

Научная статья

УДК 637.612.033.3.05

doi 10.34216/2587-6147-2021-2-52-11-18

Алла Ионовна Сапожникова<sup>1</sup>

Юлия Сергеевна Гребенева<sup>2</sup>

Татьяна Викторовна Реусова<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии –

МВА имени К. И. Скрябина, г. Москва, Россия

<sup>1</sup>fibrilla@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5040-6998>

<sup>2</sup>Julia-21@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8441-9842>

<sup>3</sup>5018458@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2495-8788>

## РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СОРТИРОВКИ ШКУРОК НОРКИ ПО ПАРАМЕТРАМ ЦВЕТОРАЗЛИЧИЯ

**Аннотация.** Создание системы инструментальной количественной оценки цвета волосяного покрова шкурок норки является актуальной и своевременной задачей, в связи с тем что методы визуальной оценки цвета шкурок при сортировке не отвечают современному уровню научно-технического прогресса. Авторами с помощью методов статистического анализа показана возможность цветоразделения шкурок норки с помощью цветовых параметров колориметрической системы CIE  $L^*a^*b^*$ . Установлено, что наибольший вклад в общую дискриминацию, а значит, и в цветоразличие, приносит  $L^*$  – светлота, переменной  $b^*$  принадлежит в этом процессе второе место, а переменная  $a^*$  характеризуется наименьшим вкладом. Разработанная классификационная матрица позволяет суммировать информацию о количестве и проценте корректно классифицированных случаев для каждого цветового типа и оценить меру соответствия результатов классификации, полученных путем формальной дискриминации, фактическому распределению шкурок. Предложена статистическая модель системы инструментальной сортировки шкурок норки по параметрам цветоразличия, позволяющая оценивать правильность отнесения отобранных визуальным экспертным способом шкурок норки к определенным цветовым типам.

**Ключевые слова:** пушно-меховое сырье, норка, цветовой тип, цветоразличие, цветовое пространство, статистическая модель, колориметрическая количественная градация, иерархический агрегативный кластерный анализ, дискриминантный анализ, канонический анализ

**Для цитирования:** Сапожникова А. И., Гребенева Ю. С., Реусова Т. В. Разработка статистической модели системы инструментальной сортировки шкурок норки по параметрам цветоразличия // Технологии и качество. 2021. № 2(52). С. 11–18. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-2-52-11-18>.

Original article

Alla I. Sapozhnikova<sup>1</sup>, Yuliya S. Grebenyova<sup>2</sup>, Tat'yana V. Reusova<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russia

## DEVELOPMENT OF A STATISTICAL MODEL FOR THE SYSTEM OF INSTRUMENTAL SORTING OF MINK SKINS BY COLOUR-DIFFERENCE PARAMETERS

**Abstract.** The creation of a system of instrumental quantitative assessment of the hair colour of mink skins is a topical and timely task, due to the fact that the methods of visual assessment of the colour of skins during sorting do not meet the current level of scientific and technological progress. The authors used statistical analysis methods to show the possibility of colour separation of mink skins using the colour parameters of the CIE  $L^*a^*b^*$  colourimetric system. It is found that the greatest contribution to the overall discrimination, and hence to the colour difference, is made by  $L^*$ , lightness; the variable  $b^*$  is second in this process, and the variable  $a^*$  is characterised by the smallest contribution. The developed classification matrix allows us to summarise the information about the number and percentage of correctly classified cases for each colour type and assess the degree of compliance of the classification results obtained by formal discrimination with the actual distribution of skins. A statistical model of the system of instrumental sorting of mink skins by co-

lour-difference parameters is proposed, which allows evaluating the correctness of assigning mink skins selected by visual expert method to certain colour types.

**Keywords:** fur raw materials, mink, colour type, colour difference, colour space, statistical model, colourimetric quantitative gradation, hierarchical agglomerative cluster analysis, discriminant analysis, canonical analysis

**For citation:** Sapozhnikova A. I., Grebeneva Yu. S., Reusova T. V. Development of a statistical model for the system of instrumental sorting of mink skins by color-difference parameters. *Tekhnologii i kachestvo* = Technologies & Quality. 2021;2(52):11–18. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-2-52-11-18>.

Изделия из натурального меха норки, благодаря природной красоте, высоким эксплуатационным и теплозащитным свойствам, высоко котируются на отечественном пушном рынке, удовлетворяя не только потребности масс-маркета, но и изысканный дизайнерский спрос [1, 2].

Естественная окраска волосяного покрова относится к числу важнейших товарных свойств пушно-мехового сырья и полуфабриката. Этот показатель учитывают при сортировке, он оказывает большое влияние на конечную стоимость товара [3].

В настоящее время для сортировки и подбора меховых шкурок на изделие используется визуальный метод оценки их по цвету [4], существенно зависящий от опыта сортировщика. В ряде случаев применяют сравнение с эталонами [5]. Однако на современном этапе развития меховой индустрии такой подход к оценке цвета пушно-мехового сырья и полуфабриката является устаревшим и, естественно, должен быть заменен на инструментальный количественный метод оценки цветовых параметров [1–5], тем более что за рубежом такие методики уже разработаны, хотя для других отраслей промышленности [4, 6].

В связи с вышеизложенным, создание системы инструментальной количественной оценки цвета волосяного покрова шкурок норки является актуальной и своевременной задачей.

Цель работы заключается в колориметрической количественной градации цветовых типов шкурок норки для создания более четкого алгоритма классификации.

В качестве объектов исследования использовали 280 образцов, отобранных с помощью процедуры рандомизации [7] из 820 отсортированных невыделанных шкурок самцов норки клеточного разведения следующих цветовых типов: черная, темно-коричневая, коричневая (дикого типа), пастель, топаз, лавандовая, браун, жемчужная, белая, серебристо-голубая, алеутская, голубой ирис, сапфир, фиолет, предоставленных ООО «Русская меховая компания» (г. Москва).

Шкурки норки различных цветовых типов были отсортированы профессиональными сортировщиками ООО «Русская меховая компа-

ния» согласно ГОСТ Р 55587–2013 «Шкурки норки клеточного разведения невыделанные. Технические условия» [8].

Инструментальную оценку цветового тона волосяного покрова шкурок норки проводили на 10 точках хребтовой части шкурки с 3-кратной повторностью на портативном сферическом спектрофотометре X-rite SP-62 (X-Rite, Incorporated – World Headquarters, USA). Спектрофотометр работает в цветовой модели CIE  $L^*a^*b^*$ , являющейся международным стандартом с 1976 года [6]. При этом светлота задана координатой  $L^*$  (изменяется от 0 до 100, т. е. 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. Процедура измерений описана ранее [2–4].

Данные измерений были подвергнуты статистической обработке при помощи программ Microsoft Office Excel 2010 и STATISTICA 10 [9–11]. Первоначально для классификации шкурок норки по цветовым параметрам все объекты исследования были разделены на 14 цветовых типов (черная, темно-коричневая, коричневая (дикого типа), пастель, топаз, лавандовая, браун, жемчужная, белая, серебристо-голубая, алеутская, голубой ирис, сапфир, фиолет) согласно ГОСТ Р 55587–2013 и охарактеризованы по светлоте ( $L^*$ ) и хроматическим составляющим –  $a^*$  и  $b^*$ . Результаты количественной градации шкурок норки на цветовые типы представлены в табл. 1 (составлено авторами на основе статистических данных в программе Microsoft Office Excel 2010).

Из представленного материала следует, что количественные границы каждого цветового типа по значениям цветовых координат  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  достоверно отличаются друг от друга (уровень значимости  $p \leq 0,05$ ).

Дендрограмма иерархического агломеративного объединения 280 образцов шкурок по координатам цвета CIE  $L^*a^*b^*$  представлена на рис. 1 (составлено авторами на основе статистических данных в программе STATISTICA 10). Для объединения кластеров был выбран метод полной связи, а в качестве меры сходства объектов – евклидово расстояние [9].

Таблица 1

Средние, минимальные и максимальные значения цветовых характеристик шкурок норки различных цветовых типов  $n = 280$ 

Цветовая группа	Количество образцов	Цветовые координаты								
		L*			a*			b*		
		L* <sub>min</sub>	L* <sub>cp</sub>	L* <sub>max</sub>	a* <sub>min</sub>	a* <sub>cp</sub>	a* <sub>max</sub>	b* <sub>min</sub>	b* <sub>cp</sub>	b* <sub>max</sub>
Черная	20	13,13	16,27 ± 0,15	18,03	0,29	0,70 ± 0,03	1,19	0,17	0,56 ± 0,03	0,96
Темно-коричневая	20	17,13	18,10 ± 0,12	18,97	0,87	1,74 ± 0,07	2,31	0,08	0,58 ± 0,07	1,19
Браун	20	18,99	21,43 ± 0,19	24,69	2,29	2,62 ± 0,02	2,96	3,12	3,59 ± 0,03	3,99
Коричневая (дикого типа)	20	20,55	23,53 ± 0,36	26,89	3,48	3,99 ± 0,08	4,66	2,77	4,56 ± 0,19	6,05
Пастель	20	24,31	28,82 ± 0,54	44,80	3,09	3,74 ± 0,04	4,35	4,58	5,30 ± 0,06	6,75
Топаз	20	54,15	57,32 ± 0,24	58,74	5,13	5,46 ± 0,06	5,97	12,08	13,40 ± 0,21	14,95
Лавандовая	20	36,36	39,77 ± 0,30	43,24	2,45	2,96 ± 0,03	3,33	1,18	1,56 ± 0,04	1,99
Жемчужная	20	70,23	71,88 ± 0,15	74,69	0,26	0,60 ± 0,02	0,95	2,37	2,64 ± 0,02	2,97
Серебристо-голубая	20	49,78	52,18 ± 0,21	56,77	4,86	5,50 ± 0,04	5,98	5,67	6,62 ± 0,04	7,16
Алеутская	20	39,44	42,79 ± 0,2	46,03	1,22	1,37 ± 0,01	1,49	0,47	0,86 ± 0,02	1,22
Голубой ирис	20	54,74	66,09 ± 0,51	71,64	2,15	2,63 ± 0,04	3,28	8,39	9,53 ± 0,03	9,98
Сапфир	20	38,45	41,99 ± 0,27	46,90	0,49	0,66 ± 0,01	0,80	1,50	1,66 ± 0,01	1,89
Виолет	20	48,26	55,51 ± 0,35	59,64	0,46	0,62 ± 0,01	0,85	2,34	3,0 ± 0,05	3,82
Белая	20	80,90	87,87 ± 0,52	91,60	0,03	0,54 ± 0,06	0,84	9,05	9,58 ± 0,07	10,26

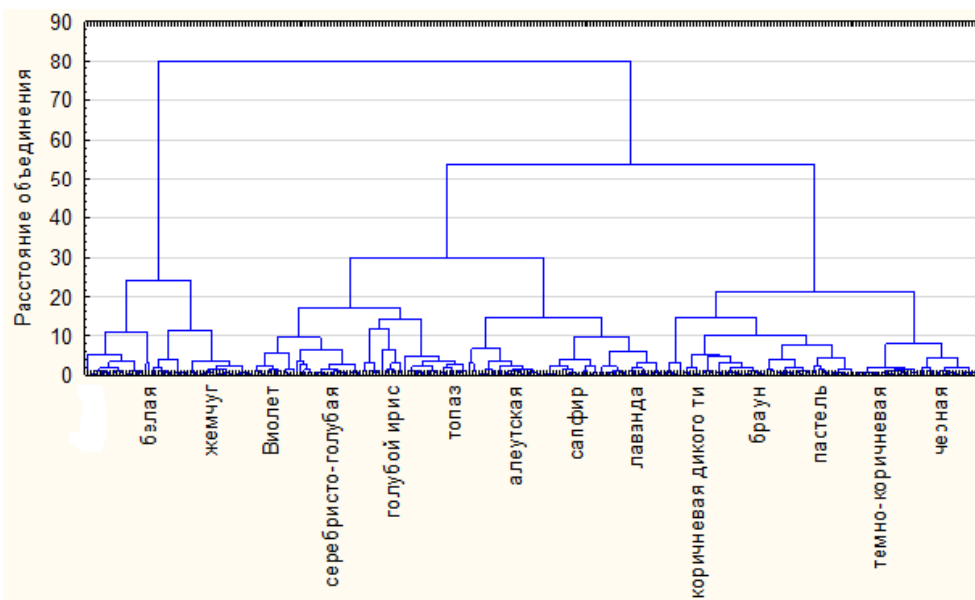


Рис. 1. Дендрограмма иерархического агломеративного объединения 14 цветовых типов шкурок по координатам цвета CIE L\*a\*b\*: ось абсцисс – цветовой тип; ось ординат – расстояние объединения

Иерархический алгоритм позволил наглядно проанализировать структурное множество цветовых типов шкурок норки и охарактеризовать степень близости отдельных кластеров (цветовых типов) друг к другу, а также выявить отличительные особенности [10]. Из рисунка видно, что отдельные кластеры, например, *серебристо-голубая* и *голубой ирис*, а также *сапфир* и *лаванда*, близки друг к другу, а другие – *черная* и *виолет*, отличаются весьма существенно по цветовым характеристикам.

Достоверность полученных результатов подтверждают данные дискриминантного анализа (табл. 2).

Тот факт, что полученные значения статистики лямбда Уилкса находятся около нуля, свидетельствует о хорошей дискриминации образцов шкурок на 14 цветовых типов (см. табл. 1) [11].

Из данных табл. 2 видно, что переменная L\* – светлота привносит наибольший вклад в общую дискриминацию, а значит и в цветоразличие, переменной b\* принадлежит в этом процессе второе место, а переменная a\* харак-

теризуется наименьшим вкладом. Таким образом, можно считать, что именно  $L^*$  – светлота является главной переменной, по которой осуществляется *дискриминация по цветоразличию* отдельных цветовых типов шкурок норки.

Для того чтобы определить, какая из используемых переменных вносит наибольший вклад в величину дискриминантной функции (ДФ), были использованы такие показатели канонического анализа, как стандартизованные коэффициенты дискриминантных функций (табл. 3) [9].

Как следует из табл. 3, значения стандартизованных коэффициентов ДФ1, ДФ2 и ДФ3, указывающих на вклад переменных в различительную способность ДФ, свидетельствуют о том, что наибольший вклад в цветоразличие по ДФ1 вносит  $L^*$  – светлота (**-0,8041**), второй по значимости является координата цвета  $b^*$  – желто-синий (**-0,4083**) и наименьший вклад принадлежит координате  $a^*$  – красно-зеленый (0,0938). По ДФ2 примерно равный вклад в цветоразличие вносят координаты  $a^*$  – красно-зеленый (**0,62008**) и  $b^*$  – желто-синий (**0,60207**), тогда как  $L^*$  – светлота (-0,41045) оказывает наименьшее влияние. По ДФ3 ситуация аналогична.

Представленные в табл. 3 значения позволили рассчитать кумулятивную долю объясненной дисперсии, накопленной каждой функцией (корнем). Так, ДФ1 ответственна за 55,85 % объясненной дисперсии, т. е. 55,85 % всей дис-

криминирующей мощности определяется этой функцией, поэтому эта функция наиболее «важна». ДФ2 ответственна за 35,46 % объясненной дисперсии. ДФ3 ответственна за 8,69 % объясненной дисперсии.

Для углубленной интерпретации результатов о природе дискриминации шкурок норки на цветовые типы был проведен канонический анализ исходных данных (табл. 4).

Судить о результатах разделения на цветовые типы удобнее всего по диаграмме рассеяния для канонических значений в координатах осей двух ДФ1 и ДФ2, так как ДФ3 не так информативна, как остальные (рис. 2).

В результате появляется возможность наблюдать локализацию образцов, принадлежащих определенным цветовым типам в разных областях плоскости (см. рис. 2).

Как видно из рис. 2, координаты ДФ1 и ДФ2, отвечающих за отдельные цветовые типы шкурок норки, находятся в разных областях плоскости. Так, центроиды, характеризующие цветовые типы *черная* (13,8; -4,3) и *белая* (-21,7; -6,2), максимально отдалены. Центроиды, соответствующие остальным цветовым типам, располагаются на плоскости между ними следующим образом: 14(-21,7; -6,2) > 11(-12,7; 3,2) > 8(-11,8; 17,5) > 5(-9,2; -12,1) > 13(-3,01; -8,6) > 9(-3,7; 9,1) > 12(3,1; -8,6) > 10(3,6; -7,3) > 4(4,6; 1,7) > 2(5,9; 7,9) > 7(8,4; 8,2) > 3(9,6; 3,8) > 6(13,3; -1,9) > 1(13,8; -4,3).

Т а б л и ц а 2

## Итоговые данные дискриминантного анализа

n = 280	Число переменных: 3. Группирующие переменные: Цветовой тип (14 гр.). Лямбда Уилкса: 0,0000067, F (39,782) = 1102,2 p < 0,0000					
	Лямбда Уилкса	Частная лямбда	Значение F-критерия	Уровень значимости F-критерия	Толерантность	Коэффициент множественной корреляции R <sup>2</sup>
L	0,000305	0,021887	907,5541	0,00	0,895891	0,104109
a	0,000167	0,040009	487,2743	0,00	0,897693	0,102307
b	0,000185	0,036164	541,2383	0,00	0,816741	0,183260

Примечания: критерий Фишера –  $F(39,782) = 1102,2$ ; уровень значимости –  $p < 0,0000$ .

Т а б л и ц а 3

## Стандартизованные коэффициенты дискриминантных функций

Переменные	Стандартизованные коэффициенты для канонических переменных		
	ДФ1	ДФ2	ДФ3
L	<b>-0,8041</b>	-0,41045	-0,54883
a	0,0938	<b>0,62008</b>	<b>-0,84892</b>
b	<b>-0,4083</b>	<b>0,60207</b>	<b>0,83379</b>
Собственные значения	111,9013	71,04619	17,40609
Кумулятивная доля объясненной дисперсии, %	55,85	35,46	8,69

Таблица 4

## Дискриминантные функции канонических переменных для всех цветовых типов шкурок норки

Цветовой тип	Дискриминантные функции канонических переменных		
	ДФ1	ДФ2	ДФ3
1. Черная	13,7657	-4,3155	5,42837
2. Пастель	5,8935	7,9325	0,91698
3. Браун	9,5767	3,8033	3,30186
4. Лавандовая	4,6286	-1,6973	-6,73678
5. Жемчужная	-9,2299	-12,1027	-4,40975
6. Темно-коричневая	13,2662	-1,9174	1,59862
7. Коричневая дикого типа	8,4444	8,2383	-0,27393
8. Топаз	-11,8138	17,5279	2,43936
9. Серебристо-голубая	-3,7187	9,1405	-8,75345
10. Алеутская	3,5817	-7,2898	-2,95497
11. Голубой ирис	-12,7361	3,2849	2,39391
12. Сапфир	3,0649	-7,7571	1,38199
13. Фиолет	-3,0078	-8,6267	0,85624
14. Белая	-21,7155	-6,2208	4,81155

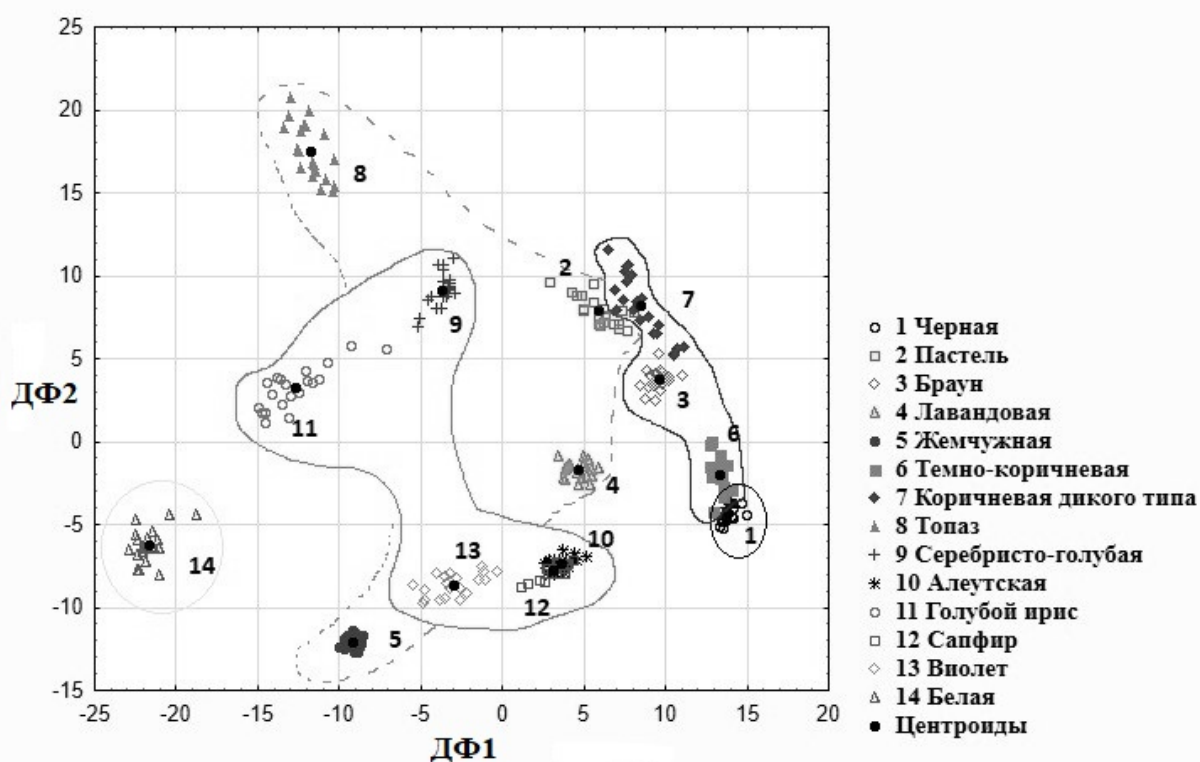


Рис. 2. Расположение точек, соответствующих образцам шкурок норки различных цветовых типов, в координатах осей двух дискриминантных функций: ось абсцисс – первая дискриминантная функция; ось ординат – вторая дискриминантная функция (составлено авторами на основе статистических данных в программе STATISTICA 10)

При этом ДФ1 участвует в распознавании цветовых типов между друг другом, главным образом, по показателю  $L^*$  – светлота, а ДФ2 – по координатам цвета  $a^*$  и  $b^*$ .

Расстояние между центроидами, характеризующими цветовые типы черная (13,8) и темно-коричневая (13,3), пастель (5,9) и коричневая дикого типа (8,4), сапфир (3,1) и алеутская (3,0), достаточно близкое, поэтому при проведении экспертной оценки шкурок нужно уделять этому факту должное внимание, для того чтобы определить, к какому цветовому ти-

пу следует отнести анализируемую шкурку. Таким образом, полученные результаты подтверждают, что дискриминация по ДФ1 наиболее сильная, чем по ДФ2 и ДФ3.

Для оценки меры соответствия результатов классификации, полученных путем формальной дискриминации, фактическому распределению шкурок по цветовым типам была применена дискриминантная матрица (табл. 5), в которой была суммирована информация о количестве и проценте корректно классифицированных наблюдений в каждой группе [12].

Из матрицы классификации можно сделать вывод, что не все шкурки были правильно отнесены визуальным экспертным способом к некоторым цветовым типам. Например, одна шкурка из цветового типа *темно-коричневая* при статистическом анализе была перенесена в *черную*, аналогичную ситуацию наблюдали для *коричневой дикого типа* и *пастель*.

Использование кластерного и дискриминантного анализа позволило сформировать доказательную базу о существовании цветоразличий между 14 цветовыми типами шкурок норки, что послужило основой для создания классификационной системы инструментальной количественной оценки цвета волосяного покрова меха при сортировке.

Т а б л и ц а 5

Матрица классификации (уровень значимости  $p = 0,07143$ )

Группа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Черная	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Пастель	0	18	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
3. Браун	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Лавандовая	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Жемчужная	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Темно-коричневая	1	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0
7. Коричневая дикого типа	0	1	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0
8. Топаз	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
9. Серебристо-голубая	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
10. Алеутская	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
11. Голубой ирис	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
12. Сапфир	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
13. Фиолет	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0
14. Белая	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Всего	21	19	20	20	20	19	21	20	20	20	20	20	20	20

Для каждого цветового типа были вычислены функции классификации, с помощью которых можно в дальнейшем систематизировать новые случаи и относить шкурки к тому цветовому типу, для которого классифицированное значение будет максимальным.

Принадлежность цветовых характеристик шкурок к определенному цветовому типу при их градации определяется системой классификационных функций, представленной в виде следующего уравнения [12]:

$$F_n = F_{n0} + F_{n1} L_n^* + F_{n2} a_n^* + F_{n3} b_n^*,$$

где  $F_n$  – значение функции образцов шкурок  $n$ -группы (1...14);

$F_{n0}$  – константа функции;

$F_{n1}$ ,  $F_{n2}$ ,  $F_{n3}$  – коэффициенты классификационных функций  $n$ -группы;

$L_n^*$ ,  $a_n^*$ ,  $b_n^*$  – координаты окраски и блеска образцов шкурок.

Функции классификации для шкурок норки четырнадцати монохромных цветовых типов выглядят следующим образом.

1. Цветовой тип *черная*:

$$(F1) = -39 + 3,9L^* + 16,8a^* - 6,2b^*.$$

2. Цветовой тип *пастель*:

$$(F2) = -222,9 + 5,7L^* + 61,2a^* + 9,2b^*.$$

3. Цветовой тип *браун*:

$$(F3) = -116,5 + 4,5L^* + 43,6a^* + 4,7b^*.$$

4. Цветовой тип *лавандовая*:

$$(F4) = -284,4 + 10L^* + 62,9a^* - 17b^*.$$

5. Цветовой тип *жемчужная*:

$$(F5) = -586,3 + 16,6L^* + 22,5a^* - 14b^*.$$

6. Цветовой тип *темно-коричневая*:

$$(F6) = -73,5 + 4,7L^* + 36,3a^* - 9,6b^*.$$

7. Цветовой тип *коричневая дикого типа*:

$$(F7) = -207 + 5L^* + 67,2a^* + 5b^*.$$

8. Цветовой тип *топаз*:

$$(F8) = -771,4 + 10,1L^* + 73,7a^* + 41,3b^*.$$

9. Цветовой тип *серебристо-голубая*:

$$(F9) = -566 + 11,6L^* + 94,7a^* + 1,5b^*.$$

10. Цветовой тип *алеутская*:

$$(F10) = -244,2 + 10,5L^* + 34,7a^* - 16,6b^*.$$

11. Цветовой тип *голубой ирис*:

$$(F11) = -600,3 + 13,2L^* + 36,7a^* + 22,8b^*.$$

12. Цветовой тип *сапфир*:

$$(F12) = -202,2 + 9,7L^* + 18a^* - 8,6b^*.$$

13. Цветовой тип *виолет*:

$$(F13) = -332,3 + 12,3L^* + 15,3a^* - 5,2b^*.$$

14. Цветовой тип *белая*:

$$(F14) = -894 + 17,8L^* + 0,2a^* - 22,7b^*.$$

Предложенный алгоритм классификации шкурок норки можно рассматривать в качестве статистической модели и использовать для идентификационного определения принадлежности новых образцов к одному из цветовых типов.

#### ВЫВОДЫ

1. Показано, что, используя цветовые параметры колориметрической системы CIE  $L^*a^*b^*$ , можно разделить 280 отсортированных шкурок норки на 14 цветовых типов, достоверно отличающихся друг от друга.

2. С помощью кластерного иерархического агломеративного анализа и статистики лямбда Уилкса подтверждена хорошая дискриминация шкурок норки на 14 цветовых типов, определены их количественные границы по значениям цветовых координат  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , что позволило охарактеризовать степень близости отдельных кластеров (цветовых типов), а также выявить отличительные особенности.

3. Методом дискриминантного анализа установлены значения стандартизованных коэффициентов трех дискриминантных функций (ДФ), указывающих вклад цветовых координат  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  в различительную способность ДФ. Показано, что  $L^*$  – светлота привносит наибольший вклад в общую дискриминацию, а значит и в цветоразличие, переменной  $b^*$  принадлежит в этом процессе второе место, а переменная  $a^*$  характеризуется наименьшим вкладом.

4. Разработана классификационная матрица, позволяющая суммировать информацию о количестве и проценте корректно классифицированных случаев для каждого цветового типа и оценить меру соответствия результатов классификации, полученных путем формальной дискриминации, фактическому распределению шкурок.

5. Рассчитаны функции классификации, с помощью которых можно в дальнейшем систематизировать новые случаи и относить шкурки к тому цветовому типу, для которого классифицированное значение будет максимальным.

6. Предложенная статистическая модель системы инструментальной сортировки шкурок норки по параметрам цветоразличия позволяет оценивать правильность отнесения отобранных визуальным экспертным способом шкурок норки к определенным цветовым типам.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Оптические свойства полуфабриката норки как показатель качества / Ю. С. Гребенева, А. И. Сапожникова, Т. В. Реусова [и др.] // Материалы и технологии. 2019. № 2(4). С. 47–51.
2. Гребенева Ю. С., Сапожникова А. И. Инструментальные методы оценки оптических свойств пушно-мехового сырья и полуфабриката // Актуальные вопросы биологии, биотехнологии, ветеринарии, зоотехнии, товароведения и переработки сырья животного и растительного происхождения : материалы национальной науч.-практ. конф. М., 2019. Ч. 2. С. 97–99.
3. Сапожникова А. И. Совершенствование инструментальных методов оценки оптических свойств пушно-мехового полуфабриката: новые технические решения // Церевитиновские чтения – 2019 : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. М., 2019. С. 237–240.
4. Колориметрическая градация выделанных шкурок лисицы красной клеточного разведения / Кожина А. И., Платов Ю. Т., Бобождонова Г. А., Сапожникова А. И. // Дизайн и технологии. 2018. № 66(108). С. 35–44.
5. Рассадина С. П. Оценка цвета волосяного покрова пушно-меховых полуфабрикатов // Кожевенно-обувная промышленность. 2002. № 3. С. 25–26.
6. Спектрофотометры серии SP60. Руководство по эксплуатации (Модели SP60, SP62, SP64) / X-Rite Incorporated. Грандвилл, 2000. 68 с.
7. ГОСТ Р ИСО 24153–2012. Статистические методы. Процедуры рандомизации и отбора случайной выборки : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2012 г. № 1272-ст / разработан автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД»). М. : Стандартинформ, 2014. 30 с.
8. 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. № 865-ст. Введен впервые: дата введения 2015-01-01 / разработан ГНУ НИИПЗК Россельхозакадемии. М. : Стандартинформ, 2014. 25 с.
9. Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных : учебник. 3-е изд. М. : Бинوم-Пресс, 2007. 512 с.
10. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ : пер. с англ. / под ред. И. С. Енюкова. М. : Финансы и статистика, 1989. С. 78–130.
11. Корнелл П. Анализ данных в Excel : пер. с англ. М. : Эксмо, 2007. С. 112–138.
12. Методические рекомендации по разработке экспертной системы колориметрической идентификации продовольственных и непродовольственных товаров / сост. Ю. Т. Платов, Р. А. Платова, Г. А. Бобождонова. М. : РЭУ им. Г. В. Плеханова, 2017. 48 с.

## REFERENCES

1. Opticheskie svojstva polufabrikata norki kak pokazatel' kachestva / Yu. S. Grebeneva, A. I. Sapozhnikova, T. V. Reusova [i dr.] // *Materialy i tekhnologii*. 2019. № 2(4). S. 47–51.
2. Grebeneva Yu. S., Sapozhnikova A. I. Instrumental'nye metody ocenki opticheskikh svojstv pushno-mekhovogo syr'ya i polufabrikata // *Aktual'nye voprosy biologii, biotekhnologii, veterinarii, zootekhnii, tovarovedeniya i pererabotki syr'ya zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniya : materialy nacional'noj nauch.-prakt. konf. M., 2019. CH. 2. S. 97–99.*
3. Sapozhnikova A. I. Sovershenstvovanie instrumental'nykh metodov ocenki opticheskikh svojstv pushno-mekhovogo polufabrikata: novye tekhnicheskie resheniya // *Cerevitinovskie chteniya – 2019 : materialy VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M., 2019. S. 237–240.*
4. Kolorimetriceskaya gradaciya vydelannykh shkurok lisicy krasnoj kletchnogo razvedeniya / Kozhina A. I., Platov Yu. T., Bobozhonova G. A., Sapozhnikova A. I. // *Dizajn i tekhnologii*. 2018. № 66(108). S. 35–44.
5. Rassadina S. P. Ocenka cveta volosyanogo pokrova pushno-mekhovyykh polufabrikatov // *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost'*. 2002. № 3. S. 25–26.
6. Spektrofotometry serii SP60. Rukovodstvo po ekspluatatsii (Modeli SP60, SP62, SP64) / X-Rite Incorporated. Grandvill, 2000. 68 s.
7. GOST R ISO 24153–2012. Statisticheskie metody. Procedury randomizatsii i otbora sluchajnoj vyborki : nacional'nyj standart Rossijskoj Federatsii : izdanie oficial'noe : utverzhden i vveden v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 29 noyabrya 2012 g. № 1272-st / razrabotan avtonomnoj nekommercheskoj organizatsiej «Nauchno-issledovatel'skij centr kontrolya i diagnostiki tekhnicheskikh sistem» (ANO «NIC KD»). М. : Standartinform, 2014. 30 с.
8. GOST R 55587–2013. SHkurki norki kletchnogo razvedeniya nevydelannye. Tekhnicheskie usloviya : nacional'nyj standart Rossijskoj Federatsii : izdanie oficial'noe : utverzhden i vveden v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 06 sentyabrya 2013 g. № 865-st. Vveden v pervyye: data vvedeniya 2015-01-01 / razrabotan GNU NIIPZK Rossel'hozakademii. М. : Standartinform, 2014. 25 с.
9. Halafyan A. A. STATISTICA 6. Statisticheskij analiz dannykh : uchebnyk. 3-e izd. М. : Binom-Press, 2007. 512 s.
10. Faktornyj, diskriminantnyj i klasternyj analiz : per. s angl. / pod red. I. S. Enyukova. М. : Finansy i statistika, 1989. S. 78–130.
11. Kornell P. Analiz dannykh v Excel : per. s angl. М. : Eksmo, 2007. С. 112–138.
12. Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke ekspertnoj sistemy kolorimetricheskoj identifikatsii prodovol'stvennykh i neprodovol'stvennykh tovarov / sost. Yu. T. Platov, R. A. Platova, G. A. Bobozhonova. М. : REU im. G. V. Plekhanova, 2017. 48 s.

Статья поступила в редакцию 02.02.2021  
Принята к публикации 27.05.2021