при смене температурного режима: от весны к лету и от осени к зиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бретт Д.Р. Факторы среды и рост // Биоэнергетика и рост рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. С. 275–345.
- Бретт Д.Р., Гроувс Д.Д. Физиологическая энергетика // Биоэнергетика и рост рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. С. 203–274.
- Вдовин А.Н., Четырбоцкий А.Н., Бойко М.И. Динамика роста полосатой камбалы *Liopsetta pinnifasciata* (Pleuronectidae) залива Петра Великого (Японское море) // Вопр. ихтиологии. 2017. Т. 57. № 3. С. 275–281.
- Вдовин А.Н., Бойко В.М., Четырбоцкий А.Н. Методика определения возраста желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini* Jordan et Snyder, 1901 (Pleuronectidae) // Вопр. рыболовства. 2021. Т. 22. № 1. С. 100–109.
- Джебуадзе Ю.Ю. Оценки возраста и роста в популяционных исследованиях рыб // Актуальные проблемы современной ихтиологии. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. С. 96–123.
- Зуенко Ю.И. Типы термической стратификации вод на шельфе Приморья // Комплексные исследования морских гидробионтов и условий их обитания. Владивосток: ТИНРО, 1994. С. 20–39.
- Константинов А.С., Зданович В.В., Тихомиров Д.Г. Влияние осцилляции температуры на энергетику роста рыб // Вопр. ихтиологии. 1989. Т. 29. Вып. 6. С. 1019–1027.
- Константинов А.С., Зданович В.В., Костюк Ю.А., Соловьева Е.А. Скорость изменения метаболизма рыб при смене гомотермальной среды на гетеротермальную // Вопр. ихтиологии. 1996. Т. 36. № 6. С. 834–837.
- Линдберг Г.У., Федоров В.В. Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Желтого морей. Ч. 6. СПб.: Наука. 1993. 272 с.
- Мюррей Дж. Математическая биология. М.-Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2009. Т. 1. 776 с.
- Новиков Н.П., Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Яковлев Ю.М. Рыбы Приморья. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2002. 552 с.
- Панченко В.В., Калчугин П.В., Соломатов С.Ф. Уточнение глубин обитания и максимальных размеров донных и придонных видов рыб в российских водах Японского моря // Вопр. ихтиологии. 2016. Т. 56. № 3. С. 264–283.

Проссер Л. Температура // Сравнительная физиология животных. Т. 2. М.: Мир, 1977. С. 84–209.

Фадеев Н.С. Северотихоокеанские камбалы. Распространение и биология. М.: Агропромиздат, 1987. 176 с.

Фукс Г.В. Отолитометрия полярной камбалы (*Liopsetta glacialis*) прибрежных районов морей северного рыбохозяйственного бассейна: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. — М.: ВНИРО, 2020. 24 с.

Шелехов В.А. Особенности роста отолигов у двух видов рыб отряда Clupeiformes (японский анчоус и коносир) на личиночной стадии развития // Изв. ТИНРО. 2000. Т. 127. С. 182–187.

Шелехов В.А. Формирование отолигов у предличинок длиннорылой камбалы (*Limanda punctatissima punctatissima*) в усло-

виях аквариумного эксперимента // Вопр. Ихтиологии. 2002. Т. 42. № 4. С. 512–518.

Шелехов В.А. Японский анчоус *Engraulis japonicus* (Schlegel): возраст, рост и популяционная структура: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Владивосток: ННЦМБ ДВО РАН, 2017. 24 с.

Шмидт-Ниельсен К. Физиология животных. Приспособление и среда. Кн. 1. М.: Мир. 1982. 416 с.

Шмидт-Ниельсен К. Размеры животных: почему они так важны? М.: Мир, 1987. 259 с.

Pannella G. Otolith growth patterns: an aid in age determination in temperate and tropical fishes. In Bagemal T.B. (ed.) Ageing of fish. Proc. Sympos. Reading. 1974. P. 28–39.

Stevenson D.K, Campana S.E. Otolith microstructure examination and analysis // Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 1992. V. 117. 126 p.

BIOLOGY OF COMMERCIAL HYDROBIONTS

GROWTH DYNAMICS OF THE OTOLITH OF YELLOW-STRIPED FLOUNDER *PSEUDOPLEURONECTES HERZENSTEINI* (PLEURONECTIDAE)

© 2021 y. A.N. Vdovin¹, V.M. Boyko², A.N. Chetyrbotsky³

¹ Pacific branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140

² PJSC «Nakhodka base of active sea fishing», Vladivostok, 690090

³ Far Eastern Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690000

The growth dynamics of the otolith of the yellow-striped flounder *Pseudopleuronectes herzensteini*, in general, it has a similar character for males and females. During the first third of life, the otolith reaches 2/3 of the maximum size in both sexes. There are two stages in the growth of the otolith: nonlinear and linear. Sexual differences are better shown at the initial stage. The linear stage corresponds to the period of sexual maturity. The growth of the otoliths of the males is more abrupt, and the growth of the otoliths of the females is more monotonous. The specific growth rate of otolith increases with the change of temperature regime: from spring to summer and from autumn to winter.

Keywords: yellow-striped flounder *Pseudopleuronectes herzensteini*, growth dynamics of the otolith, non-linear and linear stages of growth.