

УДК 578.08:597

Е. Б. Мельникова

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА УЛОВОВ ЧЕРНОМОРСКОГО ШПРОТА

Предложен метод определения возрастного состава промыслового стада, основанный на нормальном размерном распределении рыб одного возрастного класса. Метод прост и может быть использован при проведении экспресс-анализа возрастного состава уловов промысловых судов. Экспериментальные исследования подтвердили возможность использования предлагаемого метода для определения возрастной структуры промысловых скоплений рыб.

***Ключевые слова:** черноморский шпрот, размерно-возрастной ключ, возрастной состав, нормальный закон распределения.*

Возрастная структура промыслового стада, характеризующая соотношение различных возрастных групп (поколений) внутри него, является одной из основных биологических структур, наряду с половой, размерной, пространственной и другими, отражающих такие важные процессы жизнедеятельности, как интенсивность воспроизводства, уровень смертности, скорость смены поколений и т. д. [1, 2]. Возрастная структура зависит как от генетических особенностей вида, так и конкретных условий его обитания, чутко реагируя на их изменения.

Благодаря этому свойству возрастную структуру можно рассматривать в качестве экологического индикатора состояния промыслового стада, на основании вектора и скорости изменения которого возможно прогнозирование путей ее дальнейших изменений и, соответственно, заблаговременное определение и применение мер по ее управлению. Отсюда понятно, насколько важное значение имеет знание возрастного состава и почему разработке и совершенствованию методов определения возраста особей в гидробиологических исследованиях всегда уделялось огромное внимание [3—5].

Изучение возрастных характеристик хозяйственно ценных и массовых видов организмов (анализ возрастного состава) позволяет получить исходные данные для разработки принципов долгосрочной рациональной эксплуатации промысловых стад и мониторинга экологического состояния среды обитания.

© Мельникова Е. Б., 2010

Чаще всего изучение возраста в отношении многих видов является довольно сложным и трудоемким процессом, требующим значительных временных затрат, исчисляемых иногда сутками, и нередко именно по этой причине оценка возрастной структуры оказывается ретроспективной, то есть производится с запаздыванием, вследствие чего во многом утрачивает свою информационную ценность как экологический индикатор [3—6].

Рассмотрим методику составления размерно-возрастного ключа, который может быть использован для проведения экспресс-анализа возрастного состава уловов промысловых судов и получения оперативной информации о биологическом состоянии промыслового скопления рыб. Рассмотрение проведем на примере черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso), являющегося одним из основных промысловых видов рыб Черного моря, и играющего важную роль в его экосистеме.

Концепция модели. Н. И. Чугунова [3] описывает методику составления размерно-возрастного ключа, основанного на расчете «взвешенного» возрастного состава, и определения по линейным размерам рыб относительного распределения их возрастных классов. Эта методика базируется на анализе размерного распределения уловов рыб за предыдущий период, представленного в виде ступенчатой гистограммы. По этой методике были составлены и применены для анализа возрастного распределения размерно-возрастные ключи для различных видов рыб [3, 7]. Однако в реальных условиях размерное распределение рыб внутри одного возрастного класса является не ступенчатым, а непрерывным, что не учтено в известных размерно-возрастных ключах.

В качестве концептуальной основы предлагаемого метода было принято условие непрерывного нормального размерного распределения рыб внутри их каждого возрастного класса. С учетом этого размерный состав для каждой возрастной группы может быть описан плавной кривой нормальной плотности распределения [8]:

$$p(l) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l-l_{cp})^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где $p(l)$ — вероятность появления рыб длиной l ; l_{cp} — средняя длина рыб, см; σ — среднее квадратическое отклонение размерного распределения.

Материал и методика исследований. Материалом для составления размерно-возрастного ключа и оценки его достоверности послужили особи черноморского шпрота, полученные в зимние месяцы (с ноября по февраль) в 2001—2007 гг. из траловых уловов промысловых судов с юго-западного шельфа Крыма (от мыса Херсонес до г. Евпатория). Лов проводили разноглубинным тралом на глубине 50—80 м.

Из тралового улова отбирали случайным образом пробу рыб в количестве 90—100 экз. полностью отражающую размерный и возрастной состав улова. Материал обрабатывали в свежем охлажденном виде или после замо-

розки при температуре -20°C . При биологическом анализе длину тела рыб определяли с точностью до 0,1 см, массу — до 0,01 г. Возраст определяли по отолитам [3]. За указанный период обработано более 50 тыс. экз. шпрота. Статистическую обработку данных осуществляли с использованием программ Statistica, Excel и MathCAD.

Методика составления размерно-возрастного ключа. Рассмотрим методику составления размерно-возрастного ключа, примененного для зимних уловов черноморского шпрота. Экспериментальными данными для составления размерно-возрастного ключа послужили результаты обработки зимних уловов шпрота 2001—2002 гг.

Вначале для каждой возрастной группы (годовики, двухгодовики и трехгодовики) рассчитаем частоту появления рыб каждого из размерных классов по формуле

$$p_{ik}^* = \frac{n_{ik}}{N_k}, \quad (2)$$

где p_{ik}^* — частота появления рыб k -го возраста i -й размерной группы; n_{ik} — количество рыб k -го возраста i -й размерной группы; N_k — количество рыб k -го возрастного класса.

Ступенчатая гистограмма частоты появления годовиков, двухгодовиков и трехгодовиков черноморского шпрота в зимних уловах 2001—2002 гг. изображена на рисунке 1.

Затем на основании экспериментальных данных рассчитываем для каждого возрастного класса рыб среднюю длину и среднее квадратическое отклонение:

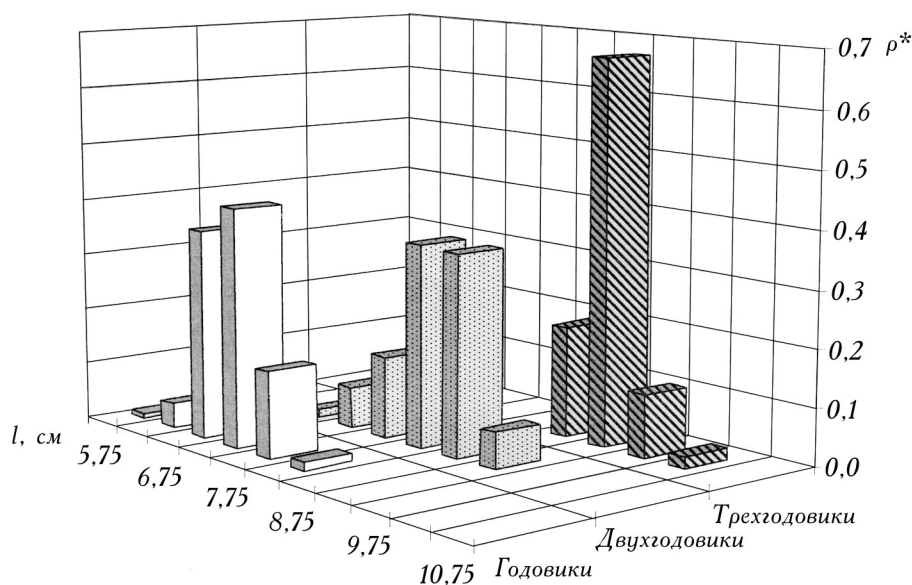
$$l_{\text{срк}} = \sum_{i=1}^n l_i p_{ik}^*, \quad (3)$$

$$\sigma_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_{ik}^* (l_i - l_{\text{срк}})^2}, \quad (4)$$

где $l_{\text{срк}}$ — средняя длина рыб k -го возрастного класса, см; n — количество размерных групп; l_i — средний размер i -й размерной группы, см; σ_k — среднее квадратическое отклонение, рассчитанное для k -го возрастного класса.

С учетом значений, полученных из выражений (3) и (4), выражение (1) для расчета плотности размерного распределения принимает вид:

$$p_k(l) = \frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l-l_{\text{срк}})^2}{2\sigma_k^2}}, \quad (5)$$



1. Гистограмма размерного распределения годовиков, двухгодовиков и трехгодовиков черноморского шпрота в зимних уловах 2001—2002 гг.

где $p_k(l)$ — плотность размерного распределения рыб k -го возрастного класса.

На рисунке 2 изображены плавные кривые плотности нормального размерного распределения для годовиков, двухгодовиков и трехгодовиков, построенные в соответствии с выражением (5) и используемые для составления размерно-возрастного ключа.

Для рыб каждого возрастного класса одной длины находим весовые коэффициенты по формуле

$$\alpha_k(l) = \frac{N_k}{\sum_{k=1}^m N_k p_k(l)}, \quad (6)$$

где $\alpha_k(l)$ — весовой коэффициент для k -го возрастного класса, N_k — количество рыб k -го возрастного класса, m — количество возрастных классов (для черноморского шпрота, в уловах которого содержатся годовики, двухгодовики и трехгодовики $m = 3$), $p_k(l)$ — значение, рассчитанное по соотношению (5) для рыб k -го возрастного класса длиной l .

Расчет относительного (выраженного в процентах) содержания рыб k -го возрастного класса среди рыб, имеющих длину l , производим по формуле

$$W_k(l) = a_k(l)p_k(l) \cdot 100\%, \quad (7)$$

где $W_k(l)$ — относительное содержание рыб k -го возрастного класса среди рыб, имеющих длину l .

Размерно-возрастной ключ, построенный по приведенной методике на основании обработки результатов зимних проб 2001—2002 гг., изображен на рисунке 3.

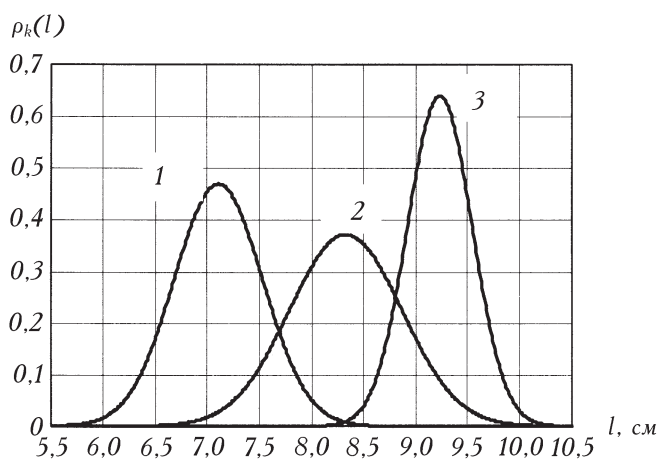
Результаты исследований и их обсуждение

Методика определения возрастного состава с использованием размерно-возрастного ключа очень проста. Предположим, что во взятой для анализа пробе содержится 25 ос. шпрота длиной 8,0 см. Воспользовавшись рисунком 3, определяем, что среди рыб длиной 8,0 см 8% составляют годовики, 92% — двухгодовики, следовательно, из 25 рыб длиной 8,0 см в пробе содержится 2 ос. годовиков и 23 ос. двухгодовиков. Аналогично можно определить возрастное распределение каждой размерной группы.

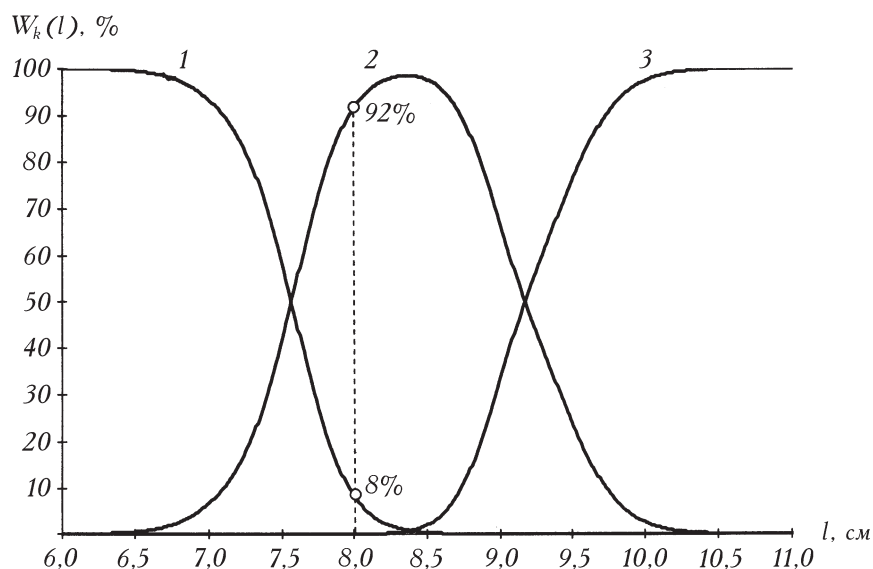
Для определения степени соответствия возрастного распределения, рассчитанного с помощью размерно-возрастного ключа и экспериментально найденного по отолитам, был использован критерий соответствия Пирсона χ^2 [8]. Этот критерий позволяет оценить, с какой степенью вероятности можно считать различия между экспериментальными и расчетными данными несущественными, находящимися в пределах случайных отклонений.

Расчеты степени соответствия полученных результатов проводились для зимнего сезона 2001—2002 гг. (по экспериментальным данным которого был составлен размерно-возрастной ключ) и для последующих пяти зимних сезонов, включая сезон 2006—2007 гг. Для этих сезонов возрастное распределение (годовики, двухгодовики и трехгодовики) определяли как с помощью разработанного размерно-возрастного ключа, так и по отолитам.

Расчеты критерия соответствия хи-квадрат показали, что для исследуемого периода относительное распределение возрастных классов черноморского шпрота, найденное с помощью разработанного размерно-возрастного



2. Плотность нормального распределения различных возрастных классов черноморского шпрота: 1 — годовики; 2 — двухгодовики; 3 — трехгодовики.



3. Размерно-возрастной ключ для зимних уловов черноморского шпрота: 1 — годовики; 2 — двухгодовики; 3 — трехгодовики.

ключа, вполне удовлетворительно соответствует возрастному распределению, определенному по отолитам. Рассчитанные с помощью критерия соответствия хи-квадрат значения вероятности совпадения результатов анализа относительного возрастного распределения рыб для различных периодов колебались от 0,99 (для зимних сезонов 2001—2002 и 2002—2003 гг.) до 0,80 (для зимнего сезона 2004—2005 гг.). Средняя за шесть сезонов вероятность совпадения результатов составила 0,94.

Заключение

Разработанный размерно-возрастной ключ прост в применении, не требует больших затрат времени для определения относительной численности возрастных классов и может быть использован для экспресс-анализа возрастного состава уловов черноморского шпрота, в том числе при проведении анализа непосредственно на борту промыслового судна.

Анализ экспериментальных данных и данных, рассчитанных по разработанному размерно-возрастному ключу, показал, что с вероятностью 0,94 отличие результатов находится в пределах случайных отклонений.

**

Запропоновано метод визначення вікового складу промислових скупчень риб, заснований на нормальному розмірному розподілі риб однієї вікової групи. Метод простий і може бути використаний для проведення експрес-аналізу вікового складу уловів риб. Експериментальні дослідження підтвердили можливість використання

запропонованого методу для визначення вікової структури промислових скупчень риб.

**

Method for determination of populations age composition based on normal fish size distribution in one age group has been proposed. The method is simple and can be used in express-analysis of the fishery vessels catches age composition. The experimental studies proved a possibility to use the proposed method for determination of the population age structure.

**

1. Никольский Г.В. Теория динамики стада рыб как биологическая основа рациональной эксплуатации рыбных ресурсов. — М.: Наука, 1965. — 383 с.
2. Яблоков А.В. Популяционная биология. — М.: Высш. шк., 1987. — 303 с.
3. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб (методическое пособие по ихтиологии). — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 125 с.
4. Лукашев Д.В. Метод анализа сезонного роста некоторых пресноводных двустворчатых моллюсков (Unionidae: Bivalvia) // Гидробиол. журн. — 2005. — Т. 41, № 2. — С. 92—102.
5. Ваганов Е.А. Склеритограммы как метод анализа сезонного роста рыб. — Новосибирск: Наука, 1978. — 151 с.
6. Царин С.А. Возраст, рост и некоторые продукционные характеристики *Ceratoscopelus warmingii* (Mystophidae) в тропической зоне Индийского океана // Вопр. ихтиологии. — 1994. — Т. 34, № 2. — С. 234—242.
7. Зуев Г.В., Салехова Л.П., Шевченко Н.Ф. и др. Новый подход к изучению возрастной структуры черноморского шпрота (*Sprattus sprattus phalericus*: pisces) (Pisces: Clupeidae) // Мор. экол. журн. — 2002. — Т. 1, вып. 1. — С. 90—98.
8. Рокицкий П.Ф. Основы вариационной статистики для биологов. — Минск: Изд-во Белорус. ун-та, 1961. — 221 с.

Институт биологии южных морей
НАН Украины, Севастополь

Поступила 26.03.09