

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2020, №4, Том 5 / 2020, No 4, Vol 5 <https://kostumologiya.ru/issue-4-2020.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/15TLKL420.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Гребенева Ю.С., Сапожникова А.И., Гордеева Ю.Л. Использование многомерного статистического анализа данных для создания информационной системы инструментальной сортировки шкурок норки различных цветовых групп и типов // Научный журнал «Костюмология», 2020 №4, <https://kostumologiya.ru/PDF/15TLKL420.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Grebeneva Yu.S., Sapozhnikova A.I., Gordeeva Yu.L. (2020). The use of multivariate statistical data analysis to create an information system for instrumental sorting of mink skins of various color groups and types. *Journal of Clothing Science*, [online] 4(5). Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/15TLKL420.pdf> (in Russian)

УДК 637.612.033.3.05

ГРНТИ 64.37.81

Гребенева Юлия Сергеевна

ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина», Москва, Россия
Аспирант кафедры «Товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения им. С.А. Каспарьянца»
E-mail: julia-21@bk.ru
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1023050

Сапожникова Алла Ионовна

ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина», Москва, Россия
Профессор кафедры «Товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения им. С.А. Каспарьянца»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: fibrilla@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5040-6998>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=429612
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6603416182>

Гордеева Юлия Львовна

ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина», Москва, Россия
Заведующий кафедрой «Информационных технологий, математики и физики»
Кандидат технических наук
E-mail: gordulia32@gmail.com
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=301107

Использование многомерного статистического анализа данных для создания информационной системы инструментальной сортировки шкурок норки различных цветовых групп и типов

Аннотация. Проведена сортировка 300 шкурок полуфабриката норки голубой группы на 5 цветовых типов в соответствии с ГОСТ Р 55587-2013 «Шкурки норки клеточного разведения невыделанные. Технические условия». Показана возможность инструментальной

колориметрической градации схожих шкурок, визуально неразличимых внутри цветового типа, с близкими значениями координат цвета в системе CIE L*a*b*.

С помощью иерархического агломеративного кластерного анализа построена дендрограмма, объединяющая шкурки полуфабриката норки с близкими значениями координат цвета в системе CIE L*a*b*. С помощью статистики Лямбда-Уилкса и критерия Фишера определен вклад координат цвета в цветоразличие между шкурками норки внутри цветового типа. Показано, что наибольший вклад в цветоразличие между группами образцов шкурок вносят координаты цветности a* и b*, а координата L* – светлота, имеет второстепенное значение.

При помощи канонического анализа определены конкретные дискриминантные функции и их стандартизованные коэффициенты, а также их вклад в каждую каноническую функцию. Показано, что с помощью диаграммы рассеяния можно выявить и определить существенность цветовых различий между цветовыми типами полуфабриката норки голубой группы по наиболее сильной дискриминантной функции.

Методом дискриминантного анализа были рассчитаны значения констант классификационных функций и их коэффициентов, соответствующие каноническим корням пяти выделенных групп полуфабриката норки по цветовым типам, что позволило составить уравнения функций классификации для шкурок полуфабриката норки голубой группы. С помощью этих функций можно будет в дальнейшем классифицировать новые случаи, которые будут относиться к тому классу, для которого классифицированное значение будет максимальное.

Ключевые слова: норка; волосяной покров; пушно-меховое сырье и полуфабрикат; оптические свойства; количественная оценка; цветовые характеристики

На сегодняшнем этапе развития меховой промышленности появилась острая необходимость в создании системы цифрового описания, оценки и стандартизации оптических свойств пушно-мехового сырья и полуфабриката. Это стало возможным благодаря использованию современной техники, позволяющей значительно упростить, ускорить и повысить качество процесса сортировки, а также процесса подбора шкурок на изделие по таким показателям как блеск и цвет [1; 2].

Изделия из натурального меха норки занимают важное место в жизни человека. Природная красота меха, высокие эксплуатационные и теплозащитные свойства предопределяют его успех. Конкуренция на пушном рынке, удовлетворение спроса моды требуют постоянного совершенствования не только дизайнерских решений, но и использования шкурок с разнообразной окраской волосяного покрова, что обусловлено высокой мутационной изменчивостью пигментации волос [3].

Естественная окраска и блеск волосяного покрова относятся к числу важнейших товарных свойств пушно-мехового сырья и полуфабриката. Эти показатели учитываются при сортировке и имеют большое влияние на конечную стоимость товара [4].

Естественный цветовой диапазон остевого волоса и подпуши у норки обусловлен присутствием и соотношением в них двух высокомолекулярных пигментов меланинов (эумеланина и феомеланина), которые вырабатываются специальными клетками – меланоцитами в корне волоса и там же встраиваются в структуру волоса. Вышеназванные типы меланинов, отличаются друг от друга цветом, химически и структурно. В чистом виде ни один из видов меланинов в волосе не представлен: сочетание феомеланина и эумеланина, находящихся, соответственно, в зернистом и диффузном состоянии [5], даёт всю гамму

цветовых оттенков от черного до светло-серого и от темно-коричневого до светло-палевого. Полное или частичное отсутствие пигмента в волосе (более 70 %) проявляется в виде серебристого или белого цвета [6].

Как известно, цвет – это результат избирательного отражения видимых солнечных лучей с поверхности материала [7; 8]. Восприятие цвета определяется индивидуальностью человека и зависит от ряда физических физиологических и психологических факторов.

Цвет, или другими словами, окраску часто используют как показатель при идентификации сырья и материалов текстильной и легкой промышленности. Каждый цвет обладает количественно измеряемыми физическими характеристиками: яркостью, светлотой, насыщенностью и цветовым тоном [1].

Для оценки цветовых характеристик пушно-мехового сырья и полуфабриката наиболее адаптированы портативные сферические спектрофотометры X-RITE серии SP (США)¹.

Спектрофотометр работает в цветовой системе Lab – это цветовой режим, не зависящий от устройств, которые используются программным обеспечением для управления цветом. Цветовая модель CIE L*a*b* создана с целью преодоления существенных недостатков моделей RGB и CMYK. В настоящее время цветовое пространство CIE L*a*b* является международным стандартом². Основное преимущество пространства – независимость как от устройств воспроизведения цвета на мониторах, так и от устройств ввода и вывода информации. Это несомненно является важным фактором, так как даёт возможность оценивать цветовые различия не только единичных цветов, но и цветов произвольной яркости. С помощью стандартов CIE L*a*b* могут быть описаны все цвета, которые воспринимает человеческий глаз³. Именно модель CIE L*a*b* является наиболее подходящей для использования в колориметрии пушно-меховых товаров¹ [2].

В цветовом пространстве CIE L*a*b* (рис. 6) значение светлоты отделено от значения хроматической составляющей цвета (тон, насыщенность). Светлота задана координатой L (изменяется от 0 до 100, то есть от самого темного до самого светлого), хроматическая составляющая – двумя декартовыми координатами a и b. Первая обозначает положение цвета в диапазоне от зеленого до пурпурного, вторая – от синего до желтого (-255 до +255)² [2; 6].

Для цветового пространства CIE L*a*b*, как и для любого другого, очень важно понятие цветоразличия. Распространенные определения цветового различия обычно используют формулу вычисления расстояния в евклидовом пространстве, однако стоит заметить, что при этом не любое цветовое пространство является евклидовым с математической точки зрения². Формула цветового отличия (англ. *Colordifference*), также формула цветового различия, цветоразность или цветовое расстояние (расстояние между цветами) – математическое представление, позволяющее численно выразить различие между двумя цветами в колориметрии³.

¹ Спектрофотометры серии SP60. Руководство по эксплуатации (модели SP60, SP62, SP64). – X-RiteIncorporated. – 68 с.

² Что такое RGB, CMYK, HSV+HSL, Lab – цветовые модели и параметры. URL: <https://sonikelf.ru/znakomimsya-s-cvetom-vsyo-o-cvetovykh-modelyax-rgb-cmyk-hsvhsl-lab/> (Дата обращения: 23.11.2020).

³ The International Commission on Illumination: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cie.co.at/> (Дата обращения: 23.10.2020).

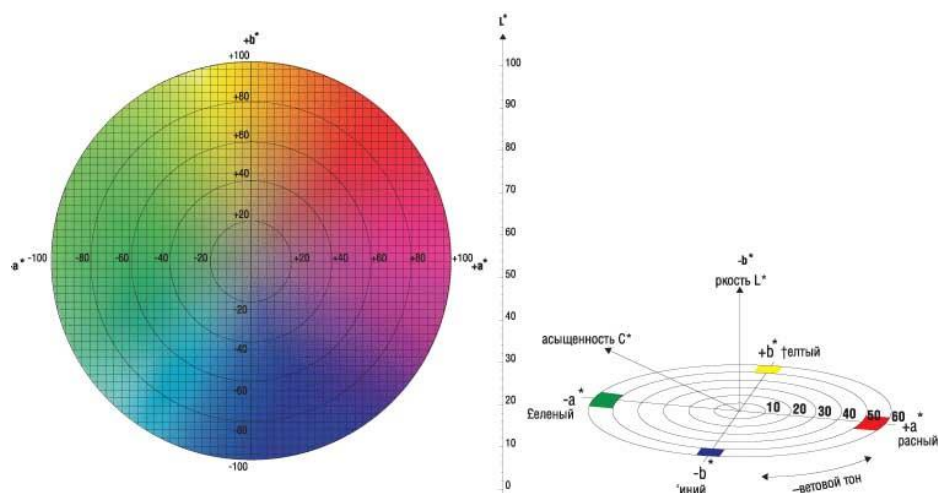


Рисунок 1. Цветовое пространство CIE $L^*a^*b^*$

(из открытого источника <http://www.prepress-book.narod.ru/Wiki/Cvet.htm>)

Международный комитет CIE (фр. Commission International edel'Eclairage) задает определение цветовой разницы через ΔE^*_{ab} (также ΔE^* , dE^* , dE , или англ. DeltaE). Буква «E» обозначает нем. Empfindung – рус. Ощущение.

Используя координаты и (L^*_2, a^*_2, b^*_2) в цветовом пространстве $L^*a^*b^*$:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

$\Delta E^*_{ab} \approx 2.3$ примерно соответствует минимально различимому для человеческого глаза отличию между цветами³ [2].

При оценке меха норки как швейного материала требуется найти приемлемость (допуск) цветового различия при подборе шкурок на изделия. В этом случае нужно проанализировать различия по цветовым координатам в системе CIE $L^*a^*b^*$ (ΔL , Δa , Δb)², а затем определить значения полного цветового различия ΔE , что удобно сделать при помощи методов многомерного статистического анализа данных [6; 7].

На основе измерения различных характеристик анализируемого объекта, использование этих методов позволит отнести данный объект к одной из нескольких групп некоторым оптимальным способом. Под оптимальным способом понимается либо минимум математического ожидания потерь, либо минимум вероятности ложной классификации⁴.

Такой методический подход позволяет упорядочить анализируемый материал по множеству свойств и показателей на тождественные группы, а затем интерпретировать выявленные различия.

Хотя в меховой промышленности в настоящее время для сортировки и подбора меховых шкурок на изделие используется визуальный метод оценки их по цвету [6; 9], имеющий ряд преимуществ в силу своей простоты и доступности, существенное влияние на итог работы оказывает субъективный опыт сортировщика. Однако, современные реалии настоятельно требуют внедрения цифровых технологий в сферу производства меховых изделий [1; 2; 7; 9–11].

⁴ Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: учебник. – 3-е изд. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с. – Текст: непосредственный.

В связи с вышеизложенным, создание системы инструментальной количественной оценки оптических свойств волосяного покрова меха является актуальной и своевременной задачей.

Цель работы: изучить возможность использования многомерного статистического анализа данных для создания информационной системы инструментальной сортировки шкурок норки различных цветовых групп и типов в координатах колориметрического пространства CIE L*a*b*.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования были использованы образцы выделанных шкурок норки клеточного разведения голубой группы, представленной следующими цветовыми типами: серебристо-голубая, алеутская, голубой ирис, сапфир, фиолет (топографический участок – хребет, 300 штук, самцы), предоставленные ООО "Русская меховая компания" (город Москва, улица Дмитровка Б., 11).

Выделанные шкурки норки голубой группы были отсортированы с помощью профессиональных сортировщиков ООО "Русская меховая компания" согласно ГОСТ Р 55587-2013 «Шкурки норки клеточного разведения невыделанные. Технические условия»⁵.

Оценку общего цветового тона шкурки волосяного покрова шкурок норки проводили инструментально, с помощью портативного сферического спектрофотометра X-rite SP-62. В качестве топографического участка был выбран хребет [2].

Спектрофотометр X-Rite SP-62 использует технологию DRS, которая позволяет производить правильные и точные измерения. Прибор оснащен простыми в использовании кнопками и высококонтрастным дисплеем. Для определения влияния отраженного компонента SP-62 автоматически предоставляет данные с включенным или исключенным зеркальным компонентом¹.

Измерения проводили следующим образом: после включения прибора перед началом работы проводили калибровку (считывание прибором белого и черного эталонов) с помощью специального калибровочного стенда. Для этого прибор устанавливали на стенд и на дисплее прибора выбирали пункт "Calibrate". Шкурку встряхивали, добиваясь максимально возможного вертикального расположения волоса. На приборе выбирали пункт «Начало нового проекта», чтобы все последующие измерения сохранить в отдельную выборку. После этого прибор помещали на волосяной покров строго вертикально, чтобы в отверстие прибора попали волосы ости и подпуши. Для точности повторяющихся измерений подошва лапки должна плотно прилегать к поверхности измеряемого образца. Сканирование происходит автоматически [2]. При проведении измерений волосяной покров шкурки норки плотно прижимали к измерительной апертуре спектрофотометра с диаметром, равным 25 мм. На одной шкурке норки проводили 3 измерения, результат усредняли¹.

Данные измерений были подвергнуты статистической обработке, иерархическому агломеративному кластерному анализу, классификационному анализу (канонический анализ) и дискриминантному анализу при помощи программ Microsoft Office Excel 2010 и STATISTICA 10 [12–14].

⁵ ГОСТ Р 55587-2013 «Шкурки норки клеточного разведения невыделанные. Технические условия»: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 06 сентября 2013 г. N 865-ст. введен впервые: дата введения 2015-01-01 / разработан ГНУ НИИПЗК Россельхозакадемии. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 25 с.; 29 см. – Текст: непосредственный.

Результаты исследований

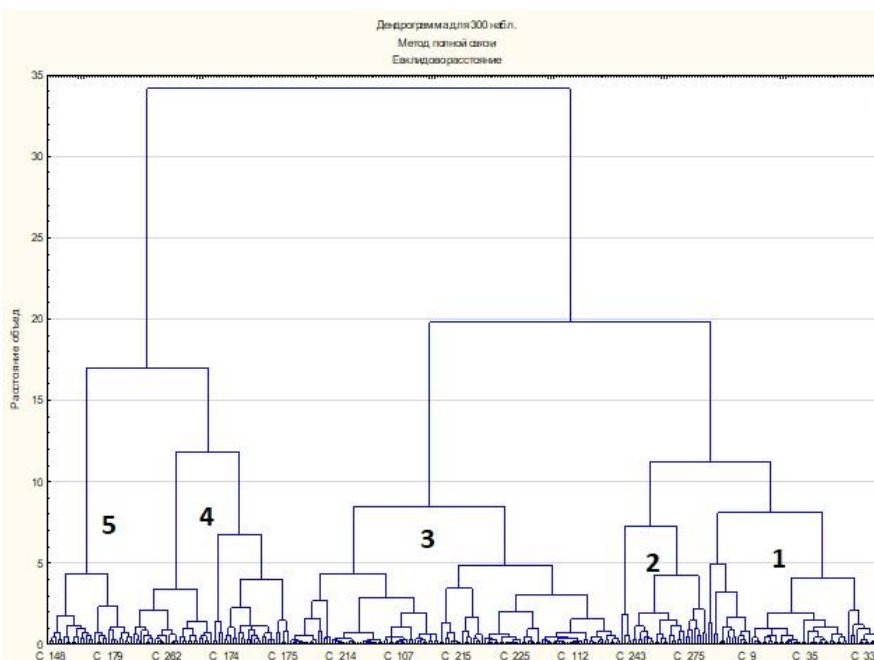
На первом этапе исследований была проведена градация шкурок норки голубой группы по цветовым характеристикам колориметрической системы CIE L*a*b*. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Средние значения цветовых характеристик выделанных шкурок норки голубой группы N = 300

№ группы	Цветовой тип	Количество образцов	Цветовые координаты		
			L	a	b
1	Серебристо-голубая	60	52,18±0,21	5,50±0,04	6,61±0,04
2	Алеутская	60	42,79±0,2	1,37±0,01	0,86±0,02
3	Голубой ирис	60	66,09±0,51	2,63±0,04	9,53±0,03
4	Сапфир	60	41,99±0,27	0,66±0,01	1,66±0,01
5	Виолет	60	55,51±0,35	0,62±0,01	3,0±0,05

Из таблицы видно, что средние значения цветовых характеристик шкурок, входящих в цветовые типы голубой группы, достоверно отличаются по значениям цветовых координат L*, a*, b*. В качестве примера можно привести данные по цветовым типам серебристо-голубой и виолет для светлоты L ($t_{набл} = 6,67 \geq t_{кр} = 1,98$ при $p < 0,05$), а также цветовых координат a и b ($t_{набл} = 1,74 \leq t_{кр} = 1,98$ при $p < 0,05$ и $t_{набл} = 2,52 \geq t_{кр} = 1,98$ при $p < 0,05$, соответственно) [14].



Ось абсцисс – номер образца шкурки; ось ординат – расстояние объединения; 1, 2, ..., 5 – номер группы

Рисунок 2. Дендрограмма иерархического агломеративного объединения 300 образцов шкурок по координатам цвета CIE L*a*b* (составлено авторами на основе статистических данных в программе STATISTICA 10)

Таким образом, результаты градации шкурок норки голубой группы по цветовым характеристикам позволили выделить группы схожих шкурок, визуально не различимых внутри группы. Однако, такой градации недостаточно для подбора шкурок на изделие. Поэтому из полученных результатов была сформирована матрица данных: P×N, где P = 3 (координаты цвета L*, a*, b* в системе CIE L*a*b*), N = 300 (5*60) (множество образцов шкурок норки), которая была обработана с помощью иерархического агломеративного кластерного анализа для нахождения схожих шкурок внутри визуально неразличимых групп [12; 13]. Для

иерархического объединения кластеров был выбран метод полной связи, а в качестве меры сходства объектов – евклидово расстояние¹. Дендрограмма иерархического агломеративного объединения 300 образцов шкурок по координатам цвета CIE L*a*b* представлена на рисунке 1.

В итоге было сформировано 5 групп, каждая из которых объединяла шкурки с близкими значениями координат цвета CIE L*a*b*, но визуально по цвету не различимые.

Далее, посредством дискриминантного анализа¹ (ДА) была подтверждена разделительная способность дискриминантных функций (далее ДФ) и их статистическая значимость при уровне $p < 0,0000$, и были установлены значения Лямбда-Уилкса = 0,0000444 и F-статистики (12,775) = 2789,671 [12]. Тот факт, что значение статистики Лямбда-Уилкса, находится около нуля, свидетельствует о хорошей дискриминации образцов шкурок на 5 групп (табл. 2) [12].

Таблица 2

Итоговая таблица дискриминантного анализа данных

N = 300	Итоговая таблица дискриминантного анализа данных Число переменных: 3; Группирующие переменные: Цветовой тип (5 гр.), Лямбда-Уилкса: 0,00004 при бл. F (12,775) = 2789,7; $p < 0,0000$					
	Лямбда-Уилкса	Частная лямбда	Значение F-критерия	Уровень значимости F-критерия	Толерантность	Коэффициент множественной корреляции R ²
L	0,000110	0,402482	108,746	0,00	0,962393	0,037607
a	0,001669	0,026609	2679,578	0,00	0,953582	0,046418
b	0,000843	0,052663	1317,683	0,00	0,974210	0,025790

Как известно, статистика Лямбда-Уилкса вычисляется как отношение детерминанта матрицы внутригрупповых дисперсий к детерминанту общей ковариационной матрицы. Как видно из таблицы 2, в первом ее столбце приведены значения *Лямбды-Уилкса*, являющиеся результатом исключения соответствующей переменной из модели. Чем больше значение лямбда, тем более желательно присутствие этой переменной в процедуре дискриминации [13]. Так как наибольшее значение Лямбды-Уилкса имеет цветовая координата a*, можно считать, что она играет наиболее важную роль в процедуре дискриминации.

Во втором столбике таблицы представлены значения *частной Лямбды*, что есть отношение Лямбды-Уилкса после добавления соответствующей переменной, в нашем случае a*, к Лямбде-Уилкса до добавления этой переменной. Частная лямбда характеризует единичный вклад соответствующей переменной в разделительную силу модели¹. Чем меньше статистика Лямбда-Уилкса, тем больше вклад в общую дискриминацию [12]. Из полученных данных видно, что переменная a* – красно-зеленый (= 0,027) дает наибольший вклад в отличие от остальных, переменная b* – желто-синий (= 0,053) – вторая по значению вклада, переменная L* – светлота (= 0,4) – вносит в общую дискриминацию наименьший вклад. Поэтому можно сделать вывод, что величина координаты a* – красно-зеленый (a/-a) является главной переменной, которая позволяет производить дискриминацию между различными цветовыми типам шкурок норки.

Значения *F-критерия* также подтверждают уровень статистической значимости координаты цвета a*, указывая на ее важный вклад в дискриминацию групп.

Толерантность является мерой избыточности переменной в модели (чем меньше ее значение, тем сильнее данный признак связан со всеми остальными¹). Из таблицы 2 видно, что значения толерантности всех показателей близки к единице, однако величина этого показателя

для координаты цвета a^* меньше остальных, поэтому она сильнее связана с остальными переменными.

Что касается *коэффициента множественной корреляции*, который указан в последнем столбце таблицы 2, то чем выше R^2 , тем сильнее данный признак связан с остальными, использованными в модели [13].

Таким образом, обобщая результаты, представленные в таблице 2 следует отметить, что все они однозначно указывают на роль координаты цвета a^* в дискриминации шкурок норки на группы по цветовым типам.

Для углубленной **интерпретации** результатов о природе дискриминации был проведен канонический анализ. Чтобы определить, как переменные L^* , a^* и b^* влияют на принадлежность шкурок норки к тому или иному цветовому типу, были вычислены *канонические дискриминантные функции* (ДФ) или так называемые *канонические корни*, в наибольшей степени отражающие различия между группами объектов.

Как известно, каждая дискриминантная функция представляет собой некую линейную комбинацию **дискриминантных переменных**, т. е. признаков, характеризующих рассматриваемые объекты¹. Причем, максимальное количество дискриминантных функций должно быть на единицу меньше количества дискриминантных переменных и не превышать количества групп. Каждая последующая функция будет вносить все меньший и меньший вклад в дискриминацию рассматриваемых групп [13].

Таблица результатов с пошаговым критерием для ДФ (канонических корней) позволила определить статистически значимые корни при помощи последовательного применения критерия значимости (табл. 3).

Таблица 3

Результаты с пошаговым критерием для канонических корней

Удалено корней	Хи-квадрат – критерий последовательности удаления корней					
	Собственные значения	Каноническая корреляция, R	Лямбда Уилкса	Хи-квадрат	Число степеней свободы	Уровень значимости
0	247,5144	0,997986	0,000044	2956,508	12	0,00
1	37,7604	0,987016	0,011036	1329,436	6	0,00
2	1,3377	0,756457	0,427773	250,503	2	0,00

Первая строка таблицы дает критерий значимости для всех корней. Тот факт, что уровень значимости p меньше, чем 0,05, указывает что есть хотя бы один канонический корень, который является статистически значимым. Вторая строка характеризует значимость корней, оставшихся после удаления первого корня. Так как и в этом случае p меньше, чем 0,05, среди оставшихся корней присутствуют статистически значимые. Аналогичная ситуация наблюдается и по третьей строке, где видно, что все корни статистически значимы.

Такие показатели канонического анализа, как стандартизованные коэффициенты дискриминантных функций, позволяют определить, какая из используемых переменных вносит наибольший вклад в величину дискриминантной функции.

В таблице 4 приведены стандартизованные коэффициенты дискриминантных функций, основанные на стандартизованных переменных и принадлежащие к одной и той же шкале измерений (абсолютной), поэтому их можно сравнивать, чтобы определить величины и направления вкладов переменных в каждую каноническую функцию.

Таблица 4

Стандартизованные коэффициенты дискриминантных функций

Переменные	Стандартизованные коэффициенты для канонических переменных		
	Корень 1	Корень 2	Корень 3
L	0,1987	0,15409	-0,987846
a	0,6623	-0,76427	-0,160862
b	0,8297	0,48182	0,325408
Собственные значения	247,5144	37,76038	1,337688
Кумулятивная доля объясненной дисперсии	0,8636	0,99533	1,000000

Как следует из таблицы 4, значения стандартизованных коэффициентов первой, второй и третьей ДФ, показывающих вклад переменных в различительную способность ДФ, наибольший вклад в цветоразличение по первой ДФ вносит координаты цвета b^* – желто-синий ($= -0,83$) и a^* – красно-зеленый ($= -0,66$), по второй ДФ – a^* – красно-зеленый ($= -0,76$) и b^* – желто-синий ($= 0,48$), по третьей ДФ – L^* -светлота ($= -0,98$).

Так же в таблице 4 приведены собственные значения (Eigenval) для каждой дискриминантной функции и кумулятивная доля объясненной дисперсии (Cum.Prog), накопленной каждой функцией. Как видно, функция 1 ответственна за 86,36 % объясненной дисперсии, т. е. 86,36 % всей дискриминирующей мощности определяется этой функцией. Поэтому эта функция наиболее «важна». Функция 2 ответственна за 13,17 % объясненной дисперсии. Функция 3 ответственна за 0,47 % объясненной дисперсии.

В таблице 5 представлены средние значения канонических переменных, рассчитанные для всех цветовых типов, входящих в голубую группу полуфабриката норки.

Таблица 5

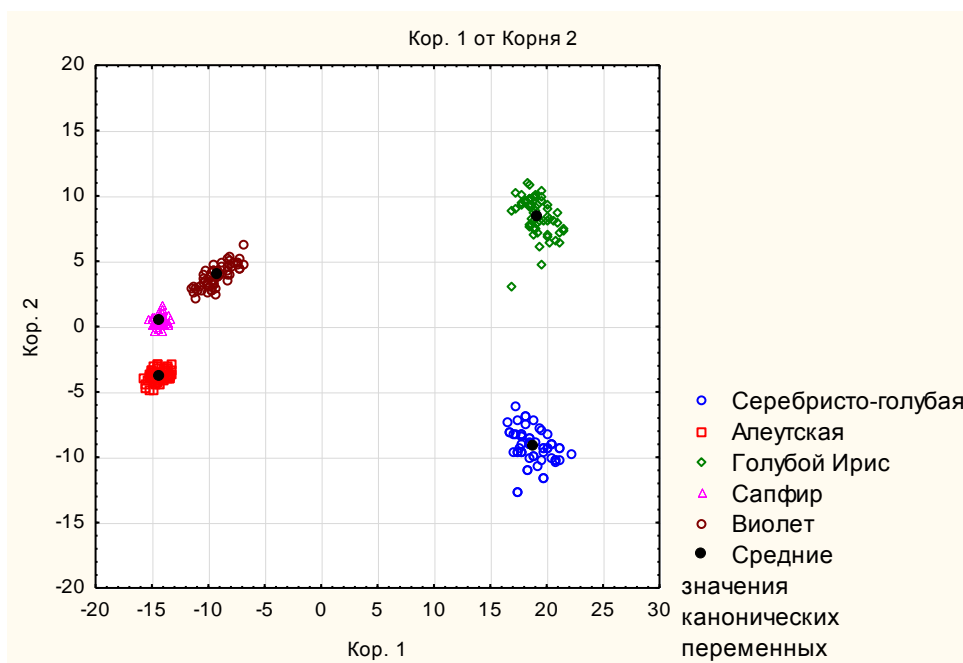
Средние значения канонических переменных

Цветовой тип	Средние значения канонических переменных		
	Корень 1	Корень 2	Корень 3
Серебристо-голубая	18,7918	-9,17462	-0,18339
Алеутская	-14,3603	-3,74209	-0,17562
Голубой ирис	19,1428	8,47609	0,46224
Сапфир	-14,3637	0,52110	1,72229
Виолет	-9,2106	3,91953	-1,82552

Таблица средних значений для дискриминантных функций (таблица 5) позволила выделить группы, лучше всего идентифицируемые каждой конкретной дискриминантной функцией.

Судить о результатах разделения по группам, удобнее всего по диаграмме рассеяния для канонических значений в координатах осей двух дискриминантных функций (рисунок 3).

Из диаграммы видно, что координаты дискриминантных функций 1 и 2, отвечающих за различные цветовые типы шкурок норки, находятся в разных областях плоскости. При этом группы серебристо-голубая и голубой ирис представлены на диаграмме точками в правой части плоскости и имеют положительные значения корня 1. Расстояние между центроидами, характеризующими эти группы незначительно. Группы виолет, сапфир и алеутская находятся представлены на диаграмме точками в левой части плоскости и имеют отрицательные значения корня 1. Установленный факт свидетельствует о существенных цветовых различиях между цветовыми типами полуфабриката норки голубой группы.



Ось абсцисс – первая дискриминантная функция; ось ординат – вторая дискриминантная функция

Рисунок 3. Расположение точек, соответствующих образцам шкурок норки различных цветовых типов, в координатах осей двух дискриминантных функций (составлено авторами на основе статистических данных в программе STATISTICA 10)

Из диаграммы видно, что наиболее отдалены друг от друга цветовые типы голубой ирис и сапфир, так как расстояние между центроидами этих типов наибольшее (от -14,3637 до +19,1428), поэтому они наиболее различны между собой. Наименее отдалены друг от друга цветовые типы сапфир (-14,3637), алеутская (-14,3603) и виолет (-9,2106). Полученные результаты свидетельствуют о том, что дискриминация по первой дискриминантной функции наиболее сильная, чем по дискриминантным функциям два и три⁴.

Для оценки качества процедуры классификации использована классификационная матрица (табл. 6), в которой была суммирована информация о количестве и проценте корректно классифицированных наблюдений в каждой группе.

Таблица 6

Матрица классификации

Цветовой тип	Матрица классификаций					
	% совпадений	Серебристо-голубая	Алеутская	Голубой ирис	Сапфир	Виолет
Серебристо-голубая	100,0000	60	0	0	0	0
Алеутская	100,0000	0	60	0	0	0
Голубой ирис	100,0000	0	0	60	0	0
Сапфир	100,0000	0	0	0	60	0
Виолет	100,0000	0	0	0	0	60
Всего	100,0000	60	60	60	60	60

Было установлено, что исходные (строки матрицы) и предсказанные (столбцы матрицы) классы полностью совпали по цветовым характеристикам 5 групп. Это указывает, что дискриминация была проведена успешно.

На завершающем этапе дискриминантного анализа была получена таблица значений апостериорных вероятностей, то есть вероятностей принадлежности каждой выделанной шкурки норки к одному из пяти цветовых типов (табл. 7). Полуфабрикат норки относили к той

группе цветового типа, для которой имелась наибольшая апостериорная вероятность классификации.

Таблица 7

Апостериорные вероятностей (фрагмент результатов, N = 300)

Случаи	Апостериорные вероятности					
	Исходная классификация	Серебристо-голубая $p = 0,2000$	Алеутская $p = 0,2000$	Голубой ирис $p = 0,2000$	Сапфир $p = 0,2000$	Виолет $p = 0,2000$
1	алеутская	0,000000	0,999987	0,000000	0,000013	0,000000
2	алеутская	0,000000	0,999999	0,000000	0,000001	0,000000
3	алеутская	0,000000	0,999955	0,000000	0,000045	0,000000
4	алеутская	0,000000	0,999996	0,000000	0,000004	0,000000
5	алеутская	0,000000	0,999977	0,000000	0,000023	0,000000
6	алеутская	0,000000	0,999992	0,000000	0,000008	0,000000
7	алеутская	0,000000	0,999992	0,000000	0,000008	0,000000
8	алеутская	0,000000	0,999927	0,000000	0,000073	0,000000
9	алеутская	0,000000	0,999970	0,000000	0,000030	0,000000
10	голубой ирис	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000
11	голубой ирис	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000
12	голубой ирис	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000
13	голубой ирис	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000
14	голубой ирис	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000

Анализ таблицы 7 показал, что все шкурки норки, с долей апостериорной вероятности, равной 0,2, принадлежат к определённым по цветовым характеристикам типам голубой группы.

Полученные результаты позволили разработать систему оценки колориметрической градации выделанных шкурок норки различных цветовых типов.

Принадлежность цветовых характеристик шкурок к определенному цветовому типу при их градации определяется решающим правилом, в качестве которого была использована система классификационных функций, представленная в виде следующего выражения:

$$hk = bk0 + bk1Lj^* + bk2aj^* + bk3bj^*, \quad (1)$$

где hk – значение функции образцов шкурок k -группы (1, 2, 3);

$bk0$ – константа функции;

$bk1, bk2, bk3$ – коэффициенты классификационных функций k -группы;

Lj^*, aj^*, bj^* – координаты окраски образцов шкурок.

Таблица 8

Числовые значения коэффициентов классификационных функций, рассчитанные по данным цветовых координат образцов шкурок из обучающей выборки

Числовое значение показателя коэффициента классификационной функции для k -группы	P – показатель коэффициента bkp			
	$p = 1(L^*)$	$p = 2(a^*)$	$p = 3(b^*)$	$bk0$
$b1p$	9,45	193,07	105,47	-1127,75
$b2p$	7,193	56,573	10,975	-198,937
$b3p$	10,29	123,22	139,67	-1169,28
$b4p$	6,716	37,932	21,110	-172,585
$b5p$	8,694	45,180	39,178	-315,735

Для построения классификационных функций были использованы значения координат цвета $CIE L^*a^*b^*$ образцов шкурок ($p = 1, 2, 3$). По трем указанным показателям ($p = 3$) образцы шкурок из обучающей выборки методом кластерного анализа разделены на 5 групп ($k = 1, 2, 3..5$). Затем методом дискриминантного анализа были рассчитаны значения констант классификационных функций $bk0$ и коэффициентов классификационных функций bkp ,

соответствующих классификационным функциям пяти выделенных групп образцов полуфабриката норки (таблица 8).

Функции классификации для шкурок полуфабриката норки голубой группы выглядят следующим образом:

1. Цветовой тип серебристо-голубая: $(b1p) = -1127,75 + 9,45L^* + 193,07a^* + 105,47b^*$.
2. Цветовой тип алеутская: $(b2p) = -198,937 + 7,193L^* + 56,573a^* + 10,975b^*$.
3. Цветовой тип голубой ирис: $(b3p) = -1169,28 + 10,29L^* + 123,22a^* + 139,67b^*$.
4. Цветовой тип сапфир: $(b4p) = -172,585 + 6,716L^* + 37,932a^* + 21,110b^*$.
5. Цветовой тип фиолет: $(b5p) = -315,735 + 8,694L^* + 45,180a^* + 39,178b^*$.

Выводы

1. Проведена сортировка 300 шкурок полуфабриката норки голубой группы на 5 цветовых типов в соответствии с ГОСТ Р 55587-2013 «Шкурки норки клеточного разведения невыделанные. Технические условия».

2. Показана возможность инструментальной колориметрической градации схожих шкурок, визуально неразличимых внутри цветового типа, с близкими значениями координат цвета в системе CIE $L^*a^*b^*$.

3. С помощью иерархического агломеративного кластерного анализа построена дендрограмма, объединяющая шкурки полуфабриката норки с близкими значениями координат цвета в системе CIE $L^*a^*b^*$.

4. С помощью статистики Лямбда-Уилкса и критерия Фишера определен вклад координат цвета в цветоразличие между шкурками норки внутри цветового типа. Показано, что наибольший вклад в цветоразличие между группами образцов шкурок вносят координаты цветности a^* и b^* , а координата L^* – светлота, имеет второстепенное значение.

5. При помощи канонического анализа определены конкретные дискриминантные функции и их стандартизованные коэффициенты, а также их вклад в каждую каноническую функцию.

6. Показано, что с помощью диаграммы рассеяния можно выявить и определить существенность цветовых различий между цветовыми типами полуфабриката норки голубой группы по наиболее сильной дискриминантной функции.

7. Методом дискриминантного анализа были рассчитаны значения констант классификационных функций и их коэффициентов, соответствующие каноническим корням пяти выделенных групп полуфабриката норки по цветовым типам, что позволило составить уравнения функций классификации для шкурок полуфабриката норки голубой группы. С помощью этих функций можно будет в дальнейшем классифицировать новые случаи, которые будут относиться к тому классу, для которого классифицированное значение будет максимальное.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рассадина Светлана Павловна. Разработка методов оценки и исследование геометрических и оптических свойств волосяного покрова пушно-меховых полуфабрикатов: автореферат дис ... кандидата технических наук: 05.19.01: – Кострома, 2002.

2. Оптические свойства полуфабриката норки как показатель качества Ю.С. Гребенева, А.И. Сапожникова, Т.В. Реусова [и др.]. – Текст: электронный // *Материалы и технологии*. – 2019. – № 2 (4). – С. 47–51. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42751552> (дата обращения: 14.09.2020). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.
3. Реусова, Т.В. Пушные аукционы (январь, февраль 2017 г.) / Т.В. Реусова. – Текст: непосредственный // *Кролиководство и звероводство*. – 2017. – № 1. – С. 16–17.
4. Стрепетова, О.А. Пути повышения эстетических свойств меховых изделий / О.А. Стрепетова, М.В. Горбачева. – Текст: непосредственный // *Новые технологии и материалы легкой промышленности: XVI Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы для студентов и молодых ученых: сборник статей / Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т*. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2020. – С. 323–326.
5. Products recycling waste fur production: new capabilities to use / F.I. Vasilevich, O.V. Bobyleva, A.I. Sapozhnikova [et.al.]. – Текст: электронный // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2018. – Т. 9, № 6. – С. 1602–1606. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36554779> (дата обращения: 02.12.2020). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.
6. Инструментальные методы оценки оптических свойств пушно-мехового сырья и полуфабриката Гребенева Ю.С., Сапожникова А.И. В книге: *Актуальные вопросы биологии, биотехнологии, ветеринарии, зоотехнии, товароведения и переработки сырья животного и растительного происхождения. Материалы национальной научно-практической конференции*. 2019. С. 97–99. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42598083> (дата обращения: 11.11.2020). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.
7. Колориметрическая градация выделанных шкурок лисицы красной клеточного разведения. Кожина А.И., Платов Ю.Т., Бобожинова Г.А., Сапожникова А.И. *Дизайн и технологии*. 2018. № 66 (108). С. 35–44. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36640177> (дата обращения: 14.11.2020). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.
8. *Цвет в промышленности* / под ред. Р. Мак-Дональда. – М.: Логос, 2002. – С. 375–396.
9. Совершенствование инструментальных методов оценки оптических свойств пушно-мехового полуфабриката: новые технические решения Сапожникова А.И. В сборнике: *Церевитиновские чтения – 2019. материалы VI Международной научно-практической конференции*. 2019. С. 237–240. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39235258> (дата обращения: 17.10.2020). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.
10. Рассадина С.П. Оценка топографии цвета пушно-меховых полуфабрикатов на основе трассированных изображений // *Технология текстильной промышленности*. – 2007. – № 6С (304). – С. 25–29.
11. Рассадина С.П. Оценка цвета волосяного покрова пушно-меховых полуфабрикатов // *Кожевенно-обувная промышленность*. – 2002. – №3. – С. 25–26.
12. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ.; под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – С. 145–160.
13. Оценка кредитоспособности предприятий на основе дискриминантного анализа Халафян А.А., Пелипенко Е.Ю. // *Актуальные вопросы экономических наук*. 2010. № 14. С. 292–297. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21185913> (дата обращения: 05.12.2020). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.
14. Корнелл П. *Анализ данных в Excel*: пер. с англ. – М.: Эксмо, 2007. – С. 112–138.

Grebeneva Yulia Sergeevna

Federal Moscow state academy of veterinary medicine and biotechnology – MVA by K.I. Skryabin, Moscow, Russia
E-mail: julia-21@bk.ru
РИИЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1023050

Sapozhnikova Alla Ionovna

Federal Moscow state academy of veterinary medicine and biotechnology – MVA by K.I. Skryabin, Moscow, Russia
E-mail: fibrilla@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5040-6998>
РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=429612
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6603416182>

Gordeeva Yulia Lvovna

Federal Moscow state academy of veterinary medicine and biotechnology – MVA by K.I. Skryabin, Moscow, Russia
E-mail: gordulia32@gmail.com
РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=301107

The use of multivariate statistical data analysis to create an information system for instrumental sorting of mink skins of various color groups and types

Abstract. Sorting of 300 blue group semi-finished mink skins was carried out into 5 color types in accordance with GOST R 55587-2013 "Cell-bred uncut mink skins. Technical conditions". The possibility of instrumental colorimetric gradation of similar skins, visually indistinguishable within the type, with close values of color coordinates in the CIE $L^*a^*b^*$ system is shown.

With the help of hierarchical agglomerative cluster analysis, a dendrogram was constructed that combines semi-finished mink skins with close values of color coordinates in the CIE $L^*a^*b^*$ system. Using the Lambda-Wilkes statistics and Fisher's criterion, the contribution of color coordinates to the color difference between mink skins within a color type is determined. It is shown that the chromaticity coordinates a^* and b^* make the greatest contribution to the color difference between groups of skin samples, while the L^* – lightness coordinate is of secondary importance.

With the help of canonical analysis, specific discriminant functions, their standardized coefficients, and their contribution to each canonical function are determined. It is shown that with the help of the scatter diagram it is possible to identify and determine the significance of color differences between the color types of the blue group mink semi-finished product according to the strongest discriminant function.

Using the method of discriminant analysis, the values of the constants of the classification functions and their coefficients were calculated, corresponding to the canonical roots of the five selected groups of semi-finished mink by color types, which made it possible to compose the equations of the classification function for the skins of the semi-finished mink of the blue group. With the help of these functions, it will be possible in the future to classify new cases that will belong to the class for which the classified value will be the maximum.

Keywords: mink; pelage; fur raw materials and semi-finished products; optical properties; quantitative assessment; color characteristics

REFERENCES

1. Rassadina Svetlana Pavlovna. Development of assessment methods and research of geometric and optical properties of the hair coat of fur semi-finished products: abstract of thesis ... Candidate of Technical Sciences: 05.19.01: – Kostroma, 2002.

2. Optical properties of a semi-finished mink product as an indicator of quality Yu.S. Grebeneva, A.I. Sapozhnikova, T.V. Reusova [and others]. – Text: electronic // Materials and technologies. – 2019.- No. 2 (4). – S. 47–51. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42751552> (date of access: 09/14/2020). – Access mode: Scientific electronic library eLIBRARY.RU.
3. Reusova, T.V. Fur auctions (January, February 2017) / T.V. Reusova. – Text: direct // Rabbit and fur farming. – 2017. – No. 1. – P. 16–17.
4. Strepetova, O.A. Ways to improve the aesthetic properties of fur products / O.A. Strepetova, M.V. Gorbacheva. – Text: direct // New technologies and materials for light industry: XVI International scientific-practical conference with elements of a scientific school for students and young scientists: collection of articles / Ministry of Education and Science of Russia, Kazan. nat. issled. technol. un-t. – Kazan: Publishing house of KNRTU, 2020. – S. 323–326.
5. Products recycling waste fur production: new capabilities to use / F.I. Vasilevich, O.V. Bobyleva, A.I. Sapozhnikova [et. al.]. – Text: electronic // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – T. 9, No. 6. – P. 1602–1606 – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36554779> (date of access: 02.12.2020). – Access mode: Scientific electronic library eLIBRARY.RU.
6. Instrumental methods for assessing the optical properties of fur raw materials and semi-finished products Grebeneva Yu.S., Sapozhnikova A.I. In the book: Topical issues of biology, biotechnology, veterinary medicine, animal husbandry, commodity science and processing of raw materials of animal and plant origin. Materials of the national scientific and practical conference. 2019. S. 97–99. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42598083> (date accessed: 11/11/2020). – Access mode: Scientific electronic library eLIBRARY.RU.
7. Colorimetric gradation of dressed red fox skins, cell breeding. Kozhina A.I., Platov Yu.T., Bobozhonova G.A., Sapozhnikova A.I. Design and technology. 2018. No. 66 (108). S. 35–44. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36640177> (date accessed: 11/14/2020). – Access mode: Scientific electronic library eLIBRARY.RU.
8. Color in industry / ed. R. McDonald. – M.: Logos, 2002. – P. 375–396.
9. Improvement of instrumental methods for assessing the optical properties of a fur semi-finished product: new technical solutions A.I. Sapozhnikova. In the collection: Tserevitinov readings – 2019. materials of the VI International scientific and practical conference. 2019. S. 237–240. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39235258> (date accessed: 10/17/2020). – Access mode: Scientific electronic library eLIBRARY.RU.
10. Rassadina S.P. Estimation of the topography of the color of fur semi-finished products based on traced images // Technology of textile industry. – 2007. – No. 6C (304). – S. 25–29.
11. Rassadina S.P. Estimation of hair color of fur semi-finished products // Leather and footwear industry. – 2002. – No. 3. – S. 25–26.
12. Factor, discriminant and cluster analysis: translation from English; ed. I.S. Enyukova. – M.: Finance and statistics, 1989. – S. 145–160.
13. Assessment of the creditworthiness of enterprises on the basis of discriminant analysis Khalafyan A.A., Pelipenko E.Yu. // Actual problems of economic sciences. 2010. No. 14. S. 292–297. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21185913> (date of access: 05.12.2020). – Access mode: Scientific electronic library eLIBRARY.RU.
14. Cornell P. Analysis of data in Excel: translation from English. – M.: Eksmo, 2007. – C. 112–138.