



Животноводство Animal breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-122-136


EDN FWETQR

УДК 636.38:591.132:636.084:591.132

Научная статья / Research article

Морфофункциональные адаптации стенки рубца овец эдильбаевской породы при введении в рацион соевого фуража

С.В. Карамушкина  , Ф.А. Митькин ,
М.А. Вайнберг , А.А. Агаркова , Е.А. Просекова 

Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева,
г. Москва, Российская Федерация
 sveta.vetmed@mail.ru

Аннотация. Цель исследования — оценить структурно-функциональные изменения стенки рубца овец эдильбаевской породы при включении соевого фуража (30,3 % клетчатки, 16,15 % протеина) в рацион. Опыт проведен в КФХ «Машрапов» (Амурская область) на 20 овцах возрастом 7–8 месяцев. Материал из преддверия, дорсального и вентрального мешков рубца фиксировали в 10% формалине, готовили срезы (5–6 мкм), окрашивали гематоксилином и эозином. Морфометрию ($n = 34$) проводили на микроскопе Napiomed IW-A1350C, данные обрабатывали в Excel ($p \leq 0,05$). Питательность фуража анализировали в ФГБУ «Станция агрохимической службы „Амурская“». В отсутствие контроля применены данные диссертационной работы Мельникова С.И. (2022) по гистологической и морфометрической характеристике рубца овец эдильбаевской породы на сено-концентратном рационе. Дорсальный мешок показал наибольшую плотность ($80,21 \pm 1,27$ на 1 см^2 , $+167 \dots 300 \%$) и высоту сосочков ($3561 \pm 14,6$ мкм, $+97 \dots 197 \%$) по сравнению с контролем ($20 \dots 30$ на 1 см^2 , $1200 \dots 1800$ мкм), а также истончение рогового слоя ($2,55 \pm 0,07$ мкм, $-15 \dots 36 \%$), что указывает на усиление абсорбции летучих жирных кислот, обусловленное высокой клетчаткой. Вентральный мешок характеризовался утолщением мышечной оболочки ($3577 \pm 16,9$ мкм, $+38 \dots 79 \%$) и сосочков ($120,02 \pm 4,76$ мкм), связанным с механической нагрузкой. Высокое содержание протеина усиливает метаболизм азотистых соединений. Результаты подтверждают

© Карамушкина С.В., Митькин Ф.А., Вайнберг М.А., Агаркова А.А., Просекова Е.А., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

ценность соевого фуража как грубого корма, оптимизирующего пищеварение и снижающего затраты. Для точной интерпретации необходимы исследования с контрольной группой и анализом микробиома.

Ключевые слова: преджелудки овец, морфометрические показатели, эпителий рубца, сырая клетчатка, фуражные соевые отходы, летучие жирные кислоты

Вклад авторов: Карамушкина С.В. — концепция и схема исследования, сбор и обработка материалов, написание текста, общее руководство научной работой; Митькин Ф.А. — сбор и обработка материалов, написание текста; Вайнберг М.А. — сбор и обработка материалов, написание текста; Агаркова А.А. — сбор и обработка материалов, написание текста; Просекова Е.А. — написание текста.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


История статьи: поступила в редакцию 12 сентября 2025 г., принята к публикации 27 октября 2025 г.

Для цитирования: Карамушкина С.В., Митькин Ф.А., Вайнберг М.А., Агаркова А.А., Просекова Е.А. Морфофункциональные адаптации стенки рубца овец эдильбаевской породы при введении в рацион соевого фуража // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С.122–136. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-122-136 EDN: FWETQR

Morphofunctional adaptations of the rumen wall in edilbaev sheep with introduction of soy feed in the diet

Svetlana V. Karamushkina  , Fedor A. Mitkin , Mark A. Vainberg ,
Alisa A. Agarkova , Elena A. Proseкова 

Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow,
Russian Federation

 sveta.vetmed@mail.ru

Abstract. The aim of this study was to evaluate structural and functional changes in the rumen wall of Edilbaev sheep when soy feed (30.3% fiber, 16.15% protein) is included in the diet. The experiment was conducted at the private farm “Mashrapov” (Amur Region) on 20 sheep aged 7–8 months. Samples from the rumen atrium, dorsal sac, and ventral sac were fixed in 10% formalin, sectioned (5–6 μm), and stained with hematoxylin and eosin. Morphometric analysis ($n = 34$) was performed using a Hariomed IW-A1350C microscope, and the data were processed in Excel ($p \leq 0.05$). Feed nutritional value was analyzed at the Federal State Budgetary Institution “Amur Agrochemical Service Station”. In the absence of a control group, data from the dissertation by Melnikov SI (2022) on histological and morphometric characteristics of the rumen in Edilbaev sheep fed a hay-concentrate diet were used for comparison. The dorsal sac showed the highest papilla density (80.21 ± 1.27 per cm^2 , +167...300%) and height (3561 ± 14.6 μm , +97...197%) compared to the control (20...30 per cm^2 , 1200...1800 μm), as well as thinning of the stratum corneum (2.55 ± 0.07 μm , –15...36%), indicating enhanced absorption of volatile fatty acids associated with high fiber content. The ventral sac was characterized by thickening of the muscular layer (3577 ± 16.9 μm , +38...79%) and papillae (120.02 ± 4.76 μm), likely due to increased mechanical load. High protein content enhances nitrogen metabolism. The results confirm the value of soy feed as a roughage that optimizes digestion and reduces feeding costs. For more precise interpretation, further studies with a control group and microbiome analysis are required.

Keywords: sheep rumen, morphometric parameters, rumen epithelium, raw fibre, soybean meal, volatile fatty acids

Author Contributions: Karamushkina SV — study concept and design, collection and processing of materials, manuscript writing, overall supervision; Mitkin FA — collection and processing of materials, manuscript writing; Vainberg MA — collection and processing of materials, manuscript writing; Agarkova AA — collection and processing of materials, manuscript writing; Prosekova EA — manuscript writing.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Article history: received 12 September 2025; accepted 27 October 2025.

For citation: Karamushkina SV, Mitkin FA, Weinberg MA, Agarkova AA, Prosekova EA. Morphofunctional adaptations of the rumen wall in Edilbaev sheep with introduction of soy feed in the diet. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):122–136. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-122-136 EDN: FWETQR

Введение

Соевые бобы являются перспективным растительным продуктом, богатым протеином и содержащим девять незаменимых аминокислот. Производство сои увеличивается, и большая часть урожая используется для кормления сельскохозяйственных животных [1–3]. Отходы соевого производства богаты протеином и множеством других питательных веществ. Так, соевый фураж, состоящий из остатков бобов и стручков сои после обмолота, относится к типу грубых кормов.

Пищеварительная система овец приспособлена для переваривания грубого корма и для расщепления клетчатки, и как у всех жвачных животных для этой цели используются преджелудки, позволяющие с помощью микробиома получать продукты гидролиза клетчатки, содержащиеся в растительных кормах, для дальнейшего использования. Важнейшую роль в этом процессе играет рубец, где множество факторов создает оптимальные условия для брожения и всасывания его продуктов [4].

Наибольшая часть (70...85 %) сухого вещества рациона переваривается в рубце и только 15...30 % в последующих отделах желудочно-кишечного тракта животного. Рубец, как и другие органы пищеварения, при изменении рациона способен адаптировать слизистую оболочку для оптимальной работы, например, концентрированный тип кормления способствует увеличению площади сосочков рубца [5, 6].

Исходя из результатов анализа питательности соевого фуража и соевой соломы, а также из способности рубца к адаптации при изменении факторов кормления, предполагается, что рацион с соевым фуражом вызывает приспособительные изменения стенки рубца. Способность к адаптации органов пищеварения к условиям кормления служит залогом для успешного разведения животных в регионах с различными природно-климатическими условиями. Знания о возможных адаптационных перестройках стенки рубца позволяют оптимизировать кормление овец и повысить рентабельность производства за счет снижения себестоимости кормов.

Цель исследования — оценить характер и выраженность морфофункциональных перестроек стенки рубца овец эдильбаевской породы при включении в рацион соевого фуража как источника повышенного уровня клетчатки и протеина.

Соевый фураж рассматривается как новый кормовой ресурс, поэтому исследования по изучению его влияния на строение рубцовой стенки овец эдильбаевской породы фактически не проводились.

Материалы и методы исследования

Опыт проведен в крестьянско-фермерском хозяйстве ИП «Машрапов» Благовещенского района Амурской области. Овцы эдильбаевской породы (возраст 7–8 месяцев, $n = 20$) получали рацион, включающий соевый фураж, сено и соль-лизунец. Соевый фураж, состоящий из соевой половы, шелухи, некондиционных соевых бобов и семян сорных растений, проанализировали на питательность в ФГБУ «Станция агрохимической службы „Амурская“» (табл. 1).

Таблица 1

Питательность соевого фуража

№ п/п	Показатель	Методика испытаний (ГОСТ/метод)	Значение
1	Массовая доля влаги, %	ГОСТ Р 54951 ¹ (высушивание при 103 °С)	21,7
2	Массовая доля сырого протеина, %	ГОСТ 13496.4 ² (метод Кьельдаля)	16,15
3	Массовая доля сырого жира, %	ГОСТ 13496.15 ³ (экстракция)	6,15±0,68
4	Массовая доля сырой клетчатки, %	ГОСТ 31675 ⁴ (п. 6)	30,3±2,4
5	Массовая доля растворимых углеводов, %	ГОСТ 26176 ⁵ (фотометрический метод с антропным реактивом)	4,0±0,8
6	Массовая доля легкогидролизуемых углеводов, %		3,3±0,9
7	Кормовые единицы, кг	Методические указания ЦИНАО, 2002 г. ⁶	0,94
8	Обменная энергия, мДж/кг		10,8
9	Переваримый протеин, г/кг		129,2

Источник: составлено С.В. Карамушкиной, Ф.А. Митькиным, М.А. Вайнбергом, А.А. Агарковой, Е.А. Просековой.

¹ ГОСТ Р 54951–2012. Корма для животных. Определение содержания влаги. М. : Стандартинформ, 2013

² ГОСТ 13496.4–2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. М. : Стандартинформ, 2019.

³ ГОСТ 13496.15–2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира. М. : Стандартинформ, 2016.

⁴ ГОСТ 31675–2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. М. : Стандартинформ, 2020.

⁵ ГОСТ 26176–2019. Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. М. : Стандартинформ, 2019.

⁶ Сычев В.Г., Лепешкин В.В. Методические указания по оценке качества и питательности кормов / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства. М. : Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства, 2002. 76 с. EDN: UWFGBZ

Nutritional value of soybean fodder

№	Indicator	Test Method (GOST/Method)	Значение
1	Moisture content, %	GOST R 5495 ⁷ (drying at 103°C)	21.7
2	Crude protein content, %	GOST 13496 ⁸ (Kjeldahl method)	16.15
3	Crude fat content, %	GOST 13496 ⁹ (extraction)	6.15 ± 0.68
4	Crude fiber content, %	GOST 31675 ¹⁰ (Section 6)	30.3 ± 2.4
	Soluble carbohydrates content, %	GOST 26176 ¹¹ (photometric method with anthropic reagent)	4.0 ± 0.8
5 6	Easily hydrolyzable carbohydrates content, %		3.3 ± 0.9
7	Feed units, kg	Head Scientific and Methodological Center for the Agrochemical Service Guidelines, 2002 ¹²	0.94
8	Metabolizable energy, mJ/kg		10.8
9	Digestible protein, g/kg		129.2

Source: compiled by S.V. Karamushkina, F.A. Mitkin, M.A. Weinberg, A.A. Agarkova, E.A. Prosekova.

Материал для исследования получили при убое животных в возрасте 7–8 месяцев, осуществляемом с хозяйственной целью для получения продукции овцеводства. Все операции по сбору материала для исследования выполнены согласно директиве по охране животных, используемых в научных целях 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского Союза от 22.09.2010 г.¹³

Количество сосочков на 1 см² измеряли с помощью штангенциркуля. Анализ гистологических препаратов проводился на базе кафедры ветеринарной медицины РГАУ — МСХА К.А. Тимирязева. Для проведения гистологического исследования был произведен забор свежего материала стенки рубца. Общая выборка составила 20 голов. Материал забирался из трех различных мешков рубца: из преддверия, дорсального и вентрального мешков, с последующей фиксацией в 10% растворе нейтрального (забуференного) формалина в течение 24 ч, после чего обезвоживали, просветляли, проводили парафинизацию и изготавливали срезы на санном микротоме толщиной 5–6 микрометров. Далее материал окрашивали гематоксилином и эозином по общепринятым в гистологии методикам¹⁴. На полученных гистологических срезах рубца проводили 34 измерения для каждого показателя. Измеряли длину и ширину сосочков, толщину рогового слоя эпителия и толщину

⁷ GOST R 54951–2012. Animal feed. Determination of moisture content. Moscow: Standartinform, 2013.

⁸ GOST 13496.4–2019. Feed, compound feed, compound feed raw materials. Methods for determining nitrogen and crude protein content. Moscow: Standartinform, 2019.

⁹ GOST 13496.15–2016. Feed, compound feed, compound feed raw materials. Methods for determining the mass fraction of crude fat. Moscow: Standartinform, 2016.

¹⁰ GOST 31675–2012. Feed. Methods for Determining Crude Fiber Content Using Intermediate Filtration. Moscow: Standartinform, 2020.

¹¹ GOST 26176–2019. Feed and compound feed. Methods for determining soluble and readily hydrolyzable carbohydrates. Moscow: Standartinform, 2019.

¹² Sychev VG, Lepeshkin VV. *Metodicheskie ukazaniya po otsenke kachestva i pitatel'nosti kormov* [Guidelines for the Evaluation of Feed Quality and Nutritional Value]. Moscow: Central Research Institute for Agrochemical Services in Agriculture, Ministry of Agriculture of the Russian Federation; 2002:76. EDN: UWFGBZ

¹³ Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes // Official Journal of the European Union. 2010. L 276/33.

¹⁴ Микроскопическая техника : руководство / под ред. Д.С. Саркисова, Ю.Л. Перова. М. : Медицина, 1996. 544 с.

всего эпителия, толщину стенок артериол и венул в соединительной ткани сосочка, толщину соединительнотканых элементов собственной пластинки слизистой оболочки рубца в комплексе с подслизистой оболочкой, толщину мышечной оболочки в целом и ее слоев, а также серозную оболочку и стенку рубца.

Анализ гистологических препаратов проводился на базе кафедры ветеринарной медицины РГАУ — МСХА К.А. Тимирязева при помощи светооптического бинокулярного микроскопа *Harioned IW-A1350C SN24/1007*. Микрофотографирование проводили при помощи цифровой фотокамеры *ADF live 4k* и программного обеспечения *ADF*.

Ввиду хозяйственных условий опыта контрольная группа на стандартном рационе не формировалась; для сравнения использовались данные Мельникова (2022) [12] для эдильбаевских овец того же возраста на рационе с сеном, что позволило оценить морфофункциональные адаптации рубца к соевому фуражу.

Полученные данные подвергли статистической обработке с помощью программы *Excel*. Достоверными считали показатели при $p \leq 0,05$. Используемые анатомические и гистологические термины удовлетворяют требованиям международной номенклатуры¹⁵.

Результаты исследования и обсуждение

Слизистая оболочка рубца представлена многослойным плоским ороговевающим эпителием, которая подстигается рыхлой соединительной тканью собственной пластинки. Мышечная пластинка слизистой не развита. Сосочки рубца имеют ланцетовидную форму (рис. 1). Каждый сосочек рубца состоит из соединительнотканной основы, покрытой многослойным плоским эпителием. На верхушках сосочков встречаются мелкие кровеносные сосуды овального или округлого сечения. Мышечная оболочка стенки рубца представлена циркулярным и продольным слоями гладкомышечной ткани. Серозная оболочка состоит из соединительнотканной основы, покрытой однослойным плоским эпителием. Все эти особенности гистологического строения описаны в [7–11].

Для сравнения с контрольными показателями были использованы данные [12], полученные для эдильбаевских овец того же возраста (7–8 месяцев) на стандартном рационе (сено).

Согласно С.И. Мельникову (см. табл. 3 [12]), плотность сосочков в дорсальном мешке составляет 20...30 на 1 см², высота сосочков — 1200...1800 мкм, толщина рогового слоя эпителия — 3,0...4,0 мкм, толщина эпителия — 20–30 мкм, толщина подслизистой оболочки — 50...80 мкм, а толщина мышечной оболочки — 2000–2600 мкм. Наши результаты показали, что в дорсальном мешке плотность сосочков ($80,21 \pm 1,27$) на 167...300 % выше, высота ($3561 \pm 14,6$ мкм) на 97...197 % больше, а толщина рогового слоя ($2,55 \pm 0,07$ мкм) на 15...36 % меньше, чем в контроле. Толщина мышечной оболочки в вентральном мешке ($3577 \pm 16,9$ мкм) превышает

¹⁵ Международная гистологическая номенклатура / под ред. В.В. Семченко, Р.П. Самусева, М.В. Моисеева, З.Л. Колосовой. Омск : Омская медицинская академия, 1999. 156 с.

контрольные значения на 38...79 %, что указывает на усиление моторной функции под воздействием соевого фуража. Эти различия подтверждают морфофункциональную адаптацию рубца к рациону с высоким содержанием клетчатки.

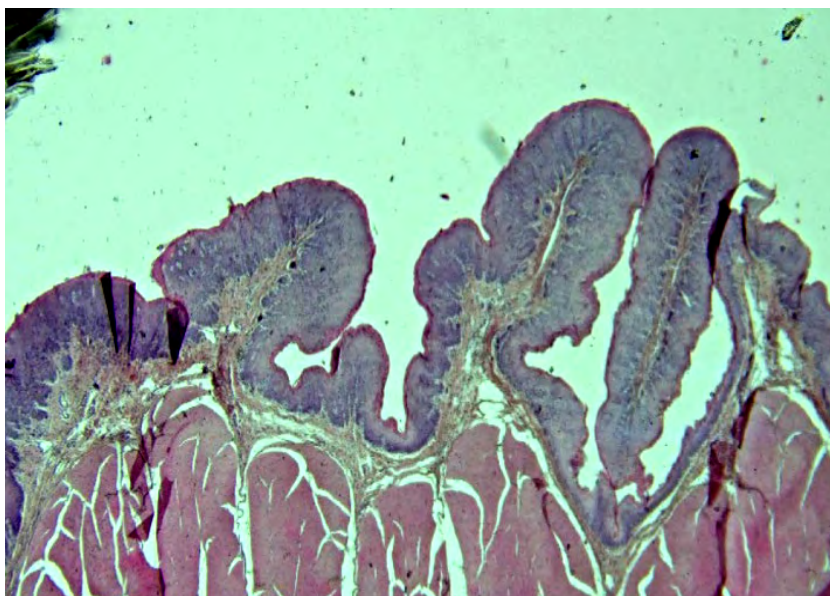


Рис. 1. Преддверие рубца овцы эдильбаевской породы при кормлении соевым шротом. Увеличение 12,5х. Окраска гематоксилин-эозин

Источник: выполнено Ф.А. Митькиным.

Fig. 1. Rumen vestibule of an Edilbaev sheep fed soybean meal. Magnification 12.5x. Hematoxylin and eosin staining

Source: compiled by F.A. Mitkin.

Толщина сосудистой стенки характеризует интенсивность процессов всасывания: чем тоньше стенка, тем интенсивней через нее происходит всасывание метаболитов рубцовой ферментации. Из табл. 2 видим, что наименьшая толщина стенки артериолы наблюдается в дорсальном мешке, что в 1,6 раза меньше, чем в вентральной части, и в 1,5 раза — чем в преддверии. Толщина венул в дорсальном мешке на 15 % ниже, чем в вентральном мешке, и на 10 % — чем в преддверии. Большая толщина эпителия и стенок сосудов в вентральном мешке вероятно связана с давлением содержимого рубца на этот отдел.

Еще одним подтверждающим фактом усиленного всасывания питательных веществ служит толщина рогового слоя сосочков в дорсальном мешке, которая ниже на 21 %, чем в вентральном мешке, и на 22 % — в преддверии.

Высокие и узкие сосочки дорсального мешка, покрытые эпителием небольшой толщины, вероятно, создают оптимальные условия для всасывания летучих жирных кислот, которые в дальнейшем поступают в сосуды собственной пластинки, что объясняет ее лучшее развитие в данном участке.

Таблица 2

Морфометрия структур стенки рубца овец эдильбаевской породы при кормлении соевым фуражом $M \pm m, n = 34$

Параметры	Отделы рубца		
	Преддверие	Дорсальный мешок	Вентральный мешок
Количество сосочков на 1 см ² , шт.	59,71 ± 0,63 ^a	80,21 ± 1,27	50,71 ± 0,73 ^a
Высота сосочков, мкм	1901 ± 7,3 ^a	3561 ± 14,6	1241 ± 4,5 ^a
Толщина сосочков, мкм	88,15 ± 3,12 ^a	75,96 ± 2,72	120,02 ± 4,76 ^a
Толщина стенок артериол, мкм	2,23 ± 0,12 ^a	1,46 ± 0,15	2,27 ± 0,14 ^a
Толщина стенок венул, мкм	1,10 ± 0,20	1,00 ± 0,30	1,15 ± 0,05
Толщина рогового слоя эпителия сосочков, мкм	3,26 ± 0,14 ^a	2,55 ± 0,07	3,21 ± 0,11 ^a
Толщина эпителия, мкм	23,93 ± 1,67 ^a	19,76 ± 1,12	32,72 ± 2,56 ^a
Толщина слизистой оболочки между сосочками (min), мкм	216,65 ± 8,63 ^a	370,56 ± 15,08	160,21 ± 5,99 ^a
Толщина подслизистой оболочки, мкм	71,64 ± 6,54 ^a	124,09 ± 5,04	35,34 ± 1,47 ^a
Кольцевой слой мышечной оболочки, мкм	1890 ± 8,7 ^a	1401 ± 11,9	2330 ± 16,3 ^a
Продольный слой мышечной оболочки, мкм	1051 ± 6,74	1166 ± 7,55	1247 ± 17,55
Мышечная оболочка, мкм	2941 ± 9,5 ^a	2567 ± 9,7	3577 ± 16,9 ^a
Серозная оболочка, мкм	24,41 ± 1,59 ^a	18,68 ± 0,87	20,53 ± 3,9 ^a
Толщина органа, мкм	3253 ± 12,80 ^a	3080 ± 17,21	3793 ± 22,87 ^a

Примечание. ^a $p < 0,05$ уровень достоверности при сравнении с дорсальным мешком.

Источник: составлено С.В. Карамушкиной, Ф.А. Митькиным, М.А. Вайнбергом, А.А. Агарковой, Е.А. Просековой.

Table 2

Morphometry of rumen wall structures in Edilbaev sheep fed soybean forage $M \pm m, n = 34$

Parameters	Rumen departments		
	Vestibule	Dorsal bag	Ventral bag
Number of papillae per 1 cm ² , pcs.	59.71 ± 0.63 ^a	80.21 ± 1.27	50.71 ± 0.73 ^a
Papillae height, μm	1901 ± 7.3 ^a	3561 ± 14.6	1241 ± 4.5 ^a
Papillae thickness, μm	88.15 ± 3.12 ^a	75.96 ± 2.72	120.02 ± 4.76 ^a
Arteriole wall thickness, μm	2.23 ± 0.12 ^a	1.46 ± 0.15	2.27 ± 0.14 ^a
Venule wall thickness, μm	1.10 ± 0.20	1.00 ± 0.30	1.15 ± 0.05
Papillary epithelial stratum corneum thickness, μm	3.26 ± 0.14 ^a	2.55 ± 0.07	3.21 ± 0.11 ^a
Epithelial thickness, μm	23.93 ± 1.67 ^a	19.76 ± 1.12	32.72 ± 2.56 ^a
Interpapillary mucosal thickness (min), μm	216.65 ± 8.63 ^a	370.56 ± 15.08	160.21 ± 5.99 ^a
Submucosa thickness, μm	71.64 ± 6.54 ^a	124.09 ± 5.04	35.34 ± 1.47 ^a
Circular muscularis propria, μm	1890 ± 8.7 ^a	1401 ± 11.9	2330 ± 16.3 ^a
Longitudinal muscularis propria, μm	1051 ± 6.74	1166 ± 7.55	1247 ± 17.55
Muscularis propria, μm	2941 ± 9.5 ^a	2567 ± 9.7	3577 ± 16.9 ^a
Serous membrane, μm	24.41 ± 1.59 ^a	18.68 ± 0.87	20.53 ± 3.9 ^a
Organ thickness, μm	3253 ± 12.80 ^a	3080 ± 17.21	3793 ± 22.87 ^a

Note. ^a $p < 0.05$ significance level when compared with the dorsal sac.

Source: compiled by S.V. Karamushkina, F.A. Mitkin, M.A. Weinberg, A.A. Agarkova, E.A. Prosekova.

Таблица 3

Контрольные морфометрические показатели стенки рубца овец эдильбаевской породы на стандартном рационе

Параметр	Преддверие	Дорсальный мешок	Вентральный мешок
Количество сосочков на 1 см ² , шт.	18–28	20–30	15–25
Высота сосочков, мкм	1000–1500	1200–1800	800–1200
Толщина сосочков, мкм	90–110	80–100	100–120
Толщина рогового слоя эпителия, мкм	3,0–4,0	3,0–4,0	3,0–4,0
Толщина эпителия, мкм	20–30	20–30	25–35
Толщина подслизистой оболочки, мкм	40–60	50–80	30–50
Толщина мышечной оболочки, мкм	2000–2500	2000–2600	2100–2600
Толщина серозной оболочки, мкм	20–30	20–30	20–30

Источник: [12].

Table 3

Control morphometric parameters of the rumen wall in Edilbaev sheep fed a standard diet

Parameter	Vestibule	Dorsal bag	Ventral bag
Number of papillae per 1 cm ² , pcs.	18–28	20–30	15–25
Papillae height, μm	1000–1500	1200–1800	800–1200
Papillae thickness, μm	90–110	80–100	100–120
Corneumonic layer thickness, μm	3.0–4.0	3.0–4.0	3.0–4.0
Epithelial thickness, μm	20–30	20–30	25–35
Submucosa thickness, μm	40–60	50–80	30–50
Muscular layer thickness, μm	2000–2500	2000–2600	2100–2600
Serosa thickness, μm	20–30	20–30	20–30

Source: [12].

Немаловажный показатель моторной функции рубца — толщина мышечной оболочки его стенки. На рис. 2 приведены морфометрические данные продольного и кольцевого слоя мышечной оболочки.

Наибольшая толщина мышечной стенки рубца регистрируется в вентральном мешке — $3577 \pm 16,9$ мкм (см. табл. 2) — за счет увеличения толщины кольцевого слоя до $2330 \pm 16,3$ мкм, что в 1,7 раза выше, чем в вентральном мешке, и в 1,2 раза, чем в преддверии.

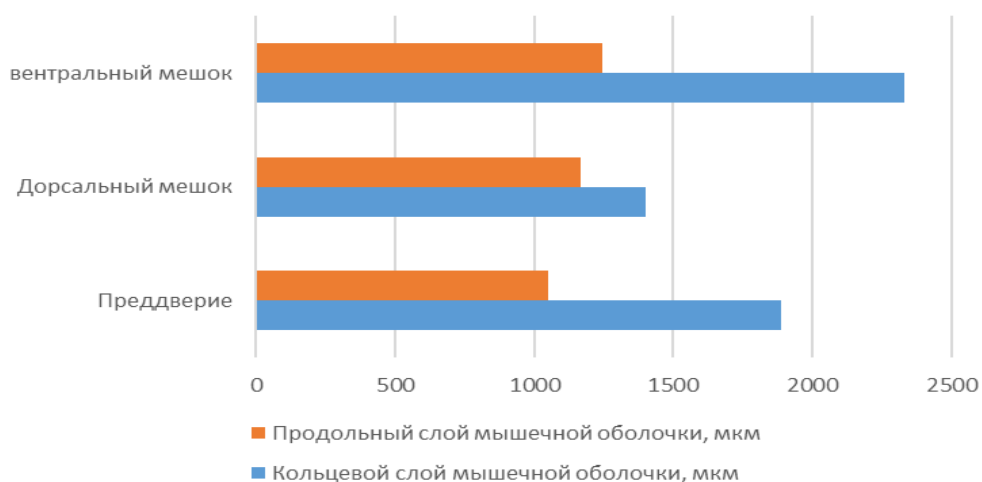


Рис. 2. Сравнительная характеристика толщины мышечной оболочки различных отделов рубца овец при введении в рацион соевого фуража

Источник: выполнено С.В. Карамушкиной.

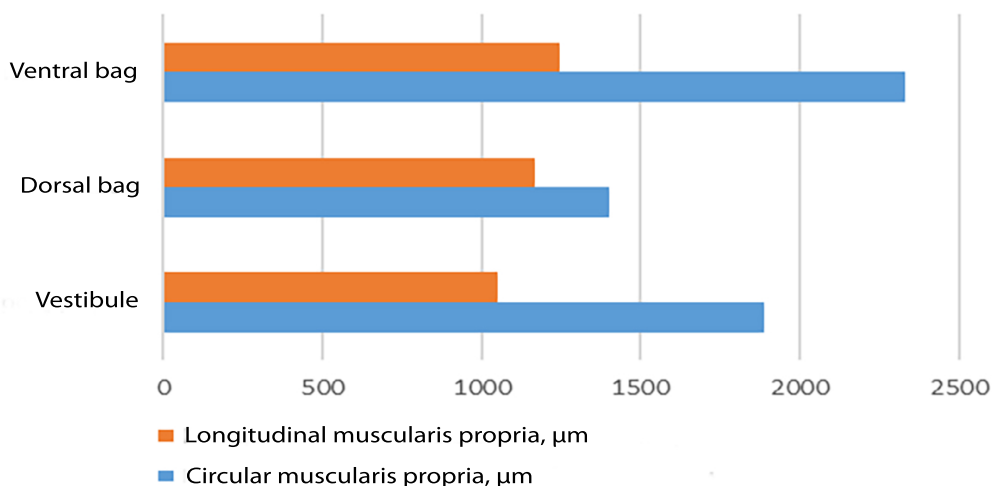


Fig. 2. Comparative characteristics of the thickness of the muscular membrane of various sections of the rumen of sheep fed soybean forage

Source: compiled by S.V. Karamushkina.

Проводя сравнительный анализ других оболочек рубцовой стенки овец, можно отметить значительное увеличение подслизистого слоя в дорсальном мешке — до $124,09 \pm 5,04$ мкм. Данный факт связан с интенсивной всасывающей активностью и характеризуется расположением в этом слое кровеносных сосудов и нервов (рис. 3).

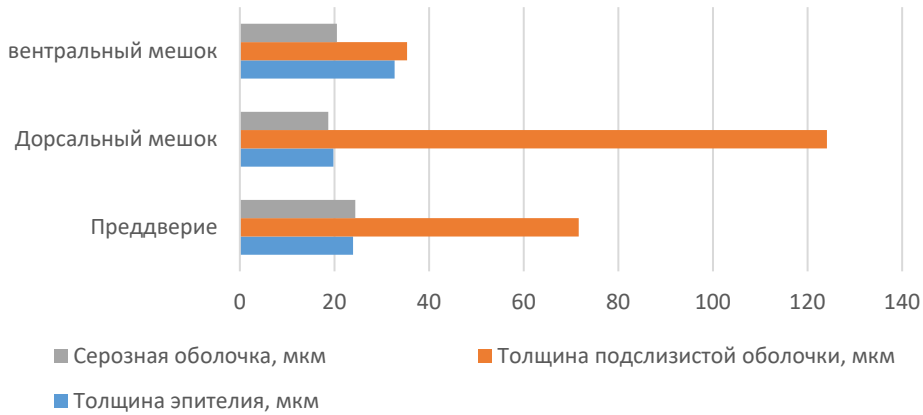


Рис. 3. Сравнительная характеристика толщины слоев рубцовой стенки овец, при введении в рацион соевого фуража.

Источник: выполнено С.В. Карамушкиной.

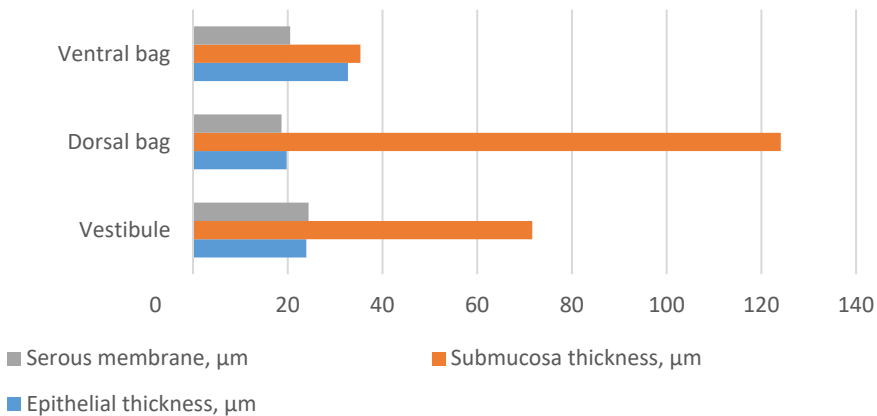


Fig. 3. Comparative characteristics of the rumen wall layers thickness in sheep fed soybean forage

Source: compiled by S.V. Karamushkina.

Мы изучили морфофункциональные адаптации стенки рубца овец эдильбаевской породы при кормлении соевым фуражом, состоящим из соевой половины, шелухи, некондиционных бобов и семян сорных растений. Анализ питательности фуража, проведенный в ФГБУ «Станция агрохимической службы «Амурская», показал высокое содержание сырой клетчатки ($30,3 \pm 2,4\%$), сырого протеина ($16,15\%$) и переваримого протеина ($129,2$ г/кг), а также обменной энергии ($10,8$ мДж/кг), что делает фураж полноценным грубым кормом, сравнимым с качественным сеном. Эти характеристики определили выраженные изменения гистоструктуры рубца, особенно в дорсальном мешке, где наблюдались наибольшая плотность ($80,21 \pm 1,27$ на 1 см^2) и высота сосочков ($3561 \pm 14,6$ мкм).

Эти изменения указывают на усиление абсорбционной функции дорсального мешка, что согласуется с данными В.В. Малашко и др. [13] о роли летучих жирных кислот (ЛЖК) в морфологии рубца. Высокое содержание клетчатки в фураже (30,3 %) стимулирует активность целлюлозоразрушающих бактерий, таких как *Ruminococcus* и *Fibrobacter*, что увеличивает производство ЛЖК (например, уксусной кислоты), способствующих удлинению сосочков и истончению рогового слоя для улучшения всасывания.

Толщина мышечной оболочки в вентральном мешке ($3577 \pm 16,9$ мкм) на 38...79 % превышает контрольные значения (2000...2600 мкм), что отражает повышенную механическую нагрузку на этот отдел рубца ввиду введения в рацион корма, включающего полосу и шелуху. Увеличение толщины подслизистого слоя в дорсальном мешке ($124,09 \pm 5,04$ мкм против 50...80 мкм) и истончение стенок артериол ($1,46 \pm 0,15$ мкм против 2,0...3,0 мкм) подтверждают адаптацию к интенсивному транспорту метаболитов. Высокое содержание протеина в фураже (16,15 %) и переваримого протеина (129,2 г/кг), вероятно, усиливает метаболизм азотистых соединений в дорсальном мешке, что согласуется с исследованиями Zhao и др. [14], показавшими увеличение сосочков при добавлении высокопротеиновых кормов.

Различия между отделами рубца (длинные и тонкие сосочки в дорсальном мешке, короткие и широкие в вентральном) связаны как с функциональными особенностями (абсорбция в дорсальном, механическое давление в вентральном), так и с составом микробиоты. Большое содержание клетчатки в фураже, предположительно, способствует росту целлюлозолитических бактерий и анаэробных грибов (*Neocallimastix*, *Piromyces*), которые, согласно Gruninger и др. [15], увеличивают деградацию клеточных стенок на 20...30 %, повышая концентрацию ЛЖК. Это объясняет морфологические изменения, особенно в дорсальном мешке.

Ограничением исследования является отсутствие контрольной группы, обусловленное хозяйственными условиями опыта (убой в производственных целях). Сравнение с данными С.И. Мельникова компенсирует это, но для более точной интерпретации необходимо сравнение с прямой контрольной группой на сено-концентратном рационе. Также дальнейший анализ микробиома рубца (например, секвенирование 16S рРНК) позволит уточнить роль фуража в изменении микробного состава и его влиянии на морфологию.

Заключение

Исследование выявило морфофункциональные адаптации стенки рубца овец эдильбаевской породы к рациону с соевым фуражом (30,3 % клетчатки, 16,15 % протеина). Дорсальный мешок показал наибольшую плотность ($80,21 \pm 1,27$ на 1 см^2) и высоту сосочков ($3561 \pm 14,6$ мкм), что соответственно на 167...300 % и 97...197 % выше контроля, указывая на усиление абсорбции ЛЖК. Вентральный мешок характеризовался утолщением мышечной оболочки ($3577 \pm 16,9$ мкм, +38...79 %) и сосочков ($120,02 \pm 4,76$ мкм), обусловленным механической нагруз-

кой грубого корма. Эти адаптации, связанные с высокой клетчаткой и протеином фуража, подтверждают его ценность как кормового ресурса, позволяющего оптимизировать пищеварение и снизить затраты на кормление.

Список литературы

1. Валькова В.В., Бушукина О.С., Здоровинин В.А. Морфология многокамерного желудка овец эдильбаевской породы при искусственном выращивании // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2014. Т. 218. № 2. С. 33–37. EDN: SEXZFT
2. Грушкин А.Г., Шевелев Н.С. О морфофункциональных особенностях микробиоты рубца жвачных животных и роли целлюлозолитических бактерий в рубцовом пищеварении // Сельскохозяйственная биология. 2008. Т. 43. № 2. С. 12–19. EDN: ISIEDX
3. Задорин А.М., Зеленов А.А., Мордвина М.В. Достижения селекции Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур в аспекте роста соевого производства в России // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 2 (30). С. 53–56. doi: 10.24411/2309–348X-2019–11088 EDN: OGZYRY
4. Карамушкина С.В., Курятова Е.В., Вадько А.В., Осипов Я.А. Структурная адаптация рубцовой стенки у овец к отходам соевого производства // Ученые записки учреждения образования Витебская академия ветеринарной медицины. 2024. Т. 60. № 3. С. 13–17. doi: 10.52368/2078-0109-2024-60-3-13-17 EDN: KORVHD
5. Клименкова И.В., Баркалова Н.В. Микроморфологические особенности органов пищеварительной системы овец // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : сборник научных трудов в 2-х частях. Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. С. 46–54. EDN: IQKUAW
6. Клычова Г.С., Цыпин А.П., Валиев А.Р. Перспективы развития рынка сои и его значимость для Российской экономики // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3 (63). С. 128–134. doi: 10.12737/2073-0462-2021-128-134 EDN: PBULND
7. Мельников С.И., Щипакин М.В. Постнатальный гистогенез преджелудков у овец эдильбаевской породы // Морфология в XXI веке: теория, методология, практика : сб. трудов Всеросс. (национальной) науч.-практ. конф., Москва, 01–04 июня 2021 г. М. : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина», 2021. С. 127–130. EDN: IBJYCR
8. Мельников С.И., Щипакин М.В. Артериальное кровоснабжение сычуга овец эдильбаевской породы // Актуальные вопросы развития аграрной науки : сб. материалов Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., посвящ. 15-летию со дня образования института биотехнологии и ветеринарной медицины, Тюмень, 12 окт. 2021 г. Тюмень : Гос. аграр. ун-т Северного Зауралья, 2021. С. 248–250. EDN: UNGCAV
9. Мельников С.И., Щипакин М.В. Гистологическая характеристика стенки рубца овец эдильбаевской породы // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 1. С. 292–295. doi: 10.17238/issn2072–2419.2021.1.292 EDN: HELYZX
10. Плужникова З.М. Возрастные особенности гистологического строения рубца овцы // Труды Оренбургского СХИ. 1964. Т. 10. С. 115–121.
11. Шпыгова В.М. Динамика морфометрических параметров эпителия рубца крупного рогатого скота в постнатальном онтогенезе // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4 (52). С. 134–139. doi: 10.18286/1816-4501-2020-4-134-139 EDN: YNOJCL
12. Мельников С.И. Морфологические основы функционального становления многокамерного желудка овец эдильбаевской породы : дис. ... канд. вет. наук. СПб., 2022. 181 с. EDN: ENLZJK
13. Малашко В.В., Тумилович Г.А., Али О.Х. и др. Структурно-метаболические процессы в рубце и влияние на них факторов питания // Сельское хозяйство — проблемы и перспективы : сб. науч. тр. / Гродненский гос. аграрный ун-т. Гродно, 2016. Т. 33: Ветеринария. С. 88–100. EDN: XAXXTB
14. Zhao J., Zhao X., Gao J. et al. Ensiled diet improved the growth performance of Tibetan sheep by regulating the rumen microbial community and rumen epithelial morphology // Journal of Animal Science. 2024. Vol. 102. doi: 10.1093/jas/skae173 EDN: DTVHEW
15. Gruninger R., Puniya A., Callaghan T., Edwards J., Youssef N., Dagar S., Fliiegerová K., Griffith G., Forster R., Tsang A., McAllister T., Elshahed M. Anaerobic fungi (phylum *Neocallimastigomycota*): advances

in understanding their taxonomy, life cycle, ecology, role and biotechnological potential // *FEMS microbiology ecology*. 2014. Vol. 90. № 1. P. 1–17. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12383>

References

1. Valkova VV, Bushukina OS, Zdorovinin VA. The morphology of edilbaevskaya sheep multi-chambered stomach in artificial breeding. *Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*. 2014;218(2):33–37. (In Russ.). EDN: SEXZFT
2. Grushkin AG, Shevelev NS. About morphofunctional features of rumen microbiota in ruminant animals and the role of cellulolytic bacteria in nimal digestion. *Agricultural Biology*. 2008;43(2):12–19. (In Russ.). EDN: ISIEDX
3. Zadorin AM, Zelenov AA, Mordvina MV. Achievements of selection of federal scientific center of legumes and groat crops in the aspect of the growth of soybean production in Russia. *Legumes and Groat Crops*. 2019;(2):53–56. (In Russ.). doi:10.24411/2309-348X-2019-11088 EDN: OGZYRY
4. Karamushkina SV, Kuryatova EV, Vadko AV, Osipov YA. Structural adaptation of rumen wall to soybean production wastes in sheep. *Transactions of the Educational Establishment «Vitebsk the Order of 'the Badge of Honor' State Academy of Veterinary Medicine*. 2024;60(3):13–17. (In Russ.). doi: 10.52368/2078-0109-2024-60-3-13-17 EDN: KORVHD
5. Klimenkova IV, Barkalova NV. Micromorphological features of the digestive system organs in sheep. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva: sbornik nauchnykh trudov v 2-kh chastyakh*. [Actual Problems of Intensive Development of Animal Husbandry: Proceedings]. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy. 2016:46–54. (In Russ.). EDN: IQKUAW
6. Klychova GS, Tsy-pin AP, Valiev AR. Prospects for the soybean market development and its importance for the Russian economy. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2021;16(3):128–134. (In Russ.). doi: 10.12737/2073-0462-2021-128-134 EDN: PBULND
7. Melnikov SI, Shchipakin MV. Postnatal histogenesis of the forestomachs in Edilbaev sheep. *Morfologiya v XXI veke: teoriya, metodologiya, praktika: sb. trudov Vseross. (natsional'noi) nauch.-prakt. konf., Moskva, 01–04 iyunya 2021 g. [Morphology in the XXI Century: Theory, Methodology, Practice: Proceedings All-Russian Scientific-Practical Conference]*. Moscow; 2021:127–130. (In Russ.). EDN: IBJYCR
8. Melnikov SI, Shchipakin MV. Arterial blood supply abomasum of edilbaevskoy breed sheep. In: *Aktual'nye voprosy razvitiya agrarnoi nauki: sb. materialov Vseros. (nats.) nauch.-prakt. konf., posvyashch. 15-letiyu so dnya obrazovaniya instituta biotekhnologii i veterinarnoi meditsiny, Tyu-men', 12 okt. 2021 g. [Current issues in the development of agricultural science: collection of materials from the All-Russian (nats.) scientific and practical conference dedicated to the 15th anniversary of the founding of the Institute of Biotechnology and Veterinary Medicine, Tyumen, October 12, 2021]*. Tyumen: State Agrarian University of Northern Trans-Urals; 2021:248–250. (In Russ.). EDN: UNGCAV
9. Melnikov SI, Shchipakin MV. Histological characteristics of the rumen wall of edilbaevskaya sheep. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2021;(1):292–295. (In Russ.). doi: 10.17238/issn2072-2419.2021.1.292 EDN: HELYZX
10. Pluzhnikova ZM. Age-related features of the histological structure of the sheep rumen. *Trudy Orenburgskogo SKhI*. 1964;10:115–121. (In Russ.).
11. Shpygova VM. Dynamics of morphometric parameters of cicatricial epithelium in cattle in postnatal ontogenesis. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020;(4):134–139. (In Russ.). doi: 10.18286/1816-4501-2020-4-134-139 EDN: YNOJCL
12. Melnikov SI. *Morfologicheskie osnovy funktsional'nogo stanovleniya mnogokamernogo zheludka ovets ehdiil'ba-evskoi porody [Morphological bases of functional development of the multichamber stomach in Edilbaev sheep]*. PhD thesis. Saint Petersburg; 2022. (In Russ.). EDN: ENLZJK
13. Malashko VV, Tumilovich GA, Ali OH, et al. Structural and metabolic processes in rumen and influence of nutritive factors on these processes (theoretical and practical aspects of digestion of ruminant animals). In: *Sel'skoe khozyaistvo — problemy i perspektivy: sb. nauch. tr. / Grodnenskiy gos. agrarniy un-t. Grodno, 2016. T. 33: Veterinariya [Agriculture — problems and prospects: collection of scientific papers / Grodno State Agrarian University. Grodno, 2016. Vol. 33: Veterinary science]*. Grodno: Grodno State Agrarian University; 2016;33:88–100. (In Russ.). EDN: XAXXTB

14. Zhao J, Zhao X, Gao J, et al. Ensiled diet improved the growth performance of Tibetan sheep by regulating the rumen microbial community and rumen epithelial morphology. *Journal of Animal Science*. 2024;102. doi: 10.1093/jas/skae173 EDN: DTVHEW

15. Gruninger R, Puniya A, Callaghan T, et al. Anaerobic fungi (phylum Neocallimastigomycota): advances in understanding their taxonomy, life cycle, ecology, role and biotechnological potential. *FEMS Microbiology Ecology*. 2014;90(1):1–17. doi: 10.1111/1574-6941.12383

Об авторах:

Карамушкина Светлана Владимировна — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: sveta.vetmed@mail.ru
ORCID: 0009-0009-6485-7146 SPIN-код: 4828-4148

Митькин Фёдор Александрович — студент института зоотехнии и биологии, РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: fedormitkin24@gmail.com
ORCID: 0009-0008-0467-958X SPIN-код: 3954-4844

Вайнберг Марк Александрович — студент института зоотехнии и биологии, РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: vajnbergmark8@gmail.com
ORCID: 0009-0008-9702-9577 SPIN-код: 1394-6706

Агаркова Алиса Анатольевна — ассистент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: agarkova-vasilisa@mail.ru
ORCID: 0009-0003-2696-2320 SPIN-код: 2006-9679

Просекова Елена Александровна — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: proseka2004@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1819-0618 SPIN-код: 1052-1132

About the Authors:

Karamushkina Svetlana Vladimirovna — Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physiology, Ethology and Biochemistry of Animals, Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: sveta.vetmed@mail.ru
ORCID: 0009-0009-6485-7146 SPIN-code: 4828-4148

Mitkin Fedor Aleksandrovich — Student, Institute of Animal Science and Biology, Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: fedormitkin24@gmail.com
ORCID: 0009-0008-0467-958X SPIN-code: 3954-4844

Vainberg Mark Aleksandrovich — Student, Institute of Animal Science and Biology, Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: vajnbergmark8@gmail.com
ORCID: 0009-0008-9702-9577 SPIN-code: 1394-6706

Agarkova Alisa Anatolevna — Assistant, Department of Morphology and Veterinary Sanitary Expertise, Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: agarkova-vasilisa@mail.ru
ORCID: 0009-0003-2696-2320 SPIN code: 2006-9679

Prosekova Elena Aleksandrovna — Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Morphology and Veterinary Sanitary Expertise, Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: proseka2004@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1819-0618 SPIN-code: 1052-1132