

УДК 599.323.4:591.4(477)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВИДОВ ЛЕСНЫХ МЫШЕЙ ФАУНЫ УКРАИНЫ ПО ЭКСТЕРЬЕРНЫМ И ЧЕРЕПНЫМ ПРИЗНАКАМ МЕТОДАМИ МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА

Е. И. Лашкова, С. В. Межжерин, И. И. Дзеверин

Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена НАН Украины,
ул. Б. Хмельницкого, 15, Киев, 01601 Украина

Получено 26 ноября 2003

Идентификация видов лесных мышей фауны Украины по экстерьерным и черепным признакам методами многомерного анализа. Лашкова Е. И., Межжерин С. В., Дзеверин И. И. — На основе многомерного количественного описания и дискриминантного анализа индивидуальной изменчивости и межвидовых различий по 4 промерам тела и 18 краниометрическим признакам разработаны идентификационные алгоритмы, позволяющие определять видовую принадлежность лесных мышей (*Sylvaemus*) фауны Украины по разным комбинациям этих признаков. По промерам тела правильно определены 88—94% особей, по краниометрическим признакам — 94—98%.

Ключевые слова: *Sylvaemus*, экстерьерные признаки, краниометрические признаки, дискриминантный анализ, территория Украины.

Identification Of Wood Mice Species of Ukrainian Fauna using External and Cranial Characters by the Multivariate Analyses. Lashkova E. I., Mezherin S. V., Dzeverin I. I. — Individual variation and inter-specific distinctions in four species of wood mice (*Sylvaemus*) of Ukrainian fauna were studied by multiple methods, first of all discriminant analysis. 4 body measurements were made and 18 craniometric characters were measured. The algorithms of species identification using various combinations of these characters are proposed. Species of 88—94% specimens can be identified correctly from body measurements, and of 94—98% specimens from craniometric characters.

Key words: *Sylvaemus*, external characters, craniometric characters, discriminant analysis, territory of Ukraine.

Введение

Род *Sylvaemus* Ognev in Ognev et Worobiev, 1923 на территории Украины представлен четырьмя видами: малая мышь — *Sylvaemus uralensis* (Pallas, 1811), степная мышь — *S. arianus* (Blanford, 1881), лесная мышь — *S. sylvaticus* (Linnaeus, 1758), желтогорлая мышь — *S. tauricus* (Pallas, 1811) (Межжерин, 1997). Проблема диагностики этих видов по морфологическим признакам на территории Украины остается актуальной, несмотря на большое количество работ по данной группе грызунов (Межжерин, 1993, 1997; Межжерин, Загороднюк, 1989; Загороднюк и др., 1997; Лашкова, Дзеверин, 2002; Загороднюк, 2002; Межжерин и др., 2002).

Ареалы этих видов перекрываются (за исключением парапатрических видов *S. sylvaticus* — *S. arianus*) и, несмотря на разную биотопическую приуроченность, они часто встречаются в одних и тех же стациях (Межжерин и др., 2002), что делает проблему их диагностики еще более актуальной.

Уникальные признаки, которые присущи, как правило, определенному виду, в данной группе практически отсутствуют. Видовые особенности сводятся, в основном, лишь к различиям в размерах и пропорциях тела и черепа. Но и эти различия достаточно сложно выявить из-за близости видов по общим размерам, клинальной изменчивости большинства признаков внутри видов (Лашкова, 2003). Окраска шерсти также сильно изменчива, хотя некоторые видовые особенности, например по форме грудного пятна для степной мыши, можно выявить и по ней (Межжерин и др., 2002). Однако применение этих признаков для идентификации материала (шкурки зверьков) не всегда возможно, так как у длительно хранящихся шкурки цвет меха меняется.

Оценить различие столь схожих видов по морфометрическим признакам проще и нагляднее всего с помощью методов многомерной статистики. Необходимость применения для идентификации

видов сложных многомерных методов вызвана тем, что во многих случаях по отдельным признакам сделать это практически невозможно.

Дискриминантный анализ уже был использован для оценки морфологических дистанций между разными популяциями лесной, желтогорлой и малой мышей Нижнего Дуная (Загороднюк, Федорченко, 1993), а также некоторых других территорий (Загороднюк, 1993). С помощью дискриминантного анализа разработаны ключи для определения видовой принадлежности лесных мышей по промерам зубов (Лашкова, Дзевирин, 2002). Этот метод при изучении мышей рода *Sylvaeus* использовали и другие исследователи (Лавренченко, Лихнова, 1995; Reutter et al., 1999; Van Der Straeten, Van Der Straeten-Harrie, 1977).

Цель настоящего исследования – проверка эффективности метода дискриминантного анализа для определения видовой принадлежности лесных мышей Украины по экстерьерным и краниометрическим признакам. Эта проверка включает в себя оценку сравнительного вклада различных экстерьерных и краниометрических признаков в разграничение видов, а также разработку простой (и, в то же время, достаточно надежной) методики определения видовой принадлежности особей лесных мышей по различным наборам размерных признаков тела и черепа.

Материал и методы

Материалом для работы послужили коллекции черепов лесных мышей отдела эволюционных и генетических основ систематики Института зоологии им. И. И. Шмальгаузена НАН Украины и Зоологического музея Киевского национального университета им. Тараса Шевченко. Всего были использованы данные по 1596 особям (380 экз. малой мыши, 275 – степной, 274 – лесной и 667 – желтогорлой мыши) из 59 мест обитания с территории Украины, а также сопредельных районов Молдавии и Белоруссии.

В работе проанализированы 4 признака, характеризующие общие промеры тела, и 18 краниометрических признаков. Были использованы такие промеры: 1 – длина тела; 2 – длина хвоста; 3 – длина задней ступни; 4 – длина уха; 5 – общая длина черепа; 6 – кондилобазальная длина черепа; 7 – ширина скуловых дуг в их первой трети; 8 – ширина черепа в области слуховых барабанов; 9 – ширина межглазничного сужения; 10 – высота рострума; 11 – наибольшая высота черепа; 12 – длина слуховых барабанов без отростков; 13 – длина диастемы верхней челюсти; 14 – длина носовых костей; 15 – наибольшая ширина двух резцовых отверстий; 16 – длина двух резцовых отверстий; 17 – расстояние от края альвеолы резцов до переднего края резцовых отверстий; 18, 19 – расстояние от заднего края левого и правого резцового отверстия до условной линии, которая проходит через передний край альвеол первых моляров (принимает положительные значения, когда резцовое отверстие заходит за эту линию, отрицательные – когда не доходит, 0 – когда заканчивается на этой линии); 20 – длина нижней челюсти; 21 – высота нижней челюсти; 22 – длина верхнего ряда моляров; 23 – длина нижнего ряда моляров.

Совокупности молодых (ювенильных вместе с полувзрослыми) и взрослых особей проанализированы отдельно.

Изменчивость признаков исследована стандартными методами линейного дискриминантного анализа (Афифи, Эйзен, 1982). Для каждой из моделей определяли значение статистики Уилкса (λ). Уровни значимости моделей (p) оценивали путем аппроксимации этой величины статистикой Фишера (F) со степенями свободы $df1$ и $df2$. На основе наиболее информативных моделей построены классификационные функции. Методика их использования для определения видовой принадлежности лесных мышей подробно описана нами ранее (Лашкова, Дзевирин, 2002). Вычисления проведены с помощью компьютерной системы анализа данных STATISTICA, версия 6 (StatSoft, Inc., 2001, США).

Экстерьерные признаки

Комплекс экстерьерных признаков очень важен для идентификации видов, особенно в случаях, когда в коллекционных сборах отсутствует череп, или при обработке больших серий зверьков. Диагностические возможности экстерьерных признаков были исследованы стандартными методами дискриминантного анализа. Результаты дискриминантного анализа различий между взрослыми лесными мышами показали, что для построения классификационных функций удобнее пользоваться тремя из четырех экстерьерных признаков: длиной хвоста, длиной ступни и длиной уха ($\lambda = 0,08$; $F = 155,20$; $df1 = 9$; $df2 = 757$; $p < 10^{-4}$). Приведены коэффициенты классификационных функций (табл. 1) и результаты использования этих функций для идентификации лесных мышей из исследуемой выборки (табл. 2). В совокупности по трем экстерьерным признакам также могут быть определены более 93% взрослых особей.

Таблица 1. Классификационные функции для определения видовой принадлежности четырех видов мышей при использовании трех промеров тела взрослых особей**Table 1. Classification functions for identification four wood mice species using three body measurements of adult specimens**

Признак	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4
Длина хвоста	0,025	0,118	−0,125	0,082
Длина ступни	23,194	24,562	26,310	29,685
Длина уха	7,258	7,681	9,321	10,031
Константа	−269,311	−310,533	−349,720	−457,204

Таблица 2. Количество правильно определенных взрослых особей при использовании трех промеров тела мышей**Table 2. Number of correctly identified adult specimens using three body measurements**

Вид	<i>S. uralensis</i>	<i>S. arianus</i>	<i>S. sylvaticus</i>	<i>S. tauricus</i>	Всего, %
<i>S. uralensis</i>	68	4	1	0	93,2
<i>S. arianus</i>	6	20	2	0	71,4
<i>S. sylvaticus</i>	1	1	46	1	93,9
<i>S. tauricus</i>	0	0	4	163	97,6
Всего	75	25	53	164	93,69

Таблица 3. Классификационные функции для определения видовой принадлежности четырех видов мышей при использовании четырех промеров тела молодых особей**Table 3. Classification functions for identification four wood mice species using four body measurements of young specimens**

Признак	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4
Длина тела	0,290	0,097	0,284	0,116
Длина хвоста	−0,953	−0,807	−1,199	−1,116
Длина ступни	16,386	15,784	18,013	20,157
Длина уха	3,464	5,261	5,734	6,531
Константа	−153,120	−162,230	−196,936	−248,799

Таблица 4. Количество правильно определенных молодых особей при использовании четырех промеров тела мышей**Table 4. Number of correctly identified of young specimens using four body measurements**

Вид	<i>S. uralensis</i>	<i>S. arianus</i>	<i>S. sylvaticus</i>	<i>S. tauricus</i>	Всего, %
<i>S. uralensis</i>	34	1	3	0	89,5
<i>S. arianus</i>	0	14	2	0	87,5
<i>S. sylvaticus</i>	2	1	34	7	77,3
<i>S. tauricus</i>	0	0	7	88	92,6
Всего	36	16	46	95	88,08

Молодые особи лесных мышей более сходны между собой, чем вполне взрослые, и поэтому качество дискриминантной модели, построенной по тем же четырем признакам, оказалось здесь несколько ниже ($\lambda = 0,12$; $F = 49,99$; $df1 = 12$; $df2 = 492$; $p < 10^{-4}$). Тем не менее особи разных видов, несомненно, отличаются как по отдельным признакам, так и, тем более, по их совокупности. При определении молодых особей по экстерьеру желательно использовать 4 признака. В таблице 3 приведены коэффициенты классификационных функций, которые могут быть применены в практической работе для определения видовой принадлежности молодых особей лесных мышей. Результаты использования этих функций для идентификации лесных мышей изучаемой выборки приведены в таблице 4. Дискриминантный анализ позволяет правильно определять по экстерьерным признакам видовую принадлежность примерно 88% особей.

Краниометрические признаки

Многомерный анализ комплексов краниометрических признаков позволяет определять видовую принадлежность лесных мышей с достаточно высокой степенью надежности, но, к сожалению, количество используемых признаков при этом велико. Для группы молодых особей наиболее точной и простой, со 100%-ным определением трех видов из четырех, является модель № 2 с 11 признаками (табл. 5). Классификационные функции этой модели приведены в таблице 6.

Анализ взрослых особей показал худшие результаты (табл. 7). Максимально точное определение видовой принадлежности, как и для молодых особей, возможно при использовании всех изучаемых 19 признаков. Такая методика вряд ли

Таблица 5. Сравнительная дискриминационная способность разных наборов краниометрических признаков молодых особей четырех видов лесных мышей

Table 5. Comparative discriminant ability of different combinations of craniometric characters in young specimens of four wood mice species

№ модели	Признак	Доля правильно определенных особей, %					λ	df1; df2	F	N
		SU	SA	SS	ST	Ср.				
1	5–23	100,0	90,5	100,0	100,0	98,4	0,010	57; 310	19,9	126
2	5, 7, 10–11, 15–16, 19–23	100,0	90,6	100,0	100,0	97,7	0,016	33; 336	30,3	126

Примечание. SU – *S. uralensis*; SA – *S. arianus*; SS – *S. sylvaticus*; ST – *S. tauricus*; Ср. – доля правильно определенных особей всех четырех видов; во всех случаях $p < 0,0001$.

Таблица 6. Классификационные функции для определения молодых особей четырех видов лесных мышей по 11 краниометрическим признакам (модель 2, табл. 5)

Table 6. Classification functions for identifying young specimens of four wood mice species using 11 craniometric characters (model 2, table 5)

Признак	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4
5	13,866	16,155	12,867	15,340
7	–22,441	–22,364	–22,457	–28,061
10	–25,705	–31,707	–28,900	–30,967
11	73,617	73,772	81,261	82,558
15	2,530	14,578	14,616	16,973
16	8,450	2,520	21,324	11,955
19	–2,366	–2,449	–2,186	–3,304
20	3,859	–2,242	–2,719	0,995
21	–23,054	–17,064	–23,607	–21,333
22	89,800	106,358	92,547	116,029

Таблица 7. Сравнительная дискриминационная способность разных наборов краниометрических признаков взрослых особей четырех видов лесных мышей

Table 7. Comparative discriminant ability of different combinations of craniometric characters in adult specimens of four wood mice species

№ модели	Q	Признак	Доля правильно определенных особей, %					λ	F	N
			SU	SA	SS	ST	Ср.			
1	19	5–23	87,0	86,2	96,4	100,0	93,5	0,015	44,1	293
2	15	5, 7, 10–18, 20–23	84,5	88,1	96,4	100,0	93,2	0,016	55,7	296
3	12	5, 11–13, 15–17, 20–23	83,6	86,4	96,4	100,0	92,6	0,017	69,4	299
4	9	11–13, 15–16, 18, 20, 22–23	83,8	84,4	96,6	100,0	92,1	0,021	90,5	315
5	8	11–13 15 18 20 22–23	84,0	79,7	94,9	100,0	90,8	0,022	100,5	316
6	4	12 13 18 22	84,9	70,8	95,5	100,0	88,9	0,035	196,4	336

Примечание. Как в таблице 5.

Таблица 8. Классификационные функции для определения видовой принадлежности взрослых особей четырех видов лесных мышей по четырем краниометрическим признакам (модель 6, табл. 6.)

Table 8. Classification functions for identifying adult specimens of four wood mice species using four cranio-metric characters (model 6, tabl. 6)

Признак	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4
12	82,850	84,678	84,167	105,229
13	21,949	18,961	26,959	22,535
18	0,650	0,606	2,074	0,710
22	166,253	176,886	183,130	206,882
Константа	-531,155	-558,398	-631,795	-796,708

может иметь практическое значение. В то же время использование всего четырех признаков (длина слуховых барабанов, длина диастемы, расстояние от края резцовых отверстий до альвеол первых коренных зубов, длина верхнего зубного ряда) дает не намного худшие результаты. Классификационные функции для последней модели приведены в таблице 8.

Обращают на себя внимание некоторые важные моменты. Прежде всего — высокая точность диагностики по краниометрическим признакам. Точность определения в полученных моделях приближается к 100%-ной, и даже особи степной мыши, определить видовую принадлежность которых особенно трудно, могут быть идентифицированы в 71—91% случаев (в зависимости от модели). Эти результаты хорошо согласуются с общепринятым мнением о высокой информативности краниометрических признаков млекопитающих и соответственно о перспективности их использования в таксономических исследованиях.

Несколько неожиданный результат проведенного исследования состоит в том, что, как обнаружилось в процессе многомерного анализа (сравните табл. 5 и 6), межвидовые различия молодых особей выражены даже несколько в большей мере, чем у зрелых животных. Между тем, принято считать, что молодые особи разных близкородственных видов более сходны между собой, чем зрелые особи тех же видов. По сути, на этом предположении основаны попытки описать межвидовые различия в терминах возрастных аллометрических изменений (обзоры, напр.: Кейлоу, 1986; Рэфф, Кофмен, 1986). Предположение о возрастании у лесных мышей несходства с возрастом для некоторых групп признаков справедливо, но в изменчивости краниометрических признаков мы наблюдаем иную картину. Причины такого своеобразного характера возрастных изменений краниометрических признаков у лесных мышей остаются пока неясными.

Наиболее эффективна диагностика желтогорлой мыши. Независимо от методики самые большие трудности практически во всех изученных случаях представляет идентификация особей степной мыши. Сложнее всего идентифицировать морфологически промежуточную степную мышь (в среднем 79% правильных определений). Возможность правильной идентификации степной мыши появляется лишь при использовании одновременно промеров тела и черепа, а также особенностей окраски и наличия или отсутствия грудного пятна.

Вычислительные аспекты использования алгоритмов

Дискриминантные функции, предлагаемые в настоящей работе в качестве основы определительных тестов, могут показаться громоздкими и неудобными. К тому же среди зоологов бытует мнение, что бинарные определительные ключи более надежны и информативны для диагностики видов. Не вдаваясь в обсуждение того, насколько обосновано такое убеждение, отметим, что подобные ключи могут быть разработаны лишь в тех случаях, когда известны дискретные видо-специфические признаки. Примером таких признаков могут служить биохими-

ческие генные маркеры. В тех случаях, когда такие признаки неизвестны, видовая диагностика требует учета большого числа переменных количественных или дискретных признаков в их связи с видовой принадлежностью и взаимосвязи между собой. Такой учет может быть обеспечен средствами дискриминантного анализа (Кендалл, Стьюарт, 1976), и классификационные функции представляют собой именно оптимальный алгоритм определения по признакам с внутривидовой изменчивостью и без четких межвидовых hiatusов.

Что касается громоздкости и трудностей расчета дискриминантных функций, то их не стоит преувеличивать. Методика использования классификационных уравнений подробно изложена ранее (Лашкова, Дзеверин, 2002). Как классификационные, так и канонические функции могут быть вычислены без особых сложностей (на простейших калькуляторах, тем более на компьютере). Возможности построения линейных комбинаций наборов переменных (к чему, с математической точки зрения, сводится вычисление линейных дискриминантных функций) предоставляются всеми основными компьютерными программами, в том числе специализированными статистическими пакетами (STATISTICA, SPSS, STATGRAPHICS, S-PLUS и т. п.). Особенно просто вычислять значения линейных комбинаций в программе MATLAB, ориентированной прежде всего на обработку больших массивов данных; задачи линейного комбинирования решаются в ней совершенно элементарно, буквально в одно действие.

- Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ : Пер. с англ. — М. : Мир, 1982. — 488 с.
- Загороднюк И. В. Идентификация восточноевропейских форм *Sylvaemus sylvaticus* (Rodentia) и их географическое распространение // Вестн. зоологии. — 1993. — № 6. — С. 37–46.
- Загороднюк И. В. Польовий визначник дрібних ссавців України. — К., 2002. — 60 с. — (Пр. Теріологічної школи, вип. 5).
- Загороднюк И. В., Федорченко А. А. Мыши рода *Sylvaemus* Нижнего Дуная. Сообщение 1. Таксономия и диагностика // Вестн. зоологии. — 1993. — № 3. — С. 41–49.
- Загороднюк И. В., Боевсков Г. Г., Зыков А. Е. Изменчивость и таксономический статус степных форм мышей рода *Sylvaemus* (*falzeini* — *fulvipectus* — *hermonensis* — *arianus*) // Вестн. зоологии. — 1997. — 31, № 5–6. — С. 37–56.
- Кейлоу П. Принципы эволюции : Пер. с англ. — М. : Мир, 1986. — 128 с.
- Кендалл М., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды : Пер. с англ. — М. : Наука, 1976. — 736 с.
- Лавренченко Л. А., Лихнова О. П. Аллозимная и морфологическая изменчивость трех видов лесных мышей (Rodentia, Muridae, Apodemus) Дагестана в условиях симбиотопии // Зоол. журн. — 1995. — 74, № 5. — С. 107–119.
- Лашкова Е. И. Морфометрическая изменчивость лесных мышей, *Sylvaemus* (Muridae), фауны Украины // Вестн. зоологии. — 2003. — 37, № 3. — С. 31–41.
- Лашкова Е. И., Дзеверин И. И. Однотометрическая изменчивость и идентификация видов лесных мышей, *Sylvaemus* (Muridae, Rodentia), фауны Украины // Вестн. зоологии. — 2002. — 36, № 3. — С. 25–33.
- Межжерин С. В. Лесные мыши рода *Sylvaemus* Ognev et Vorobiev, 1924 фауны Украины // Млекопитающие Украины. — Киев : Наук. думка, 1993 — С. 55–63.
- Межжерин С. В. Ревизия мышей рода *Apodemus* (Rodentia, Muridae) Северной Евразии // Вестн. зоологии. — 1997. — 31, № 4. — С. 29–41.
- Межжерин С. В., Загороднюк И. В. Новый вид мышей рода *Apodemus* (Rodentia, Muridae) // Вестн. зоологии. — 1989. — № 4. — С. 55–59.
- Межжерин С. В., Лашкова Е. И., Товпицец Н. Н. Географическое распространение, численность и биотопическое распределение лесных мышей *Sylvaemus* (Rodentia, Muridae) на территории Украины // Вестн. зоологии. — 2002. — 36, № 6. — С. 39–49.
- Рэфф Р., Кофмен Т. Эмбрионы, гены и эволюция : Пер. с англ. — М. : Наука, 1986. — 288 с.
- Reutter B. A., Hausser J., Vogel P. Discriminant analysis of skull morphometric characters in *Apodemus sylvaticus*, *A. flavicollis*, and *A. alpicola* (Mammalia; Rodentia) from the Alps // Acta Theriol. — 1999. — 44, N 3. — P. 299–308.
- Van Der Straeten E., Van Der Straeten-Harrie B. Etude de la biometrie cranienne et de la repartition d'*Apodemus sylvaticus* (Linnaeus, 1758) et d'*Apodemus flavicollis* (Melchior, 1834) en Belgique // Acta Zool. Pathol. Antverpiensia. — 1977. — 69. — P. 169–182.