

ФЛЮОРЕСЦЕНЦИЯ МЕХА ГОРНОСТАЯ *Mustela erminea* L.М. Н. Загуменов^{1*}, Т. Н. Могилева², Е. И. Рябов¹, Г. М. Михеев²

УДК 599.742.42

¹ Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия; e-mail: micheyzag@mail.ru² Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО Российской АН, Ижевск, Россия

(Поступила 21 февраля 2023)

Исследована флуоресценция зимнего и летнего меха горностая (*Mustela erminea*), взятого со спинной и брюшной частей тела животного при воздействии излучением на $\lambda_{\text{возб}} = 270, 300, 365, 395$ и 410 нм. Обнаружено, что мех брюшной части флуоресцирует ярче по сравнению с мехом спинной части. Показано, что спектры флуоресценции при $\lambda_{\text{возб}} = 270$ и 300 нм преимущественно двухпиковые. Установлено, что однопиковые спектры флуоресценции зимнего и летнего меха, полученные при $\lambda_{\text{возб}} = 365, 395$ и 410 нм, заметно различаются положением пика и шириной полосы. Обнаружено различие спектров флуоресценции меха спинной и брюшной частей. Полученные результаты могут быть использованы для определения шкур горностая в коллекциях и изделиях в отсутствие иных признаков.

Ключевые слова: биофлуоресценция, спектрометрия, горностаи *Mustela erminea*.

We have studied the fluorescence of winter and summer furs of the ermine (*Mustela erminea*) taken from the dorsal and ventral parts of the animal's body. Furs have been irradiated with radiation at wavelengths of $\lambda_{\text{exc}} = 270, 300, 365, 395$, and 410 nm. We have found that the ventral part of the ermine fur fluoresces brighter compared to the fur of the dorsal part. It has been shown that the fluorescence spectra upon excitation at wavelengths of $\lambda_{\text{exc}} = 270$ and 300 nm are predominantly two-peak. We have detected that the single-peak fluorescence spectra of winter and summer furs obtained upon excitation at wavelengths of $\lambda_{\text{exc}} = 365, 395$, and 410 nm differ markedly from each other in the position of the peak and the line width. A difference has also been found in the fluorescence spectra of the dorsal and ventral parts of the fur from each other. The results can be used to identify ermine skins in collections and items in the absence of other features.

Keywords: biofluorescence, spectrometry, ermine *Mustela erminea*.

Введение. Люминесценция и ее разновидность флуоресценция широко распространены в природе и присущи многим материалам. Для живых организмов и биомолекул применяются термины “биолюминесценция” и “биофлуоресценция”. Эти явления активно изучаются, описываются новые виды живых организмов, обладающие способностью к люминесценции и флуоресценции. Наиболее известны и изучены явления люминесценции бактерий, простейших и грибов [1]. Флуоресцирует хлорофилл, присущий всем фотосинтезирующим организмам [2]. В исследованиях животных большое внимание уделено изучению беспозвоночных [3]. Известна способность скорпионов к флуоресценции [4]. В [2] выявлено более 180 видов флуоресцентных рыб из 16 отрядов. Биофлуоресцентная окраска, по мнению авторов, воспринимается рыбами и может служить для внутривидовой коммуникации или играть роль камуфляжа. Во всех современных отрядах амфибий выявлена флуоресценция [5]. Среди рептилий красная и зеленая флуоресценция обнаружена у морских черепах [6] и представителей чешуйчатых (Squamata): хамелеонов [7] и гекконов [8]; выделяются флуоресценция покровов, лимфы и костная биофлуоресценция [8]. Обнаружены отражающие УФ-излучение и флуоресцирующие участ-

FLUORESCENCE OF THE ERMINE (*Mustela erminea* L.) FUR

M. N. Zagumenov^{1*}, T. N. Mogileva², E. I. Ryabov¹, G. M. Mikheev² (¹ Udmurt State University, Izhevsk, Russia; e-mail: micheyzag@mail.ru; ² Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia)

ки оперения птиц [9]. Найдено [9], что отражение ультрафиолета влияет на выбор партнера у волнистых попугайчиков (*Melopsittacus undulatus*). В [10] отмечалась флуоресценция оперения у пингвинов. У птиц семейства чистиковые (*Alcidae*) наблюдалась флуоресценция клюва [11], причем интенсивность свечения ослабевала в процессе хранения образца, что может свидетельствовать о наличии особого флуоресцентного пигмента. Разница в степени флуоресценции перьев сов разного возраста позволяет определить время линьки и возраст птицы [12].

Проведены исследования флуоресценции млекопитающих, в том числе опоссумов (*Didelphimorphia*) [13], бандикутов (*Peramelemorphia*) [14], американских белок-летяг (*Glaucomys*) [15]. У перечисленных видов обнаружены участки меха, флуоресцирующие пурпурным светом. В [16] описана светло-зеленая биофлуоресценция шерсти утконоса (*Ornithorhynchus anatinus*). Новые данные свидетельствуют о флуоресценции красным светом у африканских долгоногов (*Pedetes capensis*) [17] и голубым — у черной крысы (*Rattus rattus*) [18]. По африканским долгоногам также приводятся сведения о более слабом свечении у старых образцов, как и в [11].

В [19] отмечена бледно-лиловая флуоресценция меха одного из американских подвидов ласки (*Mustela nivalis rixosa*) как представителя семейства куньих, у длиннохвостой ласки (*Mustela frenata*), а также горностая (подвид *M. e. cicognani*) не обнаружено светящихся участков меха. Светящиеся в УФ-свете участки меха обнаружены у тасманского дьявола. Большое число опубликованных работ по изучению биофлуоресценции позвоночных свидетельствует о научном интересе к данному вопросу [18]. Следует отметить, что в сообщениях по биофлуоресценции животных в ряде случаев только констатируется факт явления у какого-либо биологического объекта [19]. Причины физического процесса и биологический смысл являются предметом научных дискуссий [20]. Выявлены различные флуоресцентные молекулы, входящие в состав покровов животных. Так, у многих представителей многоклеточных обнаружены протеины, сходные с зеленым флуоресцирующим белком (GFP) [3, 20]. У лабораторных крыс (*Rattus norvegicus*) из шерсти выделен L-кинуренин, являющийся причиной флуоресцентного свечения [21]. Известна флуоресценция таких веществ, как флавины, липофусцины, коллаген, хитин и др. [3].

Цель данной работы — исследование флуоресценции меха горностая (*Mustela erminea*) с применением спектрометрических методов анализа.

Материалы и методы. Для обнаружения флуоресценции на некоторые образцы шкур и чучел млекопитающих из фондов Удмуртского государственного университета и Национального музея Удмуртской Республики (Ижевск, Россия) воздействовали УФ-излучением с $\lambda = 365$ нм с помощью УФ-фонаря и УФ-ламп.

Исследовано светло-зеленое свечение меха горностая (*Mustela erminea*). Использованы предоставленные Зоологическим музеем МГУ (г. Москва) тушки зверьков и переданные сотрудниками ВНИИОЗ им. Б. М. Житкова (г. Киров) свежие трупы горностая. Всего исследовано 13 образцов: 4 чучела, 6 коллекционных тушек, 1 шкура и 2 замороженных трупа. 4 чучела, 1 шкура, 3 тушки и 2 трупа были в зимнем меху, 3 тушки в летнем (табл. 1). Образцы шерсти и ее срезы исследованы на люминесцентном микроскопе Альтами ЛЮМ 1 LED.

От шести зверьков в летнем (образцы 10, 11) и в зимнем (образцы 2, 7, 8, 9) меху взяты пробы шерсти с брюшной и спинной частей для исследования на люминесцентном спектрометре LS-55 (PerkinElmer). Эксперимент проводился при ширине щели 5 нм; $\lambda_{\text{возб}} = 270, 300, 365, 395$ и 410 нм (табл. 2), что соответствует УФ С (270 нм), УФ В (300 нм), УФ А (365, 395 нм) и фиолетовому свету (410 нм). Указанные длины волн выбраны для охвата различных частей спектра: жесткого излучения УФ С, полностью задерживаемого озоновым слоем Земли; УФ В, который задерживается озоновым слоем на 90 % [22]; УФ А, при котором визуально наблюдалась флуоресценция меха при использовании УФ-ламп и фонаря; коротковолновой части видимого света.

Монохроматоры спектрометра LS-55 PerkinElmer построены на дифракционных решетках. По этой причине происходит наложение спектров соседних порядков. Например, при $\lambda = 270$ нм возможно получение достоверной информации о спектре флуоресценции только в диапазоне 270—540 нм. В связи с этим для получения спектра флуоресценции в широком диапазоне длин волн, например при $\lambda_{\text{возб}} = 270$ нм, спектры регистрировались дважды: первый — в диапазоне 290—540 нм с применением оптического фильтра БС-3, поглощающего рассеянное излучение в диапазоне $\lambda < 270$ нм; второй — в диапазоне 350—700 нм с помощью оптического фильтра ЖС10, полностью поглощающего рассеянное излучение в диапазоне $\lambda < 370$ нм. Полученные спектры “сшивались” при 490 нм. Аналогично получены спектры флуоресценции при $\lambda_{\text{возб}} = 300$ нм.

Т а б л и ц а 1. Исследуемые образцы горностая

№ образца	Объект	Индивидуальный номер	Место хранения	Место сбора	Дата сбора
1	Шкура, зимний мех	—	УдГУ	Удмуртия	—
2	Чучело, зимний мех	М 22	УдГУ	Удмуртия, Каракулинский район	2012 г.
3	Чучело, зимний мех	12016-нв	Национальный музей УР	Удмуртия	—
4	Чучело, зимний мех	15351-нв	Национальный музей УР	Удмуртия	—
5	Чучело, зимний мех	—	Национальный музей УР	Удмуртия	—
6	Тушка, летний мех	—	УдГУ	Удмуртия	—
7	Тушка, зимний мех	91692	Зоомузей МГУ	Баргузинский заповедник	1938 г.
8	Тушка, зимний мех	28702	Зоомузей МГУ	Западный Казахстан, Бурулинский район	—
9	Тушка, зимний мех	21785	Зоомузей МГУ	Мурманская область	1937 г.
10	Тушка, летний мех	80852	Зоомузей МГУ	Северный Казахстан, оз. Шелкамыс	1934 г.
11	Тушка, летний мех	28726	Зоомузей МГУ	Сев. Казахстан, Петропавловский район	1936 г.
12	Свежий труп, зимний мех	—	УдГУ	Кировская область	2021 г.
13	Свежий труп, зимний мех	—	УдГУ	Кировская область	2021 г.

Т а б л и ц а 2. Длина волны возбуждения при исследовании на спектрометре LS-55 PerkinElmer

$\lambda_{\text{возб}}$, нм	Регистрируемый диапазон спектра, нм	Используемый оптический фильтр	Часть спектра
270	270—540	БС-3	1
270	350—700	ЖС-10	2
300	300—500	СЗС-23	1
300	450—800	ЖС-4	2
365	365—730	ЖС-10	1
395	395—800	ЖС-11	1
410	410—800	ЖС-11	1

Результаты и их обсуждение. У горностаев в зимнем меху в УФ-лучах отмечалось ярко выраженное голубоватое свечение на брюшной стороне тела, лапах и хвосте. Спина и голова зверьков не светились, не была отмечена флуоресценция подпуши. Исследования на живых животных не проводились, но поскольку зоны свечения совпадают, то маловероятно, что явление связано с особенностями изготовления и хранения образцов. В то же время интенсивность флуоресценции максимальна у свежих образцов и менее выражена у более старых.

У горностаев в летнем меху визуально отмечалось более слабое свечение брюха, чем у зимних образцов, что может быть связано с более слабой флуоресценцией у старых образцов. Свежие шкуры зверьков, добытых летом, не исследованы.

Микроскопирование срезов волос горностая с использованием микроскопа Альтами ЛЮМ-1 LED показало свечение образцов, взятых с живота хищника (рис. 1). Флуоресцировал весь срез,

за исключением рыхлой, заполненной воздухом центральной части волоса, что установлено при исследовании серии поперечных срезов остевых волос, полученных с разных участков кожи. Данный факт свидетельствует о том, что флуоресцирующие вещества накапливаются по всей толще волоса.

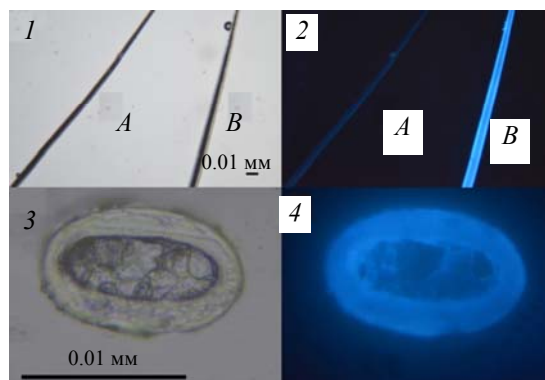


Рис. 1. Волосы со спинной (А) и брюшной (В) частей тела горностая в видимом (1) и УФ-свете (2); срез волоса горностая с брюшной стороны в видимом (3) и УФ-свете (4)

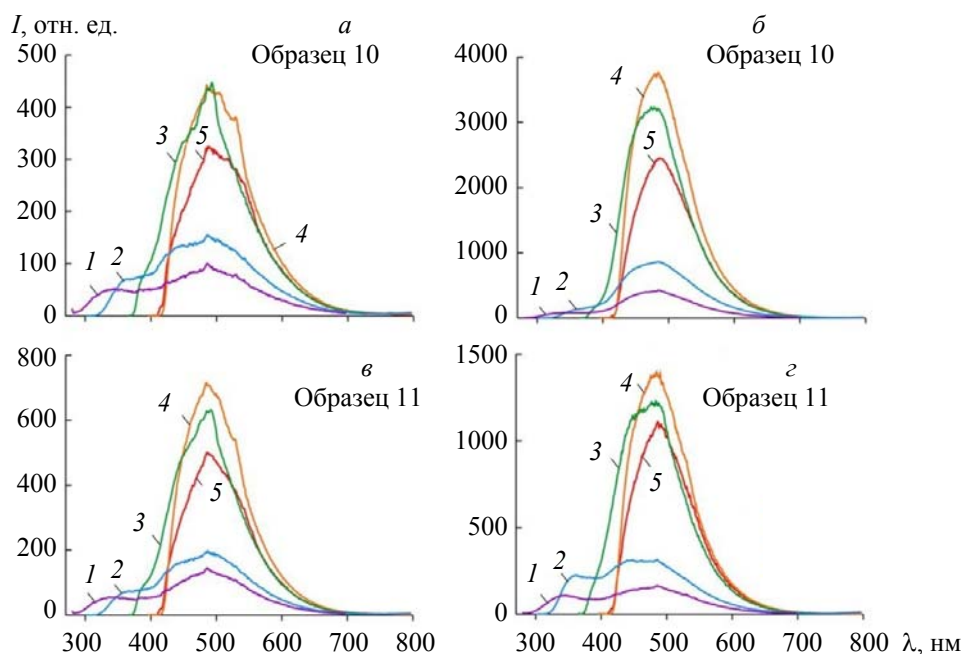


Рис. 2. Спектры флуоресценции образцов летнего меха горностая со спинной (а, в) и брюшной (б, г) сторон, полученные при $\lambda_{\text{возб}} = 270$ (1), 300 (2), 365 (3), 395 (4) и 410 нм (5)

Результаты исследований на люминесцентном спектрометре образцов № 2, 7, 8, 9, 10, 11 представлены на рис. 2 и 3. Интенсивность излучения на спектрах зависела от количества волос и плотности их расположения в оптической кювете спектрометра, поэтому сравнение между отдельными пробами затруднено. Тем не менее установлено, что для всех образцов кроме № 9 интенсивность флуоресценции волос с брюшной стороны выше. Спектры флуоресценции, полученные при $\lambda = 270$ и 300 нм, для образцов, взятых с брюшной части тела горностая, независимо от времени года, имеют два максимума. При $\lambda_{\text{возб}} = 270$ и 300 нм спинная часть зимнего меха преимущественно имеет один ярко выраженный максимум вблизи 320 и 350 нм. Однако спектры флуоресценции спинной и брюшной частей летнего меха при указанных длинах волн возбуждения не различаются.

Спектры флуоресценции, полученные при $\lambda_{\text{возб}} = 365, 395$ и 410 нм, для всех образцов имеют по одному ярко выраженному максимуму. Для их количественного описания можно определить λ_1 и λ_2 , соответствующие левой (коротковолновая область) и правой (длинноволновая) частям спектра, где

интенсивность флуоресценции в два раза меньше по сравнению с максимумом при λ_0 . Знание λ_1 и λ_2 позволяет найти ширину полосы флуоресценции $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$, определяемую по уровню половинной интенсивности от максимального значения. В табл. 3 приведены значения λ_0 , λ_1 , λ_2 и $\Delta\lambda$ для всех исследуемых образцов.

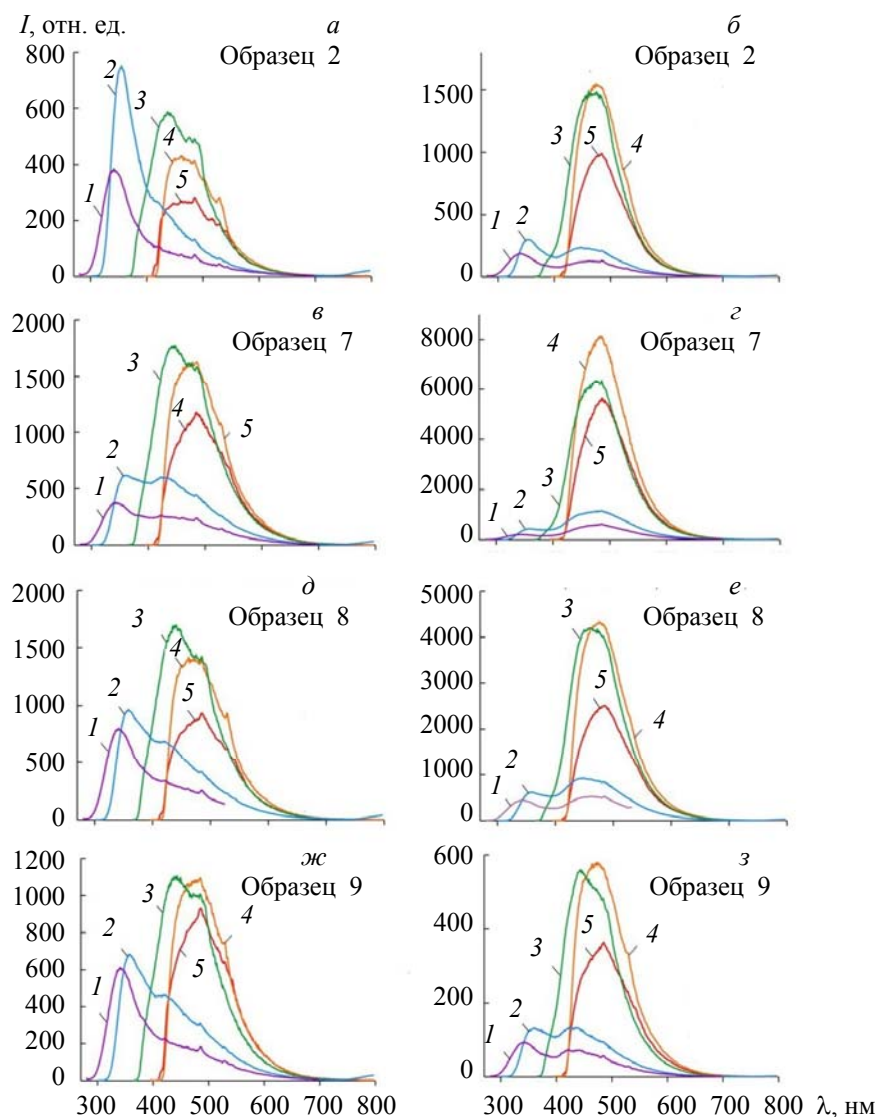


Рис. 3. Спектры флуоресценции образцов зимнего меха горностая со спинной (а, в, д, ж) и брюшной (б, г, е, з) сторон, полученные при $\lambda_{\text{возб}} = 270$ (1), 300 (2), 365 (3), 395 (4) и 410 нм (5)

Анализ табл. 3 показывает, что ширина полосы флуоресценции $\Delta\lambda$ при $\lambda_{\text{возб}} = 365, 395$ и 410 нм для меха спинной части выше, чем для брюшной. Исключение составляют $\Delta\lambda$, полученные для образца № 11 при $\lambda_{\text{возб}} = 365$ нм: $\Delta\lambda = 116$ нм для брюшной, $\Delta\lambda = 113$ нм для спинной частей меха. Это происходит в основном за счет длинноволновой части спектра, определяющей λ_2 , так как значения λ_1 для брюшной и спинной частей меха, полученные для фиксированной $\lambda_{\text{возб}}$, определяются в основном спектром пропускания используемого в экспериментах фильтра (табл. 2). Уширение длинноволновой области спектра флуоресценции меха спинной части по сравнению с брюшной хорошо иллюстрируют нормированные спектры флуоресценции, представленные на рис. 4. Отмеченная закономерность ярко выражена для спектров флуоресценции летнего меха.

Т а б л и ц а 3. Параметры спектров флуоресценции исследуемых образцов, полученные при $\lambda_{\text{возб}} = 365, 395$ и 410 нм

Образец	$\lambda_{\text{возб}} = 365$ нм				$\lambda_{\text{возб}} = 395$ нм				$\lambda_{\text{возб}} = 410$ нм			
	λ_0 , нм	λ_1 , нм	λ_2 , нм	$\Delta\lambda$, нм	λ_0 , нм	λ_1 , нм	λ_2 , нм	$\Delta\lambda$, нм	λ_0 , нм	λ_1 , нм	λ_2 , нм	$\Delta\lambda$, нм
№2, спина, зимний	437	398	509	111	461	428	509	110	485	422	547	125
№2, живот, зимний	461	423	521	98	477	435	530	95	485	437	532	95
№7, спина, зимний	448	405	521	116	496	432	539	107	484	433	548	115
№7, живот, зимний	476	427	531	104	483	438	535	97	487	442	539	97
№8, спина, зимний	441	401	514	113	463	430	538	108	485	429	546	117
№8, живот, зимний	461	419	521	102	476	433	531	98	485	436	537	101
№9, спина, зимний	443	400	521	121	485	430	540	110	486	430	548	118
№9, живот, зимний	443	409	514	105	476	431	534	103	485	432	543	111
№10, спина, летний	493	424	544	120	485	437	556	119	487	439	565	126
№10, живот, летний	474	426	531	105	484	436	537	101	487	441	545	104
№11, спина, летний	491	426	539	113	485	438	547	109	487	440	556	116
№11, живот, летний	484	417	533	116	485	436	540	104	487	439	546	107

П р и м е ч а н и е. λ_0 — положение пика; λ_1, λ_2 — левый и правый края спектра, определенные по уровню половинной интенсивности; $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$.

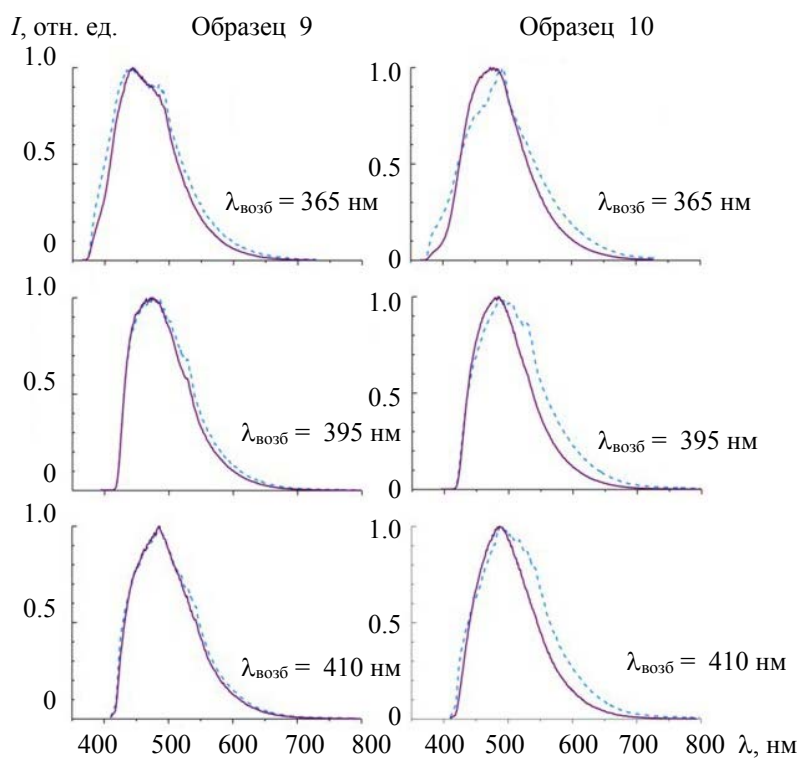


Рис. 4. Нормированные спектры флуоресценции для зимнего (образец 9) и летнего (образец 10) меха, взятого со стороны спины (штриховые линии) и с живота (сплошные линии) горностая при $\lambda_{\text{возб}} = 365, 395$ и 410 нм

Усредненные параметры $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ и $\Delta\lambda$ спектров флуоресценции меха образцов горностая приведены в табл. 4. Спектры флуоресценции спинной и брюшной частей летнего меха сдвинуты в длинноволновую область относительно спектров флуоресценции спинной и брюшной частей зимнего меха. Этот сдвиг зависит от $\lambda_{\text{возб}}$: чем больше $\lambda_{\text{возб}}$, тем меньше сдвиг. Например, при $\lambda_{\text{возб}} = 365, 395$ и 410 нм максимумы флуоресценции летнего меха спинной части сдвинуты в красную область

по сравнению со спинной частью зимнего меха на 49.7 ± 2.2 , 8.7 ± 7.4 и 2 ± 0.5 нм соответственно. Также можно отметить, что ширина полосы флуоресценции $\Delta\lambda_{\text{лет}}$ летнего меха больше ширины полосы флуоресценции $\Delta\lambda_{\text{зим}}$ зимнего меха при $\lambda_{\text{возб}} = 365$, 395 и 410 нм. В результате усреднения ширин полос флуоресценции, зарегистрированных при $\lambda_{\text{возб}} = 365$, 395 и 410 нм, найдено $\Delta\lambda_{\text{лет}} - \Delta\lambda_{\text{зим}} = 6 \pm 1.1$ и 3 ± 1.2 нм для меха брюшной и спинной частей. Из табл. 4 также следует, что для летнего меха при $\lambda_{\text{возб}} = 365$, 395 и 410 нм характерен сдвиг спектра полосы флуоресценции спинной части в красную область в среднем на 8.8 ± 4.4 нм относительно брюшной части. Положения максимумов флуоресценции летнего и зимнего меха спинной части наиболее сильно различаются при $\lambda_{\text{возб}} = 365$ нм. На небольшие различия положений максимумов флуоресценции меха спинной части при $\lambda_{\text{возб}} = 395$ и 410 нм указывают соотношения между средними значениями и стандартными ошибками средних.

Т а б л и ц а 4. Усредненные параметры спектров флуоресценции спинной и брюшной частей зимнего и летнего меха образцов горностая, полученные при $\lambda_{\text{возб}} = 365$, 395 и 410 нм

Часть тела	$\lambda_{\text{возб}} = 365$ нм				$\lambda_{\text{возб}} = 395$ нм				$\lambda_{\text{возб}} = 410$ нм			
	λ_0 , нм	λ_1 , нм	λ_2 , нм	$\Delta\lambda$, нм	λ_0 , нм	λ_1 , нм	λ_2 , нм	$\Delta\lambda$, нм	λ_0 , нм	λ_1 , нм	λ_2 , нм	$\Delta\lambda$, нм
<i>Зимний мех</i>												
Спина	442.3	401	516.3	115.3	476.3	430	531.5	108.8	485	428.5	547.3	118.8
Живот	460.3	419.5	521.6	102.3	478	434.3	532.5	98.3	485.5	436.8	537.8	101
<i>Летний мех</i>												
Спина	492	425	541.5	116.5	498	437.5	551.5	114	487	439.5	560.5	121
Живот	479	421.5	532	110.5	484.5	436	538.5	102.5	487	440	545.5	105.5

Пр и м е ч а н и я: λ_0 — положение максимума; λ_1 , λ_2 — левый и правый края спектра, определенные по уровню половинной интенсивности; $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$.

Выявленные максимумы полос флуоресценции при $\lambda_{\text{возб}} = 365$ нм в диапазоне 442—492 нм соответствуют синему и голубому видимому свету. Отсутствие заметного флуоресцентного свечения зимнего меха со спинной части можно объяснить более низкой интенсивностью, а в случае летнего меха — скрывающими свечение пигментами: меланин может маскировать флуоресценцию других биомолекул [23]. Кроме зимнего меха со спинной стороны максимумы соответствуют длине волны излучения производных триптофана — кинуреина (460 нм при $\lambda_{\text{возб}} = 350$ —360 нм) и 3-гидроксикинуреина (495 нм при $\lambda_{\text{возб}} = 365$ нм) [24], что свидетельствует о данных веществах как источниках флуоресценции.

Биологическое значение наблюдаемого эффекта остается дискуссионным вопросом. Очевидно, что данное явление может вообще не иметь какой-либо значимой роли в жизни зверьков [3] и является побочным продуктом. При этом не равномерная (в отличие от крыс и некоторых других млекопитающих), а сконцентрированная на брюшной стороне тела флуоресценция свидетельствует, скорее, о некоторой роли данного явления. Можно предположить, что поскольку флуоресценция может усиливать яркость покровов, мех брюшной стороны тела, находящейся в тени при движении зверька, становится ярче, это улучшает маскировку на снегу. С практической точки зрения данное явление может быть использовано для различения шкур горностая и ласки в коллекциях и изделиях в случае повреждения либо отсутствия иных диагностических признаков.

З а к л ю ч е н и е. Выявлена флуоресценция меха горностая. Наибольшая видимая интенсивность свечения характерна для свежих образцов горностая в зимнем меху, на брюшной стороне тела, а также на лапах и хвосте. Схожие для всех образцов различия в флуоресценции меха со спинной и брюшной сторон тела животного, зимнего и летнего меха свидетельствуют о том, что явление обусловлено внутренними причинами и не связано с особенностями хранения и обработки шкур.

Авторы выражают благодарность А. А. Лисовскому (ИПЭЭ РАН), В. С. Лебедеву (Зоологический музей МГУ), С. Н. Евсееву (Национальный музей Удмуртской Республики), М. Г. Дворникову (ВНИИОЗ им. Б. М. Житкова), В. Г. Сергееву, И. А. Черенкову, К. С. Сергеевой, Е. С. Алалыкиной, А. С. Алалыкину (Удмуртский государственный университет) за помощь в проведении исследования.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП “Центр физических и физико-химических методов анализа, исследования свойств и характеристик поверхности, наноструктур, материалов и изделий” УдмФИЦУрО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (№ гос. регистрации 1021032422167-7-1.3.2) и поддержана грантом для молодых ученых УдГУ “Научный потенциал 2022” (проект № 2022-06-13).

- [1] <http://www.ibp.ru/collection/istoriya-kolleccii-kultur-ibso.pdf> (дата обращения: 27.06.2022)
- [2] **J. S. Sparks, R. C. Schelly, W. L. Smith, M. P. Davis, D. Tchernov, V. A. Pieribone, D. F. Gruber.** PLoS One, **9**, N 1 (2014) 1—9
- [3] **M.-L. Jeng.** Bioluminescence — Analytical Applications and Basic Biology, London, Intech. Open (2019) 1—25
- [4] **S. J. Stachel, S. A. Stockwell, D. L. Van Vranken.** Chem. Biol., **6**, N 8 (1999) 531—539
- [5] **J. Y. Lamb, M. P. Davis.** Sci. Rep., **10** (2020) 1—7
- [6] **D. F. Gruber, J. S. Sparks.** Am. Museum Novitates, **3845** (2015) 1—7
- [7] **D. Prötzel, M. Heß, M. D. Scherz, M. Schwager, A. V. T. Padje, F. Glaw.** Sci. Rep., **8** (2018) 1—10
- [8] **D. Prötzel, M. Heß, M. Schwager, F. Glaw, M. D. Scherz.** Sci. Rep., **11** (2021) 297
- [9] **S. M. Pearn, A. T. D. Bennett, I. C. Cuthill.** Proc. Roy. Soc. B: Biol. Sci., **268**, N 1482 (2001) 2273—2279
- [10] **P. Jouventin, P. M. Nolan, J. Örnborg, F. S. Dobson.** The Condor, **107**, N 1 (2005) 144—150
- [11] **G. Y. Evtukh.** Russ. J. Ornithology, **28**, N 1768 (2019) 2134—2142
- [12] **C. S. Weidensaul, B. A. Colvin, D. F. Brinker J. S. Huy.** Wilson J. Ornithology, **123**, N 2 (2011) 373—377
- [13] **R. H. Pine, J. E. Rice, J. E. Bucher, D. H. Tank, A. M. Greenhall.** Mammalia, **49**, N 2 (1985) 249—256
- [14] **L. Reinhold.** The Queensland Mycologist, **15**, N 1-2 (2020) 5—11
- [15] **A. M. Kohler, E. R. Olson, J. G. Martin P. S. Anich.** J. Mammalogy, **100**, N 1 (2019) 21—30
- [16] **P. S. Anich, S. Anthony, M. Carlson, A. Gunnelson, A. M. Kohler, J. G. Martin, E. R. Olson.** Mammalia, **85**, N 2 (2020) 179—181
- [17] **E. R. Olson, M. R. Carlson, V. M. S. Ramanujam, L. Sears, S. E. Anthony, P. S. Anich, L. Ramon, A. Hulstrand, M. Jurewicz, A. S. Gunnelson, A. M. Kohler, J. G. Martin.** Sci. Rep., **11** (2021) 4125
- [18] **L. Reinhold.** North Queensland Naturalist, **51** (2021) 1—8
- [19] **R. M. Latham.** J. Mammalogy, **34**, N 3 (1953) 385
- [20] **D. A. Shagin, E. V. Barsova, Y. G. Yanushevich, A. F. Fradkov, K. A. Lukyanov, Y. A. Labas, T. N. Semenova, J. A. Ugalde, A. Meyers, J. M. Nunez, E. A. Widder, S. A. Lukyanov, M. V. Matz.** Mol. Biol. Evolution, **21**, N 5 (2004) 841—850
- [21] **G. Rebell, J. H. Lamb, A. Mahwi, H. R. Lee.** J. Invest. Dermatol., **29**, N 6 (1957) 471—477
- [22] Global Solar UV Index: a Practical Guide, World Health Organization (2002) 28
- [23] **K. R. Millington.** J. Cosmetic Sci., **42** (2020) 289—301
- [24] **J. Jachowicz, R. L. McMullen.** J. Cosmetic Sci., **62** (2011) 291—304