

**Водные биоресурсы и среда обитания**  
 2019, том 2, номер 1, с. 47–52  
<http://journal.azniirkh.ru>, [www.azniirkh.ru](http://www.azniirkh.ru)  
 ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



**Aquatic Bioresources & Environment**  
 2019, vol. 2, no. 1, pp. 47–52  
<http://journal.azniirkh.ru>, [www.azniirkh.ru](http://www.azniirkh.ru)  
 ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

УДК 597.08

## УТОЧНЕНИЕ РАЗМЕРОВ НАСТУПЛЕНИЯ ПОЛОВОЙ ЗРЕЛОСТИ У ПИЛЕНГАСА *LIZA HAEMATOCHEILUS* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСШИРЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОБИТ-МЕТОДА

© 2019 А. Н. Михайлюк<sup>1</sup>, Р. А. Солод<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),  
 Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону 344002, Россия

<sup>2</sup>Институт рыбного хозяйства и экологии моря, Бердянск 71118, Украина  
 E-mail: a.mikhaylyuk@mail.ru

**Аннотация.** Уточнены оценки длины пиленгаса *Liza haematocheilus*, при которой наступает половая зрелость у 50 % самцов и самок, с использованием расширенных возможностей пробит-метода. К ним относятся задание параллельности прямых пробит-регрессий для обоих полов и использование индивидуальных, а не сгруппированных значений длины рыб. Ранее эти возможности не использовались в практике ихтиологических исследований. Уточненные оценки стандартной длины, при которой у 50 % особей пиленгаса наступает половая зрелость, составили 36,9 см и 40,5 см для самцов и самок, соответственно, а доверительные интервалы этих оценок при доверительной вероятности 95 % — 34,3–38,7 см и 38,9–41,8 см. Уточнение оценки по сравнению с полученной ранее традиционным способом было заметным для самцов, а обусловлено оно заданием параллельности прямых пробит-регрессий. Это условие позволило компенсировать объективный недостаток данных, заключающийся в том, что при расчетах нельзя было использовать данные для самцов длиной 35,0 см и менее, поскольку среди рыб такой длины было значительное количество особей с недифференцированным полом. Использование индивидуальных значений для длины вместо сгруппированных не привело к заметному улучшению точности оценок.

**Ключевые слова:** пиленгас, *Liza haematocheilus*, половая зрелость, Азовское море

## ELABORATION OF THE SIZE AT FIRST MATURITY IN SO-IUY MULLET *LIZA HAEMATOCHEILUS*, USING ADVANCED CAPABILITIES OF PROBIT METHOD

A. N. Mikhaylyuk<sup>1</sup>, R. A. Solod<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI “VNIRO”),  
 Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO” (“AZNIIRKH”), Rostov-on-Don 344002, Russia

<sup>2</sup>Institute of Fisheries and Marine Ecology, Berdyansk 71118, Ukraine  
 E-mail: a.mikhaylyuk@mail.ru

**Abstract.** The length of so-iuy mullet *Liza haematocheilus*, at which 50 % of males and females reach maturity, was elaborated and defined more precisely using advanced capabilities of probit method. Such capabilities include constraining probit regression lines for both sexes to be parallel and using individual values of fish length instead of grouped ones. Previously, these capabilities were not applied in the practice of ichthyological research. Elaborated estimations of the standard length, at which 50 % of so-iuy mullet specimens reach maturity, were 36.9 cm and 40.5 for males and females respectively, and confidence limits of these estimations with 95 % confidence probability were 34.3–38.4 cm and 38.9–41.8. The degree, to which the estimation was made more precise as compared to the estimation that had been derived earlier using conventional approach, was noticeable for males and is attributable to constraining probit regression lines to be parallel. This condition gave the opportunity to make up for intrinsic deficiency of data, which lay in the fact that, during calculations, the data on the males of 35.0 cm length and smaller could not be used because, among the individuals of this size, there was a significant number of those, which sex was not differentiated. Use of individual values for length instead of grouped ones did not result in significant increase in accuracy of estimations.

**Keywords:** so-iuy mullet, *Liza haematocheilus*, sexual maturity, Azov Sea

## ВВЕДЕНИЕ

Длина рыб, при которой наступает их половая зрелость, является важной характеристикой популяции. Особенный интерес такая характеристика представляет для пиленгаса *Liza haematocheilus* (Temminck & Schlegel, 1845) в Азовском море, где он является акклиматизантом и важным промысловым объектом. Оценка параметров зависимости наступления половой зрелости от длины для пиленгаса в Азовском море была выполнена ранее авторами с использованием стандартных возможностей пробит-метода [1]. Целью настоящего сообщения является уточнение этих оценок с использованием расширенных возможностей указанного метода. К ним относятся задание параллельности прямых пробит-регрессий для обоих полов и использование индивидуальных, а не сгруппированных значений длины рыб. Ранее эти возможности не использовались в практике ихтиологических исследований.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал был собран в процессе экспедиционных исследований в Азовском море с 19 июня по 19 июля 2009 г. и 17 июля 2011 г. Лов пиленгаса осуществлялся разноглубинным тралом. При проведении работ измеряли стандартную длину рыб (*SL*) от вершины рыла до основания средних лучей хвостового плавника с точностью 0,5 см, определяли пол и стадию зрелости гонад по шкале Никольского в изложении Правдина [2]. Для рыб с гонадами на стадии зрелости II отмечали, нерестилась ли данная особь ранее в текущем году или нет (у отнерестившихся рыб гонады были неравномерны по плотности и толщине). При подготовке данного

сообщения был использован тот же материал, что и для предыдущей статьи. В частности, при расчетах не использовали данные для рыб длиной 35,0 см и менее, поскольку среди рыб такой длины было значительное количество особей с недифференцированным полом. Различие между обеими публикациями заключается только в методике обработки данных. Ранее анализ данных для самцов и самок осуществлялся независимо, а в данном случае этот анализ основывался на допущении, что прямые пробит-регрессии для обоих полов параллельны. Указанное допущение рекомендуется применять в качестве расширения стандартных возможностей пробит-метода при сравнении между собой каких-либо совокупностей [3]. В предыдущей статье перед проведением расчетов данные группировались, что является обычной практикой. При подготовке настоящего сообщения использованы индивидуальные данные, поскольку в той модификации пробит-метода, которая основывается на аппроксимации методом максимального правдоподобия, для расчетов параметров группировка данных не обязательна. В то же время предварительная группировка данных желательна для проверки рабочих гипотез о нормальности распределения и параллельности прямых пробит-регрессий [3].

При подготовке предыдущей статьи расчеты выполнялись авторами самостоятельно согласно описанному Финнеем алгоритму [3], а для целей данного сообщения расчеты осуществлены с использованием пакета прикладных программ (ППП) SPSS21, в котором реализован, согласно описанию, тот же алгоритм. В обоих случаях логарифмирование данных перед проведением расчетов не выполнялось.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Для проверки адекватности реализации алгоритма расчетов пробит-методом в SPSS21 предварительно был выполнен расчет по той же схеме, что и при подготовке предыдущей статьи: данные были сгруппированы в размерные классы, а расчет выполнялся для самцов и самок независимо друг от друга. Результаты этих расчетов оказались следующими: стандартная длина, при которой 50 % особей пиленгаса являются половозрелыми, у самцов составила 36,1 см (95%-ный доверительный интервал — 20,0–38,4 см), у самок — 40,5 см (95%-ный доверительный интервал — 39,1–41,7 см).

2. Предварительный расчет по сгруппированным данным с заданием условия параллельности прямых пробит-регрессии, выполненный для проверки рабочих гипотез о нормальности распределения и параллельности прямых пробит-регрессий, потребовал 22 итерации (по умолчанию выполняется 20) и дал следующие результаты:

- значение  $\chi^2$ , отражающее качество соответствия данных нормальному распределению, равно 2,184 при 6 степенях свободы, а соответствующая этому значимость нормального распределения данных равна 0,902;
- значение  $\chi^2$ , отражающее соответствие данных гипотезе о параллельности прямых пробит-регрессии, равно 0,93 при 1 степени свободы, а соответствующая этому значимость параллельности равна 0,335;
- оценка длины, при которой 50 % самцов пиленгаса являются половозрелыми, составила 36,9 см (95%-ный доверительный интервал — 34,5–38,5 см);
- оценка длины, при которой 50 % самок половозрелы, составила 40,4 см (95%-ный доверительный интервал — 38,9–41,8 см).

3. Данные, сформированные для выполнения совместных расчетов для самцов и самок по индивидуальным значениям длины, приведены в таблице<sup>1</sup>. Расчет с заданным условием параллельности прямых пробит-регрессии был выполнен за 21 итерацию и дал следующие результаты:

- оценка длины, при которой 50 % самцов пиленгаса являются половозрелыми, состави-

ла 36,9 см (95%-ный доверительный интервал — 34,3–38,7 см);

- оценка длины, при которой 50 % самок половозрелы, составила 40,5 см (95%-ный доверительный интервал — 38,9–41,8 см);
- разница между самками и самцами в длине, при которой 50 % особей половозрелы, составила 3,6 см при 95%-ном доверительном интервале 1,0–8,3 см;
- уравнения регрессии, аппроксимирующие значения функции  $\psi$ , обратной интегралу вероятностей (в ППП SPSS21 эта функция названа пробитом), имеют следующий вид:  $\psi = 0,353x - 13,03$  — для самцов и  $\psi = 0,353x - 14,29$  — для самок, где  $x$  — стандартная длина рыб.

В ППП SPSS21 при расчете пробит-методом с использованием индивидуальных значений длины, как и для сгруппированных данных, выводятся соответствующие значения  $\chi^2$ . Однако в данном случае они не показательны, поэтому пользоваться ими не следует.

Ранее были получены [1] следующие оценки стандартной длины, при которой 50 % особей пиленгаса являются половозрелыми: самцы — 36,1 см (95%-ный доверительный интервал — 22,4–38,4 см), самки — 40,5 см (95%-ный доверительный интервал — 39,1–41,8 см). Таким образом, результаты расчетов, выполненных самими авторами по описанному Финнеем алгоритму [3], и аналогичных расчетов с использованием SPSS21 совпали применительно к оценке длины, при которой 50 % особей пиленгаса являются половозрелыми, и оказались очень близкими применительно к доверительным интервалам указанных оценок. Следовательно, алгоритм расчета пробит-методом (в версии Финнея) в SPSS21 реализован вполне адекватно.

Результаты предварительных расчетов по сгруппированным данным с условием параллельности прямых пробит-регрессий не дают оснований для отказа от предположений о нормальности распределения данных и параллельности прямых пробит-регрессий. Так, значимость параллельности, равная 0,335, выше критического уровня, принимаемого

<sup>1</sup> Эти данные дают возможность другим исследователям выполнить расчеты для оценки созревания пиленгаса в других регионах по сравнению с Азовским морем

Данные, сформированные для выполнения в ППП SPSS21 расчетов длины, при которой созревает 50 % особей пиленгаса, совместно для самцов и самок с индивидуальными значениями длины

The data, organized for evaluation of the length, at which 50 % of the so-iuy mullet individuals reach maturity, for males and females combined with individual values of their length, which is to be conducted in the Application Software Package SPSS21

Пол Sex	Стандартная длина, см Standard length, cm	Количество зрелых рыб данного пола при данной длине, шт. Number of mature individuals of the given sex at the given length, pcs.	Всего рыб данного пола при данной длине, шт. Total number of individuals of the given sex at the given length, pcs.
1	2	3	4
1	36	0	1
1	37	3	5
1	37,5	1	1
1	38	1	1
1	39	1	1
1	39,5	1	2
1	40,5	1	1
1	41	3	3
1	41,5	2	3
1	42	2	2
1	42,5	3	3
1	43	2	2
1	43,5	1	1
1	44	4	4
1	44,5	1	1
1	45	3	3
2	35,5	0	2
2	36	0	1
2	37	0	1
2	37,5	0	2
2	38	1	1
2	39	2	6
2	39,5	0	1
2	40	0	3
2	40,5	1	2
2	41	2	2
2	42	2	2
2	42,5	1	2
2	43	2	2
2	44	2	2
2	45	4	5
2	45,5	6	6
2	46	3	3
2	46,5	3	3
2	47	3	3
2	47,5	1	1

Пол: 1 — самцы, 2 — самки.

Sex: 1 — males, 2 — females.

обычно в размере 0,05, а значимость соответствия нормальному распределению, равная 0,902, значительно выше указанного уровня.

При использовании условия параллельности прямых пробит-регрессий при предварительных расчетах по сгруппированным данным оценка для самок практически не изменилась (стала 40,4 см, была 40,5 см), а для самцов она стала заметно больше (36,9 см, ранее — 36,1 см). Поскольку новая оценка для самцов осталась в пределах доверительного интервала прежней, то эти оценки не противоречат друг другу. Новая оценка более точна по сравнению с предыдущей, поскольку ее доверительный интервал значительно меньше (34,3–38,7 и 22,4–38,4 см, соответственно).

Использование при расчетах индивидуальных значений длины (при условии параллельности прямых пробит-регрессии) практически не отразилось на полученных оценках по сравнению со случаем сгруппированных данных: самцы — было и осталось 36,9 см, самки — было 40,4 см, стало 40,5 см.

Таким образом, повышение точности оценки для самцов полностью обусловлено введением условия параллельности прямых пробит-регрессии. Объясняется данное обстоятельство в объективном изъяне данных по созреванию самцов. Поскольку у особей пиленгаса длиной менее 35,5 см не всегда удавалось дифференцировать пол, то от них при выполнении расчетов пришлось отказаться. В расчетах использовались только особи длиной 35,5 см и более, при этом доля созревших самцов в размерных группах изменялась от 57 до 100 %, а самок — от 0 до 100 %. Отсутствие данных для размерных групп с малыми значениями доли половозрелых самцов и обусловило большую ошибку в определении наклона прямой пробит-регрессии и, соответственно, первоначальной оценки длины, при которой созревает 50 % самцов. Введение условия параллельности позволило устранить этот изъян в данных. Следует отметить, что эта операция не является формальной. Наклон прямой пробит-регрессии определяет тот диапазон размеров, при которых происходит созревание особей. При первоначальных расчетах коэффициенты наклона для самцов и самок были равны 0,284 и 0,448, соответственно [1]. Таким образом, оказалось, что самцы имеют более широкий диапазон созревания, чем самки, хотя созревают при меньшей длине. Это выглядит маловероятно и, очевидно, объясняется указанным выше изъяном в данных.

При уточненных расчетах подтвердилось выявленное ранее различие между самцами и самками в длине, при которой наступает половая зрелость у 50 % особей. Поскольку указанное выше минимальное значение 95%-ного доверительного интервала разницы между длинами созревания самок и самцов больше 0, то указанное различие статистически значимо с доверительной вероятностью 95 %. Именно в целях определения статистической значимости различий между двумя и более выборками Финней рекомендует их совместный анализ с заданием условия параллельности прямых пробит-регрессий [3].

Приводимые в данном сообщении уравнения пробит-регрессии отличаются довольно значительно от опубликованных ранее по величине свободных членов. Объясняется это тем, что ранее уравнения строились для пробитов ( $P$ ), а в данном сообщении, как и в ППП SPSS21, для функции, обратной интегралу вероятности ( $\psi$ ). Эти величины, как известно, связаны простым соотношением:  $P = \psi + 5$ .

## ВЫВОДЫ

Уточненные оценки длины, при которой у 50 % особей пиленгаса в Азовском море наступает половая зрелость, при использовании расширенных возможностей пробит-метода составили для самцов — 36,9 см, для самок — 40,5 см, а 95%-ные доверительные интервалы этих оценок составили, соответственно, 34,3–38,7 см и 38,9–41,8 см.

Использование расширенных возможностей пробит-метода позволило заметно улучшить эту оценку для самцов. Уточнение данной оценки обусловлено введением при расчете условия параллельности прямых пробит-регрессии, что позволило компенсировать изъян в данных для самцов, возникший по объективным причинам.

Совместный анализ данных для самцов и самок с заданием условия параллельности прямых пробит-регрессий рекомендуется выполнять как для определения статистической значимости различий в длине, при которой наступает созревание самцов и самок, так и для повышения точности оценок в тех случаях, когда часть размерных групп одного из полов недоступна для анализа.

Использование индивидуальных значений для длины вместо сгруппированных не привело к заметному улучшению точности оценок.

Для расчета параметров полового созревания рыб удобно использовать ППП SPSS21, в котором алгоритм пробит-метода в версии Финнея [3] реализован вполне качественно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
3. Finney D.J. Probit analysis (the 3<sup>rd</sup> edition). New York: Cambridge University Press, 1971. 333 p.

#### REFERENCES

1. Mikhaylyuk A.N., Solod R.A. Opredelenie dliny, pri kotoroy nastupaet polovaya zrelost' u pilengasa *Liza haematocheilus* (Mugiliformes: Mugilidae) v Azovskom more [Determination of the length by which the redlip mullet *Liza haematocheilus* (Mugiliformes: Mugilidae) reaches sexual maturity in the Sea of Azov]. *Voprosy rybolovstva [Problems of Fisheries]*, 2016, vol. 17, no. 1, pp. 82–87. (In Russian).
2. Pravdin I.F. Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh) [Guidance on research of fishes (mainly freshwater)]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry], 1966, 376 p. (In Russian).
3. Finney D.J. Probit analysis (the 3<sup>rd</sup> edition). New York: Cambridge University Press, 1971, 333 p.

Поступила 31.01.2019

Принята к печати 13.03.2019