

ПОЛИМОРФИЗМ В ГЕНЕ BMPR-1B И ЕГО СВЯЗЬ С ЛИПИДНЫМ ОБМЕНОМ У ОВЕЦ

Е.А. Климанова, Т.В. Коновалова, О.И. Себежко, В.Л. Петухов, Е.И. Тарасенко, А.В. Назаренко, Д.А. Александрова

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: kateri2403@mail.ru

Для цитирования: *Полиморфизм в гене BMPR-1B и его связь с липидным обменом у овец / Е.А. Климанова, Т.В. Коновалова, О.И. Себежко, В.Л. Петухов, Е.И. Тарасенко, А.В. Назаренко, Д.А. Александрова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 186–191. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-186-191.*

Ключевые слова: овцы, романовская порода, ЛПВП, холестерин, триглицериды, полиморфизм, BMPR-1B.

Реферат. *Исследование посвящено изучению связи полиморфизма в гене рецептора костного морфогенетического белка 1B (BMPR-1B) с липидным обменом у овец романовской породы, разводимых на территории Западной Сибири. Исследование полиморфизмов, в том числе однонуклеотидных замен, является важным аспектом в селекции сельскохозяйственных животных. Они могут оказывать влияние на различные показатели продуктивности животных, устойчивость к болезням и адаптацию к окружающей среде. Данное исследование проводилось на 65 овцах романовской породы. Анализ ДНК осуществляли методом ПЦР–ПДРФ для выявления генотипов по гену BMPR-1B. Для электрофоретического фракционирования образцов ДНК использовали 3%-й гель с добавлением бромистого этидия. Дополнительно оценивали содержание тяжелых металлов в среде обитания овец, которое не превышало ПДК. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ Microsoft Office Excel 2007 и RStudio версии 1.2.5033. Анализ липидного обмена проводился на основе показателей холестерина, триглицеридов и липопротеинов высокой плотности (ЛПВП). Выявлена достоверная связь между генотипами BMPR-1B и уровнем ЛПВП. Установлено, что у гомозигот WW уровень ЛПВП был выше, чем у гетерозигот WM ($p < 0,05$). На уровень триглицеридов и холестерина в крови овец полиморфизм влияния не оказал. В литературе отсутствуют данные о прямой связи BMPR-1B и липидного обмена. Возможно косвенное влияние BMPR-1B через сигнальные пути и плеотропные эффекты гена. Таким образом, необходимо дальнейшее исследование полиморфизма для уточнения механизмов влияния BMPR-1B на липидный обмен.*

POLYMORPHISM IN THE BMPR-1B GENE AND ITS RELATIONSHIP WITH LIPID METABOLISM IN SHEEP

E.A. Klimanova, T.V. Konovalova, O.I. Sebezko, V.L. Petukhov, E.I. Tarasenko, A.V. Nazarenko, D.A. Alexandrova

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: kateri2403@mail.ru

Keywords: sheep, Romanov breed, HDL, cholesterol, triglycerides, polymorphism, BMPR-1B.

Abstract. *The study is devoted to the investigation of the relationship between polymorphism in the bone morphogenetic protein receptor 1B (BMPR-1B) gene and lipid metabolism in Romanov sheep bred in Western Siberia. The study of polymorphisms, including single nucleotide substitutions, is an important aspect in the selection of agricultural animals. They can affect various indicators of animal productivity, disease resistance and adaptation to the environment. This study was conducted on 65 Romanov sheep. DNA analysis was performed by the PCR-RFLP method to identify genotypes for the BMPR-1B gene. For electrophoretic fractionation of DNA samples, 3% gel with the addition of ethidium bromide was used. In addition, the content of heavy metals in the sheep's habitat was estimated, which did not exceed the MAC. Statistical data processing was performed using Microsoft Office Excel 2007 and RStudio version 1.2.5033. Lipid metabolism was analyzed based on cholesterol, triglycerides, and high-density lipoprotein (HDL) levels. A significant relationship was found between the BMPR-1B genotypes and HDL levels. It was found that WW homozygotes had higher HDL levels than WM heterozygotes ($p < 0.05$). The polymorphism did not affect the blood triglyceride and cholesterol levels in sheep. There are no data in the literature on a direct relationship between BMPR-1B and lipid metabolism. An indirect effect of*

BMPR-1B is possible through signaling pathways and pleiotropic effects of the gene. Thus, further study of the polymorphism is necessary to clarify the mechanisms of BMPR-1B influence on lipid metabolism.

Полиморфизмы играют важную роль в селекции сельскохозяйственных животных. Они могут влиять на многие хозяйственно полезные признаки, такие как продуктивность, устойчивость к болезням и адаптация к условиям окружающей среды [1]. Изучение генетических вариаций позволяет выявлять и использовать наиболее перспективные аллели для улучшения пород и повышения экономической эффективности животноводства.

Одним из ключевых направлений является исследование полиморфизмов генов, связанных с молочной и мясной продуктивностью, с интерьерными параметрами животных [2, 3]. Например, полиморфизмы в гене каппа-казеина могут влиять на качество молока, в гене гормона роста – на скорость набора массы у крупного рогатого скота. Изучение связей полиморфизмов с хозяйственно полезными признаками помогает селекционерам выбирать особей с наиболее выгодными характеристиками для разведения [4]. Кроме того, полиморфизмы оказывают влияние на адаптацию животных к различным климатическим условиям. Понимание генетического потенциала отдельных особей позволяет создавать породы, лучше приспособленные к местным условиям, что повышает их выживаемость и продуктивность [5–7].

Таким образом, изучение полиморфизмов у сельскохозяйственных животных представляет собой важный инструмент для совершенствования селекционных программ, повышения продуктив-

ности и устойчивости животных, а также адаптации их к специфическим условиям содержания.

Целью данной работы было изучение связи полиморфизма в гене BMPR-1B с показателями липидного обмена у овец романовской породы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование выполнялось на 65 овцах романовской породы, разводимых на территории Западной Сибири. Образцы крови отбирали в стерильные вакуумные пробирки, содержащие ЭДТА. Выделение ДНК проводили на спин-колонках от компании Биолабмикс (готовый набор для выделения ДНК из крови, клеток, тканей на колонках).

После выделения проводили оценку ДНК с помощью прибора NanoDrop 2000 (Thermo Fisher Scientific, США). Он позволяет оценить количество и качество экстрагированной ДНК. Для ДНК соотношение оптической плотности A260/280 должно находиться в пределах 1,7–2,0, что является оптимальным показателем. Все полученные нами образцы были в пределах данного диапазона.

Анализ полиморфизма выполнялся методом ПЦР–ПДРФ. Для проведения полимеразной цепной реакции были подобраны праймеры (табл. 1). Количество циклов ПЦР – 35 циклов, температура отжига – 60 °С. Длина амплифицированного фрагмента составила – 140 п.н.

Таблица 1

Условия проведения ПЦР–ПДРФ по полиморфизму в BMPR-1B
Conditions for conducting PCR-RFLP for polymorphism in BMPR-1B

Специфические нуклеотидные последовательности (праймеры)	Ампликон, п.н.	Эндонуклеаза	Сайт узнавания рестриктазы	Генотипы
F: 5'-gtcgctatggggaagtttgatg-3'	140 п.н.	AvaII	G↓GWCC CCWG↓G	WW/WM/ MM
R: 3'-caagatgttttcgcctcatcaacacggtc-5'				

Время обработки образцов эндонуклеазой рестрикции AvaII составило 4 ч. Анализ рестрикционных фрагментов проводили с помощью 3%-го агарозного геля с добавлением бромистого этидия.

Дополнительно произведена оценка содержания тяжелых металлов в почве, воде, кормах в местах разведения романовских овец, а также в органах и тканях. Данные показатели не превышали значения ПДК [8].

Экспериментальные данные обрабатывали с помощью таких методов описательной статистики, как средняя арифметическая с ошибкой, медиана, первый и третий квартили, межквартильный размах. Все расчеты проводились с использованием программ Microsoft Office Excel 2007 и RStudio версии 1.2.5033.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

По полиморфизму в гене BMPR-1B у овец романовской породы были установлены три генотипа: WW длиной 140 п.н. (частота генотипа 0,39), гетерозиготный генотип WM – 140, 110 и 30 п.н. (частота 0,55), MM – 110 и 30 п.н. (частота 0,06). Часто аллелей составила W – 0,66, M – 0,34.

Для проведения анализа липидного обмена у овец романовской породы были взяты такие показатели, как холестерин, триглицериды и липопротеины высокой плотности в крови овец романовской породы (табл. 2 и 3).

В табл. 2 представлены данные по содержанию холестерина и триглицеридов в крови овец с учетом генотипов по BMPR-1B.

Таблица 2

Содержание холестерина и триглицеридов в сыворотке крови с учетом генотипов овец, ммоль/л
Serum cholesterol and triglyceride levels according to sheep genotypes, mmol/l

Ген	Генотип	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Me
Холестерин			
BMPR-1B	WW	2,08±0,15	1,87
	WM	2,17±0,11	2,16
	MM	2,21±0,70	1,58
Триглицериды			
BMPR-1B	WW	0,31±0,02	0,29
	WM	0,26±0,03	0,19
	MM	0,28±0,09	0,19

Примечание. $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ – средняя арифметическая с ошибкой; Me – медиана.

Уровень холестерина был в диапазоне 2,08–2,21 ммоль/л. Минимальное значение наблюдается у гомозигот WW – 2,08 ммоль/л, максимальное у гомозигот MM – 2,21 ммоль/л. Значение триглицеридов в крови составило от 0,26 ммоль/л у гетерозигот WM до 0,31 ммоль/л у гомозигот WW. Значения холестерина и триглицеридов находилось в пределах физиологической нормы [9]. По данным показателям связи с полиморфизмом

в гене BMPR-1B в нашей работе установлено не было.

Результаты проведенной статистической обработки данных по содержанию липопротеинов высокой плотности с учетом выявленных генотипов по BMPR-1B представлены в табл. 3. Максимальный уровень ЛПВП наблюдается у животных гетерозиготных WM по полиморфизму в BMPR-1B. У гомозигот WW и MM отличий в содержании ЛПВП не наблюдалось.

Таблица 3

Содержание ЛПВП в сыворотке крови в зависимости от генотипа животных романовской породы, ммоль/л

Serum HDL content depending on the genotype of Romanov breed animals, mmol/l

Ген	Генотип	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Me	Q1	Q3	IQR	Cv, %
BMPR-1B	WW	1,09±0,04	1,17	0,87	1,27	0,41	20,90
	WM	1,30±0,06	1,32	1,05	1,49	0,44	29,20
	MM	1,09±0,23	1,19	0,74	1,38	0,64	36,40

Примечание. $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ – средняя арифметическая с ошибкой; Me – медиана; Q1 – первая квартиль; Q3 – третья квартиль; IQR – межквартильный размах; Cv – коэффициент вариации, %.

При анализе была установлена достоверная разность между содержанием липопротеинов высокой плотности у гомозигот WW по сравнению с гетерозиготами WM ($p < 0,05$). Уровень ЛПВП был в 1,12 раза выше у гомозигот по сравнению с

гетерозиготами. Также наблюдается высокая фенотипическая изменчивость ЛПВП ($Cv = 20,90\%$) у овец с гомозиготным генотипом WW.

Липидный обмен представляет собой сложный процесс, связанный с образованием, транс-

портировкой, утилизацией и хранением жиров в организме животных [9, 10]. Жиры играют ключевую роль в энергетическом балансе, структурной целостности клеточных мембран и синтезе важных биологически активных соединений, таких как стероиды и эйкозаноиды. Нарушения липидного обмена могут приводить к различным заболеваниям, включая ожирение и атеросклероз [11, 12].

Некоторые полиморфизмы могут оказывать значительное влияние на липидный обмен. Например, полиморфизмы в гене APOE (аполипопротеин E) связаны с изменениями уровня холестерина в крови [13]. Ген LPL (липопротеинлипаза) кодирует фермент, участвующий в расщеплении триглицеридов. Замены в данном гене могут влиять на активность фермента и, следовательно, на уровень триглицеридов в крови. Это может приводить к нарушению липидного обмена и повышенному риску сердечно-сосудистых заболеваний [14]. Ген PPAR γ (рецептор, активируемый пероксисомным пролифератором гамма), играет важную роль в регуляции экспрессии генов, участвующих в липидном обмене. Изменения в этом гене влияют на чувствительность клеток к инсулину и могут приводить к нарушению липидного обмена [15, 16]. Ген BMPR-1B (рецептор костного морфогенетического белка 1B), кодирующий рецептор костного морфогенетического белка типа 1B, играет важную роль в регуляции роста, развития и метаболизма у различных видов животных. Этот ген вовлечен в широкий спектр процессов, начиная от эмбрионального развития и заканчивая формированием костей, мышц и жировой ткани во взрослом организме. Мутации в гене BMPR-1B могут приводить к изменениям в росте и ремоделировании костей, влияя на активность остеобластов и остеокластов. Кроме того, BMPR-

1B участвует в регуляции мышечной массы и метаболизме жиров [17–19].

BMPR-1B входит в сигнальный путь BMP и играет важную роль в регуляции различных клеточных процессов, включая рост и дифференцировку клеток [18]. Возможно, изменения в этом сигнальном пути могут влиять на процессы, связанные с синтезом, транспортом и катаболизмом липидов, включая ЛПВП.

Учитывая широкий спектр действия генов сигнального пути BMPs, ген BMPR-1B может оказывать плеотропный эффект, влияя на несколько фенотипических признаков. Возможно, один из этих признаков косвенно связан с уровнем липопротеинов высокой плотности.

Таким образом, в литературе нет данных о прямой связи между геном BMPR-1B и показателями липидного обмена. Возможно, ген BMPR-1B косвенно влияет на уровень ЛПВП, однако данный вопрос требует дальнейшего исследования.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что концентрации холестерина, триглицеридов и липопротеинов высокой плотности с учетом генотипов по полиморфизму в гене BMPR-1B находились в пределах нормы, характерной для данного вида.

2. Изучена связь полиморфизма в гене BMPR-1B с липидным обменом у овец романовской породы в условиях Западной Сибири. Установлена связь полиморфизма с уровнем липопротеинов высокой плотности в крови. Показано, что у гомозигот WW по BMPR-1B ЛПВП были в 1,12 раза выше, чем у гетерозигот WM ($p < 0,05$). Влияние полиморфизма на уровень триглицеридов и холестерина в крови овец не наблюдается.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №24-26-00136).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Проблемы селекции сельскохозяйственных животных* / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск, 1997. – 283 с.
2. *Ерохин А.И., Карасев Е.А.* Романовская порода овец. – М.: МГУП, 2001. – 119 с.
3. *Биология, генетика и селекция овцы* / А.В. Кушнир, В.И. Глазко, В.Л. Петухов [и др.]. – Новосибирск, 2010. – 520 с.
4. *Ассоциация генотипов β -лактоглобулина у овец романовской породы с гематологическими показателями крови* / Е.А. Климанова, З.Т. Поповский, Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 4(61). – С. 126–136. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-126-136.
5. *Белая Е.В., Норкина В.М., Климанова Е.А.* Молекулярные основы фенотипических эффектов rs41923484 гена гормона роста GH на признаки молочной продуктивности КРС // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2024. – Т. 60. – № 4. – С. 79–86. – DOI: 10.52368/2078-0109-2024-60-4-79-86.

6. Гончаренко Г.М. Генетические маркеры и их значение для селекционно-племенной работы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 6. – С. 47–54.
7. Генетические маркеры в селекции овец / Г.М. Гончаренко, Т.Н. Хаамируев, С.М. Дашинимаев [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 4(69). – С. 147–161. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-147-161.
8. Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia / A.I. Syso, M.A. Lebedeva, A.S. Cherevko [et al.] // Journal of pharmaceutical sciences and research. – 2017. – Vol. 9. – № 4. – P. 368–374.
9. Липидный статус овцематок романовской породы на юге Западной Сибири / И.Н. Морозов, О.И. Себежко, Е.И. Тарасенко [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 7. – С. 71–76. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_71.
10. Углеводный и минеральный обмены у овец романовской породы в условиях Западной Сибири / Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, Е.И. Тарасенко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 207–214. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-207-214.
11. Себежко О.И. Содержание и изменчивость общего холестерина у крупного рогатого скота разных направлений продуктивности // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 52–59. – DOI: 10.36508/RSATU.2024.90.95.008.
12. Межпородные различия содержания и изменчивости холестерина у крупного рогатого скота Сибири / О.И. Себежко, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 4(193). – С. 137–143. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-137-143.
13. Полиморфизм гена АРОЕ: влияние аллеля АРОЕ4 на системное воспаление и его роль в патогенезе болезни Альцгеймера / И.К. Малащенко, С.А. Крынский, М.В. Мамошина [и др.] // Медицинская иммунология. – 2018. – № 20(3). – С. 303–312. – DOI: 10.15789/1563-0625-2018-3-303-312.
14. Wu Y.Q., Hu Y.Y., Li G.N. Rare novel LPL mutations are associated with neonatal onset lipoprotein lipase (LPL) deficiency in two cases // BMC Pediatrics. – 2021. – Vol. 21, № 1. – DOI: 10.1186/s12887-021-02875-x.
15. Fat-tail allele-specific expression genes may affect fat deposition in tail of sheep / H. Mansourizadeh, M.R. Bakhtiarizadeh, L.C. de Almeida Regitano [et al.] // PLoS One. – 2024. – № 19(12). – DOI: 10.1371/journal.pone.0316046.
16. Sex-dependent effects of antenatal glucocorticoids on insulin sensitivity in adult sheep: role of the adipose tissue renin angiotensin system / G.A. Massmann, J. Zhang, W.J. Seong [et al.] // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. – 2017. – № 312(6). – P. 1029–1038. – DOI: 10.1152/ajpregu.00181.2016.
17. Климанова Е.А. Влияние полиморфизмов генов BMP-15 и BMPR-IB на скорость овуляции у овец // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сб. IV Всерос. (национальной) науч. конф., Новосибирск, 20 дек. 2019 г. – Новосибирск, 2019. С. 81–84.
18. Климанова Е.А., Коновалова Т.В., Кочнев Н.Н. Полиморфизм локуса BMPR-IB у овец романовской породы в условиях Кузбасса // Зоотехния. – 2024. – № 1. – С. 15–17. – DOI: 10.25708/ZT.2023.56.90.005.
19. Тарасенко Е.И., Климанова Е.А. Ассоциация полиморфизма гена костного морфогенетического белка BMP-15 с уровнем тироксина в крови у овец романовской породы // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2024. – № 4. – С. 60–67. – DOI: 10.25687/1996- 6733.prodanimbiol.2024.4.60-67.

REFERENCES

1. Panov B.L., Petukhov V.L., Ernst L.K., Gudilin I.I., Kulikova S.G., Korotkevich O.S., Dement'ev V.N., Kochnev N.N., Marenkov V.G., Kochneva M.L., Nezavitin A.G., Smirnov P.N., Kondratov A.F., Zheltikov A.I., Bekenev V.A., Nozdryn G.A., *Problemy seleksii sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Problems of breeding farm animals), Novosibirsk: Nauka, 1997, 283 p.
2. Erokhin A.I., Karasev E.A., *Romanovskaya poroda ovets* (Romanov breed of sheep), Moskva: MGUP, 2001, 119 p.
3. Kushnir A.V., Glazko V.I., Petukhov V.L., Dimov G., Storozhuk S.I., *Biologiya, genetika i selektsiya ovtsy* (Biology, genetics and breeding of sheep), Novosibirsk, 2010, 520 p.
4. Klimanova E.A., Popovskij Z.T., Konovalova T.V., Tarasenko E.I., Korotkevich O.S., Sebezsko O.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, No. 4(61), pp. 126–136, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-126-136. (In Russ.)
5. Belaya E.V., Norkina V.M., Klimanova E.A., *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaya ordena Znak pocheta gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny*, 2024, Vol. 60, No. 4, pp. 79–86. DOI: 10.52368/2078-0109-2024-60-4-79-86. (In Russ.)
6. Goncharenko G.M., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2008, No. 6, pp. 47–54. (In Russ.)
7. Goncharenko G.M., Khamiruev T.N., Dashinimaev S.M., Khoroshilova T.S., Khalina O.L., Soloshchenko V.A., Ermolaev V.I., Kochnev N.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 4(69), pp. 147–161. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-147-161. (In Russ.)

8. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S., Petukhov V.L., Sebezsko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Kamal'dinov E.V., Sokolov V.A., Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *Journal of pharmaceutical sciences and research*, 2017, Vol. 9, No. 4, pp. 368–374.
9. Morozov I.N., Sebezsko O.I., Tarasenko E.I., Klimanova E.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, Vol. 36, No. 7, pp. 71–76, DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_71. (In Russ.)
10. Konovalova T.V., Klimanova E.A., Tarasenko E.I., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2024, No. 4(73), pp. 207–214, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-207-214. (In Russ.)
11. Sebezsko O.I., *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*, 2024, Vol. 16, No. 3, pp. 52–59, DOI: 10.36508/RSATU.2024.90.95.008. (In Russ.)
12. Sebezsko O.I., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Sebezsko A.N., Marenkov V.G., Zheltikov A.I., Konovalova T.V., Osinceva L.A., *Vestnik KrasGAU*, 2023, No. 4(193), pp. 137–143, DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-137-143. (In Russ.)
13. Malashenkova I.K., Krynskiy S.A., Mamoshina M.V., Didkovskiy N.A., *Medicinskaja immunologiya*, 2018, No. 20(3), pp. 303–312, DOI: 10.15789/1563-0625-2018-3-303-312. (In Russ.)
14. Wu Y.Q., Hu Y.Y., Li G.N., Rare novel LPL mutations are associated with neonatal onset lipoprotein lipase (LPL) deficiency in two cases, *BMC Pediatrics*, 2021, Vol. 21, No. 1, DOI: 10.1186/s12887-021-02875-x.
15. Mansourizadeh H., Bakhtiarzadeh M.R., de Almeida Regitano L.C., Bruscadin J.J., Fat-tail allele-specific expression genes may affect fat deposition in tail of sheep, *PLoS One*, 2024, No. 19(12), DOI: 10.1371/journal.pone.0316046.
16. Massmann G.A., Zhang J., Seong W.J., Kim M., Figueroa J., Sex-dependent effects of antenatal glucocorticoids on insulin sensitivity in adult sheep: role of the adipose tissue renin angiotensin system, *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 2017, No. 312(6), pp. 1029–1038, DOI: 10.1152/ajpregu.00181.2016.
17. Klimanova E.A., *Rol' agrarnoi nauki v ustoichivom razvitii sel'skikh territorii* (The role of agricultural science in sustainable development of rural areas), Proceedings of the IV All-Russian (National) Scientific Conference, Novosibirsk, 2019, pp. 81–84. (In Russ.)
18. Klimanova E.A., Konovalova T.V., Kochnev N.N., *Zootekhniya*, 2024, No. 1, pp. 15–17, DOI: 10.25708/ZT.2023.56.90.005. (In Russ.)
19. Tarasenko E.I., Klimanova E.A., *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, 2024, No. 4, pp. 60–67, DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2024.4.60-67. (In Russ.)

Информация об авторах:

Е.А. Климанова, научный сотрудник
 Т.В. Коновалова, старший преподаватель
 О.И. Себежко, кандидат биологических наук
 В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор
 Е.И. Тарасенко, аспирант
 А.В. Назаренко, научный сотрудник
 Д.А. Александрова, аспирант

Contribution of the authors:

E.A. Klimanova, researcher
 T.V. Konovalova, senior lecturer
 O.I. Sebezsko, PhD in Biological Sciences, associate professor
 V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, professor
 E.I. Tarasenko, PhD student
 A.V. Nazarenko, researcher
 D.A. Alexandrova, PhD student

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.