

УДК 597.541:577.73(262.5)

**КЛАССИФИКАЦИЯ ФОРМ ХАМСЫ,  
*ENGRAULIS ENCRASICOLUS* (CLUPEIFORMES, ENGRAULIDAE),  
МЕТОДОМ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА****Е. Б. Мельникова**

*Институт биологии южных морей НАН Украины,  
пр. Нахимова, 2, Севастополь, 99011 Украина  
E-mail: Helena\_Melnikova@mail.ru*

Получено 14 сентября 2011

Принято 14 сентября 2012

**Классификация форм хамсы, *Engraulis encrasicolus* (Clupeiformes, Engraulidae), методом дискриминантного анализа. Мельникова Е. Б.** — Представлены классификационные функции, позволяющие на основе учета нескольких полученных в результате биологического анализа параметров (размеры отолитов, масса, длина, возраст и др.) разделить хамсу (*Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758) на три расы: черноморская, азовская и азово-черноморская. Оценена информативность параметров биологического анализа для интерпретации расовых различий.

Ключевые слова: хамса, отолиты, классификационные функции, идентификация особей.

**Classification of the Forms of Anchovy, *Engraulis encrasicolus* (Clupeiformes, Engraulidae), by Means the Method of Discriminate Analysis. Melnikova E. B.** — Submitted functions allowing separation anchovy in three races, the Black Sea anchovy (*Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758), Asov anchovy and Asov-Black Sea anchovy, are found. Informativity of biological analysis parameters for interpretation of racial distinctions of anchovy is estimated.

Key words: anchovy, otoliths, discriminant analysis, specimen identification.

**Введение**

Проблема внутривидовой дифференциации хамсы (*Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758), обитающей в Азово-Черноморском бассейне, несмотря на её актуальность и многолетний интерес со стороны исследователей, продолжает оставаться дискуссионной до настоящего времени. Для идентификации хамсы могут быть использованы разные отличительные признаки.

Н. Н. Данилевский и А. А. Майорова (1979) разделяют хамсу на две популяции в зависимости от района обитания. Одна из них населяет Азовское море, прибрежные районы северо-западной и юго-восточной частей Чёрного моря; другая распространяется в открытых глубоководных районах Чёрного моря. Среди характерных морфологических отличий между ними авторы указывают, в частности, форму отолитов. У представителей первой из них отолиты имеют более сферическую форму, у представителей второй — удлинённую.

Однако известно, что хамса является активно мигрирующим видом и ежегодно совершает сезонные миграции протяжённостью в сотни миль. К местам зимовок у берегов Анатолии, Кавказа и Крыма подходят стаи из разных популяций, которые могут смешиваться. Пути обратных миграций к местам нагула и размножения во многом определяются складывающимися гидрологическим и ветровым режимами. В частности, хорошо известно, что черноморская хамса заходит в Азовское море, а хамса, появившаяся на свет в Азовском море, может на следующий год размножаться в северо-западной части Чёрного моря (Данилевский, 1958). Таким образом, для данного вида характерна высокая степень панмиксии.

Е. П. Сказкина (1965) отмечает, что при изучении динамики численности азовской и черноморской хамсы постоянно приходится сталкиваться с трудностью различения этих рас.

А. К. Чашин (1982), В. В. Калнин и О. В. Калнина (1985) указывали на высокую степень обмена генами между азовской и черноморской хамсой, приводящую к образованию так называемой гибридной хамсы, имеющей промежуточные значения признаков.

О биологической неоднородности азовской хамсы писал Н. В. Лебедев (1967), выделивший по результатам многолетних исследований в пределах Азовского моря в нерестовый период более двух десятков внутривидовых группировок, различавшихся между собой по таким важным морфофизиологическим признакам, как линейные размеры особей, соотношение самцов и самок, упитанность, степень половой зрелости, интенсивность питания, содержание гемоглобина в крови и др. Данные группировки были им названы «элементарными популяциями».

Г. В. Зуев и др. (2007), рассматривая внутривидовую неоднородность зимующей у побережья Крыма хамсы, выделяет три группы: типично черноморскую, азовскую и прибрежную, близкую по своим морфологическим признакам к азовской хамсе.

В качестве основного таксономического признака для разделения черноморской и азовской хамсы Е. П. Сказкина (1965) использовала величину индекса отолитов (отношения длины к ширине отолита).

Несмотря на то, что различные расы хамсы отличаются между собой по ряду морфофизиологических признаков, в качестве приоритетного признака для идентификации рас хамсы в настоящее время в основном используют один признак — величина отношения длины к ширине отолита.

Практическая необходимость идентификации различных рас хамсы, обитающей в Чёрном море, вызывает необходимость ежегодно проводить специальные исследования и совершенствовать методику классификации особей. Это связано с тем, что азовская и черноморская хамса относятся к промысловым видам рыб, для которых предусматривают различные квоты вылова и различную плату за каждую выловленную тонну.

Применяемые в последние годы в биологии методы многомерного статистического анализа (Афифи, Эйзен, 1982; Лашкова и др., 2005) позволяют за счёт одновременного учёта нескольких параметров особей повысить достоверность их классификации.

Целью данной работы является выявление классификационной функции, применимой для идентификации черноморской, азовской и азово-черноморской рас хамсы, а также оценка вклада параметров, найденных в результате биологического анализа, в определение различий этих рас.

## Материал и методы

Пробы хамсы получены с октября по ноябрь 2010 г. из траловых уловов судов типа СЧС и МРТК в Керченском предпроливье (м. Кыз-Аул). Лов проводили над глубинами от 50 до 80 м.

При проведении дискриминантного анализа нами было проанализировано 191 ос. Все особи по соотношению длины отолита к его ширине (Сказкина, 1965) были разделены на 3 группы: 1) азовская хамса (а) — 53 ос.; 2) черноморская хамса (ч) — 87 ос.; 3) смешанная азово-черноморская хамса (ач) — 51 ос. Установлено, что наименьшее количество составляет азово-черноморская хамса, поэтому объём выборки для создания математической модели определяли с учётом этого (наименьшего) показателя (Мельникова, 2007).

Для определения значимых переменных, необходимых для разделения хамсы на группы (расы), был проведен биологический анализ. Было проанализировано 8 параметров, которые входят в стандартный биологический анализ для пелагических рыб, проводимый при определении биологического состояния промыслового стада.

Общая длина особи ( $TL$ ). Длину особи измеряли с точностью до 0,1 см.

Масса ( $M$ ). Массу особи измеряли с точностью до 0,01 г.

Ожирение внутренних органов оценивали визуально по 5-бальной шкале (Методическое..., 1974).

Возраст рыб определяли по отолитам в проходящем свете на бинокулярном микроскопе МБС-9 при 2-кратном увеличении объектива и 8-кратном окуляра.

Определяли длину отолита ( $l$ ). Длину отолита измеряли от роострума до построструма в делениях окуляр-микрометра (1 деление равно 0,05 мм при 2-кратном увеличении объектива).

Определяли ширину отолита ( $d$ ). При помощи шкалы окуляр-микрометра измеряли ширину отолита от основания (вентральный край) до подкрылка (дорсальный край) в делениях окуляр-микрометра.

Упитанность рыб вычисляли по формуле Фультона:  $CF = (M \cdot 100) / SL^3$ .

Отношение общей длины особи к стандартной ( $TL/SI$ ). Стандартную длину особи измеряли до конца позвоночного столба с точностью до 0,1 см.

Эти восемь параметров использовали в дискриминантном анализе для нахождения классификационных функций, которые характеризуют различия между группами хамсы и могут быть использованы для классификации новых особей.

Математическую обработку результатов проводили на персональном компьютере с использованием программ Microsoft Excel 7.0 и Statistica 6.0.

## Результаты и обсуждение

На первом этапе дискриминантного анализа были изучены межгрупповые различия общего порядка и выяснены следующие вопросы: возможно ли, используя заданный набор найденных в результате проведенного биологического анализа параметров (называемых дискриминантными переменными), отличить одну расу хамсы от другой, а также определить, какие из рассмотренных параметров наиболее информативны для интерпретации расовых различий.

Для оценки значимости информативных дискриминантных переменных существуют различные критерии отбора, каждый из которых имеет особый смысл (Дженнрич, 1986; Клекка, 1989; Бююль, Цефель, 2002).

В результате первого этапа анализа мы получили четыре подмножества значений (табл. 1), характеризующих информативность дискриминантных переменных в соответствии с различными критериями отбора.

Частичное значение лямбда Уилкса является критерием отбора, который определяет вклад каждой дискриминантной переменной в разделение между группами. Чем меньше значение, тем больше вклад дискриминационной переменной. По этому критерию отбора наибольший вклад в дискриминацию вносят длина отолита (0,695) и ширина отолита (0,756) (см. табл. 1). Наименьший вклад вносит отношение  $TL/SI$  (0,999).

Толерантность является критерием, определяющим избыточность дискриминантной переменной. Толерантность является мерой зависимости данной переменной от других. Переменные с малой толерантностью (менее 0,001) не являются независимыми, очень сильно зависят от других переменных, поэтому они должны быть исключены из дискриминантного анализа. По параметру толерантность все дискриминантные переменные, используемые для разделения групп хамсы, являются достаточно независимыми и могут быть включены в дальнейший дискриминантный анализ.

Коэффициент детерминации оценивает, насколько определенное в ходе дискриминантного анализа аналитическое уравнение совпадает с параметрами особей, найденными в проведенном биологическом анализе. Чем ближе коэффициент детерминации к единице, тем лучше найденное уравнение совпадает с результатами биологического анализа. По этому параметру наилучшим образом описаны в математической модели данные биологического анализа по общей длине особи (0,942) и массе (0,931). Наихудшим образом описаны в математи-

Таблица 1. Критерии отбора для дискриминантных переменных

Table 1. Criteria of selection for discriminates variables

Дискриминантная переменная	Критерий отбора			
	Частичное значение лямбды Уилкса	Толерантность	Коэффициент детерминации	Уровень вероятности
Общая длина	0,957	0,058	0,942	0,019
Масса	0,952	0,069	0,931	0,012
Ожирение внутренних органов	0,990	0,871	0,129	0,397
Возраст	0,994	0,363	0,637	0,599
Длина отолита	0,695	0,267	0,733	0,0001
Ширина отолита	0,756	0,405	0,595	0,0001
Упитанность $CF$	0,986	0,359	0,641	0,291
Отношение $TL/SI$	0,999	0,755	0,245	0,947

ческой модели данные по ожирению внутренних органов (0,129) и отношению общей длины особи к стандартной  $TL/SI$  (0,245).

Уровень вероятности является мерой случайности полученного результата. По этому параметру отношение  $TL/SI$  обладает очень высокой вероятностью (0,947) того, что отсутствует вклад данного параметра в разделение групп хамсы.

Таким образом, анализ информативности биологических параметров особей хамсы показывает, что для интерпретации межгрупповых различий длина и ширина отолита вносят наибольший вклад, а такой параметр, как отношение общей длины особи к стандартной длине  $TL/SI$ , по всем критериям является минимально информативным (вероятность отсутствия информативности  $p = 0,947$ ), и поэтому отношение  $TL/SI$  можно не использовать для разделения хамсы на расы.

На втором этапе дискриминантного анализа были определены классификационные функции, позволяющие на основе полученных в результате биологического анализа нескольких параметров данной особи, оценить к какой группе (к какой расе хамсы) с учётом вклада каждого из параметров наиболее вероятно может быть отнесена данная особь.

В общем виде классификационные функции имеют вид (Дженнрич, 1986):

$$d = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + b_0, \quad (1)$$

где  $x_1$  и  $x_n$  — значения дискриминантных переменных,  $b_1$ – $b_n$  и  $b_0$  — коэффициенты, которые предстоит определить с помощью дискриминантного анализа.

Каждая группа (азовская, черноморская и азово-черноморская) описывается своей классификационной функцией вида (1), то есть своим набором коэффициентов, на которые умножают значения соответствующих параметров биологического анализа. Произведения суммируют, и по результату особь должна быть отнесена к той группе, для которой эта сумма больше.

Подставляя полученные значения коэффициентов в уравнение (1), получаем следующие классификационные функции для каждой из рас хамсы.

Черноморская хамса:

$$d_{\text{ч}} = 85,857 \times TL - 34,858 \times M - 7,304 \times \text{Ожирение} - 18,046 \times \text{Возраст} + 0,209 \times \text{Длина отолита} + 3,080 \times \text{Ширина отолита} + 178,833 \times \text{Упитанность} - 434,840. \quad (2)$$

Азовская хамса:

$$d_{\text{а}} = 87,757 \times TL - 35,640 \times M - 7,316 \times \text{Ожирение} - 17,368 \times \text{Возраст} - 0,502 \times \text{Длина отолита} + 4,221 \times \text{Ширина отолита} + 181,756 \times \text{Упитанность} - 444,658. \quad (3)$$

Азово-черноморская хамса:

$$d_{\text{ач}} = 85,343 \times TL - 34,574 \times M - 7,775 \times \text{Ожирение} - 17,747 \times \text{Возраст} - 0,192 \times \text{Длина отолита} + 3,522 \times \text{Ширина отолита} + 178,658 \times \text{Упитанность} - 421,271. \quad (4)$$

Например, в результате биологического анализа особи хамсы были получены следующие параметры: общая длина —  $TL = 9,7$  см; масса —  $M = 6,82$  г; ожирение внутренних органов — 3 балла; возраст — 1 год; длина отолита —  $l = 59$  делений (2,95 мм); ширина отолита —  $d = 27,5$  деления (1,375 мм); упитанность —  $CF = 1,237$ . Подставляя полученные данные в уравнения (2) — (4), получили следующие значения классификационных функций:  $d_{\text{ч}} = 438,5$ ;  $d_{\text{а}} = 435,5$ ;  $d_{\text{ач}} = 436$ . Наибольшее значение классификационных функций получено для черноморской хамсы ( $d_{\text{ч}} = 438,5$ ), следовательно, эта особь должна быть классифицирована как черноморская хамса.

Таблица 2. Сравнительные результаты классификации хамсы по 7 параметрам  
Table 2. Comparison of results of classification of anchovy based on 7 parameters

Исходная классификация по отолитам	Совпадение результатов, %	Форма хамсы			Всего
		азово-черноморская, ос.	черноморская, ос.	азовская, ос.	
Азово-черноморская	39,2	20	27	4	51
Черноморская	92,0	3	80	4	87
Азовская	75,5	11	2	40	53
Итого	73,3	34	109	48	191

В таблице 2 приведены сравнительные результаты классификации особей хамсы данным методом по одному параметру (по величине индекса отолигов) и разработанным методом по 7 параметрам.

Видно, что из всей взятой для исследования хамсы по величине индекса отолигов правильно идентифицирована черноморская хамса в 92 % случаев (80 из 87 ос.) в 3,5 % случаев (3 из 87 ос.) она идентифицирована как азово-черноморская и в 4,5 % случаев (4 из 87 ос.) она идентифицирована как азовская. Азовская хамса правильно идентифицирована в 75,5 % случаев, а азово-черноморская правильно идентифицирована в 39,2 % случаев.

В целом, если для идентификации хамсы используют только отношение длины к ширине отолига, вероятность правильного разделения рас составляет 73,3 % (табл. 2).

## Выводы

Получены классификационные функции, обеспечивающие возможность деления хамсы на три расы (азовская, черноморская и азово-черноморская).

Установлено, что существующая в настоящее время методика деления хамсы на группы с использованием только отношения длины к ширине отолига содержит недостаточное количество признаков для надёжного разделения. Общая вероятность правильного определения рас хамсы по отношению размеров отолига составляет примерно 73 %.

Полученные результаты могут быть использованы при определении путей миграции, районов нагула и размножения различных рас хамсы, а также при расчёте допустимых объёмов вылова.

Благодарю А. Н. Гришина за предоставления проб, В. А. Бондарева за биологический анализ, Ю. Л. Мурзина за помощь в определении возраста.

*Афифи А., Эйзен С.* Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. — М.: Мир, 1982. — 488 с.

*Бююль А., Цефель П.* SPSS: искусство обработки информации: Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / Пер. с нем. под ред. В. Е. Момота. — СПб.: ООО «Диа СофтЮП», 2002. — 608 с.

*Данилевский Н. Н.* Миграции черноморской хамсы и факторы их обуславливающие // Тр. АзчерНИРО. — 1958. — Вып. 17. — С. 51–71.

*Данилевский Н. Н., Майорова А. А.* Анчоус *Engraulis encrasicolus ponticus* Alex / Сырьевые ресурсы Черного моря. — М.: Пищ. пром-сть, 1979. — С. 25–73.

*Дженнрич Р. И.* Пошаговый дискриминантный анализ // Статистические методы для ЭВМ: Пер. с англ. — М. Наука, 1986. — С. 94–112.

*Зуев Г. В., Гуцал К. Д., Мельникова Е. Б., Бондарев В. А.* К вопросу о внутривидовой неоднородности зимующей у побережья Крыма хамсы // Риб. госп-во України. — 2007. — № 6 (53). — С. 2–9.

*Калнин В. В., Калнина О. В.* Генетическая дифференциация и репродуктивные взаимоотношения азовской и черноморской рас европейского анчоуса. Сообщ. 3. Интрогрессивная гибридизация рас и популяционная структура анчоуса Черного моря // Генетика. — 1985. — 21, № 8. — С. 1352–1360.

- Клекка У. Р.* Дискриминантный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ : Пер. с англ. — М. : Финансы и статистика, 1989. — С. 78–138.
- Лашкова Е. И., Межжерин С. В., Дзевеин И. И.* Идентификация видов лесных мышей фауны Украины по экстерьерным и черепным признакам методами многомерного анализа // Вестн. зоологии. — 2005. — **39**, № 3. — С. 23–28.
- Лебедев Н. В.* Элементарные популяции рыб. — М. : Пищ. пром-сть, 1967. — С. 45–87
- Мельникова Е. Б.* Биологические измерения. Сколько их необходимо проводить? // Риб. госп-во України. — 2007. — № 1/2. — С. 61–63.
- Методическое* пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях / Под ред. Е. В. Боруцкого. — М. : Наука, 1974. — 254 с.
- Сказкина Е. П.* Различие азовской и черноморской хамсы по отолитам // Вопр. ихтиологии. — 1965. — **5**, вып. 4 (37). — С. 600–605.
- Чащин А. К.* Соотношение групп крови в популяциях анчоуса Азово-Черноморского бассейна // Пятая всесоюз. конф. по экол. физиол. и биохимии рыб : Тез. докл. — Киев : Наук. думка, 1982. — С. 36.