

УДК 599.323.4

К ВОПРОСУ О ДИАГНОСТИКЕ ФОНОВЫХ ВИДОВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ДНЕПРОВСКО-ОРЕЛЬСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Антонец Н. В.¹, Балалаев А. К.²

¹Днепроовско-Орельский природный заповедник, Днепропетровск, antonez_48@mail.ru

²Днепропетровский национальный университет, Днепропетровск

Исследован вопрос определения с целью диагностики и распознавания в полевых условиях трех фоновых видов мелких млекопитающих: малой лесной мыши (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811), лесной мыши (*S. sylvaticus* Linnaeus, 1758) и полевой мыши (*Apodemus agrarius* Pallas, 1778). Целью данного исследования было установить отличие морфометрических показателей у фоновых видов из поймы и песчаной степи. Согласно предложенной нами методики эти виды диагностируются с помощью пяти внешних диагностических признаков: длины тела (L), длины хвоста (Ca), высоты уха (Au), длины ступни задней лапки (Pl) и весу тела (P), что позволяет достоверно определять принадлежность к тому или иному виду. Благодаря мониторингу (с 1991 г.) за состоянием популяций этих видов установлено, что данные виды отличаются по совокупности свойственных каждому из них морфометрических признаков.

Ключевые слова: фоновые виды микромаммалей, мониторинг, Днепроовско-Орельский заповедник.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, фоновые виды входят в состав доминирующей группы и образуют ядро сообщества. В поддержании средообразующей функции природы ключевую роль играют именно фоновые виды, благополучие которых, сохранность их структуры, определяет основные потоки вещества и энергии и обеспечивает существование всех остальных видов в сообществах, всего биоразнообразия экосистем. Диагностика фоновых видов мелких млекопитающих, особенно видов-двойников, является по-прежнему сложной и актуальной проблемой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

С 1991 в заповеднике проводили учеты численности и инвентаризацию мелких млекопитающих в основных биотопах на 15 постоянных учетных линиях (П.У.Л.), согласно, общепринятых методик с использованием обыкновенных ловушек Геро, и специальных живоловок системы Н. А. Щипанова (1999). Собранный за 11 лет (с 1991 по 2001 гг.) исследований выборка фоновых видов мышевидных грызунов, объемом 1583 особи включает 3 вида: мышь малая лесная (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811), мышь лесная (*S. sylvaticus* Linnaeus, 1758) и полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas, 1778) [1]. Из них, два первых вида являются видами-двойниками [2]. В настоящее время для идентификации видов-двойников разработаны определительные ключи и составлен полевой определитель мелких млекопитающих Украины [3]. Тем не менее, для практических целей, возникает необходимость в

построении некоего решающего правила (классификатора), с помощью которого даже неспециалисты смогли бы по 5-ти внешним диагностическим признакам: длине тела (L), длине хвоста (Ca), высоте уха (Au), длине ступни (Pl) и весу тела (P) достоверно определять принадлежность к тому или иному виду.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ни одно экспериментальное исследование не обходится без расчета первичных статистических параметров, которые приведены в таблице 1 и является скорее традиционным, чем информативным, т. к., даже при «плохих» показателях окончательные выводы обычно делают на основе более мощных методов.

Таблица 1

Основные статистические характеристики морфометрических признаков мышей

Признак	Среднее значение	-95%	+95%	Min	Max	Стандарт. отклон.	Коеф. вариаци.	Критерий Кол.-См.
L	8,891	8,844	8,938	5,5	12,2	0,963	10,83%	0,1
Ca	8,019	7,98	8,058	4,3	10,8	0,812	10,12%	0,1
Au	1,36	1,352	1,368	0,8	1,9	0,163	11,96%	0,09
Pl	1,929	1,922	1,936	0,95	2,5	0,145	7,53%	0,1
P	20,37	20,042	20,67	1,85	45,6	6,784	33,3%	0,09

Применим к исходным данным многофакторный дисперсионный анализ. При этом в качестве независимых переменных возьмем: 1 – вид, 2 – пол, 3 – возраст, 4 – год, а, зависимые переменные все 5 выше перечисленных признаков. Причем, нас интересует достоверное влияние 4-х факторов на все внешние признаки одновременно.

В общем случае взаимодействие между факторами описывается в виде изменения одного эффекта под воздействием другого. Для взаимодействия четырех факторов, можно сказать, что взаимодействие трех факторов, изменяется под воздействием четвертого фактора. Аналогичные рассуждения необходимо применить к трех- и двух- факторным эффектам.

Как известно, λ – критерий Уилкса является многомерным аналогом F- критерия Фишера. Его значения лежат в интервале от 0 до 1, причем, чем ближе к 0 тем воздействие фактора сильнее. Приведен так же аналогичный λ – критерию Уилкса, R – критерий Раоса, значения которого изменяются в гораздо более широких пределах и увеличивается с ростом эффекта, что нагляднее. Требования робастности λ - критерия Уилкса и R – критерия Раоса не однозначны. Тем не менее, в таблице 1 приведены критерии Колмогорова-Смирнова всех изучаемых зависимых переменных. Необходимо отметить, что низкие значения критериев при уровне значимости меньше 0,01 соответствуют небольшому отклонению измеряемых переменных от нормального распределения, а значит корректности применения дисперсионного и других методов статистического анализа

используемых в данной статье. Это же подтверждает и колоколообразная форма гистограмм, которые не приведены с целью экономии места.

Из таблицы 2 видно, что наиболее значащими факторами являются вид и возраст. Причем, воздействие настолько сильное, что их комбинации значимы вплоть до взаимодействия 4-х факторов. Два оставшихся фактора пол и год менее значимы, соответственно и их влияние на другие факторы и друг на друга не такое значительное. Однако фактор года или фактор времени заслуживает особого внимания. Мы предполагаем что, это явление можно объяснить 11-летними циклами солнечной активности, которые, как известно, влияют так же и на численность мышевидных грызунов [1]. Учесть этот фактор в нашем исследовании достаточно сложно. Если брать по отдельности зависимые признаки, то наблюдаются те же закономерности (таблицы с соответствующими коэффициентами Фишера и уровнями значимости не представлены для экономии места). Таким образом, разделив на группы по возрастному и половому признаку (т.е. исключив фактор возраста и пола) можно попытаться классифицировать особи по 3-м видам с малой вероятностью ошибки в пределах каждой из 6-ти, половозрастных групп. Подробнее о возможностях многофакторного дисперсионного анализа можно ознакомиться в специальной литературе [4; 8; 9].

Таблица 2

Оценочные характеристики четырехфакторного дисперсионного анализа

Факторы и их комбинации	λ – Уилкса	R – Раоса	Уровень значимости – p
1	0,262	242,53	0
2	0,978	5,774	2,8E-05
3	0,495	259,44	0
4	0,847	5,377	3,1E-25
12	0,982	2,261	0,013
13	0,907	12,717	6,8E-22
23	0,987	3,378	0,005
14	0,879	2,079	7,1E-08
24	0,948	1,722	0,003
34	0,927	2,434	1,3E-06
123	0,982	2,335	0,009
124	0,938	1,022	0,425
134	0,928	1,205	0,104
234	0,972	0,892	0,664
1234	0,918	1,370	0,016

Примечание к таблице: жирным шрифтом выделены воздействия с уровнем значимости $p < 0,05$.

Теперь, прежде чем перейти непосредственно к задаче классификации видов для выявления избыточности исходных данных проанализируем матрицу взаимных корреляций исследуемых признаков приведенную в таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов корреляции и их уровней значимости

Показатели	L	Ca	Au	Pl	P
L – длина тела Уровень значимости	1	0,502 p=0	0,002 p=,930	0,108 p=0	0,822 p=0
Ca – длина хвоста Уровень значимости	0,502 p=0	1	0,438 p=0	0,359 p=0	0,41 p=0
Au – длина уха Уровень значимости	0,002 p=,930	0,438 p=0	1	0,544 p=0	-0,056 p=,022
Pl – длина ступни Уровень значимости	0,108 p=0	0,359 p=0	0,544 p=0	1	-0,015 p=,530
P – вес тела Уровень значимости	0,822 p=0	0,41 p=0	-0,056 p=022	-0,015 p=530	1

Примечание к таблице: жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции с уровнем значимости $p < 0,05$.

Как и следовало ожидать, самый большой коэффициент корреляции 0,822 выявлен между весом и длиной тела грызуна при практически 100% вероятности. Необходимо отметить, что остальные связи между морфологическими признаками не являются столь тесными и это положительные предпосылки для дальнейшего анализа.

Среди большого количества методов классификации данных или методов распознавания образов с обучением, которые генерируют решающее правило позволяющее отнести неизвестную особь к заданному виду, мы использовали линейный дискриминантный анализ [5; 6; 7]. Во-первых, потому, что данный анализ представляет собой надежный, испытанный временем линейный метод классификации данных. Во-вторых, искомое решающее правило представлено в виде простых классифицирующих функций, используя которые, возможна классификация без компьютера, что особенно ценно в полевых условиях. Достаточно просто умножить значение измеренного признака на соответствующий коэффициент функции, все произведения сложить, прибавить константу, учитывая знаки, и сравнить полученные числа. Объект принадлежит тому классу, значение дискриминантной функции которого максимально.

Итоги классификации приведены в сводной таблице 4. Следует заметить, что наиболее информативными признаками, практически во всех половозрастных группах, оказались (в порядке убывания): высота уха, длина хвоста и длина ступни. Вес и длина тела оказались менее важными, к тому же они, как мы выяснили выше, тесно коррелируют между собой. Однако при попытке исключить их из линейной модели классификации вероятность правильного распознавания уменьшалась. Другая тенденция заключается в том, что у взрослых особей надежность распознавания выше (т.е. λ – Уилкса меньше) и уровень значимости ниже, чем у молодых. Это так же хорошо видно из таблицы 5, в которой указаны проценты правильной классификации распознаваемых особей разных видов и возрастных групп. Для той же таблицы можно отметить, что у вида *Sylvemus sylvaticus* самый

Таблица 4

Значения коэффициентов 3-х дискриминантных функций в не стандартизованном виде и их оценочные характеристики применительно к 6-ти половозрастным группам

Группы	Признаки	<i>Sylvaemus uralensis</i>	<i>Sylvaemus sylvaticus</i>	<i>Apodemus agrarius</i>	λ – Уилкса	p – уровень значимости
Взрослые самцы	L	17,34	17,22	19,96	0,101	3,3E-06
	Ca	13,84	12,83	10,87	0,11	1,5E-11
	Au	102,43	125,52	75,93	0,186	0
	Pl	134,55	150,08	133,96	0,114	1,8E-13
	P	-2,27	-2,26	-1,72	0,105	9,4E-09
	Constant	-311,4	-366,85	-292,08		
Самцы сеголетки	L	21,01	20,88	23,34	0,203	4,2E-05
	Ca	9,18	7,8	3,58	0,289	0
	Au	131,28	153,72	106,9	0,357	0
	Pl	103,52	112,09	101,04	0,209	8,4E-08
	P	-1,51	-1,45	-0,7	0,214	2,6E-10
	Constant	-305,14	-344,57	-263,51		
Ювенильные самцы	L	-0,78	-2,6	3,1	0,243	0,00652
	Ca	4,6	4,64	0,31	0,277	0,00018
	Au	99,83	116,39	71,86	0,356	1,9E-07
	Pl	91,39	101,94	88,09	0,226	0,047
	P	1,32	1,5	1,72	0,209	0,40736
	Constant	-171,03	-203,62	-139,11		
Взрослые самки	L	16,52	16,38	20,85	0,135	5,7E-17
	Ca	19,77	18,9	14,84	0,155	2,1E-28
	Au	138,08	164,59	102,92	0,266	0
	Pl	107,2	116,14	106,2	0,119	5,9E-07
	P	-0,25	-0,21	0,07	0,124	4,3E-10
	Constant	-359,48	-409,68	-323,09		
Самки сеголетки	L	15,49	15,97	18,4	0,304	8,2E-07
	Ca	12,27	11,09	7,18	0,409	1,2E-28
	Au	85,02	99,97	66,56	0,423	0
	Pl	91,38	98,83	86,2	0,308	8,8E-08
	P	-2,2	-2,23	-1,55	0,299	1,8E-05
	Constant	-240,82	-272,5	-207,46		
Ювенильные самки	L	30,54	30,54	32,26	0,348	0,317
	Ca	-5,28	-6,14	-8,8	0,417	0,0001
	Au	129,17	146,01	110,91	0,569	1,1E-10
	Pl	57,76	59,24	56,83	0,341	0,792
	P	-3,07	-3,28	-2,09	0,385	0,004
	Constant	-215,04	-233,42	-194,59		

Примечание к таблице: ad – взрослые; sad – сеголетки; yuv – ювенильные.

низкий процент по сравнению с другими видами во всех половозрастных группах. Этот факт объясняется тем, что мышь лесная является видом-двойником малой лесной мыши, и соответственно, ее сложнее правильно классифицировать. Настоящими исследованиями подтверждена видоспецифичность видов-двойников рода *Sylvaemus* для рассматриваемого региона и принадлежность полевой мыши к другому роду – *Apodemus*.

Таблица 5

Процент верного распознавания линейным дискриминатором описываемых видов
для различных половозрастных групп

Вид	Взрослые самцы	Самцы сеголетки	Ювенильные самцы	Взрослые самки	Самки сеголетки	Ювенильные самки
<i>Sylvaemus uralensis</i>	91,76	91,24	91,43	94,9	93,7	93,44
<i>Sylvaemus sylvaticus</i>	92,55	71,43	66,67	75	56,45	59,1
<i>Apodemus agrarius</i>	96,75	93,15	100	92,4	85,1	76,92
Общий	94,04	87,19	87,1	89,35	85,88	83,33

На рисунках 1–6 наглядно представлены диаграммы рассеяния исследуемых особей в плоскости двух канонических переменных (определенных линейных комбинаций признаков) для всех половозрастных групп. Не вдаваясь в подробности, алгоритма построения графиков на них можно увидеть, как группируются изучаемые особи вокруг некоторых центров. Чем исходные данные группируются теснее к соответствующим центрам, и чем центры находятся дальше друг от друга, тем точнее классификация.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных анализов можно прийти к заключению, что изучаемые виды малая лесная мышь, лесная мышь и полевая мышь хорошо классифицируются с помощью линейных дискриминантных функций. Причем, чем взрослее распознаваемая особь, тем надежнее классификация. Случаи неверного определения вида в обучающей выборке можно объяснить неизбежными ошибками экспертов (человеческий фактор) и варьированием признаков от года к году в зависимости от активности Солнца. Впрочем, насколько построенное нами решающее правило успешно моделирует реальность, покажет время. Для повышения надежности необходимо добавление новых признаков, например морфометрических показателей внутренних органов. Иногда эффективно применение принципиально других методов распознавания образов. Рассмотрению этих вопросов будут посвящены последующие публикации.

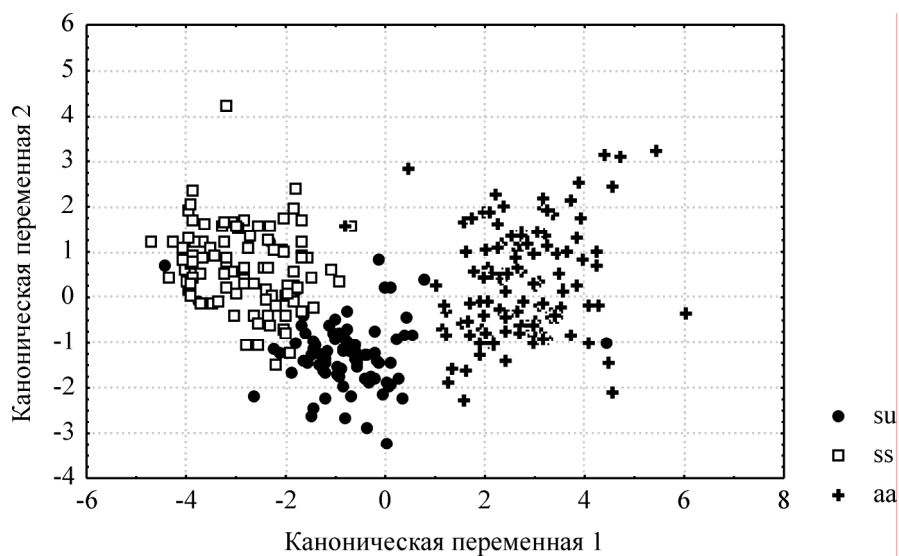


Рис. 1. Разделение взрослых самцов на 3 вида (su – *Sylvaemus uralensis*; ss – *S. sylvaticus*; aa – *Apodemus agrarius*)

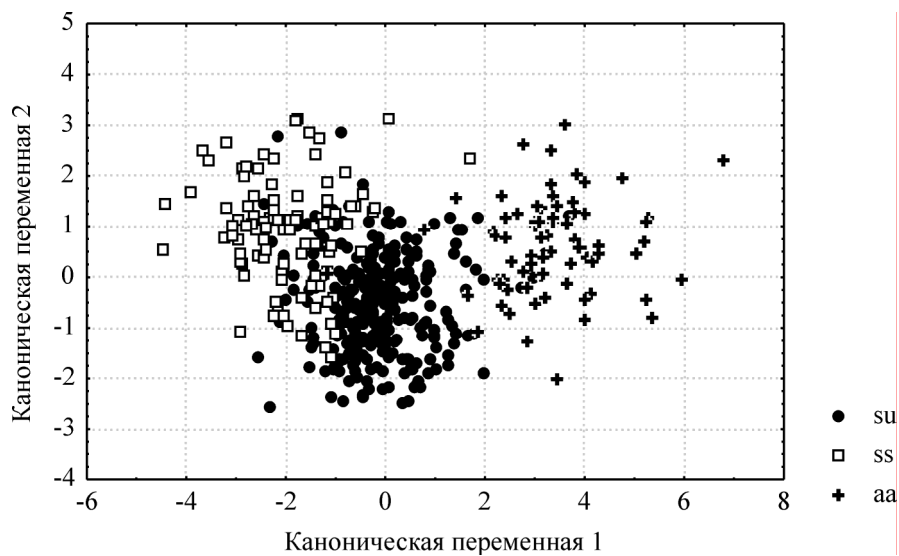


Рис. 2. Разделение самцов сеголеток на 3 вида (su – *Sylvaemus uralensis*; ss – *S. sylvaticus*; aa – *Apodemus agrarius*)

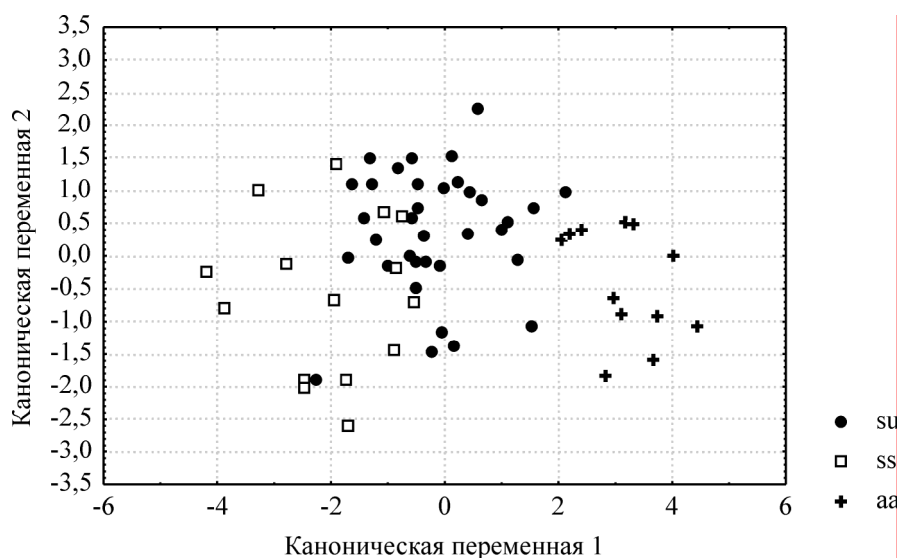


Рис. 3. Разделение ювенильных самцов на 3 вида (su – *Sylvaemus uralensis*; ss – *S. sylvaticus*; aa – *Apodemus agrarius*)

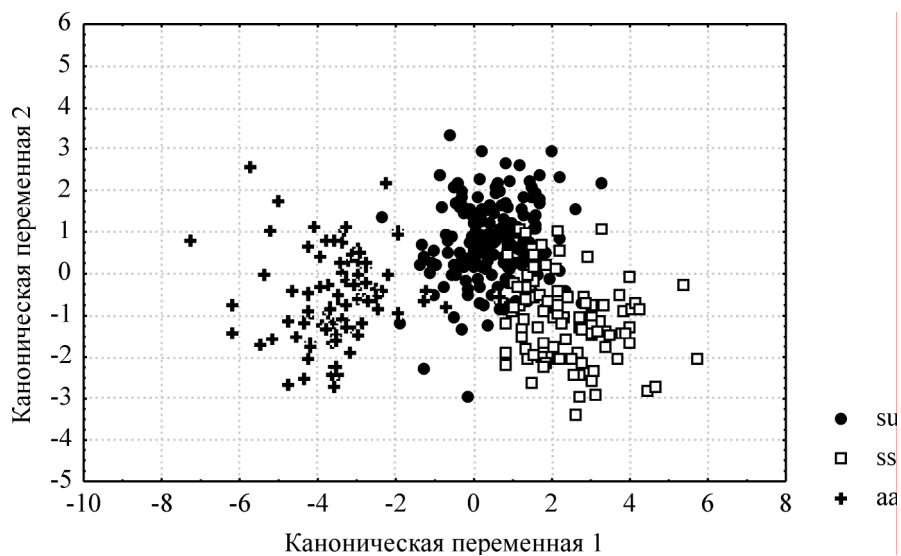


Рис. 4. Разделение взрослых самок на 3 вида (su – *Sylvaemus uralensis*; ss – *S. sylvaticus*; aa – *Apodemus agrarius*)

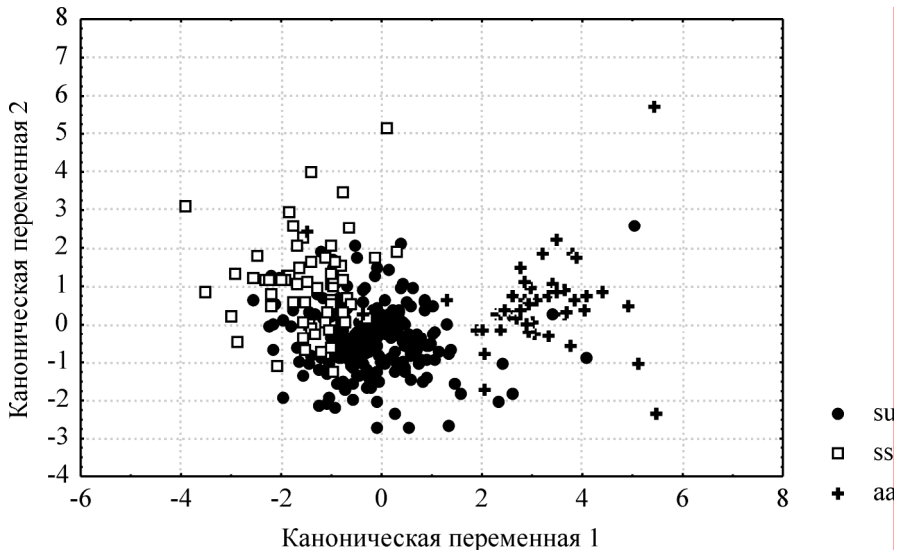


Рис. 5. Разделение самок сеголеток на 3 вида (su – *Sylvaemus uralensis*; ss – *S. sylvaticus*; aa – *Apodemus agrarius*)

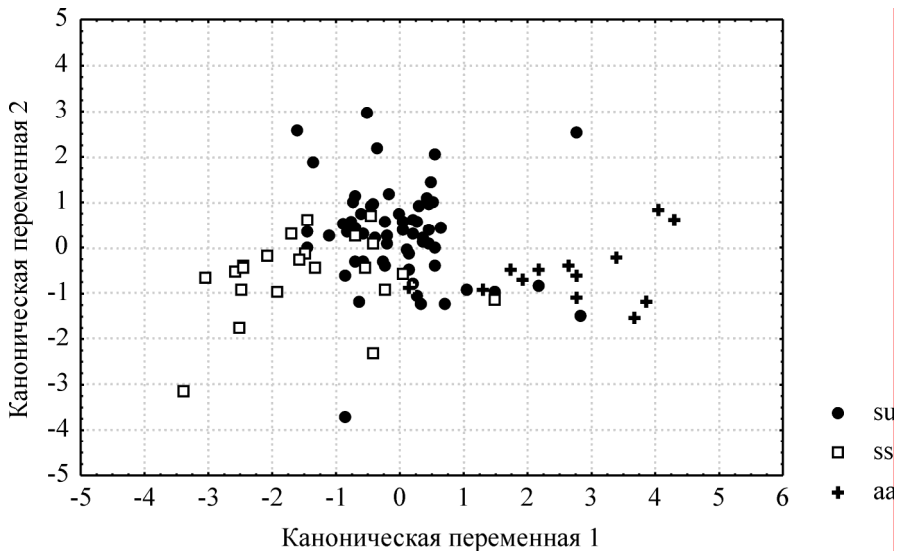


Рис. 6. Разделение ювенильных самок на 3 вида (su – *Sylvaemus uralensis*; ss – *S. sylvaticus*; aa – *Apodemus agrarius*)

Список литературы

1. Антоненц Н.В., Окулова Н.М. Дрібні ссавці заплавної ділянки Дніпровсько-Орільського заповідника // Заповідна справа в Україні. – 2004. – Вип. 10 (1–2): – С. 34–40.
2. Загороднюк И.В. Идентификация восточноевропейских форм *Sylvaemus sylvaticus* (Rodentia) и их географическое распространение // Вестн. зоол. – 1993. – Вип. 6. – С. 37–47.
3. Загороднюк И. Польовий визначник дрібних ссавців України. – Київ, 2002. – 60 с.
4. Лакин Г.Ф. Биометрия. – Москва: Высшая школа, 1990. – 352 с.
5. Дж. О. Ким, Ч.У. Мюллер, У.Р. Клекка и др. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – Москва: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
6. Справочник по прикладной статистике / [Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина, С.А. Айвазяна]. – Москва: Финансы и статистика, 1989. – В 2-х т.
7. Статистические методы на ЭВМ / [Под. ред. К. Энслейна, Э. Рэлстона, Г.С. Уилфа]. – Москва: Наука, 1986.
8. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Статистический анализ данных на компьютере. – Москва: ИНФРА, 1999. – 528 с.
9. Урбах В.Ю. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. – Москва: Медицина, 1975. – 295 с.

Антоненц Н. В., Балалаев А. К. До питання про діагностику фонових видів дрібних ссавців Дніпровсько-Орільського природного заповідника // Екосистеми, їх оптимізація та охорона. Сімферополь: ТНУ, 2012. Вип. 6. С. 208–217.

Досліджено питання визначення з метою діагностики і розпізнавання у польових умовах трьох фонових видів дрібних ссавців: мишака уральського (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811), миші лісової (*S. sylvaticus* Linnaeus, 1758) та польової миші (*Apodemus agrarius* Pallas, 1778). Метою дослідження було встановити відмінність морфометричних показників у фонових видів із заплави та піщаного степу. Згідно запропонованої нами методики ці види діагностуються за допомогою п'яти зовнішніх діагностичних ознак: довжині тіла (L), довжині хвоста (Ca), висоті вуха (Au), довжині ступні задньої лапки (Pl) та вазі тіла (P), що дозволяє достовірно визначати приналежність до того чи іншого виду. Завдяки моніторингу (з 1991 р.) за станом популяцій цих видів встановлено, що дані види відрізняються за низкою притаманних кожному з них морфометричних ознак.

Ключові слова: фонові види мікромамілій, моніторинг, Дніпровсько-Орільський заповідник.

Antonets N. V., Balalaev A. K. To a question of diagnostics of the phone species of small mammals in Dnipro-Orel's Nature Reserve // Optimization and Protection of Ecosystems. Simferopol: TNU, 2012. Iss. 6. P. 208–217.

In this article the question of determination with the purpose of diagnostics and distinguishes at the field conditions 3-th phone species of small mammals: (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811), (*S. sylvaticus* Linnaeus, 1758) and (*Apodemus agrarius* Pallas, 1778). The difference of morphometrics exponents at phone species from flood lands and sandy steppe was established. According to suggestion method these species were determined with help of 5-th external diagnostics signs: length of body (L), length of tail (Ca), height of ear (Au), length foot of back paw (Pl) and weight of body (P), that allow reliable determine belonging which that or other species. Thanks to the monitoring (since 1991) for population's state of these species it was determined, that these species of micromammals are distinguished by totality of peculiar morphometrics signs.

Key worlds: phone species of small mammals, monitoring, Dnipro-Orel's Natural Reserve.

Поступила в редакцію 19.09.2012 г.