

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ, ПРИ КОТОРОЙ НАСТУПАЕТ ПОЛОВАЯ ЗРЕЛОСТЬ У ЧЕРНОМОРСКОГО КАЛКАНА (*SCOPHTHALMUS MAEOTICA MAEOTICA*)

М. М. Пятинский, инж. I кат.

*Керченский филиал («ЮЗНИИРО») ФГБНУ «АзНИИРХ»
e-mail: pyatinskiy_m_m@azniirkh.ru*

*Исследуются особенности полового созревания черноморского калкана *Scophthalmus maeotica maeotica* (Pallas, 1814). Определена длина, при которой калкан достигает половой зрелости, при помощи пробит-метода на основе функции максимального правдоподобия в программной среде R. Пробит-анализу были подвергнуты две выборки размером 199 и 102 особи. Между выборками не были обнаружены статистические различия, данные были объединены. Длина самок, при которой 50 % особей достигли половой зрелости, составила 39,8 (37,5 ÷ 41,2) см. Самцы созревают раньше самок при длине меньшей, чем 35 см. Полученные результаты статистически значимы (при уровне значимости $P = 0,95$), проверка выполнена при помощи критерия χ^2 . Действующая мера промыслового размера (40 см) является адекватной и препятствует вылову неполовозрелых особей.*

Ключевые слова: черноморский калкан, *Scophthalmus maeotica*, пробит, статистика, нормальное распределение, длина, созревание, регрессионный анализ, Черное море

ВВЕДЕНИЕ

Черноморский калкан *Scophthalmus maeotica maeotica* (Pallas, 1814) [9] является одним из ценных видов рыб Черного моря. Этот вид является важным объектом промысла в Черном море и вследствие высокого многолетнего пресса рыболовства [4] нуждается в изучении и регулировании промысла. Основная цель данной работы – определение длины, при которой черноморский калкан достигает половой зрелости.

Зависимость длины и наступления полового созревания у рыб давно вызывает интерес у исследователей ввиду практического и научного интереса. Обычно исследователи принимали за длину созревания минимальную длину половозрелой особи. Однако такая характеристика не является надежной, полученные таким способом данные имеют большое расхождение и не обладают статистической точностью. Burd A.C. [14] впервые использовал такую характеристику, как длина, при которой созревает 50 % особей. Такой подход имел ряд преимуществ, например, единая методика определения длины созревания и пригодность полученных результатов для сравнения. Для определения длины, при которой созревает 50 % особей, было предложено использовать пробит-метод [5] в упрощенной графической модификации, а позже и полный аналитический пробит-метод на основе функции максимального правдоподобия [6].

В настоящее время оценка коэффициентов уравнения пробит-регрессии может быть выполнена при помощи свободного программного обеспечения. В данной работе используется среда программирования R как инструмент для выполнения расчетов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ

Исходные материалы, анализируемые в данной работе, были собраны в экспедициях ЮгНИРО в 1976-1977 гг. в Черном море (рис. 1).

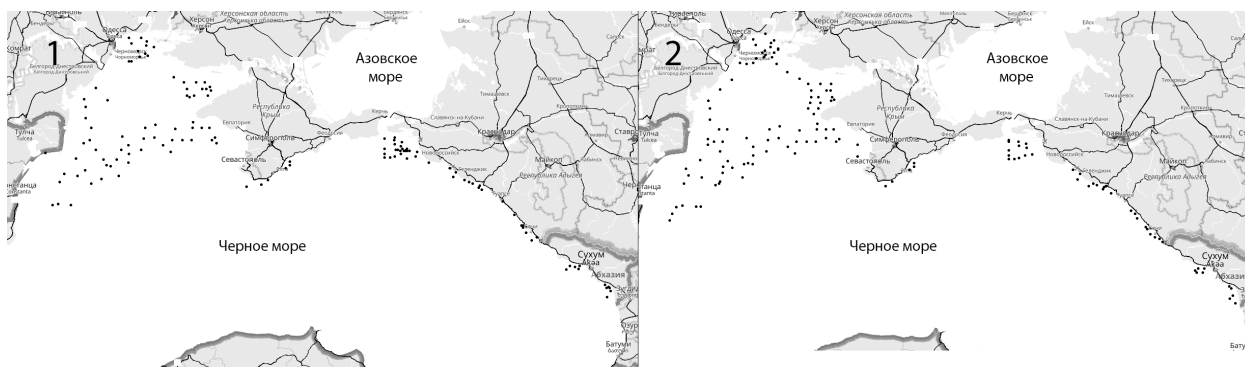


Рис. 1 Карта-схема тралений черноморского калкана: 1 – 1976 г., 2 – 1977 г.

Для сбора исходных материалов использовался донный трал (23 м), каждое траление длилось 1 час. Материал собирался с 7 по 27 апреля в 1976 г. и с 7 апреля по 1 мая в 1977 г. Было выполнено, соответственно, 135 и 141 тралений в 1976 и 1977 гг., собрано 199 особей калкана в 1976 г. и 102 особи в 1977 г. Анализ состояния зрелости гонад проводился у рыб длиной 35 см и более. Состояние гонад было проанализировано у 185 особей в 1976 г. и у 96 особей в 1977 г.

В качестве характеристики длины особей измерялось расстояние от начала рыла до начала лучей хвостового плавника (SL) с точностью до 1 см. Траления выполнялись на разных глубинах – от 8 до 125 м, что соответствует глубинам распространения черноморского калкана в данный период [2, 11, 12, 17].

Сбор исходных материалов выполнялся в пик нерестового периода черноморского калкана, приходящийся на апрель-май [3, 7, 10, 18, 21]. Не достигшими половой зрелости считались особи, гонады которых находились в состоянии покоя. При анализе все особи были разделены на 2 группы по половому признаку (самки, самцы) из-за существенных различий в темпе роста и возрасте созревания [10, 13, 19, 22].

Для выполнения расчетов пробит по методу максимального правдоподобия [16] использовалась программная среда R , в которую был загружен алгоритм из публикации [20]. Код алгоритма расчета был изменен автором: убрано логарифмирование параметра x , так как параметр длины особей и так имеет распределение, близкое к нормальному [5]. Основой расчетов в данном алгоритме является функция $LD()$, на вход которой необходимо подать 3 параметра и задать уровень значимости: r – количество зрелых особей в группе, n – общее количество особей в группе, x – середина интервала длин, 0,95 – уровень значимости. В результате расчетов была получена оценка различных параметров, основным среди которых является SL_{50} – длина, при которой 50 % особей достигают половой зрелости.

Данный программный алгоритм позволяет выполнить проверку нулевой гипотезы о соответствии параметров теоретического уравнения регрессии фактическим данным при помощи критерия χ^2 .

РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе анализа самки были размещены в группы с шагом интервала 4 см, начиная с длины 35 см: 35-38, 39-42 и т. д. Для каждой группы было посчитано количество зрелых, незрелых и общее количество особей, результаты приведены в табл. 1.

Среди подвергнутых анализу самцов почти все особи были зрелыми, что делает невозможным пробит-анализ. В дальнейшем в рамках пробит-анализа будут рассматриваться только самки калкана.

Таблица 1

**Группировка данных по параметру длины в зависимости от наступления зрелости
для самок черноморского калкана**

Интервал	Середина	1976			1977		
		Зрелые	Незрелые	Всего	Зрелые	Незрелые	Всего
35-38	36,5	1	3	4	0	5	5
39-42	40,5	6	2	8	8	7	15
43-46	44,5	11	1	12	9	1	10
47-50	48,5	21	0	21	9	1	10
51-54	52,5	23	0	23	5	0	5
55-58	56,5	26	0	26	12	0	12
59-62	60,5	8	0	8	2	0	2
63-66	64,5	3	0	3	5	0	5
67-70	68,5	1	0	1	0	0	0
Всего		100	6	106	50	14	64

Для пробит-анализа использовались группы с ненулевым отношением зрелых и незрелых самок и одна группа только со зрелыми особями (группа со всеми незрелыми особями не использовалась, так как особи меньше 35 см не анализировались). Были получены следующие оценки SL_{50} и доверительных границ: по данным 1976 г. – 38,6 (32,2 ÷ 40,85) см, по данным 1977 г. – 40,8 (37,7 ÷ 42,7) см. Полученные оценки SL_{50} очень близки и не имеют статистических различий, так как доверительные интервалы широко перекрывают друг друга.

Учитывая результаты отдельного анализа, данные будут объединены в одну выборку. Это позволит повысить уровень точности расчетов за счет увеличения объема исходных данных. Объединенные данные, используемые для анализа, приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Интервальные значения группировки самок калкана по параметру длины
в зависимости от наступления зрелости**

Интервал	Середина	Вместе 1976 и 1977 гг.		
		Зрелые	Незрелые	Всего
35-38	36,5	1	8	9
39-42	40,5	14	9	23
43-46	44,5	20	2	22
47-50	48,5	30	1	31
51-54	52,5	28	0	28
Всего		93	20	113

Для объединенных данных был выполнен пробит-анализ по той же методике. Результаты приведены в табл. 3.

Ниже на графике регрессии (рис. 2) отображены 4 точки и прямая линейной регрессии, уравнение которой приведено в табл. 3. Каждая точка соответствует соотношению зрелых особей к обще-

Таблица 3

Результаты пробит-анализа по объединенным данным	
Уравнение пробит-регрессии	$Y = -4,94 + 0,249x$
SL_{50}	39,8
Доверительные интервалы, 95 %	37,5 ÷ 41,2
χ^2 (степени свободы)	1,37 (3 d.f.)

му количеству особей, отложенному на специальной шкале напротив середины интервала длин. Группа со всеми зрелыми особями не может быть отображена на графике, так как значение пробит для нее будет стремиться к бесконечности.

Все точки на графике расположены очень близко к прямой линии, что свидетельствует о близости исходного распределения нормальному и корректности применения пробит-метода.

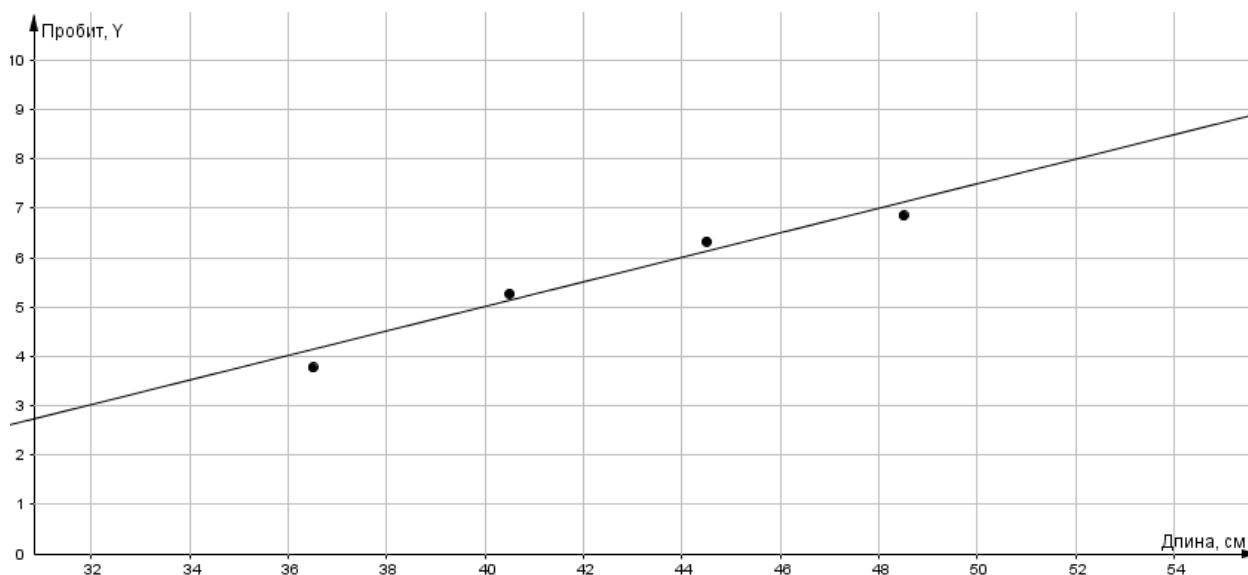


Рис. 2 График пробит-регрессии для объединенных данных

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Так как проводился анализ зрелости гонад только для особей, чья длина превышала 35 см, практически все самцы калкана были зрелыми. Это не позволило выполнить пробит-анализ для самцов калкана, однако дает все основания утверждать, что самцы калкана достигают половой зрелости при меньшей длине, чем 35 см. Такой результат подтверждает утверждения других исследователей о том, что самцы калкана достигают половой зрелости при меньшей длине, чем самки [8, 10, 19, 22].

Попова В.П. [10] обнаружила зрелых самок калкана при длине 42 см, что хорошо согласуется с результатами данной работы: вероятность достижения зрелости при такой длине составляет 71 %. Гирагосов В.Е. [1] отмечал зрелую самку уже при длине 33,5 см, вероятность чего по результатам данной работы составляет 6 %, исследователь вполне мог наблюдать такую особь. Поскольку Попова В.П. и Гирагосов В.Е. не использовали статистическую оценку параметра, их результаты невозможно использовать для статистического сравнения. Кроме того, оценка длины созревания по минимально наблюдаемой длине особи [1] очень сильно зависит от размера выборки.

Отдельного внимания заслуживает работа Eryilmaz L. и Dalyan C. [15], в которой для изучения длины, при которой калкан достигает половой зрелости, использовался схожий метод – логит. Данный метод является схожим с методом пробит, и их оценки должны быть очень близкими. Авторы получили следующие результаты: 50 % самок достигает половой зрелости при длине 20,38 см, а 50 % самцов – при длине 24,64 см. Полученные длины являются слишком малыми и противоречат всем исследованиям, в том числе результатам этой работы. Еще большие сомнения вызывает утверждение авторов о том, что самцы достигают половой зрелости при большей длине, чем самки.

Полученное значение χ^2 для объединенной выборки составило 1,37 при 3 степенях свободы. Критическим значением при 3 степенях свободы на уровне значимости $P = 0,95$ является 7,81. Полученное значение существенно меньше критического, что позволяет с 95 % уверенностью утверждать, что полученные результаты являются статистически значимыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работы подтверждают утверждение исследователей о том, что самцы созревают при меньшей длине, чем самки.

Величина, при которой созревает 50 % самок черноморского калкана, составляет 39,8 (37,5 ÷ 41,2) см. Для определения длины, при которой созревает 50 % самцов, необходимы выборки с измерениями длин особей меньше 35 см.

Использование программной среды R для пробит-анализа позволяет существенно упростить задачу исследователя, так как готовый программный алгоритм автоматизирует выполнение расчетов без участия в них исследователя, что отбрасывает необходимость проведения расчетов вручную или при помощи электронных таблиц.

В действующих Правилах рыболовства для Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна установлен минимальный промысловый размер добываемого калкана на уровне 40 см. Оценка длины, при которой созревает 50 % самок, полученная в данной работе, почти совпадает с этой величиной. Кроме того, при этой длине (40 см) созревают практически все самцы.

Благодарность

Автор выражает благодарность Михайлюку А.Н. за помощь в освоении методики исследования, обсуждение и замечания к данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиригосов В.Е., Ханайченко А.Н., Ельников Д.В. Характер и причины изменчивости основных показателей состояния нерестовой популяции камбалы-калкан на Юго-западном шельфе Крыма // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона : матер. III Междунар. науч.-практ. конф. (г. Керчь, 10-11 окт. 2007 г.). – Керчь: ЮгНИРО, 2008. – С. 3-9.
2. Гордина А.Д. О нересте камбалы-калкан – *Psetta maeotica* (Pallas) (Scophthalmidae, Pisces) в Черном море в мае-июне 1987 г. // Экология моря. – 1990. – № 35. – С. 40-43.
3. Калинина Э.М. Особенности порционного икрометания черноморского калкана *Rhombus maeoticus* Pall // Вопросы ихтиологии. – 1960. – Т. 16 – С. 137-143.
4. Куманцов М.И. Черноморская камбала-калкан: состояние запасов и пути их сохранения и восстановления // Труды ВНИРО. – 2013. – Т. 150. – С. 21-34.
5. Михайлюк А.Н. Применение пробит-метода для изучения зависимости полового созревания рыб от их длины // Вопросы ихтиологии. – 1985. – Т. 25, вып. 2. – С. 237-241.
6. Михайлюк А.Н., Солод Р.А. Определение длины, при которой наступает половая зрелость у пиленгаса *Liza haematocheilus* (Mugiliformes: Mugilidae) в Азовском море // Вопросы рыболовства. – 2016. – Т. 17, № 1. – С. 82-87.
7. Надолинский В.П., Перевалов О.П. Сроки нереста морских рыб и распределение ихтиопланктона в российских территориальных водах Азово-Черноморского бассейна // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. – Ростов н/Д.: АзНИИРХ, 2014. – С. 161-182.
8. Овен Л.С., Шевченко Н.Ф., Битюкова Ю.Е., Болтачев А.Р., Пантелева О.В. Размерно-возрастной состав и репродуктивная биология черноморского калкана *Psetta maxima maeotica* // Вопросы ихтиологии. – 2001. – Т. 41, № 5. – С. 631-636.
9. Парин Н.В., Евсенько С.А., Васильева Е.Д. Рыбы морей России. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 733 с.
10. Попова В.П. Распределение камбалы в Черном море // Труды ВНИРО. – 1954. – Т. 28. – С. 151-159.
11. Попова В.П. Особенности биологии размножения черноморской камбалы-калкан *Scophthalmus maeoticus maeoticus* (Pallas) // Вопросы ихтиологии. – 1972. – Т. 12, № 6. – С. 1057-1063.
12. Смирнов А.И. Калкан черноморский – *Psetta maeotica maeotica* // Фауна Украины. – 1986. – Т. 8. – С. 219-240.
13. Aydin, I., Sahin, T., Kolotoglu, L., Ozogun, M. The effect of sexual dimorphism on growth of the Black Sea turbot, *Psetta maxima* // Journal of Fisheries Sciences.com. – 2011. – Т. 5, No 1. – P. 47-51.
14. Burd, A.C. Growth and recruitment in the herring of the southern North Sea // Fish. Invest. – 1962. – Ser. 2. – Vol. 23, No 5. – P. 1-71.
15. Eryilmaz, L., Dalyan, C. Age, growth, and reproductive biology of turbot, *Scophthalmus maximus* (Actinopterygii: Pleuronectiformes: Scophthalmidae), from the south-western coasts of Black Sea, Turkey // Acta ichthyologica et piscatoria. – 2015. – Vol. 45, No 2. – P. 183-184.

16. Finney, D.J. Probit Analysis, 3rd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 1971. – 333 p.
17. Giragosov, V., Khanaychenko, A. The state-of-art of the Black Sea turbot spawning population of Crimea // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2012. – Vol. 12. – P. 377-383.
18. Hara, S., Ozongun, M., Gunes, E., Ceylan, B. Broodstock rearing and spawning of Black Sea turbot, *Psetta maxima* // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2002. – Vol. 2. – P. 9-12.
19. Imstrand, A.K., Folkword, A., Grung, G.L., Stefanson, S.O., Tranger, G.L. Sexual dimorphism in growth and maturation of turbot, *Scophthalmus maximus* (Rafinesque, 1810) // Aquaculture Research. – 1997. – Vol. 28, No 2. – P. 101-114.
20. Reed, M., Lizette, D., Blair, D., Marrion, D. Acaricide, Fungicide and drug interactions in honey bees (*Apis mellifera*) // PLoS ONE. – 2013. – Vol. 8, No 1. – P. 1-10.
21. Sahin, T., Gunes, E. A preliminary study on population characteristics of turbot, *Psetta maxima*, in the Eastern Black Sea, Turkey // Turkish Journal of Science & Technology. – 2011. – Vol. 6, No 1. – P. 1-9.
22. Samsun, N., Kalayci, F., Samsun, O. Seasonal variation in length, weight, and sex distribution of turbot (*Scophthalmus maeoticus* Pallas, 1811) in the Sinop Region (Black Sea) of Turkey // Turk J. Zool. – 2007. – Vol. 31, No 4. – P. 371-378.

Поступила 29.01.2017 г.

Determination of length, at which the Black Sea turbot (*Scophthalmus maeotica maeotica*) reaches sexual maturity. M. M. Pyatinskiy. *Sexual maturation of the Black Sea turbot Scophthalmus maeotica maeotica (Pallas, 1814) was investigated. Length, at which the turbot reaches maturity, was determined using the probit method based on the function of maximum likelihood in R language. Probit analysis was applied to two samples with 199 and 102 specimens, correspondingly. The samples' data were merged, because no statistical difference was found between them. It was revealed that 50 % of female turbot reach sexual maturity at the length of 39.8 (37.5 ÷ 41.2) cm. The male turbot reach maturity faster than females at the length less than 35 cm. Results are statistically significant, passed validity test by χ^2 in confidence level 0.95. The current catch measure limit of 40 cm agrees with the obtained results and prevents catch of immature turbot.*

Keywords: Black Sea turbot, *Scophthalmus maeotica*, probit, fish catch statistics, distribution, length, maturation, regression analysis, Black Sea