

УДК 599.742.17:591.471.42:591.15

ДИАГНОСТИКА ПЕСЦА (*VULPES LAGOPUS*), ОБЫКНОВЕННОЙ ЛИСИЦЫ (*VULPES VULPES*) И КОРСАКА (*VULPES CORSAC*, *CARNIVORA*, *CANIDAE*) СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ПО МЕТРИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ

© 2017 г. В. В. Гасилин^{1, *}, О. Г. Нанова^{2, **}, П. А. Косинцев¹, Д. О. Гимранов¹

¹Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург 620144, Россия

²Научно-исследовательский Зоологический музей Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва 125009, Россия

*e-mail: GasilinV@yandex.ru

**e-mail: nanova@mail.ru

Поступила в редакцию 18.04.2016 г.

Разработаны методики диагностики песца (*Vulpes lagopus*), обыкновенной лисицы (*Vulpes vulpes*) и корсака (*Vulpes corsac*) по размерам нижней челюсти и ее фрагментов, принадлежащих взрослым особям. Используются методы анализа *mclust*, дискриминантный анализ и графические методы (скаттер-диаграммы). Обсуждается эффективность использования этих методов для видовой диагностики. Исследование метрических признаков нижней челюсти, выраженных в абсолютных значениях и в значениях, стандартизованных на центроидный размер, показало, что для дифференциации лисицы и корсака необходим размер, поскольку челюсти у лисицы и корсака по форме очень близки. Песец отличается от этих видов формой челюсти. Наибольший вес для диагностики всех видов имеют признаки тела нижней челюсти, наименьший вес — признаки восходящей ветви.

Ключевые слова: *Vulpes lagopus*, *V. vulpes*, *V. corsac*, Северная Евразия, нижняя челюсть, размерные признаки, *mclust*, дискриминантный анализ, идентификация вида

DOI: 10.7868/S0044513417060034

Песец (*Vulpes lagopus* (L. 1758)), лисица (*V. vulpes* (L. 1758)) и корсак (*V. corsac* (L. 1768)) — филогенетически близкие виды (Geffen et al., 1992), имеющие как множество сходных морфологических черт, так и видовые особенности (Огнев, 1931; Гептнер и др., 1967). Они обитают в Северном полушарии, имеют обширные ареалы с зонами перекрытия. В настоящее время ареалы песца и корсака сильно разобщены и располагаются в разных природных зонах, но перекрываются с ареалом лисицы — у песца на всем протяжении южной части его ареала, у корсака ареал целиком перекрыт ареалом лисицы. В последние десятилетия лисица начала активно расселяться в северном направлении, вытесняя песца (Eide et al., 2009; Hellström et al., 2009). В позднем плейстоцене ареал песца занимал территорию большей части Европы и почти всей Северной Азии (Kahlke, 1999). Существовала широкая зона перекрытия его ареала и ареала лисицы. В южных районах ареал песца перекрывался с ареалом корсака (Kosintsev et al., 2015). Таким образом, в позднем плейстоцене имелись большие территории совместного обитания песца, лисицы и корсака.

При изучении истории териофауны многих регионов Северной Евразии, а также при изучении истории ареалов и динамики относительной численности этих видов, возникает проблема видовой диагностики их ископаемых остатков. Последние обычно представлены не целыми черепами и нижними челюстями, а фрагментами. Это затрудняет их видовую диагностику, и для решения задачи необходимо выявление комплекса видодифференцирующих морфологических признаков и выбор методов их анализа. С другой стороны, выделение и описание комплекса признаков, по которым виды различаются, позволит выявить факторы, которые обусловили в прошлом и обуславливают в настоящем сосуществование видов и обеспечивают дифференциацию их экологических ниш.

Работы, направленные на поиск диагностических признаков рассматриваемых видов по частям черепа, нижней челюсти и посткраниального скелета, проводились и ранее (Громова, 1950; Ермолова, 1978; Monchot, Gendron, 2010). Ключевые диагностические признаки видов лисиц на черепах и зубах приводятся как в определителях,

при описании особенностей видов (Miller, 1912; Огнев, 1931; Новиков, 1956; Аристов, Барышников, 2001), так и в методических работах, посвященных анализу ископаемых остеологических остатков (Altuna, 2004; Argant, 2010; Кисагулов, Субботин, 2015). Нижние челюсти нередко встречаются в ископаемом состоянии благодаря своей сравнительной прочности. Изучены серии диагностических признаков видов на нижних челюстях (Аристов, Барышников, 2001; Altuna, 2004; Гимранов и др., 2015; Кисагулов, Субботин, 2015). Но эти признаки недоступны для анализа при наличии только фрагментов кости, либо могут быть использованы для дифференциации лишь пары видов, либо выявлены на зубах, которые не всегда сохраняются в челюстях.

Целью работы является разработка методик видовой диагностики песца, лисицы и корсака по морфометрическим признакам нижней челюсти и ее фрагментам. Для этого использованы различные многомерные и графические методы анализа морфометрических признаков, проведено сопоставление разных статистических методов и оценена их результативность при диагностике.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал

Изучены нижние челюсти 118 особей *Vulpes lagopus* (60 самцов: 32 половины с правой стороны тела, 28 – с левой стороны. 58 самок: 27 половин с правой стороны тела, 31 – с левой стороны) п-ова Ямал ($n = 39$), п-ова Таймыр ($n = 9$), о-ва Новая Земля ($n = 4$), Чукотки ($n = 10$), Якутии ($n = 20$), Полярного Приуралья ($n = 24$), севера Восточной Европы ($n = 12$); 119 особей *V. vulpes* (60 самцов: 34 половины с правой стороны, 26 – с левой стороны тела. 59 самок: 24 половины с правой стороны тела, 35 – с левой стороны) Камчатки ($n = 2$), Якутии ($n = 10$), Приохотья ($n = 2$), Приморья ($n = 7$), юга Восточной Сибири ($n = 10$), Центральной Азии ($n = 5$), Средней Азии ($n = 10$), Южного Урала ($n = 8$), Среднего Урала ($n = 9$), севера Восточной Европы ($n = 10$), Центральной России ($n = 10$), Калмыкии ($n = 5$), Кавказа и Закавказья ($n = 10$), юга Украины ($n = 10$), п-ова Крым ($n = 11$) и 118 особей *V. corsac* (50 самцов: 24 половины с правой стороны, 26 – с левой стороны тела. 50 самок: 25 половин с правой стороны, 25 – с левой стороны тела. Пол неизвестен у 18: 10 половин с правой стороны тела, 8 – с левой стороны) Забайкалья ($n = 6$), Центральной Азии ($n = 8$), Средней Азии ($n = 9$), Казахстана ($n = 58$), Южного Урала ($n = 28$), Предкавказья ($n = 1$) и без точного местонахождения ($n = 8$).

Использованы черепа только взрослых особей, которых отличали по состоянию зубной системы, облитерации швов черепа, слабой пори-

стости костной ткани, развитости гребня черепа. Всем трем видам присущ половой диморфизм в размерах тела – самцы в среднем крупнее самок (Аристов, Барышников 2001). В работе использованы экземпляры с указанием пола, в отношении выборки корсака допущены экземпляры без указания пола. Промеры снимались на правой и левой стороне тела попеременно у разных особей. По нашему мнению, прием позволяет снять влияние направленной асимметрии, встречающейся в скелете млекопитающих (Leamy, 1984, 1999) на результаты анализа. Такой способ сбора данных, опробованный нами ранее на других видах хищных млекопитающих (Гасилин, Косинцев, 2013; Гасилин, Саблин, 2013), оправдан для задачи определения ископаемых экземпляров, нередко обнаруживаемых в местонахождении в единственном виде (с одной из сторон тела). Изученный материал хранится в коллекциях Зоологического музея МГУ (Москва), ЗИН РАН (Санкт-Петербург) и ИЭРиЖ УрО РАН (Екатеринбург).

На нижней челюсти измерены 27 признаков (рис. 1). Измерения проводились с точностью до 0.1 мм электронным штангенциркулем. Для классификации при помощи многомерных методов анализа преимущественно фрагментарного ископаемого материала использовали наборы признаков, которые можно измерить на крупных фрагментах челюсти. Это признаки 4–14, 16–21 тела нижней челюсти *corpus mandibulae* (далее этот набор признаков обозначается как СМ), признаки 7, 9–11, 14, 16–19, 21 передней части тела от резцов до уровня заднего края альвеолы моляра *m1* (СМ-р), признаки 8, 12, 13, 18, 20, 21 задней части тела, находящейся под молярами (СМ-т) и признаки 20, 22–27 восходящей ветви нижней челюсти *ramus* (R).

Анализировали два типа данных – исходные абсолютные значения признаков и значения, стандартизованные на центроидный размер. Центроидный размер для каждого экземпляра рассчитывали как корень из суммы квадратов значений всех 27 признаков этого экземпляра, стандартизованные значения получали путем деления исходного значения каждого признака экземпляра на его центроидный размер (Нанова, 2008). Такая стандартизация данных нивелирует различия в абсолютных размерах (т.е. исключает из данных изометрическую изменчивость) и позволяет анализировать различия экземпляров, заключенные в их пропорциях, форме. Наборы, значения признаков которых прошли стандартизацию, обозначены приставкой -cs (centroid standard). Например, СМ-р-cs – набор признаков передней части тела со стандартизованными на центроиды значениями.

Анализ mclust

Для оценки того, насколько хорошо могут быть классифицированы особи трех исследуемых видов без использования информации о видовой принадлежности экземпляров, проведен анализ mclust. Этот анализ основан на общей линейной модели, где данные рассматриваются как смесь многомерно-нормальных кластеров, каждый из которых имеет свою ковариационную структуру (Banfield, Raftery, 1993; Fraley, Raftery, 1998, 1999, 2002, 2002a; Lebedev, Lisovsky, 2008; Nanova, 2014). В отличие от дискриминантного анализа в mclust не требуются сведения о групповой принадлежности экземпляра, а по структуре данных оценивается число кластеров и их состав. Таким образом, анализ mclust позволяет работать с палеозоологическими материалами, когда видовая принадлежность экземпляра неизвестна. Mclust провели на всех четырех выбранных наборах признаков по абсолютным и по стандартизованным значениям (всего проведено восемь анализов). Для каждого набора признаков с абсолютными и стандартизованными данными мы оценивали число кластеров, их состав и вероятность принадлежности экземпляров к ним. Оценка качества диагностики каждого вида включала расчет доли (%) экземпляров, оказавшихся в едином — виде — кластере, от общего числа экземпляров этого вида. Мы считали, что кластер соответствует виду, если наибольшая доля экземпляров этого вида относилась к рассматриваемому кластеру.

Также рассчитана общая доля правильно идентифицированных экземпляров для всех трех видов в совокупности. Экземпляр считался достоверно идентифицированным, если вероятность его отнесения к кластеру одного из видов была, по меньшей мере, равна или выше 0.90 ($p \geq 0.90$). Помимо этого, мы оценивали долю экземпляров, классифицированных с более высокой вероятностью, по меньшей мере, равной 0.95. Как дополнительный критерий качества идентификации видов в mclust использовали неопределенность классификации. Неопределенность для каждого экземпляра рассчитывалась как единица за вычетом вероятности отнесения его к своему видовому кластеру. Общая неопределенность классификации равна сумме неопределенностей всех экземпляров, деленная на число экземпляров в выборке. Неопределенности рассчитаны только для случаев, когда каждому виду соответствовал отдельный кластер.

Анализ тестовой выборки

В проведенном анализе mclust обособленно изучена идентифицируемость шести нижних челюстей каждого вида с соотношением полов 1 : 1. Эти группы использованы как тестовые выборки

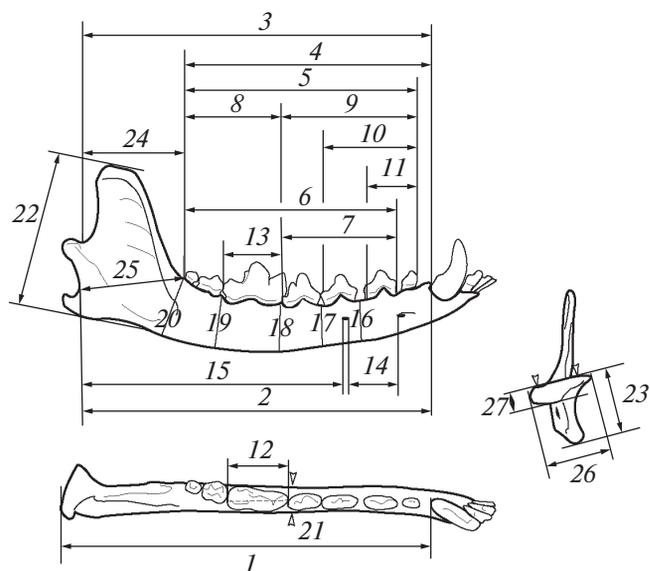


Рис. 1. Схема промеров нижней челюсти видов рода *Vulpes*. Виды с буккальной, дорсальной, каудальной сторон: 1 — расстояние от заднего края альвеолы *c* до заднего края сочленовного отростка; 2 — расстояние от заднего края альвеолы *c* до вершины вырезки между сочленовным и угловым отростками; 3 — расстояние от заднего края альвеолы *c* до вершины вырезки нижней челюсти; 4 — расстояние от заднего края альвеолы *c* до заднего края альвеолы *m3*; 5 — длина ряда *p1–m3* альвеолярная по лингвальной стороне; 6 — длина ряда *p2–m3* альвеолярная по лингвальной стороне; 7 — длина ряда *p2–p4* альвеолярная по буккальной стороне; 8 — длина ряда *m1–m3* альвеолярная по лингвальной стороне; 9 — длина ряда *p1–p4* альвеолярная по буккальной стороне; 10 — длина ряда *p1–p3* альвеолярная по буккальной стороне; 11 — длина ряда *p1–p2* альвеолярная по буккальной стороне; 12 — длина *m1* коронарная; 13 — длина *m1* альвеолярная; 14 — расстояние от заднего края переднего подбородочного отверстия до переднего края заднего подбородочного отверстия; 15 — расстояние от заднего края заднего подбородочного отверстия до вершины вырезки между сочленовным и угловым отростками; 16 — высота тела между *p2* и *p3* на буккальной стороне; 17 — высота тела между *p3* и *p4* на буккальной стороне; 18 — высота тела перед *m1* на лингвальной стороне; 19 — высота тела перед *m1* на лингвальной стороне; 20 — наименьшее расстояние от заднего края альвеолы *m3* до нижнего края нижней челюсти на буккальной стороне; 21 — толщина тела перед *m1*; 22 — высота восходящей ветви (расстояние от вершины венечного отростка до нижнего края углового отростка); 23 — расстояние от верхней поверхности сочленовного отростка до нижнего края углового отростка; 24 — длина основания венечного отростка (от заднего края альвеолы *m3* до вершины нижнечелюстной вырезки); 25 — расстояние от заднего края альвеолы *m3* до вершины вырезки между сочленовным и угловым отростками; 26 — наибольшая ширина сочленовного отростка; 27 — наибольшая высота сочленовного отростка, измеренная от линии, соединяющей две наиболее удаленные друг от друга точки на верхней поверхности отростка, до нижнего его края.

Таблица 1. Верность классификации *Vulpes lagopus* ($n = 118$), *V. vulpes* ($n = 119$) и *V. corsac* ($n = 118$) по результатам анализа mclust для наборов признаков нижней челюсти с абсолютными и стандартизованными на центроидный размер значениями

Набор признаков	Уровень вероятности	Верность идентификации, %				Общая неопределенность
		<i>l</i>	<i>v</i>	<i>c</i>	общая	
R	0.90	36.44	70.59	78.81	61.97	0.1922
	0.95	22.88	60.50	68.64	50.7	
CM	0.90	98.31	89.92	97.46	95.21	0.0434
	0.95	98.31	89.92	97.46	95.21	
CM-p	0.90	87.29	84.87	95.76	89.3	0.0504
	0.95	78.81	80.67	91.53	83.66	
CM-m	0.90	83.05	91.60	85.59	86.76	0.0583
	0.95	74.58	87.39	77.12	79.72	
CM-cs	0.90	88.98	94.51		—	—
	0.95	73.73	91.98		—	—
CM-p-cs	0.90	94.92	92.41		—	—
	0.95	92.37	88.61		—	—

Примечание. Вид: *l* – *Vulpes lagopus*, *v* – *V. vulpes*, *c* – *V. corsac*. R – признаки 20, 22–27 восходящей ветви нижней челюсти, CM – признаки 4–14, 16–21 тела нижней челюсти, CM-p – признаки 7, 9–11, 14, 16–19, 21 передней части тела от резцов до уровня заднего края альвеолы моляра *mI*; CM-m – признаки 8, 12, 13, 18, 20, 21 задней части тела, находящейся под молярами; CM-cs – набор CM, значения признаков которого прошли стандартизацию, CM-p-cs – набор CM-p, значения признаков которого прошли стандартизацию.

по аналогии с выборками, используемыми в статистическом методе перекрестной проверки (англ. cross-validation) (Refaeilzadeh et al., 2009), но в сильно упрощенном виде. Выборки изначально включены в основные выборки видов.

Дискриминантный анализ

Дискриминантный анализ с пошаговым включением признаков проводили с теми их наборами (построенными по абсолютным и стандартизованным значениям), по которым в mclust оказался хотя бы один кластер, соответствующий одному из видов. В качестве группирующей переменной использовали видовую принадлежность экземпляров. Априорная вероятность дифференциации задавалась равной для каждой группы, толерантность – 0.01. Как и в случае mclust, иллюстрацию работы статистических моделей для классификации проводили при помощи тех же тестовых групп из шести нижних челюстей каждого вида, изначально включенных в обучающие выборки. Идентифицированными считались экземпляры, апостериорная вероятность отнесения которых к одному из видов была не ниже значения 0.90 ($p \geq 0.90$). Классификационные функции для идентификации вновь исследуемых экземпляров построены для вариантов, по которым виды могут быть надежно классифицированы, как в анализе mclust, так и в дискриминантном анализе.

Графические методы

Графический метод диагностики видов в варианте точечных диаграмм (скаттер-диаграмм) предусматривает использование признаков, которые могут быть измерены не только на целых экземплярах и крупных фрагментах нижней челюсти, но и на мелких фрагментах, где можно снять два промера и более. В данном случае использовали только исходные данные с абсолютными значениями признаков. По осям двумерных графиков отложены значения признаков. Семь графиков построены по абсолютным значениям признаков, три графика построены с использованием относительных значений (индексов) признаков. Тестовые экземпляры на графиках особо обозначены.

Статистический анализ данных проведен с использованием пакетов программ Statistica 8.0 и R 3.2.3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ mclust

Исходные признаки. Для признаков восходящей ветви нижней челюсти выделены три кластера, соответствующие видам (табл. 1).

С вероятностью $p \geq 0.90$ верно классифицируются 36.44% экземпляров песца (тогда как с максимальной вероятностью меньшей порогового

уровня 0.90 относится 83.90% экземпляров песца), 70.59% экземпляров лисиц (с максимальной вероятностью до порога 0.90 относится 95.80% экземпляров лисицы), 78.81% – корсака (с максимальной вероятностью меньшей 0.90 относится 85.71% экземпляров корсака). Низкие значения максимальных вероятностей принадлежности экземпляров к кластерам обусловили высокую общую неопределенность классификации для этого набора признаков (0.1922) по сравнению с таковой других наборов признаков, а также низкую общую долю правильно определенных особей – 61.97% (табл. 1).

Для набора признаков тела нижней челюсти СМ выделено четыре кластера, из них три соответствуют видам, четвертый является “шумовым”, содержит всего 13 экз. и включает песца (число экземпляров $n = 2$), лисицу ($n = 2$) и корсака ($n = 9$). Такие флуктуации могут быть обусловлены как случайными причинами, так и неучтенной изменчивостью (например, половой, возрастной, географической, временной и др.). Доля экземпляров, отмеченных в соответствующих их видовой принадлежности кластерах с вероятностью $p \geq 0.90$, высока, при этом она такова же и для вероятности $p \geq 0.95$ (табл. 1). Набор признаков СМ имеет наиболее высокую верность идентификации всех трех видов (95.21%) и наименьшую общую неопределенность классификации (0.0434).

Для набора признаков СМ-р выделено три кластера, соответствующих видам. Качество классификации по нему выше, чем для набора R, но заметно ниже, чем для набора признаков СМ. Об этом можно судить, как по долям верно определенных экземпляров отдельных видов, так и по их суммарной общей доле и по общей неопределенности классификации.

Для набора признаков СМ-т выделены три кластера, также соответствующие видам. Судя по ряду показателей (табл. 1), это сочетание признаков дает сходные с набором признаков СМ-р результаты для идентификации видов.

Признаки, стандартизованные на центроидный размер. По наборам признаков R-cs и СМ-т-cs все экземпляры объединялись в один кластер, т.е. идентификация исследуемых видов с помощью этих наборов невозможна.

Для набора признаков СМ-cs получены три кластера. Один из них соответствует песцу (поскольку на уровне значимости 0.95 в нем 73.73% песцов), во втором оказались лисица и корсак (91.98% особей лисиц и корсаков в совокупности на уровне значимости 0.95), из чего следует, что по данному набору признаков можно идентифицировать песца, но нельзя дифференцировать лисицу и корсака (табл. 1). Третий кластер оказался

“шумовым”, к нему отнесены 16 экз.: песец ($n = 3$), лисица ($n = 2$) и корсак ($n = 11$).

Для набора СМ-р-cs оказалось два кластера. Один из них соответствует песцу (здесь 92.37% песцов на уровне значимости 0.95), в другом – лисица и корсак (88.61% особей обоих видов на уровне значимости 0.95). Таким образом, этот набор признаков может быть полезен только для идентификации песца (табл. 1).

Анализ тестовой выборки

Больше всего неидентифицированных или ошибочно идентифицированных экземпляров тестовых групп было в наборе R (табл. 2) – по два в выборках лисицы (экземпляры 7, 8) и корсака (экземпляры 13, 16) и четыре – в выборке песца (экземпляры 1, 3–5). Наборы признаков СМ-р и СМ-т помогли лучше справиться с задачей диагностики: в первом случае не идентифицирован экземпляр песца (3) и лисицы (10), во втором – экземпляр корсака (16). По набору СМ идентификация почти всех экземпляров проведена при максимальном уровне значимости, однако один экземпляр лисицы (12) оказался в “шумовом” кластере (табл. 2).

По наборам признаков СМ-cs и СМ-р-cs идентифицирована тестовая выборка песца, а выборки двух других видов, оказавшись в общем для них кластере, остались недифференцированными, причем один экземпляр лисицы (снова экземпляр 12) попал в “шумовой” кластер (табл. 2).

Дискриминантный анализ

Проведен анализ тех наборов признаков, по которым в предыдущем анализе оказался хотя бы один кластер, соответствовавший одному из видов.

В результате пошагового дискриминантного анализа признаков, выраженных в двух типах данных, получено шесть статистических моделей (табл. 3).

Модели, построенные на стандартизованных данных, имеют меньшую дифференцирующую способность. В обеих моделях наилучшим образом дифференцируется песец, верности идентификации двух других видов наименьшие в ряду значений. Слабые различия лисицы и корсака в таком выражении признаков продемонстрированы в анализе *mc1ust* в том, что виды оказывались в одном кластере.

Среди моделей, в основе которых лежат абсолютные значения признаков, наиболее слабой является R, но в ней, как и в аналогичных моделях, наилучшим образом дифференцируется корсак. Большие дифференцирующие способности наблюдаемы в трех наборах признаков тела ниж-

Таблица 2. Апостериорные вероятности классификации тестовых экземпляров *Vulpes lagopus*, *V. vulpes* и *V. corsac* по результатам анализа mclust

Вид	№	Пол	СМ			СМ-р			СМ-т			R			СМ-с		СМ-р-с	
			<i>l</i>	<i>v</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>v</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>v</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>v</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>vc</i>	<i>l</i>	<i>vc</i>
<i>V. lagopus</i>	1	1	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.64	0.36	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
	2	2	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.90	0.10	0.00	0.98	0.02	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
	3	1	1.00	0.00	0.00	0.87	0.13	0.00	0.94	0.06	0.00	0.10	0.90	0.00	0.99	0.01	0.98	0.02
	4	1	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.99	0.01	0.00	0.76	0.24	0.00	1.00	0.00	0.99	0.01
	5	2	0.98	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	0.91	0.01	0.08	0.57	0.42	0.00	0.29	0.71	1.00	0.00
	6	2	1.00	0.00	0.00	0.97	0.03	0.00	1.00	0.00	0.00	0.97	0.03	0.00	0.99	0.01	0.93	0.07
<i>V. vulpes</i>	7	2	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.79	0.20	0.01	0.00	1.00	0.00	1.00
	8	1	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.61	0.39	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	9	1	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.01	0.99
	10	2	0.00	1.00	0.00	0.28	0.72	0.00	0.00	1.00	0.00	0.02	0.98	0.00	0.00	1.00	0.11	0.89
	11	2	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.09	0.91	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.01	0.99
	12	1	0.00	0.04	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>V. corsac</i>	13	1	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.32	0.00	0.68	0.00	1.00	0.00	1.00
	14	2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.06	0.00	0.94	0.00	1.00	0.00	1.00
	15	2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	16	1	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.18	0.14	0.68	0.93	0.02	0.05	0.00	1.00	0.00	1.00
	17	1	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	18	2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.02	0.00	0.98	0.00	1.00	0.00	1.00

Примечание. Пол: 1 – самец, 2 – самка. Вид: *l* – *Vulpes lagopus*, *v* – *V. vulpes*, *c* – *V. corsac*. Жирным шрифтом обозначены низкие вероятности ($p < 0.90$) отнесения в анализе mclust экземпляров тестовых выборок к надлежащим видам. Сокращения см. в тексте и в подписи к табл. 1.

ней челюсти. Максимальные верности идентификации видов сочетаются в наборе СМ.

Тестовые экземпляры с известной видовой принадлежностью дают наглядное представление о качестве моделей (табл. 4).

Таблица 3. Верность классификации по дискриминантным функциям *Vulpes lagopus* ($n = 118$), *V. vulpes* ($n = 119$) и *V. corsac* ($n = 118$) в наборах признаков нижней челюсти с абсолютными и стандартизованным на центроидный размер значениями, %

Набор признаков	Верность идентификации			
	<i>l</i>	<i>v</i>	<i>c</i>	общая
R	89.83	81.51	96.61	89.30
СМ	100	96.64	100	98.87
СМ-р	97.46	89.92	100	95.77
СМ-т	95.76	93.28	99.15	96.06
СМ-с	100	76.47	80.51	85.63
СМ-р-с	95.76	69.75	77.12	80.85

Примечание. Вид: *l* – *Vulpes lagopus*, *v* – *V. vulpes*, *c* – *V. corsac*. Сокращения см. в тексте и в подписи к табл. 1.

Можно видеть, что в моделях СМ-с и СМ-р-с апостериорные вероятности разделены между лисицей и корсаком, а песец идентифицирован верно, что в модели R вероятности лисицы и корсака поделены с песцом, модели СМ-р и СМ-т в целом удовлетворительны (в СМ-р одно ошибочное определение), а качество модели СМ – наилучшее из представленных (табл. 4).

Согласно данным табл. 3 и 4, для идентификации видов могут быть успешно использованы модели СМ, СМ-р и СМ-т.

В описанных наборах признаков тела нижней челюсти некоторые признаки характеризуются большим диагностическим весом, чем другие. Согласно значениям коэффициентов стандартизованных функций (табл. 5), в модели СМ-р таким весом обладают расстояние от заднего края переднего подбородочного отверстия до переднего края заднего подбородочного отверстия (признак 14) и высота тела перед *m1* на лингвальной стороне (18).

В модели СМ-т основной вклад внесли длина ряда *m1–m3* альвеолярная (8) и наименьшее расстояние от заднего края альвеолы *m3* до нижнего края нижней челюсти на буккальной стороне (20). В модели СМ – это расстояние от заднего

Таблица 4. Апостериорные вероятности классификации тестовых экземпляров *Vulpes lagopus*, *V. vulpes* и *V. corsac* по результатам дискриминантного анализа с пошаговым включением признаков

Вид	№	Пол	СМ			СМ-р			СМ-м			R			СМ-с			СМ-р-с		
			<i>l</i>	<i>v</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>v</i>	<i>l</i>	<i>l</i>	<i>l</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>v</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>v</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>v</i>	<i>c</i>
<i>V. lagopus</i>	1	1	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.53	0.47	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
	2	2	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.94	0.06	0.00	0.96	0.01	0.03	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
	3	1	1.00	0.00	0.00	0.87	0.13	0.00	0.94	0.05	0.00	0.45	0.55	0.00	0.98	0.01	0.01	0.94	0.04	0.02
	4	1	1.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.88	0.07	0.05	1.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00
	5	2	0.88	0.00	0.12	1.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.22	0.78	0.02	0.20	0.92	0.02	0.06	1.00	0.00	0.00
	6	2	0.99	0.00	0.01	0.97	0.01	0.02	0.98	0.00	0.02	0.95	0.03	0.03	0.98	0.01	0.01	0.93	0.04	0.03
<i>V. vulpes</i>	7	2	0.00	1.00	0.00	0.00	0.99	0.01	0.00	0.99	0.00	0.55	0.43	0.03	0.00	0.51	0.49	0.00	0.50	0.50
	8	1	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.63	0.34	0.02	0.00	0.90	0.10	0.00	0.53	0.47
	9	1	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.95	0.05	0.01	0.91	0.08
	10	2	0.00	1.00	0.00	0.82	0.18	0.00	0.00	1.00	0.00	0.05	0.95	0.00	0.00	0.79	0.21	0.04	0.59	0.36
	11	2	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.20	0.80	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.42	0.58	0.00	0.68	0.31
	12	1	0.00	1.00	0.00	0.03	0.96	0.01	0.00	1.00	0.00	0.02	0.98	0.00	0.00	0.83	0.17	0.00	0.67	0.33
<i>V. corsac</i>	13	1	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.24	0.00	0.76	0.00	0.12	0.88	0.00	0.17	0.83
	14	2	0.00	0.00	1.00	0.01	0.00	0.99	0.01	0.00	0.99	0.06	0.00	0.94	0.00	0.11	0.89	0.00	0.15	0.85
	15	2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.17	0.83	0.00	0.18	0.82
	16	1	0.00	0.00	1.00	0.02	0.00	0.98	0.09	0.02	0.89	0.40	0.00	0.60	0.00	0.65	0.35	0.00	0.29	0.70
	17	1	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.01	0.00	0.99	0.00	0.35	0.65	0.00	0.40	0.60
	18	2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.03	0.00	0.97	0.00	0.07	0.93	0.00	0.10	0.90

Примечание. Пол: 1 – самец, 2 – самка. Вид: *l* – *Vulpes lagopus*, *v* – *V. vulpes*, *c* – *V. corsac*. Жирным шрифтом обозначены низкие вероятности ($p < 0.90$) отнесения в дискриминантном анализе экземпляров тестовых выборок к надлежащим видам. Сокращения см. в тексте и в подписи к табл. 1.

края альвеолы *c* до заднего края альвеолы *m3* (4), длина ряда *p1–m3* альвеолярная (5) и высота тела перед *m1* на лингвальной стороне (18). В каждой модели среди наиболее значимых признаков имеются как те, что измерены в аборально-оральном направлении (“длины”), так и в дорсально-вентральном (“высоты”). И во всех этих моделях, построенных с пошаговым включением признаков, оказалась толщина тела перед *m1* (21), хотя вклад ее и невелик.

Судя по верностям идентификации (табл. 1, 3) и апостериорным вероятностям классификации тестовых выборок (табл. 2, 4), результативности анализа *mclust* и дискриминантного анализа сходны. Оба метода показывают, что набор признаков СМ обладает наибольшими, а набор R – наименьшими дифференцирующими способностями среди наборов признаков, выраженных в абсолютных значениях, и что наборы признаков тела челюсти, исходные значения которых стандартизованы, сильно ограничены в применимости. В обоих методах экземпляр может остаться без достоверной классификации или может оказаться ошибочно классифицированным даже в наборах признаков СМ, СМ-р и СМ-м (тестовые экземпляры 3, 10, 12, 16 в табл. 2 и экземпляры 3,

5, 10, 11, 16 в табл. 4). Апостериорные вероятности классификации отдельных тестовых экземпляров могут быть равными в обоих методах и могут различаться в них по величине в том или другом направлении, но чаще эти вероятности выше в дискриминантном анализе (табл. 2, 4), как выше в нем верность идентификации в целом (табл. 1, 3). Последнее связано с принципом действия метода, направленного на максимизацию дисперсии между заранее заданными группами и минимизацию ее внутри групп, что увеличивает реальные различия (расстояния) между экземплярами в многомерном пространстве. По этой причине в отличие от анализа *mclust* в дискриминантном анализе не исключается возможность разделения по видам экземпляров лисиц и корсаков в наборах признаков СМ-с и СМ-р-с с некими, пусть невысокими, вероятностями. Анализ *mclust*, не требующий обучающих групп, позволил понять нативную структуру исходных данных в каждом наборе признаков и оценить возможность дифференциации априори, до преобразований в дискриминантном анализе. Таким образом, результаты анализа *mclust* могут рассматриваться и как конечный результат классификации, и как этап классификации по оценке целесообразности

Таблица 5. Стандартизованные коэффициенты канонических функций для наборов признаков, дифференцирующих виды рода *Vulpes* по телу нижней челюсти

Признак	СМ		СМ-р		СМ-м	
4	1.17	-1.74	—	—	—	—
5	-0.08	1.40	—	—	—	—
6	0.04	0.46	—	—	—	—
7	—	—	0.37	-0.41	—	—
8	0.42	0.00	—	—	0.94	-0.71
9	-0.27	-0.58	0.18	0.52	—	—
10	—	—	-0.05	0.50	—	—
11	-0.11	0.18	0.18	-0.31	—	—
12	0.23	0.42	—	—	0.42	0.37
13	-0.32	-0.46	—	—	-0.55	0.00
14	0.27	-0.35	0.28	0.76	—	—
16	—	—	0.15	-0.07	—	—
17	-0.09	0.26	—	—	—	—
18	-0.35	0.77	0.00	-0.72	0.18	1.18
19	-0.13	0.49	0.03	-0.29	—	—
20	0.20	-0.43	—	—	0.21	-0.91
21	-0.13	0.13	0.16	-0.01	-0.14	0.53
Собственное значение	6.94	3.53	3.89	1.71	5.57	1.03
Объясненная дисперсия	0.66	1.00	0.70	1.00	0.84	1.00

Примечание. Жирным шрифтом обозначены наиболее высокие значения вкладов признаков в каноническую функцию. Сокращения см. в тексте и в подписи к табл. 1.

применения на следующем этапе методов “послушного” дискриминантного анализа.

Итак, нами отобраны наборы признаков СМ, СМ-р и СМ-м, которые можно будет использовать на практике для определения видов. Благодаря дискриминантному (каноническому) анализу, мы узнали, какие признаки внесли наибольший вклад в дифференциацию видов, а итогом его применения являются классификационные функции (табл. 6).

Определение видовой принадлежности нижней челюсти по одному из наборов признаков проводится после расчета для изучаемого экземпляра классификационных функций S_i (число видов $i = 3$) – суммы константы и произведений значения соответствующих признаков на приведенные в табл. 6 коэффициенты классификационных функций:

$$S_i = x_1 \sum c_{1i} + x_2 \sum c_{2i} + \dots + x_n \sum c_{ni} + C_i,$$

где x_n – значение n -го признака у исследуемого экземпляра, c_{ni} – коэффициент для n -го признака у i -го вида, C_i – константа для функции i -го вида. Экземпляр относят к виду, значение классификационной функции S_i которого оказалось наибольшим.

Графические методы

Диагностировать нижние челюсти трех изучаемых видов можно, используя графические методы. Эти методы бывают единственно возможными для использования в случаях плохой сохранности палеозоологического материала, наличия фрагментов, с которых невозможно снять ни один из рассмотренных сочетаний промеров. Ранее предложен ряд таких методов, позволяющих проводить диагностику путем изучения абсолютных и относительных (индексы) значений признаков. Так, у песца расстояние между подбородочными отверстиями меньше длины p_4 , а у лисицы и корсака – больше; у корсака длина симфиза нижнечелюстной кости короче ее наибольшей длины в 4.5–6 раз, а у лисицы – в 4–5 раз (Аристов, Барышников, 2001). Согласно данным, полученным при анализе выборки пиренейского подвида лисицы и выборки песца (Altuna, 2004), челюсти с артикулярной длиной менее 90.5 мм принадлежат песцу ($n = 25$), более 101.5 мм – лисице ($n = 84$); с альвеолярной длиной ряда менее 49.7 мм – песцу ($n = 25$), более 55.5 мм – лисице ($n = 86$). Серия двумерных графиков (скаттер-диаграмм), построенных по значениям длины и ширины m_1 , m_2 и m_3 (Altuna, 2004), также позволяет распознать отдельные зубы и, соответственно, нижние челюсти этих видов. Для дифференциации лисицы и корсака можно использовать длину и ширину коронок щечных зубов, а также длину их альвеол; скаттер-диаграммы демонстрируют, что по размерам коронок m_1 и m_2 эти виды различаются наилучшим образом (Кисагулов, Субботин, 2015).

В итоге последовательного перебора всех изученных нами признаков и их индексов обнаружены такие их пары, которые в графическом выражении позволяют диагностировать виды; наилучшие из них приведены на рис. 2.

Среди признаков, использованных для двумерных графиков, признаки 4, 5, 8 и 14 имели наибольшие значения стандартизованных коэффициентов (табл. 5). Приведенные скаттер-диаграммы имеют как изометрический, так и аллометрический характер, причем последний лучше проявляется там, где один из признаков выражает высоту тела челюсти. Размерные различия между лисицей и корсаком позволили найти пары признаков, по которым области перекрытия отсутствуют с образованием хиатуса (рис. 2г, 2е), очень малы (рис. 2б, 2з, 2к), либо области значений ви-

Таблица 6. Классификационные функции для наборов признаков, дифференцирующих виды рода *Vulpes* по телу нижней челюсти

Признак	СМ			СМ-р			СМ-т		
4	1.16	5.16	4.24	—	—	—	—	—	—
5	7.63	6.13	4.95	—	—	—	—	—	—
6	2.29	1.91	1.33	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	3.03	3.11	1.73	—	—	—
8	2.54	4.67	2.55	—	—	—	13.26	17.50	12.89
9	–4.25	–4.38	–2.63	9.23	10.37	9.99	—	—	—
10	—	—	—	–5.26	–4.37	–3.98	—	—	—
11	–3.81	–5.11	–4.88	1.81	1.50	0.19	—	—	—
12	16.83	17.29	14.24	—	—	—	17.71	18.76	15.33
13	–14.12	–15.06	–11.55	—	—	—	–14.10	–16.50	–12.59
14	–1.52	0.13	–0.37	–0.88	1.06	0.38	—	—	—
16	—	—	—	3.84	4.21	3.24	—	—	—
17	1.60	0.26	0.15	—	—	—	—	—	—
18	–0.60	–4.67	–4.56	0.25	–1.74	–2.12	7.60	5.74	4.17
19	2.57	0.58	0.10	–0.16	–0.84	–1.18	—	—	—
20	–2.77	–0.53	–0.66	—	—	—	–0.54	2.15	1.18
21	8.49	6.06	7.05	16.40	17.54	15.68	6.49	2.81	4.28
Константа	–275.52	–370.12	–228.85	–201.04	–252.47	–159.85	–243.77	–318.15	–192.20

Сокращения см. в тексте и в подписи к табл. 1.

дов соприкасаются лишь в одной точке (рис. 2а, 2в, 2д). Зоны перекрывания и точки касания областей значений этих видов во всех случаях наложены на область значений признаков песца, который в целом по размерам занимает промежуточное положение, и его области значений непременно перекрываются с областями других видов. Тем не менее, поскольку на практике редко приходится дифференцировать все три вида, или песца и корсака, построенные диаграммы могут успешно способствовать решению задач диагностики.

Почти на всех графиках, за одним исключением (рис. 2е), некоторые экземпляры тестовых выборок оказывались за контуром основной выборки, причем среди них были четыре экземпляра, выпадавшие два и даже три раза (экземпляр 16 оказался вне контуров на трех графиках). Всего таких случаев выявлено пятнадцать. Из них восемь раз (рис. 2а, 2в, 2д, 2е, 2з, 2к) тестовые экземпляры каждого вида попадали в область значений основной выборки другого вида, т.е. могли быть классифицированы неверно. Таковыми были экземпляры 3 и 4 песца, 8 и 12 лисицы, 16 и 17 корсака. Напомним, что эти экземпляры с высокой

вероятностью идентифицированы в моделях СМ, СМ-р и СМ-т как в анализе mclust, так и в дискриминантном анализе (табл. 2, 4).

Методики могут быть использованы для идентификации лишенных признаков аномалий и патологий экземпляров, в отношении которых смена генерации зубов полностью завершена, коронки поднялись над альвеолами и начали функционирование, сформировавшиеся корни плотно ими обхвачены. У сравнительно молодых животных кость еще имеет пористые участки (края венечного отростка, сочленовный и угловой отростки). У старших особей кость непористая, компактный слой плотный, его поверхность в целом гладкая, имеет борозды артерий (заметнее на лингвальной стороне тела челюсти), расчленена рельефом, обеспечивающим крепление мышц (на венечном отростке). Если определение возрастной стадии особи, которой принадлежит фрагмент челюсти, а именно восходящая ветвь в отсутствие участка тела с *m3* или его альвеолой, вызывает сомнения, то результаты видовой идентификации с помощью описанных методик следует принимать с осторожностью.

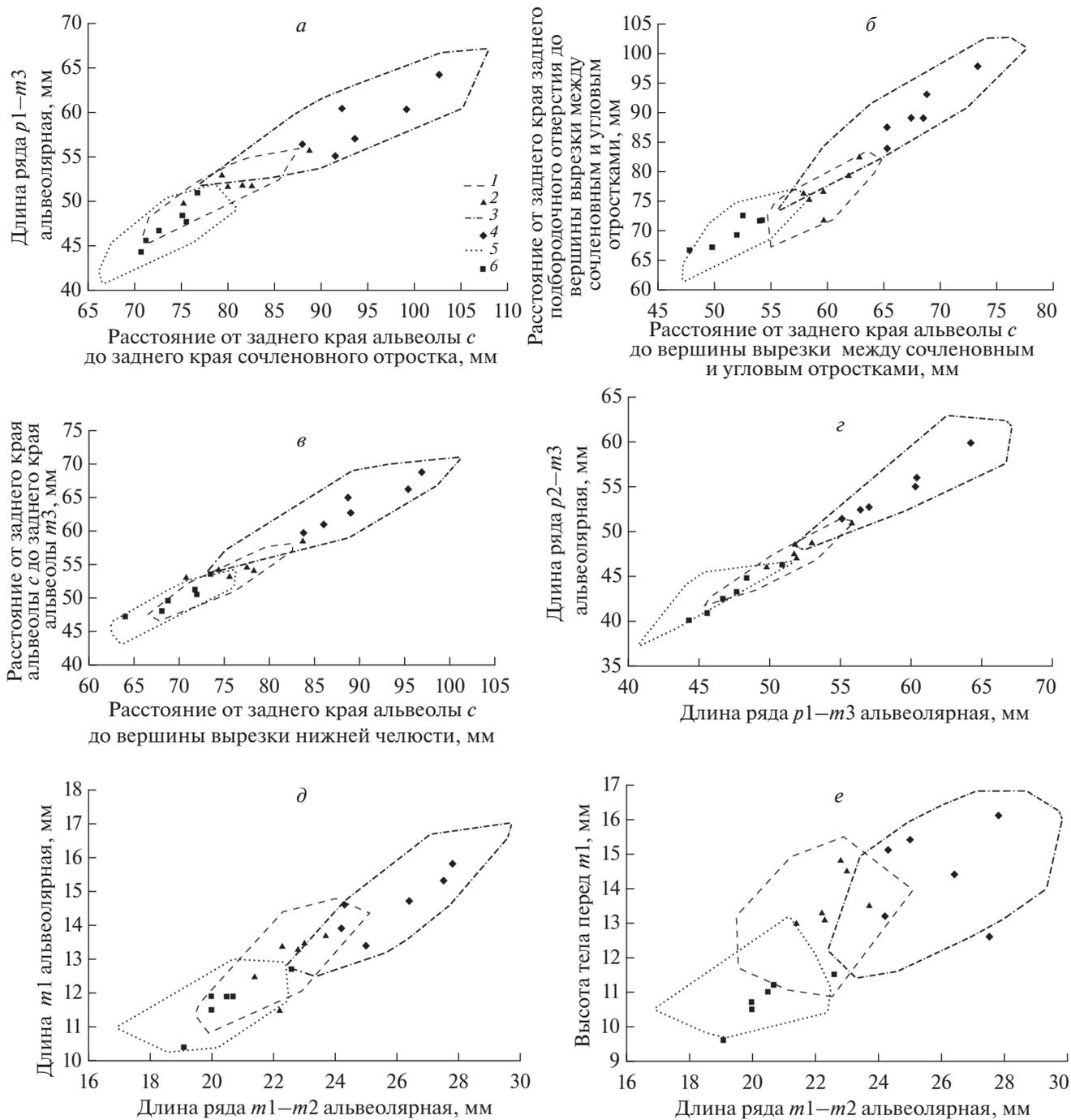


Рис. 2. Распределения абсолютных и относительных (индексов) значений признаков нижних челюстей видов рода *Vulpes*: 1 – область распределения значений признаков *V. lagopus*, 2 – тестовая выборка для *V. lagopus*, 3 – область распределения значений признаков *V. vulpes*, 4 – тестовая выборка для *V. vulpes*, 5 – область распределения значений признаков *V. corsac*, 6 – тестовая выборка *V. corsac*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование метрических признаков нижней челюсти, выраженных в абсолютных значениях и в значениях, стандартизованных на центроидный размер, показало, что для дифференциации лисицы и корсака необходим размерный

компонент, поскольку формы челюсти у лисицы и корсака очень близки. Песец отличается от этих видов формой челюсти. Анализ отдельных признаков показал, что дифференциация нижних челюстей видов рода *Vulpes* по размерам возможна благодаря двум обстоятельствам: во-первых, по

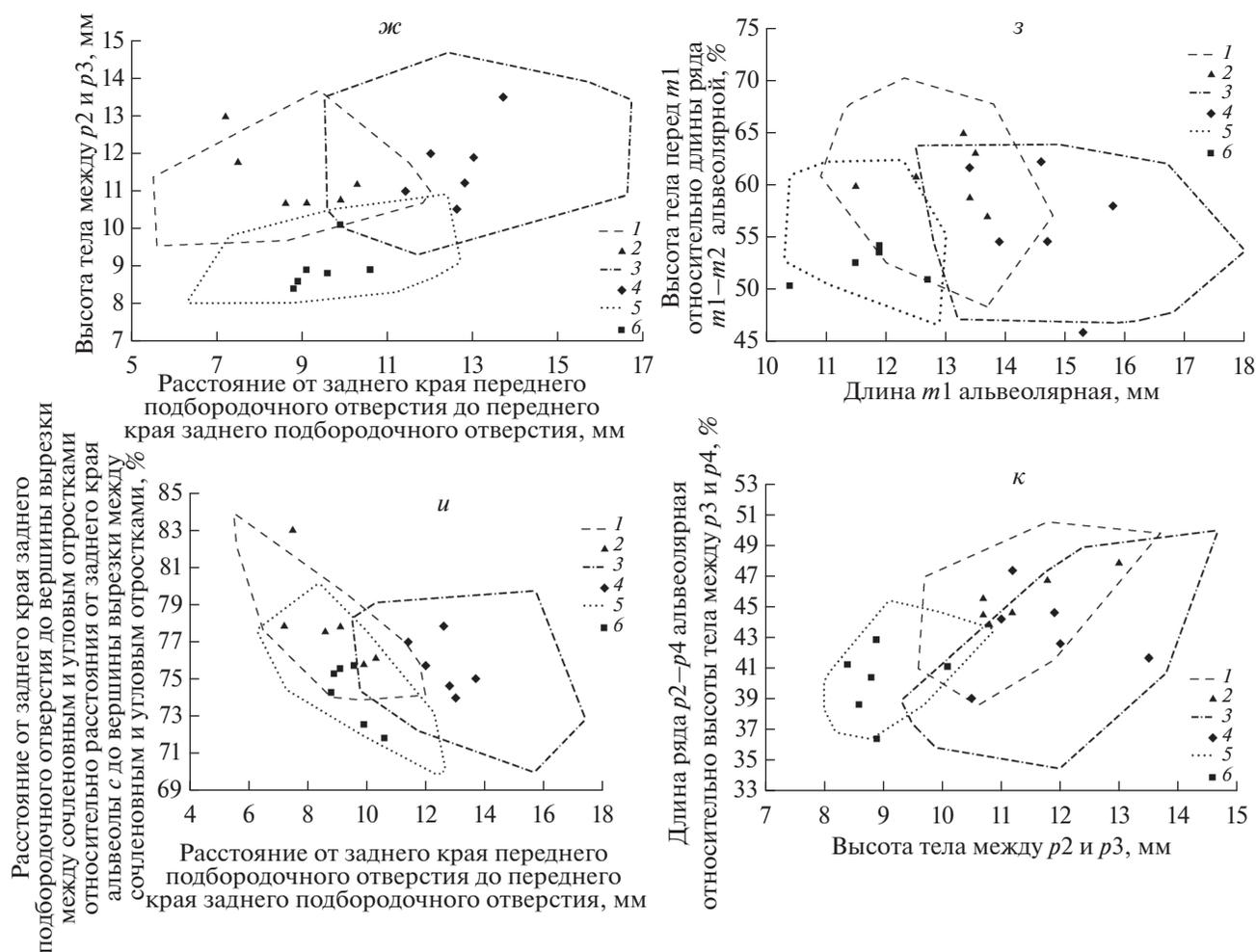


Рис. 2. Окончание.

большинству признаков в направлении уменьшения их значений виды можно выстроить в ряд лисица—песец—корсак, во-вторых, в рассматриваемой группе нижняя челюсть у лисицы наиболее крупная, у песца — укороченная и относительно высокая, массивная, у корсака — наиболее мелкая, грацильная.

Наибольший диагностический вес имеют признаки тела нижней челюсти, наименьший — признаки восходящей ветви. Для дифференциации трех видов по классификационным функциям можно использовать наборы признаков тела нижней челюсти, признаков ее передней и задней части. Видовая идентификация небольших фрагментов нижней челюсти возможна при использовании серии скаттер-диаграмм. Определение видовой принадлежности исследуемых экземпляров нижних челюстей представителей рода *Vulpes* рекомендуется по возможности проводить несколькими способами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории териологии ЗИН РАН, сотрудникам Зоологического музея МГУ им. М.В. Ломоносова и Музея Института экологии растений и животных УрО РАН за помощь в работе с коллекциями, а также сотруднику Самарского университета П.В. Ломейко за помощь в оформлении иллюстративного материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (14-50-00029) и РФФИ (15-04-03882а; 16-34-00364 мол_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аристов А.А., Барышников Г.Ф., 2001. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий // Хищные и ластоногие. СПб.: ЗИН РАН. 560 с.
- Гасилин В.В., Косинцев П.А., 2013. Диагностика видов подрода *Martes* str. (Carnivora, Mustelidae) по метрическим признакам нижней челюсти // Зоологический журнал. Т. 92. № 2. С. 221–230.

- Гасилин В.В., Саблин М.В., 2013. Виды рода *Martes* на северо-западе Русской равнины в голоцене // Труды Зоологического института РАН. Т. 317. № 2. С. 125–135.
- Гептнер В.Г., Наумов Н.П., Юргенсон П.Б., Слудский А.А., Чиркова А.Ф., Банников А.Г., 1967. Млекопитающие СССР. Т. 2. Ч. 1. М.: Высшая школа. 1003 с.
- Гимранов Д.О., Косинцев П.А., Гасилин В.В., 2015. Видовая диагностика корсака (*Vulpes corsac*), обыкновенной лисицы (*Vulpes vulpes*) и песца (*Vulpes lagopus*) по одонтологическим признакам зубов нижней челюсти // Зоологический журнал. Т. 94. № 11. С. 1338–1350.
- Громова В.И., 1950. Определитель млекопитающих по крупным трубчатым костям. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 240 с.
- Ермолова Н.М., 1978. Териофауна долины Ангары в позднем антропогене. Новосибирск: Наука. 220 с.
- Кисагулов А.В., Субботин А.М., 2015. Видовая диагностика корсака (*Vulpes corsac* L.) и обыкновенной лисицы (*V. vulpes* L.) по альвеолам и изолированным щечным зубам // Экология. Генетика. Эволюция. Материалы конф. молодых ученых, 13–17 апреля 2015 г. ИЭРиЖ УрО РАН. Екатеринбург: Голицинский. 160 с.
- Нанова О.Г., 2008. Анализ изменчивости щечных зубов трех видов псовых (Mammalia: Canidae) методами стандартной и геометрической морфометрии // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. Т. 49. С. 413–427.
- Новиков Г.А., 1956. Хищные млекопитающие фауны СССР. М.: Изд-во АН СССР. 396 с.
- Огнев С.И., 1931. Звери Восточной Европы и Северной Азии. Т. 2. М.-Л.: Главнаука. 776 с.
- Altuna J., 2004. Estudio biométrico de *Vulpes vulpes* L. y *Alopex lagopus* L. Contribución a su diferenciación en los yacimientos paleolíticos cantábricos // Munibe (Antropología- Arkeologia). V. 56. P. 45–59.
- Argant A., 2010. Carnivores (Canidae, Felidae et Ursidae) de Romain-la-Roche (Doubs, France) // Revue de Paleobiologie. V. 29. № 2. P. 495–601.
- Banfield J.D., Raftery A.E., 1993. Model-based Gaussian and non-Gaussian clustering // Biometrics. V. 49. P. 803–821.
- Eide N.E., Rønnebæk E., Johnsen B.S., Zimmermann B., Bevinger K. et al. 2009. Beyond the red threat what drives the red fox expansion // Abstract book. International conference on arctic fox biology. P. 18.
- Hellström P., Liljemark L., Angerbjörn A., 2009. Competition between arctic and red foxes the importance of indirect and indirect interactions // Abstract book. International conference on arctic fox biology. P. 16.
- Frafford K., Hufthammerz A.-K., 1994. Subfossil records of the arctic fox (*Alopex lagopus*) compared to its present distribution in Norway // Arctic. V. 47. № 1. P. 65–68.
- Fraley C., Raftery A.E., 1998. How many clusters? Which clustering method? Answers via Model-based cluster analysis // The computer journal. V. 41. P. 578–588.
- Fraley C., Raftery A.E., 1999. MCLUST: Software for Model-Based Cluster Analysis // Journal of Classification. V. 16. P. 297–306.
- Fraley C., Raftery A.E., 2002. Mclust: software for model-based clustering, density estimation and discriminant analysis. Technical Report 415. Department of Statistics, University of Washington.
- Fraley C., Raftery A.E., 2002a. Model-Based Clustering, Discriminant Analysis, and Density Estimation // Journal of the American Statistical Association. V. 97. P. 611–631.
- Geffen E., Mercure A., Girman D.J., Macdonald D.W.D., Wayne R.K., 1992. Phylogenetic relationships of the fox-like canids: mitochondrial DNA restriction fragment, site and cytochrome b sequence analyses // Journal of Zoology. V. 228. P. 27–39.
- Kahlke R.-D., 1999. The History of the Origin, Evolution and Dispersal of the Late Pleistocene Mammuthus–Coelodonta Faunal Complex in Eurasia (Large Mammals). Rapid City: Fenske Companies. 219 p.
- Kosintsev P.A., Gasilin V.V., Gimranov D.O., Bachura O.P., 2015. Carnivores (Mammalia, Carnivora) of the Urals in the Late Pleistocene and Holocene // Quaternary International. V. 420. P. 145–155.
- Leamy L., 1984. Morphometric studies in inbred and hybrid house mice. Directional and fluctuating asymmetry // American Naturalist. V. 123. P. 579–593.
- Leamy L., 1999. Heritability of directional and fluctuating asymmetry for mandibular characters in random-bred mice // Journal of Evolutionary Biology. V. 12. P. 146–155.
- Lebedev V.S., Lissovsky A.A., 2008. The geographical variability of cranial characteristics and systematics of striped-back hamsters (*Cricetulus barabensis*, Rodentia, Cricetidae) // Russian Journal of Zoology. V. 87. P. 361–374.
- Miller G.S., 1912. Catalogue of the Mammals of Western Europe (Europe exclusive of Russia) in the collection of the British Museum. London: printed by order of the Trustees P. 319–330.
- Monchot H., Gendron D., 2010. Disentangling long bones of foxes (*Vulpes vulpes* and *Alopex lagopus*) from arctic archaeological sites // Journal of Archaeological Science. V. 37. P. 799–806.
- Nanova O.G., 2014. Geographical variation in the cranial measurements of the midday jird *Meriones meridianus* (Rodentia: Muridae) and its taxonomic implications // Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research. V. 52. I. 1. P. 75–85.
- Refaeilzadeh P., Tang L., Liu H., 2009. Cross-Validation. In Encyclopedia of Database Systems (Eds Liu L. and Özsu M.T.). New York: Springer US Publisher. P. 532–538.

**IDENTIFICATION OF THE ARCTIC FOX (*VULPES LAGOPUS*),
RED FOX (*VULPES VULPES*) AND CORSAC FOX (*VULPES CORSAC*),
CARNIVORA, MUSTELIDAE) OF NORTHERN EURASIA BASED
ON METRIC CHARACTERISTICS OF THE MANDIBLE**

V. V. Gasilin^{1, #}, O. G. Nanova^{2, ##}, P. A. Kosintsev¹, D. O. Gimranov¹

¹*Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg 620144, Russia*

²*Zoological Museum, Lomonosov Moscow State University, Moscow 125009, Russia*

[#]*e-mail: GasilinV@yandex.ru*

^{##}*e-mail: nanova@mail.ru*

New methods of identification of the Arctic fox (*Vulpes lagopus*), Red fox (*Vulpes vulpes*) and Corsac fox (*Vulpes corsac*) were developed, based on mandible size and its fragments in the adults, with mclust analysis, discriminant analysis and scatter diagrams performed and compared. Original data and centroid size corrected data were employed. The Red fox and the Corsac fox differ in the size, but not shape, of the mandible. The Arctic fox differs from both by mandible shape. The body of the mandible is shown to be the most useful part for identifying all three species analyzed.

Keywords: Vulpes lagopus, V. vulpes, V. corsac, fox, northern Eurasia, mandible, measurements, mclust, discriminant analysis, species identification