

УДК 597.553.1:577.73(262.5)

**Е. Б. Мельникова**, мл. научн. сотр.Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины,  
Отдел ихтиологии,

Пр. Нахимова, 2, Севастополь, 99011 Украина, E-mail: vfjuck@mail.ru

## УПИТАННОСТЬ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ СООТНОШЕНИЙ ВЕСА И ДЛИНЫ ЧЕРНОМОРСКОГО ШПРОТА *SPRATTUS SPRATTUS* *PHALERICUS* (RISSO)

Определены количественные соотношения между весом и длиной черноморского шпрота и приведена их помесечная изменчивость. Показано, что коэффициенты степенной зависимости, характеризующей взаимосвязь между весом и длиной, можно использовать для определения коэффициента упитанности рыб. Приведен характер изменения коэффициента упитанности шпрота для различных месяцев года.

**Ключевые слова:** упитанность, шпрот, вес, длина.

Количественные показатели, характеризующие длину и упитанность рыб, связь веса с длиной и возрастом, параметры роста рыб и т. д., являются предметом многих исследований. Это связано с решением таких фундаментальных биологических проблем как формообразование, микроэволюционные процессы и др. Эти исследования имеют и прикладное, практическое значение, связанное с определением величины рыбных запасов, динамикой развития популяций и планированием объемов промысла.

При проведении биологических исследований обычно измеряется только один из размеров рыбы — ее длина. Однако другие размеры в процессе развития (роста) рыб не остаются неизменными и их сезонная и годовая изменчивость содержат важную информацию о процессах роста.

В последние годы черноморский шпрот является одним из наиболее массовых в Черном море видов рыб [1]. Он занимает важное место в его экосистеме и является одним из основных промысловых видов рыб причерноморских государств. По вопросам биологии шпрота и его пространственной дифференциации имеется достаточно большое количество публикаций [2, 3, 4, 5, 6], однако вопросам исследования процессов сезонного роста продольного и поперечного размеров и изменчивости коэффициента упитанности черноморского шпрота уделено недостаточно внимания.

Целью работы является исследование изменчивости сезонного роста продольного и поперечного размеров у черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Pisces: Clupeidae), а также изучение сезонной и возрастной изменчивости коэффициента упитанности.

### Материал и методы исследований

Известно, что имеется степенная зависимость между весом тела и длиной у рыб [7, 8]:

$$P = aL^b, \quad (1)$$

где  $P$  — вес рыбы,  $L$  — длина рыбы,  $a$  и  $b$  — постоянные коэффициенты.

Кроме этого показано [8], что взаимосвязь между весом и длиной у отдельно взятой рыбы может быть описана следующим выражением:

$$P = \rho AL^3, \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность тела,  $A$  — коэффициент пропорциональности, характеризующий форму тела рыбы,  $L_x$  — размер тела вдоль оси  $x$  (длина тела).

Размер тела вдоль оси  $x$  (обозначенный символом  $L_x$  в уравнении (2), используемый в [8]), соответствует общепринятому обозначению длины тела рыбы  $L$  (см. формулу (1)), обычно используемому другими авторами, например [7, 9], (то есть  $L_x = L$ ).

Коэффициент  $A$  в уравнении (2) характеризует вытянутость тела по оси  $x$ . Если тело вытянуто вдоль оси  $x$ , то есть размер по оси  $x$  превышает размеры вдоль других осей, то  $A < 1$ , если тело вытянуто вдоль оси  $y$  или  $z$ , то константа  $A > 1$ . Если форма тела имеет вид куба, то  $A = 1$ .

Анализ выражений (1) и (2) позволяет определить взаимосвязь коэффициентов в аналитическом выражении, представленном в виде степенной зависимости между весом и длиной, с параметрами развития рыбы.

Для коэффициента  $a$  можно получить следующее выражение

$$A = \rho a, \quad (3)$$

Отсюда следует, что коэффициент  $a$  в уравнении (1) характеризует не только вытянутость тела рыбы (определяемую коэффициентом  $A$ ), но и его плотность. Характер изменения коэффициента  $a$  в процессе роста рыбы может характеризовать особенности биологического развития с учетом влияния факторов среды обитания, состояния кормовой базы и т. д.

В [3] показано, что если в процессе развития происходит рост тела по всем трем направлениям (осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ ) равномерно, то коэффициент  $b$  в уравнении (1) будет равен 3. Если один из поперечных размеров тела во время роста увеличивается быстрее длины, то коэффициент  $b > 3$ ; если поперечные размеры увеличиваются медленнее длины, то  $b < 3$ . Таким образом фактически коэффициент  $b$  показывает, как будут изменяться относительные размеры рыбы в процессе ее развития.

Считая, что закономерности роста каждой отдельной рыбы популяции в среднем соответствуют среднестатистической закономерности изменения размеров и веса рыб в зависимости от длины различных экземпляров рыб этой популяции, можно на основе анализа характеристик общего стада моделировать процессы развития отдельной особи популяции.

С учетом этого был проведен анализ процессов роста черноморского шпрота в различные сезоны года.

Статистической обработке подвергались пробы, полученные в 2004 и 2005 годах из траловых уловов промысловых судов с юго-западного шельфа Крыма (от м. Херсонес до м. Лукулл). Лов проводили на глубине от 50 до 80 м. Всего за указанный период было исследовано 42 траловых улова.

Из тралового улова отбирали случайные выборки (пробы) в количестве от 90 до 100 экземпляров рыб. Длину тела определяли с точностью до 0.1 см, вес — 0.01 г.

### Результаты исследований и их обсуждение

Статистическую обработку полученных данных и моделирование зависимости между весом и длиной шпрота проводили для каждой пробы в отдельности с использованием пакетов прикладных программ Statistica, MathCAD и Excel.

Моделирование проводилось в следующей последовательности.

Вначале экспериментальные данные, полученные при обработке пробы, откладывали в координатной системе вес-длина.

Затем на основе использования программного обеспечения указанных пакетов прикладных программ проводили регрессионный анализ экспериментальных данных. При этом использовали регрессию степенной зависимостью вида (1). Для каждой из всех 42 исследованных проб были получены регрессионные уравнения и определены коэффициенты  $a$  и  $b$ .

Типичная зависимость веса от длины шпрота для одной из февральских проб 2005 года изображена на рис. 1. Крестиками на этом графике отмечены экспериментально измеренные значения. На рис. 1 изображен график и полученное для данной пробы регрессионное уравнение.

Видно, что для данной пробы коэффициенты  $a$  и  $b$  степенной зависимости между весом и длиной имеют следующие значения:  $a = 6.8 \cdot 10^{-3}$ ;  $b = 3.14$ .

После статистической обработки всех проб, относящихся к одному месяцу, определяли среднемесячные значения коэффициентов  $a$  и  $b$  по формулам

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i, \quad (4)$$

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i, \quad (5)$$

где  $a$ ,  $b$  — среднемесячное значение коэффициентов,  $n$  — количество проб в данном месяце,  $a_i$ ,  $b_i$  — значение коэффициента  $a$  или  $b$  в  $i$ -ой пробе данного месяца.

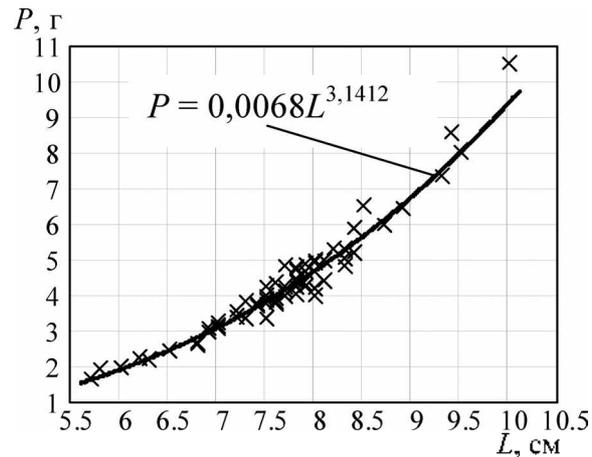


Рис. 1. Типичная зависимость веса от длины шпрота

На рис. 2 и 3 изображены соответственно зависимости коэффициентов  $a$  и  $b$  используемых в уравнении (1), описывающим взаимосвязь между весом и длиной черноморского шпрота, для различных месяцев года. Кружочками на рисунках обозначены среднемесячные значения коэффициентов, рассчитанные с использованием выражений (4) и (5).

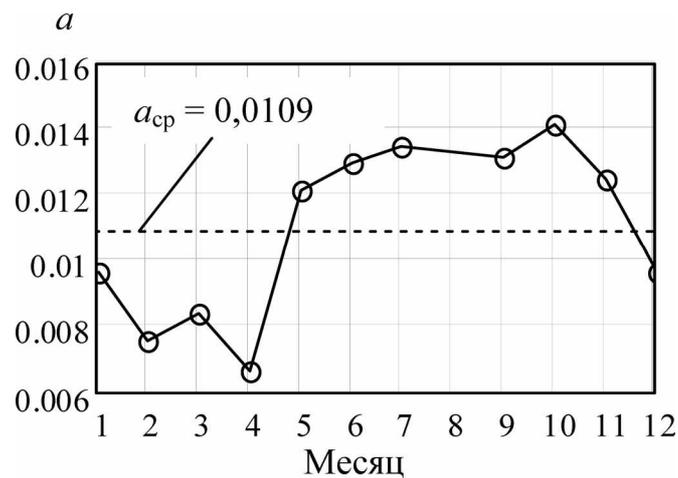


Рис. 2. Значения коэффициента  $a$  для различных месяцев года

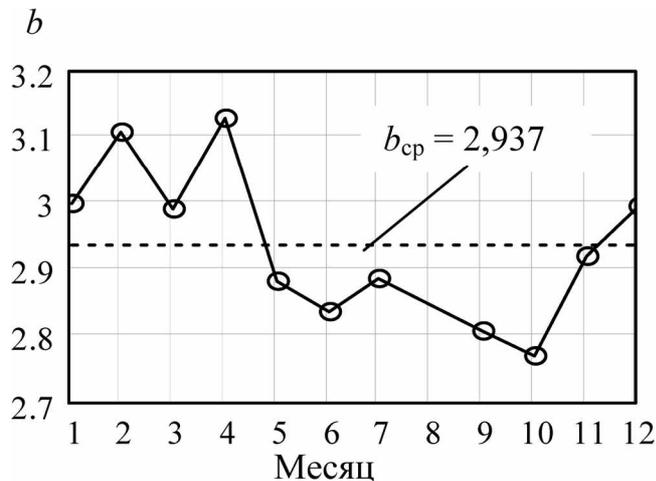


Рис. 3. Значения коэффициента  $b$  для различных месяцев года

Пунктирная линия на этих рисунках соответствует среднегодовым значениям коэффициентов. Эти значения обозначены соответственно  $a_{cp}$  и  $b_{cp}$ .

Значения коэффициента  $a$ , как отмечено выше, характеризуют форму тела рыбы. Анализ изменения коэффициента  $a$  в течение года (см. рис. 2) показывает, что его среднегодовое значение равно  $a_{cp} = 10.9 \cdot 10^{-3}$ . В холодные месяцы (с декабря по апрель включительно) значения коэффициента  $a$  меньше среднегодовых значений ( $a < a_{cp} = 10.9 \cdot 10^{-3}$ ), следовательно, тело шпрота имеет более вытянутую форму, а в теплые месяцы (май — ноябрь) — толщина тела рыбы увеличивается и тело приобретает менее вытянутую форму ( $a > a_{cp} = 10.9 \cdot 10^{-3}$ ).

Значения коэффициента  $b$ , приведенные на рис. 3, позволяют сопоставить относительное увеличение продольного размера (длины) шпрота и его поперечных размеров в процессе годового роста. Из рис. 3 видно, что в отдельные месяцы года относительные поперечные размеры и длина шпрота изменяются неравномерно. Среднегодовое значение коэффициента  $b_{cp} = 2.937$ . Так как  $b_{cp} < 3$ , то это свидетельствует о том, что в целом за год длина шпрота в процессе развития увеличивается несколько быстрее, чем его поперечные размеры, то есть более крупные рыбы имеют более вытянутую форму.

На рис. 4 приведены сезонные изменения коэффициентов  $a$  и  $b$ , нормированные на свои среднегодовые значения. Прослеживается явно выраженная взаимосвязь формы тела рыбы и сезонного относительного изменения поперечных и продольных размеров шпрота. В те месяцы, когда значения коэффициента  $b$  превышают свои среднегодовые значения ( $b/b_{cp} > 1$ ), значения коэффициента  $a$  меньше своего среднегодового значения ( $a/a_{cp} < 1$ ) и наоборот.

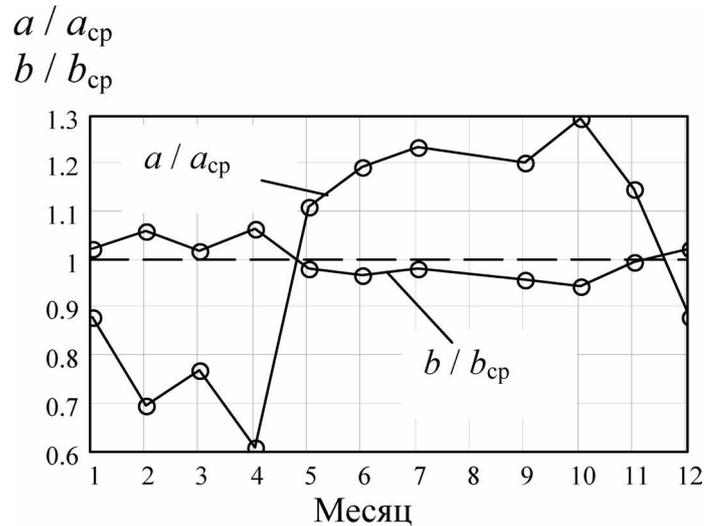


Рис. 4. Нормированные значения коэффициентов  $a$  и  $b$  для различных месяцев года

В качестве одного из показателей роста рыб в различных условиях обитания в ихтиологии часто используют коэффициент упитанности, представляющий отношение веса рыбы к кубу ее длины. Вычисление коэффициента производится по формуле [3]

$$K = \frac{100P}{L^3} \quad (6)$$

где  $K$  — коэффициент упитанности,  $P$  — вес рыбы в граммах,  $L$  — длина в см.

Если в выражении (1) правую и левую части разделить на величину, равную длине рыбы  $L$  в третьей степени, и умножить на постоянный коэффициент равный 100, то в соответствии с выражением (6) можно получить выражение для расчета коэффициента упитанности с использованием коэффициентов  $a$  и  $b$  степенной зависимости между весом и длиной рыбы

$$K = 100aL^{b-3}, \quad (7)$$

где  $K$  — коэффициент упитанности,  $a$  и  $b$  — коэффициенты уравнения (1) степенной зависимости между весом и длиной рыбы.

Величина коэффициента упитанности  $K$  прямо пропорционально зависит от коэффициента  $a$ , характеризующего форму тела рыбы и его плотность. Для фиксированной длины рыбы  $L$  численное значение коэффициента  $a$  может служить критерием, определяющим величину коэффициента упитанности.

В общем случае в процессе роста рыбы ее коэффициент упитанности изменяется.

Анализ выражения (7) показывает, что если коэффициент  $b$ , характеризующий особенности роста рыбы, принимает значение  $b > 3$ , то длина рыбы  $L$  возводится в положительную степень ( $b - 3 > 0$ ). В этом случае с увеличением длины рыбы происходит увеличение ее коэффициента упитанности  $K$ . Наоборот, если  $b < 3$ , то длина рыбы  $L$  в выражении (7) возводится в отрицательную степень ( $b - 3 < 0$ ). В этом случае в процессе роста рыбы с увеличением ее длины коэффициент упитанности уменьшается. Наконец, если коэффициент  $b = 3$ , то в процессе роста рыбы ее коэффициент упитанности  $K$  остается неизменным.

Анализ графика изменения коэффициента  $a$  в течение года (см. рис. 4) и выражения (7) показывают, что среднегодовое значение коэффициента  $a$  может служить уровнем, определяющим степень вариабельности сезонной упитанности. Видно, что с мая по ноябрь коэффициент упитанности шпрота превышает свои среднегодовые значения, а с декабря по апрель шпрот характеризуется низкой упитанностью.

По иному влияет на коэффициент упитанности сезонное изменение коэффициента  $b$ . Анализ выражения (7) и графика, изображенного на рисунке 3, показывает, что с декабря по апрель (то есть в те месяцы года, когда  $b \geq 3$ ), рыбы большего размера характеризуются большим значением коэффициента упитанности. В теплые месяцы года (май-октябрь) коэффициент  $b < 3$ . Следовательно, в эти месяцы года рыбы большего размера характеризуются меньшим значением коэффициента упитанности.

На рис. 5 приведены графики значений коэффициента упитанности для февральских и июльских проб 2005 года. При построении графика учтено, что для февральских проб среднемесячные значения коэффициентов  $a$  и  $b$  составляют:  $a = 0.008$ ;  $b = 3.11$ , а для июльских проб —  $a = 0.013$ ;  $b = 2.88$ .

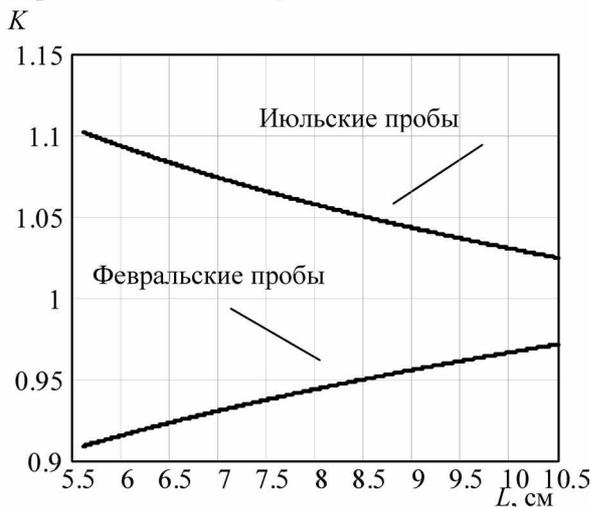


Рис. 5. Зависимость коэффициента упитанности от длины шпрота

Видно, что в февральских пробах с увеличением длины шпрота коэффициент упитанности возрастает. В июльских пробах с увеличением длины шпрота его коэффициент упитанности уменьшается. Июльские пробы характеризуются более высоким значением коэффициента упитанности.

### Выводы

1. Использование коэффициентов степенной зависимости, характеризующей взаимосвязь между весом и длиной, позволяет легко определить коэффициент упитанности рыб. Поперечные размеры, вес и длина шпрота в процессе годового развития изменяются неравномерно, что приводит к сезонной и возрастной изменчивости коэффициента упитанности.
2. Анализ показывает, что в мае-ноябре шпрот имеет менее вытянутую форму тела и коэффициент упитанности достигает своих наибольших значений. В декабре-апреле форма тела шпрота имеет более вытянутую форму, и он характеризуется низким значением коэффициента упитанности.

Благодарность. Автор выражает благодарность д. б. н., профессору Г. В. Зуеву за идею написания статьи, постоянное внимание к работе, помощь и ценные замечания, высказанные в процессе обсуждения работы.

### Литература

1. Чащин А. К. Основные результаты исследований пелагических ресурсов Азово-Черноморского бассейна // Основные результаты комплексных исследований ЮгНИРО в Азово-Черноморском бассейне и Мировом океане (юбилейный выпуск): Тр. ЮгНИРО: — 1997. — Вып. 43 — С. 60–67.
2. Ваганов Е. А. Склеритограммы как метод анализа сезонного роста рыб. — Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1978. — 137 с.
3. Зотина Р. С., Зотин А. И. Количественные соотношения между весом и длиной, возрастом, размерами яиц и плодовитостью у животных // Журнал общей биологии. — 1967. — Т XXVIII, № 1. — С 82–92.
4. Зуев Г. В., Мельникова Е. Б. Внутривидовое разнообразие черноморского шпрота (*Sprattus sprattus phalericus* (Risso) и экологические механизмы его формирования // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск "Гідроекологія". — 2005. — № 4 (27). — С. 99–101.
5. Зуев Г. В., Мельникова Е. Б., Пустоварова Н. И. Биологическая дифференциация и структура запаса черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces: Clupeidae) // Морск. экол. журн. — 2005. — IV. — № 1. — С. 55–65.
6. Черноморский шпрот / Г. С. Минюк, Г. Е. Шульман, В. Я. Щепкин, Т. В. Юнева — Севастополь, 1997. — 137 с.
7. Рикер У. Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — С. 408.
8. Стоянов С. А. Черноморски шпрот *Sprattus sprattus sulinus* (Antipa). — София: издание на българската академия на науките, 1953. — 108 с.
9. Анисимова И. М., Лавровский В. В. Ихтиология. — М.: Высш. школа, 1983. — 255 с.

**О. Б. Мельнікова**

Інститут біології південних морів ім. О. О. Ковалевського НАН України, Відділ іхтіології,

Пр. Нахімова, 2, Севастополь, 99011 Україна E-mail: vfjuck@mail.ru

**УГОДОВАНІСТЬ І СЕЗОННА МІНЛИВІСТЬ КІЛЬКІСНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ ВАГИ Й ДОВЖИНИ ЧОРНОМОРСЬКОГО ШПРОТУ *SPRATTUS SPRATTUS PHALERICUS* (RISSE)**

**Резюме**

Досліджено мінливості сезонного росту поздовжнього й поперечного розмірів чорноморського шпроту *Sprattus sprattus phalericus* (Risso). Наведено чисельні значення коефіцієнтів рівняння, яке зв'язує вагу й довжину шпроту різних місяців року. Запропоновано метод розрахунку коефіцієнта вгодованості з використанням коефіцієнтів рівняння залежності вага — довжина. Наведено характер зміни коефіцієнта вгодованості шпроту для різних місяців року.

**Ключові слова:** угодованість, шпрот, вага, довжина.

**E. B. Melnikova**

Institute of Biology of the Southern Seas, by A. O. Kovalevsky of Ukrainian National Academy of Sciences,

2, Nakhimov Avenue, Sevastopol 99011, Ukraine E-mail: vfjuck@mail.ru

**FATNESS AND SEASONAL CHANGEABILITY OF QUANTITATIVE CORRELATIONS BETWEEN WEIGHT AND LONG OF BLACK SEA SPRAT *SPRATTUS SPRATTUS PHALERICUS* (RISSE)**

**Summary**

The research results seasonal growth changeability of longitudinal and transversal sizes of Black Sea sprat *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) are expounded. The numeral values of coefficients of equalization linking weight and length of the calculation of coefficient of fatness using the coefficients of equalization weight-length dependence was suggested. The character of change of sprat fatness coefficient for different months of year is resulted.

**Keyword:** fatness, sprat, weight, length.