

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА ЖЕЛТОПОЛОСОЙ
КАМБАЛЫ *PSEUDOPLEURONECTES HERZENSTEINI*
JORDAN ET SNYDER, 1901 (PLEURONECTIDAE)**

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

¹ Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО-центр), г. Владивосток, 690091

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

³ Дальневосточный геологический институт (ДВГИ)
ДВО РАН, г. Владивосток, 690000

E.mail: vdovinan1955@mail.ru

Поступила в редакцию 27.11.2020 г.

Показано, что годовые зоны на отолитах желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini* на рельефной структуре отолита по форме близки к волне. Слоистую структуру отолита образуют кольца второго порядка (колечки). Каждая годовая зона содержала определенный набор колечек. Совокупность отношений признаков регистрирующих структур, размеров тела и экспертных оценок возраста характеризовалась тесными связями, которые определяются совместным детерминированным ростом. Для самцов, самок и их молоди предложены уравнения расчета ретроспективных оценок длины и возраста.

Ключевые слова: желтополосая камбала *Pseudopleuronectes herzensteini*, отолиты, экспертные оценки возраста, корреляционные связи.

ВВЕДЕНИЕ

Желтополосая камбала *Pseudopleuronectes herzensteini* распространена в Жёлтом и Японском морях повсеместно, встречается в южной части Охотского моря, в тихоокеанских водах — от юга о. Хонсю до середины Курильской гряды (Фадеев, 1987; Линдберг, Федоров, 1993; Новиков и др., 2002). Является промысловым видом в водах России и Японии. Необходимое для всех промысловых видов определение доли изъятия невозможно без изучения возрастной структуры (Рикер, 1979; Малкин, 1995).

Доступная для исследований информация по возрасту желтополосой

камбалы имеет фрагментарный характер (Демидова, 1939; Моисеев, 1953; Новиков и др., 2002; Иванкова, Ким, 2004). Публикаций по определению возраста желтополосой камбалы не обнаружено.

Цель работы — разработка методики определения возраста желтополосой камбалы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал собран в 2013–2016 гг. в российских водах Японского моря, примыкающих к материковому берегу (морская акватория Приморского и Хабаровского края). Данные были собраны в результате научных исследова-

дований, проведенных на судах БИФ ФГБНУ «ВНИРО» — РКМРТ «Бухоро», СТР «Владимир Сафонов» и м/бот «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*. 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, масса тела (*W*) от 3,6 до 930 г.

Радиус отолита измерялся от центра до заднего края в виду его наибольшей величины.

Чешуя оказалась менее пригодной регистрирующей структурой, чем отолиты, по ряду причин. Во-первых, из-за вариабельности размеров, чешуи с одной рыбы различались по размеру на 10–70%, в основном на 20–30%. Во-вторых, незначительно варьировало количество склеритов, что определяется не единовременностью закладки чешуй у рыб. К тому же чешуя закладывается позже отолитов (Суворов, 1948). В-третьих, за исключением склеритов, метки на чешуе не всегда были отчетливо видны.

Правый и левый отолиты у одной особи отличались по размеру не более чем на 17%, а в 21 случае из 30 практически не отличались. Все метки на обоих отолитах были идентичны.

Хорошо просушенные отолиты первоначально помещались в 50–70°-ный спирт с добавлением глицерина (Вдовин и др., 2017). В дальнейшем оказалось, что отолиты гораздо лучше освещаются в неочищенном самогоне. Вероятно, это обусловлено тем, что в неочищен-

ном самогоне, кроме этилового спирта, также присутствует глицерин и, помимо него, одноатомные спирты, альдегиды, микроэлементы, другие химические компоненты. Минимальная выдержка отолитов в фиксаторе для рыб менее 10 см составляла 2 ч, для более крупных рыб — сутки. При выдержке длительно — не менее месяца препараты всегда получались отличного качества.

Отолиты рассматривали под биноклем МБС-10 и фотографировали (цифровая камерой для микроскопов LevenhukC 130 NG 1.3 Mpixels) в падающем свете с дополнительной подсветкой двумя сине-белыми диодными фонариками. Полученные изображения измеряли в программе Levenhuk ToupView, фотографии обрабатывались в XnView и Adobe Photoshop.

Для лучшей экспозиции изображений и фотографий на отолит капали несколько капель льняного отбеленного масла для художественных работ. Рекомендуются держать такое масло на солнечном свете, так как оно становится прозрачнее.

При установлении календарного возраста (экспертная оценка) авторы ориентировались, прежде всего, на регистрирующие параметры отолитов — метки, радиусы, сезонные приросты, размеры особей и календарный месяц поимки. При оценке длительности сезонных приростов весьма продуктивным оказывается сравнение так называемых маргинальных индексов у одной возрастной группы. Маргинальный индекс — это промер структуры от последнего годового кольца до края на момент взятия пробы (Дгебуадзе, 2001).

На первых этапах работы критерием корректности экспертных оценок возраста служили попарные диаграммы рассеяния значений признаков (длины, веса и параметров регистрирующих

структур), поскольку они позволяют ориентироваться на сопряженность признаков регистрирующих структур друг с другом и размерами тела (Вдовин и др., 2017). Они позволяли легко выявлять аномально крайние точки в общей выборке для повторного определения возраста.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На отолитах различались кольца различной ширины, которые первоначально интерпретировались как месячные, сезонные и годовые. По мере накопления информации мы остановились на двух типах меток: годовые зоны и кольца, а также кольца второго порядка (в дальнейшем колечки) (рис. 1). Годовые зоны хорошо видны на изображениях (фотографиях) с невысокой глубиной резкостью (рис. 1А). Такие фотографии хорошо демонстрируют рельефную (скульптурную) поверхность

отолита. На изображениях с высокой глубиной резкости четче проявляется слоистая (двухмерная) структура отолита (рис. 1Б). Рельефная и слоистая структуры отолита редко проявляются на одном и том же изображении. Хорошая резкость лучше выделяет мелкие элементы структуры, но не демонстрирует общую картину.

Каждая годовая зона содержала определенную совокупность колечек, количество которых с возрастом уменьшается. В первой годовой зоне закладывается 16–18 колечек, во второй — 11–12, в третьей — 6, в четвертой–шестой — 4, в остальных по 3 колечка. Уменьшение темпов закладки меток на регистрирующих структурах, является обычным явлением у рыб (Pannella, 1971, 1980; и др.).

Подобные явления отмечались и у других видов рыб: южного одноперого терпуга *Pleurogrammus azonus*, бурого терпуга *Hexagrammos octogrammus* и по-

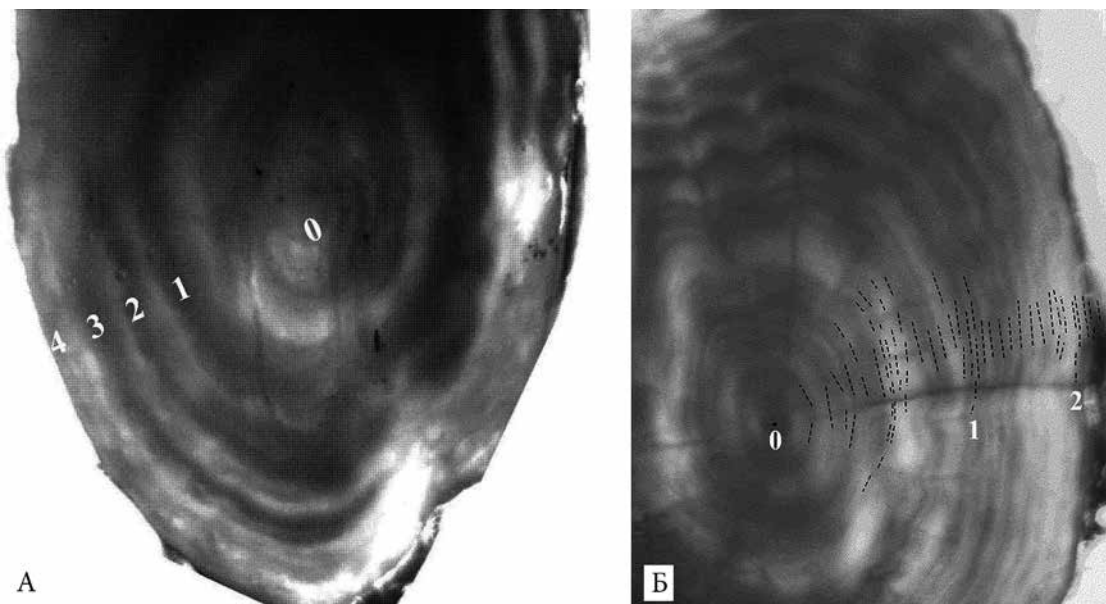


Рис. 1. Фотографии отолитов желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini* А). Фотография отолита самца длиной 31,3 см, возраста 4+; Б) Фотография отолита у самца длиной 25,7 см, возраста 2+. На фотографии проявляется 32 колечка. Центр отолита обозначен точкой, границы между колечками — штрихами. Белые цифры: 0 — центр отолита; 1–4 — границы годовых колец.

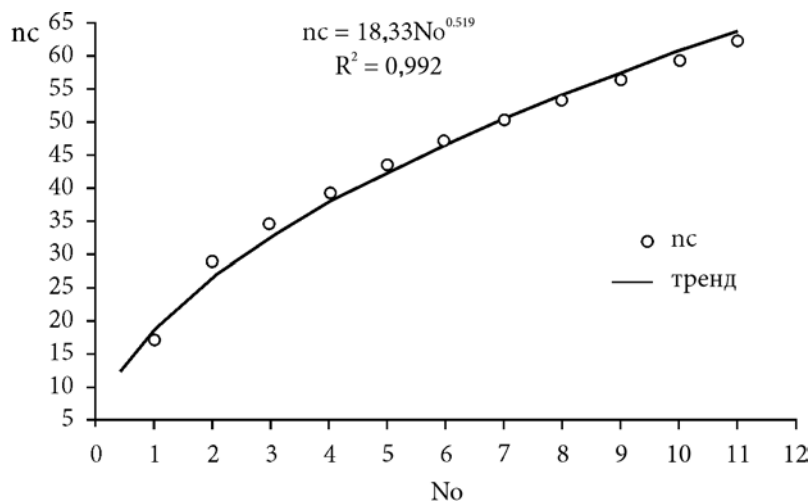


Рис. 2. График зависимости между количеством годовых колец (No) и количеством колечек (nc) на отолитах желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini*.

лосатой камбалы *Liopsetta pinnifasciata* (Вдовин, Васильков, 1982; Вдовин, Антоненко, 1998; Вдовин и др., 2017). Связь количества годовых колец и колечек весьма удовлетворительно выражается через степенную регрессию (рис. 2). Коэффициент корреляции (R) между количеством годовых колец и колечек составляет 0,996.

Годовое кольцо не является каким-либо особым образованием: это последнее колечко в годовой зоне. На экране компьютера оно может быть темным, или светлым, в зависимости от особенностей освещения участка отолита, на котором находится это кольцо. Имеет смысл подробнее описать такую ситуацию. На рисунке 1А видно, что годовые зоны по форме напоминают волну. Особенно наглядно волновой рельеф проявляется на поперечном сечении, помеченном цифрами. На данной фотографии последние колечки каждой годовой волны находятся в подошве волны и выглядят темными, как, впрочем, и соседние с ними колечки. Уделять пристальное внимание оттенку колечка не имеет смысла, поскольку при настройке изображения цветная гамма на порядок лучше черно-белой. Колечки чередуются по ширине, но могут идти подряд два-

три узких или широких колечка. Последнее колечко в годовой зоне всегда уже двух соседних (рис. 3).

Иногда, из-за световых бликов отдельные колечки плохо просматриваются. Тогда их следует просматривать (иной раз и измерять) за пределами световых бликов (рис. 1Б), либо менять режим освещения.

На рисунке 3 обращает на себя внимание, что темпы прироста колечек у самцов и самок до 13-го колечка (первые 8–9 мес. жизни) примерно одинаковые, в дальнейшем рост отолита самцов идет значительно медленнее. Различия в росте отолита у разных полов показали, что при анализе данных необходимо дифференцировано исследовать самцов и самок. Нами были сгруппированы три выборки: ювенальные рыбы, самцы и самки. В каждой выборке совокупность признаков регистрирующих структур, размеров тела и экспертных оценок возраста характеризовалась тесными связями, которые определяются совместным детерминированным ростом (табл. 1). Устойчивые корреляционные связи экспертных оценок возраста с остальными признаками позволяют предположить валидность этих оценок.

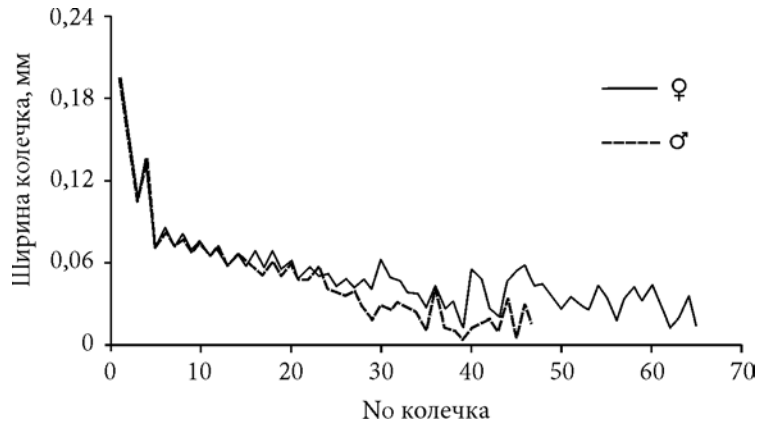


Рис. 3. Возрастная динамика ширины колец, мм (по оси ординат) у желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini*. По оси абсцисс — № кольца.

Самые низкие коэффициенты корреляции отмечены у ювенильных рыб. Вероятнее всего, что вследствие высоких скоростей роста и скачкообразным изменениям этих скоростей, процессы роста у молоди менее согласованы, чем у взрослых рыб. Иначе говоря, у молоди меньше выражена синхронизация этих процессов. Подобное явление описано нами для южного одноперого терпуга (Вдовин, Четырбоцкий, 2019). В данном случае, здесь речь идет не просто о мо-

лоди, а о ювенильных особях на первом году жизни. Высокие показатели роста на первом году жизни являются закономерными для рыб (Самрана, 2001).

В целом, наиболее тесные корреляционные связи прослеживаются для самок (см. таблицу). Но это касается связей, которые связаны с параметрами регистрирующих структур. Последнее обусловлено тем, что изменения роста отолита происходят у самок плавнее, чем у самцов (рис. 3).

Таблица. Корреляционная матрица между возрастными параметрами регистрирующих структур, размерами и экспертными оценками возраста у желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini*

Пол	Ювенильные				Самцы/Самки					Все			
Показатель	W	r	nc	T	TL	W	r	nc	T	W	r	nc	T
TL	0,912	0,916	0,841	0,844		0,937	0,886	0,883	0,883	0,915	0,949	0,948	0,893
W		0,776	0,613	0,647	0,931		0,802	0,84	0,907		0,864	0,918	0,958
r			0,867	0,831	0,943	0,877		0,835	0,815			0,92	0,837
nc				0,946	0,951	0,943	0,916		0,937				0,933
T					0,867	0,954	0,83	0,945					
n	54				233/351					638			
AvR	0,819				0,871/0,916					0,914			

Примечание. TL — общая длина тела, см; W — масса тела, г; r — радиус отолита, мм; nc — количество колец на отолите; T — возраст, месяц; n — объем выборки, экз.; AvR — совокупная средняя оценка коэффициентов корреляции в выборке; в срединной подтаблице ее верхняя часть характеризует корреляции для самцов, а нижняя — самок.

В обратные расчисления роста входили не только ретроспективные оценки длины, но и возраста. Для прогнозных оценок строились регрессионные зависимости между радиусом отолида и длиной, также между радиусом отолида и возрастом. Поскольку в росте отоликов самцов больше проявляется скачкообразность, а в росте отоликов самок — монотонность, группировались

отдельные выборки для самцов и самок. В дальнейшем проявились различия не только между самцами и самками, но и их молодью. Добавление в выборки молоди самок и самцов ювенильных особей не приводило к существенным изменениям. По мере накопления информации в выборки стали добавлять расчетные значения длины и возраста. Непосредственные измерения в таких

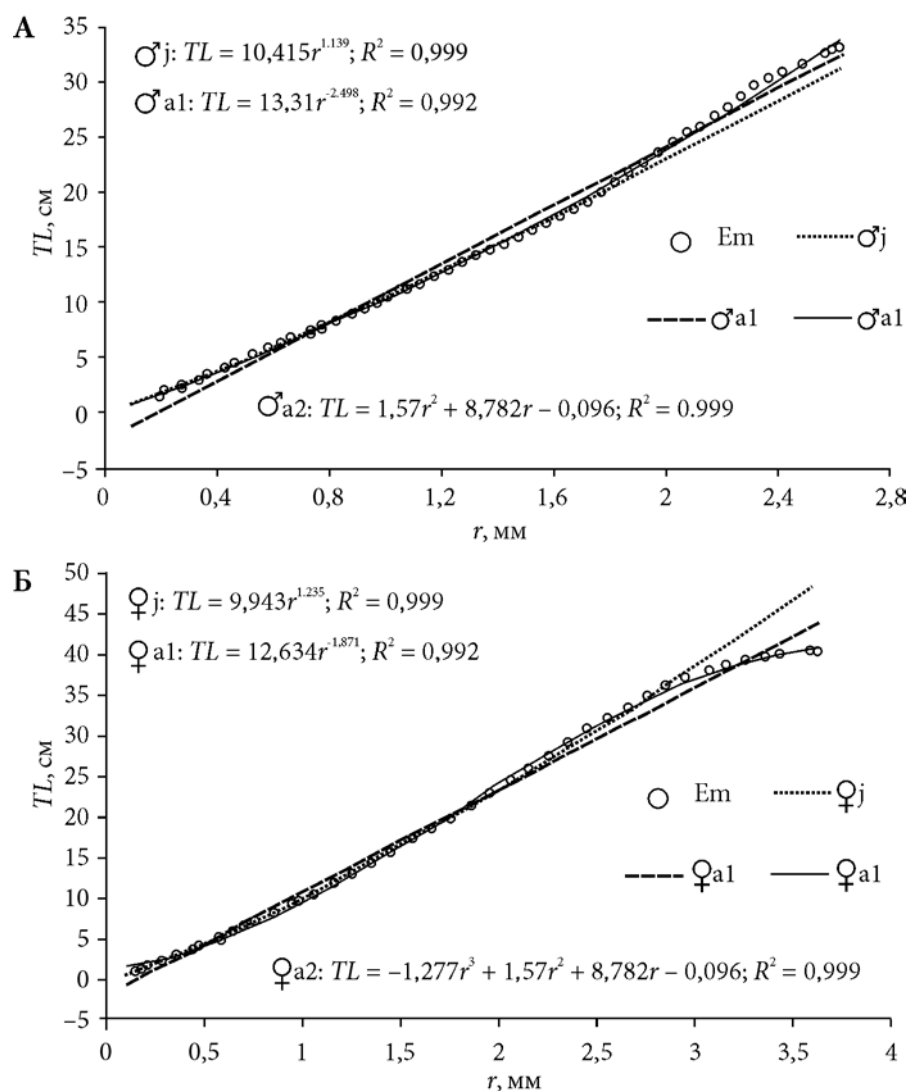


Рис. 4. Зависимости между радиусом отолида (r) и длиной тела (TL) у самцов (А) и самок (Б) у желтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini*. Em — исходные данные; ♂j — степенная зависимость для молоди самцов (радиус отолида до 1 мм, возраст до 1 года); ♂a1 — линейная зависимость для взрослых самцов (радиус отолида больше 1 мм, возраст больше года); ♂a2 — полином второй степени для взрослых самцов; ♀j — степенная зависимость для молоди самок; ♀a1 — линейная зависимость для взрослых самок; ♀a2 — полином третьей степени для взрослых самок; R^2 -коэффициент детерминации.

выборках уже не являлись основой, поскольку были использованы расчетные данные 18109 измерений на отолитах (радиусы от центра до колечек). Следует указать, что окончательно использовались только усредненные данные, но все

же, по объему они превосходили первичные — 1833 усредненных промера.

Лучшие результаты получались при группировке данных по радиусу отолида с классовым промежутком 0,1 мм (рис. 4, 5). Ретроспективные оценки дли-

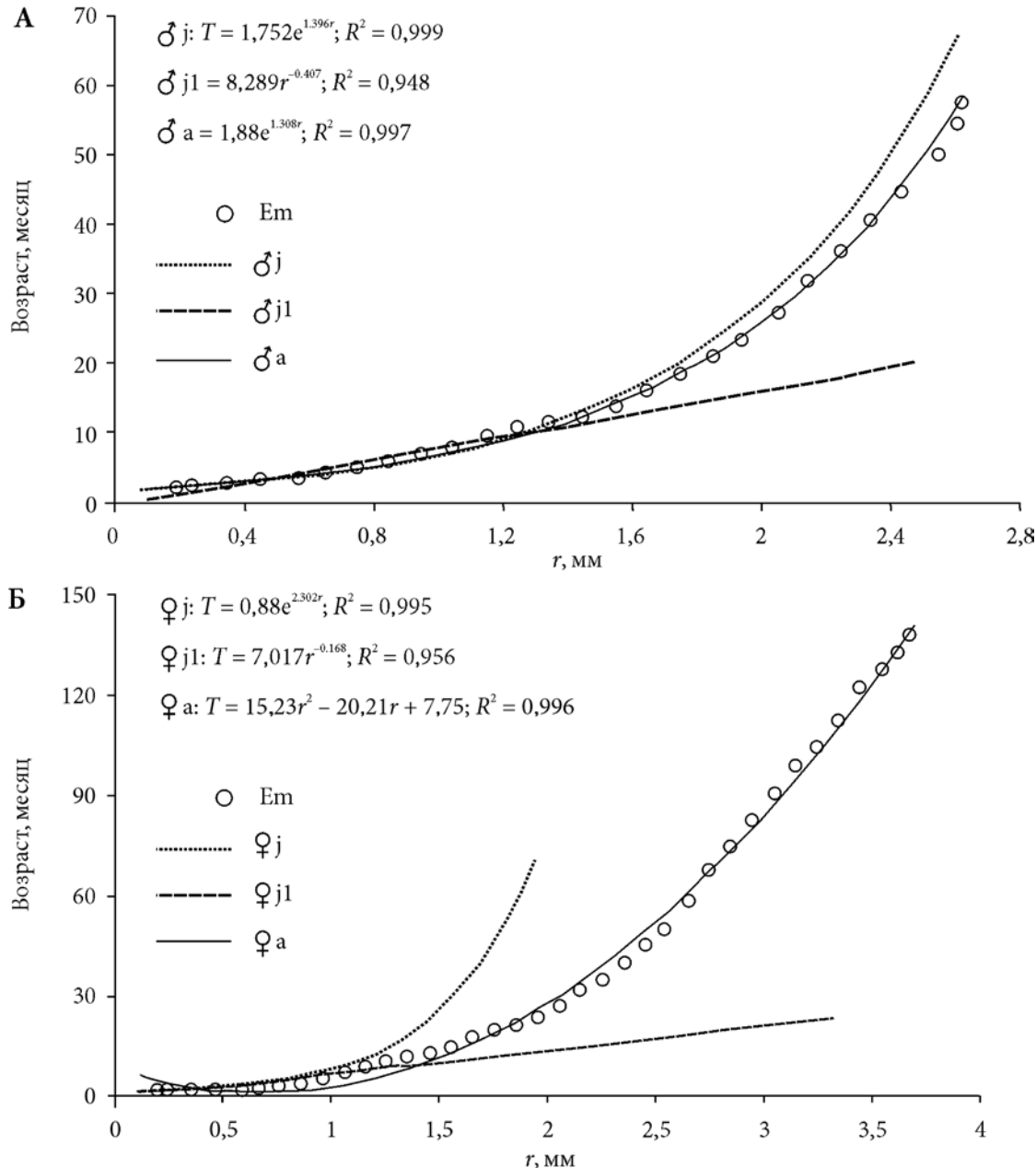


Рис. 5. Зависимости между радиусом отолида (r) и возрастом у самцов (А) и самок (Б) у жёлтополосой камбалы *Pseudopleuronectes herzensteini*. Em — исходные данные; ♂j — экспоненциальная зависимость для молоди самцов; ♂jl — линейная зависимость для молоди самцов; ♂a — экспоненциальная зависимость для взрослых самцов; ♀j — экспоненциальная зависимость для молоди самок; ♀jl — линейная зависимость для молоди самок; ♀a — полином второй степени для взрослых самок; остальные обозначения как на рисунке 4.

ны и возраста рассчитывались по всем приведенным на графиках регрессиям, за исключением линейных. Последние приведены в качестве примера, поскольку ими часто пользуются, особенно при расчетах темпов роста по формуле Э. Леа (Правдин, 1966). Несмотря на высокие коэффициенты детерминации, линейные регрессии искажали реальную картину занижением искомым значений на первых годах жизни, вплоть до отрицательных значений в начале онтогенеза (рис. 4 А и Б). Для обратных расчетов возраста линейные регрессии могут быть использованы только для молоди с радиусом отолита не более 1,5 мм (рис. 5).

Распределения длины и возраста по радиусу отолита имеют существенные половые различия и описываются разными зависимостями, в том числе и разным характером регрессий. Относительно сходным оно является только у молоди, поэтому удовлетворительно описывается одним характером регрессионных уравнений (рис. 4, 5). Следует отметить, что прогностические значения у самцов были близки к исходным на протяжении всего онтогенеза. У живущих вдвое дольше самок регрессии, рассчитанные по взрослым особям, не имели прогностической ценности для молоди. Тем не менее, представляется, что логично будет пользоваться одной методикой для самок и самцов. Для прогноза значений длины и возраста по промерам отолитов мы использовали разные уравнения на отолитах крупнее 1 мм. Для отолитов размером до 1 мм использовались уравнения, построенные для молоди, а для промеров более 1 мм — уравнения, построенные для взрослых (рис. 4, 5).

Результаты расчетов давали значения для некой усредненной особи, что достаточно для изучения группового

роста, но игнорирует индивидуальную изменчивость. Для «подгонки» значений к конкретной рыбе ее длина (возраст) была поделена на максимальную прогностическую прогнозную величину, а затем каждая прогнозная величина умножалась на это соотношение. Долевое распределение (относительная длина или возраст) по промерам отолита получалось идентичным. Рекомендуемая формула будет иметь следующий вид:

$$y_i = f(r_i) \times (y/y_{\max}),$$

где y_i — прогностическое значение длины или возраста конкретной рыбы; $f(r_i)$ — функция значений промеров на отолите; y — длина или возраст конкретной рыбы; y_{\max} — максимальное прогностическое значение длины или возраста конкретной рыбы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Морфологическими критериями при определении возраста служили два элемента структуры отолита. Первичная, грубая оценка возраста давалась по числу волн на поверхности отолита. Принималось, что одна волна соответствует годовой зоне, которая формируется за период близкий к одному году. Каждая годовая зона содержит определенное число колец, количество которых с возрастом уменьшается с 16–18 в первой годовой зоне до 3-х в 7–12-той годовых зонах. Связь между количеством годовых зон и количеством колец весьма удовлетворительно описывается степенной зависимостью с коэффициентом детерминации, близким к 1.

Совокупность признаков регистрирующих структур, размеров тела и экспертных оценок возраста характеризовалась тесными связями, которые определяются совместным детер-

минированным ростом. Отношения используемых здесь признаков показывают устойчивые корреляционные связи с экспертными оценками возраста. Теснота связей, вероятнее всего, зависит от изменчивости темпов роста. В целом, самые низкие коэффициенты корреляции у ювенильных рыб, у самцов они несколько выше, а самые высокие — у самок.

Регрессионные зависимости для длины тела и возраста, где аргументом служил радиус отолита, характеризовались высокими коэффициентами детерминации. Линейные зависимости могут применяться только для молодежи. Ретроспективные значения длины и возраста для каждой рыбы необходимо пересчитывать через соотношение фактической величины признака и максимальной прогностической оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вдовин А.Н., Антоненко Д.В. Рост и возраст бурого терпуга *Hexagrammos octogrammus* залива Петра Великого (Японское море) // *Вопр. ихтиологии*. 1998. Т. 38. № 1. С. 87–91.
- Вдовин А.Н., Васильков В.П. Определение возраста южного однопёрого терпуга *Pleurogrammus azonus* Jordanet Metz (Hexagrammidae) алгоритмическими методами распознавания образов с обучением // *Вопр. ихтиологии*. 1982. Т. 22. Вып. 6. С. 1006–1014.
- Вдовин А.Н., Четырбоцкий А.Н. Проявления полового диморфизма в соматическом и генеративном росте южного однопёрого терпуга // *Труды ВНИРО*. 2019. Т. 175. С. 48–63.
- Вдовин А.Н., Четырбоцкий А.Н., Бойко М.И. Методика определения возраста полосатой камбалы *Liopsetta pinnifasciata* (Pleuronectidae) // *Вопр. ихтиологии*. 2017. Т. 57. № 1. С. 82–88.
- Дгебуадзе Ю.Ю. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М.: Наука. 2001. 276 с.
- Демидова М.Т. Материалы по биологии желтополосой камбалы // *Вестн. филиала АН СССР*. 1939. № 33(1). С. 173–190.
- Иванкова З.Г., Ким Л.Н. Биология и состояние запасов камбал зал. Петра Великого 2. Желтополосая камбала *Pleuronectes herzensteini* Jordanet Snyder // *Изв. ТИНРО*. 2004. Т. 138. С. 191–204.
- Линдберг Г.У., Федоров В.В. Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Жёлтого морей. Ч. 6. СПб.: Наука, 1993. 272 с.
- Малкин Е.М. Принцип регулирования промысла на основе концепции репродуктивной изменчивости популяций // *Вопр. ихтиологии*. 1995. Т. 35. № 4. С. 537–540.
- Моисеев П.А. Треска и камбалы дальневосточных морей СССР // *Изв. ТИНРО*. 1953. Т. 40. 288 с.
- Новиков Н.П., Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Яковлев Ю.М. Рыбы Приморья. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2002. 552 с.
- Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
- Рикер У.Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. М.: Пищевая пром-сть, 1979. 408 с.
- Суворов Е.К. Основы ихтиологии. Л.: Советская наука. 1948. 580 с.
- Фадеев Н.С. Северотихоокеанские камбалы: распространение и биология. М.: Агропромиздат, 1987. 175 с.
- Campana S.E. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods // *J. Fish. Biol.* 2001. V. 59. Iss. 2. P. 197–242.
- Panella G. Fish otoliths: daily growth layers and periodic patterns // *Science*. 1971. No. 173. P. 1124–1127.
- Panella G. Growth patterns in fish sagittae. In: Rhoads, D. C., Lutz, R. A. (Eds.), *Skeletal Growth of Aquatic Organisms*. Plenum Press, New York. 1980. P. 519–560.

**METHOD FOR DETERMINING THE AGE OF YELLOW-STRIPED
FLOUNDER *PSEUDOPLEURONECTES HERZENSTEINI*
JORDAN ET SNYDER, 1901 (PLEURONECTIDAE)**

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

¹ *The Pacific branch of Russian Federal Research Institute of
Fisheries and Oceanography, Vladivostok, 69091*

² *PJSC «Nakhodka base of active sea fishing», Vladivostok, 69090*

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

It is shown that the annual zones on the otoliths of the yellow-striped flounder *Pseudopleuronectes herzensteini* on the relief structure of the otolith are similar in shape to a wave. The layered structure of the otolith is formed by rings of the second order (ringlets). Each annual zone contained a specific set of ringlets. The set of ratios of signs of recording structures, body sizes and expert assessments of age was characterized by close relationships, which are determined by joint deterministic growth. Equations for calculating retrospective estimates of length and age are proposed for males, females and their juveniles.

Key words: yellow-striped flounder *Pseudopleuronectes herzensteini*, otoliths, expert estimates of age, correlations.