

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-868

УДК 636.3.035



Научная статья

ГЕНОТИПИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОВЕЦ БУУБЭЙ И ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ ПО ГЕНАМ *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* И ИХ СВЯЗЬ С ПРОДУКТИВНОСТЬЮ

*Г.М. Гончаренко, Т.Н. Хамируев, С.М. Дашинимаев,
Т.С. Хорошилова, О.Л. Халина, Н.Б. Гришина*

Целью исследования является выявление полиморфизма генов *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* и изучение их влияния на живую массу и шерстную продуктивность овец забайкальской тонкорунной породы и грубошерстной буубэй.

Научная новизна заключается в том, что впервые проведена сравнительная оценка генотипических особенностей овец по SNP-маркерам и их ассоциативным связям с продуктивностью в породах. Объектом исследования были овцы забайкальской тонкорунной (100 голов), грубошерстной буубэй (60 голов). В результате исследований установлено, что по генам *GDF9/G1* и *CAST* породы имеют практически одинаковое соотношение генотипов и аллелей, по генам *KRT1.2* и *KAP1.3* выявлены значительные различия. Порода буубэй характеризуется более высоким на 17,7 % содержанием генотипа *KRT1.2^{MM}* и более низкой на 15,7 % частотой генотипа *KRT1.2^{MN}*, по сравнению с забайкальской тонкорунной породой. Частота генотипов гена *KAP1.3* в породе буубэй выявлена в соотношении (26,7:46,6:26,7), в забайкальской (61,6:36,0:3,0). Генное равновесие в стадах не нарушено, ($\chi^2 = 0,006 - 0,713$). Инбридинг в стадах отсутствует (*Fis* - 0,0037 до +0,066), *PIC* находится в пределах 0,192 и 0,203. Коэффициент гомозиготности *SH* - 17,7 и 9,5 %, *Naj* -1,32 и 1,27.

Установлено, что бараны с генотипом *CAST^{MM}* имеют более высокую живую массу на 20,2 кг, по сравнению с гетерозиготными животными. У овец породы буубэй с генотипом *KRT1.2^{MM}* пух был длиннее на 0,58 см, чем у животных с гетерозиготным генотипом *KRT1.2^{MN}*. В забайкальской породе приоритетных генотипов, связанных с продуктивностью не выявлено. Сложившаяся структура забайкальской породы и буубэй может служить базой для мониторинга генотипической структуры этих пород и в сравни-

тельной оценке с другими породами Сибири. Выявленные ассоциативные связи генетических маркёров с шерстной продуктивностью могут успешно использоваться в качестве дополнительных критериев для отбора овец по селекционным признакам.

Ключевые слова: овца; порода; генотип; аллель; полиморфизм; инбридинг; гомо и гетерозиготность; генное равновесие; генетическая изменчивость; живая масса; шерстная продуктивность

Для цитирования. Гончаренко Г.М., Хамируев Т.Н., Дашинимаев С.М., Хорошилова Т.С., Халина О.Л., Гришина Н.Б. Генотипическая структура овец буубэй и забайкальской породы по генам *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* и их связь с продуктивностью // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 186-207. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-868

Original article

GENOTYPIC STRUCTURE OF THE BUUBEI AND ZABAIKALSKAYA BREED SHEEP ACCORDING TO THE GENES *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* AND THEIR RELATIONSHIP WITH PRODUCTIVITY

**G.M. Goncharenko, T.N. Khamiruev, S.M. Dashinimaev,
T.S. Khoroshilova, O.L. Khalina, N.B. Grishina**

The **purpose** of this study is to identify the polymorphism of the *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* genes and to study their influence on the live weight and wool productivity of the Zabaikalskaya fine-wool breed and coarse-wooled Buubei sheep.

The **scientific novelty** lies in the fact that for the first time a comparative evaluation of the genotypic features of sheep by SNP-markers and their association with productivity in the breeds has been carried out. The object of the study were sheep of the Zabaikalskaya fine-wool breed (100 heads) and coarse-wooled Buubei breed (60 heads). As a result of the research, it was found that for the genes *GDF9/G1* and *CAST* the breeds have almost the same ratio of genotypes and alleles, for the genes *KRT1.2* and *KAP1.3* significant differences were found. The Buubei breed is characterized by a 17.7 % higher content of the *KRT1.2^{MM}* genotype and a 15.7 % lower frequency of the *KRT1.2^{MN}* genotype compared to the Zabaikalskaya fine-wool breed. The genotype frequency of the *KAP1.3* gene in the Buubei breed was found

in the ratio (26.7:46.6:26.7), in the Zabaikalskaya breed (61.6:36.0:3.0). The gene equilibrium in the herds is not disturbed ($\chi^2 = 0,006 - 0,713$). There is no inbreeding in the herds ($F_{is} = -0.0037$ to $+0.066$), PIC is in the range from 0.192. to 0.203. The homozygosity coefficient $SH = 17,7$ and $9,5$ %, $Naj = -1,32$ and $1,27$. It was found that rams with $CAST^{MM}$ genotype have higher live weight by 20.2 kg compared to the heterozygous animals. Buubei sheep with the $KRT1.2^{MN}$ genotype had 0.58 cm longer down than the animals with the $KRT1.2^{MN}$ heterozygous genotype. No priority genotypes associated with productivity have been identified in the Zabaikalskaya breed. The established structure of the Zabaikalskaya and Buubei breeds can serve as a basis for monitoring the genotypic structure of these breeds and in comparative evaluation with other Siberian breeds. The identified associative relationships of the genetic markers with wool productivity can be successfully used as additional criteria for selection of sheep for breeding traits.

Keywords: sheep; breed; genotype; allele; polymorphism; inbreeding; homo and heterozygosity; gene equilibrium; genetic variability; live weight; wool productivity

For citation. Goncharenko G.M., Khamiruev T.N., Dashinimaev S.M., Khoro-shilova T.S., Khalina O.L., Grishina N.B. Genotypic Structure of the Buubei and Zabaikalskaya Breed Sheep According to the Genes $GDF9$, $CAST$, $KRT1.2$, $KAP1.3$ and their Relationship with Productivity. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 186-207. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-868

Введение

Овцеводство, несмотря на общее снижение поголовья, остаётся востребованной отраслью, особенно в горных, предгорных и степных зонах. В России по данным Ежегодника [2] разводят 49 пород овец, среди которых есть малочисленные, к которым относится грубошерстная порода буубэй, занимающая 0,4 % удельного веса всего поголовья овец. Порода имеет отличительные биологические и фенотипические особенности от аборигенных бурятских овец, обусловленные наследственной компонентой.

Порода была создана под руководством Лхасаранова Б.Б. и включена в реестр в 2008 г. Овцы отличаются крепкой конституцией. Плодовитость маток составляет 108-115 ягнят. Средняя живая масса баранов-производителей 67 кг, овцематок – 52 кг. По данным бонитировки 2022 г. настриг шерсти в племенных хозяйствах составляет 1,0 кг [2]. Содержание животных круглогодично-пастбищное. Для улучшения мясной продуктивности овец буубэй скрещивают с мясо-сальными породами, такими как, калмыц-

кая курдючная порода, полученные помеси отличаются более высокой живой массой при снятии с нагула и лучшими убойными качествами мяса [6].

Тонкорунная забайкальская порода по численности составляет 3,5 % от всего поголовья в России. По данным бонитировки за 2022 год средний настриг шерсти в племенных заводах составляет 2,4 кг. Живая масса баранов 100-108 кг, овцематок – 56-60 кг [2].

С целью повышения генетического потенциала необходимо привлекать новые технологии, в том числе оценку по генетическим маркерам, эффективность использования которых в практической селекции зависит от ассоциативных связей с хозяйственно ценными признаками [13]. Генетические особенности забайкальской породы и буубэй изучены крайне недостаточно. Порода буубэй представляет интерес как автохтонная порода усовершенствованная длительной народной селекцией. В сравнительной оценке с другими заводскими породами, в частности с тувинской, она не имеет хорошего генетического разнообразия и не отличается высокой полиморфностью локусов [12]. Как показали исследования микросателлитного анализа 25 отечественных пород буубэй тесно связана своим происхождением с забайкальской тонкорунной и тувинской, с которыми она образует единый подкластер [3].

В практической селекции большой интерес представляют гены, связанные с энергией роста, мясной продуктивностью, качеством шерсти, и другими селекционно-значимыми признаками, полиморфизм которых в забайкальской породе и буубэй не изучен. Полученные обнадёживающие данные ассоциативных связей генов *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* с важнейшими экономически значимыми признаками овец, позволяют вести дальнейший поиск генов-маркеров, вовлекая в него другие породы.

Ген *GDF9* в организме овец, по мнению [16] оказывает влияние на репродуктивную способность маток, их плодовитость. Его полиморфизм имеет некоторые различия по породам, но в основном, наиболее часто встречающимся генотипом является *GDF9^{GG}*, который, по-видимому, и связан с ростом молодняка, молочной, мясной продуктивностью, хотя данные противоречивые [19; 29].

Мясная продуктивность и качество мяса, важнейшие характеристики при выборе породы. Для улучшения этих признаков используются гены кальпаина и кальпастина. Приоритетным генотипом в гене *CAST* у большинства пород овец является *CAST^{MM}*, частота которого находится в пределах 70-90 % [5,8,20], за исключением калмыцкой курдючной породы и их помесей с Дорпер, где этот показатель составляет 30,0 % [7].

Для улучшения качества шерсти, одного из главных коммерческих признаков, наряду с традиционными методами селекции, используется ген *KRT1.2*, *KAP1.3*, синтез белков которых оказывает влияние на качественные показатели шерстяного волокна: тонину, длину, извитость, прочность. Как показывают исследования [27] в большинстве пород преобладающим генотипом в гене *KRT1.2* был *KRT1.2^{MM}*, частота которого выше 70 %.

В российских породах овец частота генотипов и аллелей гена *KAP1.3* сильно варьируется. В дагестанской горной породе генотип *KAP1.3^{YY}* встречается крайне редко (0,1 %), тогда как в грозненской тонкорунной породе этот генотип выявлен у 25 % животных [9]. В породах овец Индии преобладающим был гетерозиготный генотип, однако в некоторых породах отмечается высокая частота гомозиготного генотипа *KAP1.3^{YY}* (0,569) [10].

Цель наших исследований заключалась в выявлении частот генотипов и аллелей *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* генов и их связи с живой массой и качеством шерсти у овец забайкальской тонкорунной породы и грубошерстной буубэй.

Материал и методы исследования

Объектом исследования служили овцы забайкальской тонкорунной породы (100 голов), грубошерстной буубэй (60 голов). Молекулярно-генетические исследования проведены в лаборатории биотехнологий СибНИПТИЖ Сибирского федерального научного центра агробiotехнологий Российской академии наук.

Материалом для лабораторных исследований служили ушные выщипы овец, из которых выделяли геномную ДНК с применением набора экстракции из клинического материала «Ампли Прайм ДНК-сорб-С» по прописи изготовителя ООО «НекстБио» (Москва). Качество и концентрацию выделенной ДНК оценивали в 1% агарозном геле методом горизонтального электрофореза с использованием геля документирующей системы E-Box-CX5. TS-20.M (Франция), в проходящем ультрафиолетовом свете по флуоресценции бромистого этидия. Амплификацию проводили стандартным методом ПЦР анализа на ДНК-амплификаторе C 1000 Touch Thermal Cycler «BioRad» (Singapore). Генотипирование осуществляли согласно описанным и апробированным методикам ПЦР-ПДРФ: для гена *CAST* [22], *GDF9* – [24], *KRT1.2* [28], *KAP 1.3* [10], при этом использовали эндонуклеазы рестрикции производства СибЭнзим *Msp I* (*CAST*, и *KRT1.2*), *BseII* (*KAP1.3*) и *BstHH* (*GDF9*).

Частотную характеристику генотипов изучаемых генов оценивали по формуле Харди-Вайнберга для двух аллельных систем с использовани-

ем критерия χ^2 . Определение коэффициента гомозиготности (Ca) популяции, уровень полиморфности (Na), степень генетической изменчивости (V), меры информационного полиморфизма (PIC), выполнено в соответствии с рекомендациями [14].

Результаты исследований и обсуждение

При анализе частот генотипов исследуемых генов *GDF9/GI*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* обращает внимание сходство частот генотипов *GDF9/GI* и *CAST* генов, связанных с энергией роста молодняка и воспроизводительными способностями (табл.1). Несмотря на разное направление продуктивности – полугрубошерстное и тонкорунное, более 90 % животных в обеих породах имеют генотип *GDF9/GI^{GG}*. В настоящей выборке генотип *GDF9/GI^{GG}* не выявлен. Исходя из этого, можно предположить, что генотип *GDF9/GI^{GG}* вовлечён в селекционный процесс при оценке животных по энергии роста или воспроизводительным качествам овцематок. Аналогичные результаты получены нами ранее при исследовании овец алтайской тонкорунной породы и западно-сибирской мясной [1].

Таблица 1.

Частота генотипов *GDF9/GI*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* генов у овец разных пород, %

Генотип	Буубэй (n=60)	χ^2	Забайкальская (n=100)	χ^2
<i>GDF9/GI^{AA}</i>	0,0±0,0	0,1159	0,0±0,0	0,1135
<i>GDF9/GI^{AG}</i>	10,0±2,74		7,0±1,80	
<i>GDF9/GI^{GG}</i>	90,0±2,74		93,0±1,80	
<i>CAST^{MM}</i>	90,0±2,74	0,1159	82,0±2,72	0,0135
<i>CAST^{MN}</i>	10,0±2,74		17,0±2,66	
<i>CAST^{NN}</i>	0,0±0,0		1,0±0,70	
<i>KRT1.2^{MM}</i>	91,7±2,52	0,1085	74,0±3,10	0,0058
<i>KRT1.2^{MN}</i>	8,3±2,52		24,0±3,02	
<i>KRT1.2^{NN}</i>	0,0±0,0		2,0±0,99	
<i>KAP1.3^{XX}</i>	26,7±4,04	0,2666	61,0±3,45	0,7130
<i>KAP1.3^{YY}</i>	46,6±4,55		36,0±3,39	
<i>KAP1.3^{YY}</i>	26,7±4,04		3,0±1,21	

В гене *CAST* выявлено 2 аллеля и 3 генотипа, частота которых в породах не имеет существенных различий. Генотип *CAST^{MM}* встречается у 82-90% животных. Подобные результаты получены при изучении полиморфизма этого гена у овец западно-сибирской мясной, кулундинской тонкорунной,

сальской и дагестанской горной пород [1,4.]. Так, в исследованиях [26] у овец частота генотипа $CAST^{MM}$ составляет 93,0%, генотипа $CAST^{NN}$ – 7,0%. Однако в мире есть породы с другим соотношением генотипов, например, у овец *Dalagh* частота гетерозиготного генотипа находится на уровне 0,891, а у овец в породе *Lori* – 0,630 [17; 30].

Соотношение генотипов $KRT1.2$, $KAP1.3$, связанных с количественными и качественными показателями шерсти в породах существенно отличаются. В породе буубэй более 90 % животных являются носителями генотипа $KRT1.2^{MM}$, что на 17,7 % больше, чем в забайкальской тонкорунной породе, которая характеризуется более высокой частотой гетерозиготного генотипа на 15,7 %, в сравнении с буубэй ($p \leq 0,001$). Генотип $KRT1.2^{NN}$ относится к редко встречаемым, его частота в породах не превышает 2%. Аналогичные результаты получены при исследовании отечественных пород: кавказская, эдильбаевская, черноземельный меринос, грозненская тонкорунная [9].

По частоте генотипа $KAP1.3$ в сравниваемых породах наблюдаются некоторые различия. У овец забайкальской породы довольно низкое значение генотипа $KAP1.3^{YY}$ (3,0 %), а преобладающим генотипом был $KAP1.3^{XX}$, что выше аналогичного генотипа в породе буубэй на 34,3 % ($p \leq 0,001$). Выявленные генотипические различия могут являться следствием ассоциативной связи его с качеством шерсти, обусловленной длительной селекцией по этому признаку в забайкальской породе. Следует отметить одинаковое число особей с гомозиготными генотипами этого гена в породе буубэй – 26,7 %. Высокая вариативность этого гена в отечественных породах отмечена в исследованиях [10]. Так, в тонкорунной дагестанской горной породе частота генотипа $KAP1.3^{XX}$ составляет 0,69, однако в другой тонкорунной породе грозненской его встречаемость только 0,25. В шубной романовской породе этот генотип выявлен уже на уровне 0,57.

Генное равновесие в стадах не нарушено, χ^2 находится в пределах 0,0058 - 0,713.

Аллельное разнообразие сравниваемых пород, представленное в таблице 2, показывает различие частот по генам $KRT1.2$, $KAP1.3$. Так, в породе буубэй более высокая частота аллеля $KRT1.2^M$ на 0,098, и наоборот, более низкая - $KAP1.3^Y$ на 0,290, чем у овец забайкальской породы ($p \leq 0,01$).

На основании частот генотипов и аллелей рассчитаны популяционно-генетические параметры исследуемых стад овец (табл. 3). Индекс *Fis*, показывающий отклонения фактически наблюдаемых гетерозигот от те-

оретически ожидаемого, имеет достаточно низкие значения в сравниваемых породах, что может свидетельствовать об отсутствии инбридинга и равновесии гомо и гетерозигот. Уровень полиморфности (N_a) по изученным генам находится на уровне 1,32 и 1,27, что может быть следствием специфичной частоты генотипов исследуемых генов.

Таблица 2.

Частота аллелей генов продуктивности у овец разных пород

Аллель	Буубэй (n=60)	Забайкальская (n=100)
<i>GDF9/G1^A</i>	0,050±0,0281	0,035±0,0184
<i>GDF9/G1^G</i>	0,950±0,0281	0,965±0,0184
<i>CAST^M</i>	0,950±0,0281	0,905±0,0293
<i>CAST^N</i>	0,050±0,0281	0,095±0,0293
<i>KRT1.2^M</i>	0,958±0,0259	0,860±0,0347
<i>KRT1.2^N</i>	0,042±0,0259	0,140±0,0347
<i>KAP1.3^X</i>	0,500±0,0645	0,790±0,0407
<i>KAP1.3^Y</i>	0,500±0,0645	0,210±0,0407

Коэффициент гомозиготности (*SH*) овец породы буубэй выше на 8,2%, чем у забайкальской породы. При этом степень генетической изменчивости *V*,%, рассчитанная по коэффициенту Робертсона в породе буубэй составляет 63,1, что выше в 3 раза по сравнению с забайкальской. Мера информационного полиморфизма или генное разнообразие в породах не имеет существенного различия (*PIC* -0,193 и 0,200).

Таблица 3.

Популяционно-генетические параметры стад овец буубэй и забайкальской породы, %

Порода	Индекс <i>Fis</i>				<i>SH</i> , %	<i>V</i> , %	N_a	<i>PIC</i>
	<i>GDF9/G1</i>	<i>CAST</i>	<i>KRT1.2</i>	<i>KAP1.3</i>				
Буубэй	-0,052	-0,052	0,037	0,066	17,7	63,1	2,47	0,193
Забайкальская	-0,036	0,011	0,032	-0,084	10,6	19,8	1,27	0,200

Живая масса овец – один из главных показателей в селекции, так как он хорошо коррелирует с настригом шерсти, сохранностью молодняка, воспроизводительными способностями. В породе буубэй в связи с малочисленностью животных в группе баранов анализ не проводился. В забайкальской тонкорунной породе бараны с гомозиготным генотипом *CAST^{MM}* имеют более высокую живую массу на 20,2 кг, по сравнению с гетерозиготными.

готными животными ($p \leq 0,01$) (табл. 4). По другим генам у баранов различий не выявлено. Также не выявлено ассоциативных связей генотипов исследуемых генов у овцематок забайкальской породы и буубэй.

Таблица 4.

Живая масса овцематок буубэй и забайкальской пород с учетом генотипов по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*, кг

Генотип	Порода буубэй		Порода забайкальская			
	п	матки	п	Бараны	п	матки
<i>GDF9/G1^{AG}</i>	5	48,0 ± 2,3	-	-	5	58,0 ± 2,6
<i>GDF9/G1^{GG}</i>	50	48,8 ± 0,6	29	90,7 ± 3,5	66	58,15 ± 0,86
<i>CAST^{MM}</i>	49	48,8 ± 0,6	25	93,2 ± 3,3	57	58,4 ± 0,95
<i>CAST^{MN}</i>	6	48,3 ± 1,6	4	73,0 ± 6,2	13	57,4 ± 1,63
<i>KRT1.2^{MM}</i>	50	48,7 ± 0,6	25	92,1 ± 3,5	49	58,2 ± 0,9
<i>KRT1.2^{MN}</i>	5	48,6 ± 1,7	4	80,0 ± 7,5	20	56,9 ± 1,4
<i>KAP1.3^{XX}</i>	25	49,3 ± 1,3	20	90,9 ± 4,0	41	56,9 ± 1,0
<i>KAP1.3^{XY}</i>	25	48,4 ± 0,8	9	89,3 ± 6,0	28	59,9 ± 1,5
<i>KAP1.3^{YY}</i>	15	48,7 ± 0,8	-	-		-

Шерстная продуктивность – селекционный признак, определяющий конкурентоспособность овец, особенно полутонкорунного и тонкорунного направления продуктивности. Эффективный подбор животных с учётом линейной принадлежности позволяет повысить настриг шерсти, улучшить соотношение «жир:пот», увеличить толщину ретикулярного слоя кожи [15]. Исследования шерстной продуктивности баранов породы буубэй не проводились в связи с малочисленностью животных в группах. У овцематок породы буубэй по длине пуха определены приоритетные генотипы *KRT1.2^{MM}* и *KAP1.3^{YY}*. Так, у животных с генотипом *KRT1.2^{MM}* пух длиннее на 0,58 см, чем у гетерозиготных по этому гену особей (табл. 5). Однако самый длинный пух был у животных с генотипом *KAP1.3^{YY}*, превосходящий на 1,2 см пух овец с альтернативным гомозиготным генотипом *KAP1.3^{XX}* ($p \leq 0,01$).

Связь генотипа *KRT1.2^{MM}* с длиной шерстного волокна не подтверждена в исследованиях на баранах забайкальской породы (табл. 6). Самое длинный штапель наблюдался у животных с генотипом *CAST^{MN}* (11,12). В то же время бараны с генотипом *KRT1.2^{MM}* отличались более высоким настригом шерсти 10,61, что чем у гетерозиготных животных на 1,19 кг ($p \leq 0,05$).

Таблица 5.

Шерстная продуктивность овцематок породы буубэй с учетом генотипов по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*

Генотип	n	Настриг шерсти, кг	Длина, см	
			пух	ость
<i>GDF9/G1^{AG}</i>	5	2,28 ± 0,06	5,20 ± 0,66	13,20 ± 0,92
<i>GDF9/G1^{GG}</i>	50	2,26 ± 0,03	5,34 ± 0,20	13,4 ± 0,30
<i>CAST^{MM}</i>	49	2,26 ± 0,03	5,18 ± 0,18	13,37 ± 0,30
<i>CAST^{MN}</i>	6	2,25 ± 0,08	6,50 ± 0,92	13,50 ± 1,12
<i>KRT1.2^{MM}</i>	50	2,27 ± 0,03	5,38 ± 0,21	13,44 ± 0,30
<i>KRT1.2^{MN}</i>	5	2,16 ± 0,07	4,80 ± 0,20	12,80 ± 1,16
<i>KAP1.3^{XX}</i>	15	2,25 ± 0,07	4,93 ± 0,40	13,20 ± 0,61
<i>KAP1.3^{XY}</i>	25	2,24 ± 0,03	5,08 ± 0,20	13,60 ± 0,36
<i>KAP1.3^{YY}</i>	15	2,29 ± 0,04	6,13 ± 0,43	13,2 ± 0,63

Таблица 6.

Шерстная продуктивность баранов забайкальской породы с учетом генотипов по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*

Генотип	n	Настриг шерсти, кг	Длина шерсти, см	Качество тонины, %	
				класс 64	класс 60
<i>GDF9/G1^{GG}</i>	29	10,52 ± 0,22	10,91 ± 0,20	88,9	11,1
<i>CAST^{MM}</i>	25	10,56 ± 0,22	10,76 ± 0,22	88,0	12,0
<i>CAST^{MN}</i>	4	9,75 ± 0,70	11,12 ± 0,43	75,0	25,0
<i>KRT1.2^{MM}</i>	25	10,61 ± 0,23	10,90 ± 0,22	88,0	12,0
<i>KRT1.2^{MN}</i>	4	9,42 ± 0,36	10,25 ± 0,43	75,0	1,0
<i>KAP1.3^{XX}</i>	20	10,52 ± 0,26	10,85 ± 0,23	80,0	20,0
<i>KAP1.3^{YY}</i>	9	10,29 ± 0,42	10,72 ± 0,42	100,0	0,0

Однако у овцематок забайкальской породы генотипов, связанных с шерстной продуктивностью не выявлено, возможно, это явилось следствием выравнивания этого показателя у животных в результате длительного отбора по настригу и длине шерсти (табл. 7).

На современном этапе развития маркерной селекции в племенном овцеводстве накоплены определённые знания о полиморфизме структурных генов (SNP) в разных породах овец. При этом следует отметить, что сведений относительно их связи с хозяйственно-ценными признаками явно недостаточно, и они носят противоречивый характер. Так, например, в исследованиях [11], проведённых на овцах горноалтайской тонкорунной породы был выявлен желательный генотип *GDF9^{AA}*, оказывающий влия-

ние на мясные качества. У животных с этим генотипом была выше предубойная масса на 1,62 и 7,01 кг, масса туши на – 1,34 и 3,98 кг, выход мяса – 1,26-1,86 %, по сравнению с *GDF9^{AB}* и *GDF9^{BB}* генотипами. В волгоградской породе, по данным [18], живая масса при рождении ягнят с гетерозиготным генотипом была выше на 0,156 кг, в сравнении с другими генотипами этого гена. В этой же породе в гене *CAST* был выявлен гетерозиготный генотип *CAST^{MN}*, носители которого превосходили своих сверстников по предубойной массе с генотипом *CAST^{MM}* на 3,7 кг [20].

Таблица 7.

Шерстная продуктивность овцематок забайкальской породы с учетом генотипов по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*

Генотип	n	Настриг шерсти, кг	Длина шерсти, см	Качество тонины, %	
				класс 64	класс 60
<i>GDF9/G1^{AG}</i>	5	4,80 ± 0,17	10,20 ± 0,58	40,0	60,0
<i>GDF9/G1^{GG}</i>	66	4,74 ± 0,06	9,82 ± 0,09	46,2	53,8
<i>CAST^{MM}</i>	57	4,77 ± 0,07	9,86 ± 0,10	44,6	55,4
<i>CAST^{MN}</i>	13	4,65 ± 0,08	9,69 ± 0,24	42,9	57,1
<i>KRT1.2^{MM}</i>	49	4,70 ± 0,07	9,89 ± 0,11	45,8	54,2
<i>KRT1.2^{MN}</i>	20	4,78 ± 0,09	9,68 ± 0,18	45,5	54,5
<i>KAP1.3^{XX}</i>	41	4,68 ± 0,07	9,85 ± 0,13	37,5	62,5
<i>KAP1.3^{XY}</i>	28	4,83 ± 0,10	9,78 ± 0,15	53,6	46,4

Существующие данные в мировой литературе по связи генов *KRT1.2*, *KAP1.3* с настригом шерсти и качеством штапеля позволили выявить приоритетные генотипы для последующей селекции. Овцы породы Стоунхерст с гаплотипами *KAP1.1 B - KAP1.3 J - KRT1.2 D* имели более длинное штапельное волокно, по сравнению с альтернативными генотипами. Напротив, аллель *KRT1.2 E* был связан с наименьшей длиной штапеля и более ярким цветом шерсти [21].

Положительная связь генотипов гена *KRT 3.1* с настригом шерсти и её качеством была показана в исследованиях на овцах новозеландских овцах Ромни, мериносов и белых дорперов. Животных с генотипом BC имели более высокий выход чистой шерсти, и более длинный штапель, чем, чем овцы *KRT 3.1^{AA}*, *KRT 3.1^{AB}*, AC и *KRT 3.1^{BB}* [23; 25].

Заключение

В результате проведённых исследований установлена генотипическая структура забайкальской породы и буубэй по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*,

KAP1.3. Показано, что частота генотипов и аллелей генов *GDF9/G1* и *CAST* в изучаемых породах имеет высокое сходство. Более 90 % животных имеют генотип *GDF9/G1^{GG}* и в настоящих выборках пород генотип *GDF9/G1^{AA}* не выявлен, несмотря на разное направленное шерстной продуктивности. Аналогичная ситуация наблюдается и в отношении гена *CAST*, где на долю гомозиготного генотипа *CAST^{MM}* приходится также 82 и 90 %. Генотип *CAST^{NN}* выявляется крайне редко. Установленная нами генотипическая структура по этим генам в забайкальской породе и буубэй подтверждена нами ранее на других породах, что, видимо, связано с селекционным отбором по энергии роста молодняка или видовыми особенностями.

Несколько иная ситуация наблюдается по распределению генотипов генов *KRT1.2*, *KAP1.3*, связанных с шерстной продуктивностью и качеством шерсти. В породе буубэй более 90 % животных имеют генотип *KRT1.2^{MM}*, тогда как в забайкальской породе он выявлен только у 74 % овец. В то же время следует отметить низкую частоту генотипа *CAST^{NN}* в обеих породах (0,0% - 2,0 %).

Более значимые различия между породами определены по частотам генотипа гена *KAP1.3*, что, возможно, связано с селекционным давлением по качеству шерсти в забайкальской тонкорунной породе.

Значения популяционно-генетических параметров в сравниваемых породах по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*. характеризуют особенности изучаемых пород, в которых генное равновесие не нарушено (χ^2 находится в пределах 0,0058 - 0,7130), инбридинга в стадах не наблюдается (*Fis* около нуля), генетическое разнообразие *PIC* составляет 0,193 и 0,200. Однако генетическая изменчивость выше в породе буубэй в 3 раза и гомозиготность на 7,1 %.

Проведённый анализ связи генотипов с настригом шерсти и длиной штапеля позволил выявить единичные ассоциативные связи. Так в забайкальской тонкорунной породе у баранов-производителей желательным генотипом по живой массе был *CAST^{MM}*, по длине пуха у овцематок породы буубэй – *KRT1.2^{MM}* и *KAP1.3^{YY}*, по настригу шерсти у баранов забайкальской породы генотип *CAST^{MM}*. Полученные данные в настоящем исследовании рассматриваются нами как предварительные, требующие уточнения в условиях увеличения выборки животных.

Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Review Board (приказ СФНЦА РАН № 198 от 05.09.2023).

Информационное согласие. Информационное согласие было получено от всех авторов, участвующих в исследовании.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

Информация о спонсорстве. Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 23-26-00014. <https://rscf.ru/project/23-26-00014/>

Список литературы

1. Генетическая структура овец западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород по генам *CAST*, *GDF9* и *KRT1.2* / О.Л. Халина, С.Н. Магер, Г.М. Гончаренко, Т.С. Хорошилова, Н.Б. Гришина // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2022. Вып. 4. С. 103-116. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-4-103-116>
2. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2022 год) / Г.И. Шичкин, Г.Ф. Сафина, Х.А. Амерханов, В.В. Чернов, Л.Н. Григорян, Г.Н. Хмелевская, С.А. Хатагаев, А.В. Равичева, Н.Г. Степанова. Москва: Издательство ФГБНУ ВНИИплем, 2023. 324 с.
3. Изменчивость микросателлитов в породах овец, разводимых в России / Т.Е. Денискова, М.И. Селионова, Е.А. Гладырь, А.В. Доцев, Г.Т. Бобрышева, О.В. Костюнина, Г. Брэм, Н.А. Зиновьева // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 6. С. 801-810. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.6.801rus>
4. Колосов Ю.А., Гетманцева Л.В., Широкова Н.В. Полиморфизм гена *GDF9* у овец сальской породы // Ветеринарная патология. 2014. № 3-4. С. 78-81.
5. Лушников В.П., Фетисова Т.О., Стрильчик А.А. Полиморфизм гена *CAST* у овец татарстанской и эдильбаевской пород // Овцы, козы, шерстяное дело. 2020. № 2. С. 9-11.
6. Митыпова Е.Н., Цыбикова Р.Н. Совершенствование овец аборигенной бурятской грубошерстной породы в направлении повышения продуктивности // Вестник Алтайского государственного университета. 2017. № 1 (147). С. 104-110.
7. Погодаев В.А., Кононова Л.В., Адучиев Б.К. Полиморфизм генов кальпастатина и соматотропина у овец калмыцкой курдючной породы и помесей (1/2 калмыцкая курдючная + 1/2 Дорпер) // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. N 3(47). С. 141-145. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-3-141-145>

8. Полиморфизм гена *CAST*, особенности жирнокислотного состава липидов крови овец разных генотипов в онтогенезе / Л.Н. Чижова, Е.С. Суржикова, Е.Д. Луцива, Н.И. Ефимова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. N 6. С. 47-51.
9. Полиморфизм гена *KRT1.2* у отечественных пород овец / Р.Ю. Сенина, Л.А. Калашникова, В.П. Лушников, М.Б. Павлов // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. №3. С. 20-23.
10. Полиморфизм гена *KAP 1.3* у отечественных пород овец разного направления продуктивности / Р.Ю. Сенина, Л.А. Калашникова, В.П. Лушников, К.К. Цой // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019. №4. С. 10-12.
11. Селионова М.И., Евлагина Д.Д., Светличный С.И. Полиморфизм гена *GDF9* и его связь с молочной продуктивностью овец породы Лакон // Молекулярно-генетические технологии анализа экспрессии генов продуктивности и устойчивости к заболеваниям животных: Материалы Третьей Международной научно-практической конференции в рамках года науки и технологий Российской Федерации по тематике «Генетика и качество жизни». 2021. С. 396-403.
12. Сравнительная оценка генофондов пород овец на основании ISSR-анализа / Л.В. Нестерук, Н.Н. Макарова, А.Н. Евсюков, С.Г. Рвищева, Б.Б. Лхасаранов, Ю.А. Столповский // Генетика. 2016. Т. 52. №3. С. 346-356. <https://doi.org/10.7868/S0016675816030115>
13. Формирование мясной продуктивности у бычков разных генотипов *DGATI* / Т.А. Седых, Л.А. Калашникова, И.Ю. Долматова, Р.С. Гизатуллин, В.И. Косилов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Vol. 15, № 3. С. 156-174. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-155-174>
14. Чесноков Ю.В., Артемьева А.М. Оценка меры информационного полиморфизма генетического разнообразия // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 571-578. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.5.571rus>
15. Шерстная продуктивность и качество шерсти овец породы Российский мясной меринос от внутри-и межлинейного подбора / Е.Н. Чернобай, А.И. Суров, Н.А. Резун, О.Н. Онищенко, С.А. Олейник // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15. № 1. С. 179-206. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-179-207>
16. A 5-Methylcytosine Site of Growth Differentiation Factor 9 (GDF9) Gene Affects Its Tissue-Specific Expression in Sheep / Z. Pan, X Wang., R Di., Q. Liu, W Hu., X. Cao, X Guo, X. He, S. Lv, F.Li, H. Wang, M. Chu // Animals. 2018. Vol. 8(11). <https://doi.org/10.3390/ani8110200>
17. Calpastatin (*CAST*) gene polymorphism in Kajli, Lohi and Thalli sheep breeds / M. Suleman, S.U. Khan, M.N. Riaz NRiaz M. Yousaf, Abdullah. Shah, R.

- Ishaq, A. Ghafoor // African Journal of Biotechnology. 2012. Vol. 47, № 11. P. 10655-10660. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2478>
18. Effect of the gene *GDF9* on the weight of lambs at birth / L. Getmantseva, N. Bakoev, N. Shirokova, M. Kolosova, S. Bakoev, A. Kolosov, A. Usatov, V. Shevtsova, Yu. Kolosov // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019. Vol. 25(1). P. 153-157. <https://www.agrojournals.org/25/01-21.pdf>
 19. *GDF9* gene polymorphism and its association with litter size in two Russian sheep breeds / I.F. Gorlov, Y.A. Kolosov, N.V. Shirokova Lyubov V. Getmantse, M.I. Slozhenkina, N.I. Mosolova, N.F. Bakoev, M.A. Leonova, A. Yu. Kolosov, E.Yu. Zlobina // Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali. 2018. Vol. 29. P. 61-66. <https://doi.org/10.1007/s12210-017-0659-2>
 20. Determination of CAST gene polymorphism in sheep of the Volgograd breed / Yu.A. Kolosov, I.F. Gorlov, A. Yu. Kolosov, N.V. Shirokova, A.Ya. Kulikova, M.A. Kolosova, M.I. Slozhenkina, E.S. Vorontsova, N.N. Kolosova // IV international conference on agribusiness, environmental engineering and biotechnologies Agritech-iv-2020. IOP conference series: earth and environmental science, Krasnoyarsk. 2021. P. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052112>
 21. Itenge-Mweza T.O. Identification of genetic markers associated with wool quality traits in merino sheep. Ph.D. Thesis, Lincoln University, Christchurch, New Zealand. 2007. 225 p.
 22. Khederzadeh S., Iranmanesh M., Motamedi-Mojdehi R. Genetic diversity of myostatin and calpastatin genes in Zandi sheep // Journal of Livestock Science and Technologies. 2016. Vol. 4(1). P. 45–52. <https://en.civilica.com/doc/862246/>
 23. *KRT 1.2* gene polymorphism & its association with wool traits in Rambouillet sheep / V.P. Singh, RK. Taggar, D. Chakraborty, B.P Singh, P. Khajuria, S. Singh, P. Gupta // The Pharma Innovation Journal. 2022. Vol. 11(6). P. 2619-2621.
 24. Mutations in the genes for oocytederived growth factors *GDF9* and *BMP15* are associated with both in-creased ovulation rate and sterility in Cambridge and belclare ship (*Ovis aries*) / J.P. Hanrahan, S.M. Gregan, T.P. Milsan // Biology of Reproduction. 2004. Vol. 70 (4). P. 900-909. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.103.023093>
 25. Nucleotide variation in the ovine *KRT3.1* promoter region and its association with variation in wool traits in Merino-cross lambs / W. Chai, H. Zhou, H. Gong, J. Wang, Y. Luo, J. Hickford // The Journal of Agricultural Science. 2019. Vol. 157(2). P. 182-188. <https://doi.org/10.1017/S0021859619000406>
 26. Polymorphism of genes *CAST*, *GH*, *GDF9* of sheep of the Dagestan mountain breed / A.A. Ozdermirov, L.N. Chizhova, A. A. Khozhokov, E.S. Surzhikova, G.D. Dogeev, S.Sh. Abdulmagomedov // South of Russia: ecology, develop-

- ment. 2021. Vol. 16. No 2. P. 39-44. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-39-44>
27. Polymorphism of the *KAP 1.1*, *KAP 1.3* and *K33* genes in merino sheep / T.O. Itenge-Mweza, R.H.J. Forres, G.W. McKenzie, H. A., Abbot J., O. Amofo, J.G.H. Hickford // *Molecular and Cellular Probes*. 2007. Vol. 21. P. 338-342. <https://doi.org/10.1007/s12210-017-0659-2>
28. Polymorphism of *KRT1.2* and *KAP 1.3* genes in Indian sheep breeds / R. Kumar, A.S. Meena, R. Kumari, B. Jyotsana, L.L.L. Prince, S. Kumar // *Indian Journal of Small Ruminants*. 2016. Vol. 1(22). P. 28-31. <https://doi.org/10.5958/0973-9718.2016.00018.0>
29. Three complete linkage SNPs of gene *GDF9* affect the litter size probably mediated by *OCT1* in hu sheep / Y. Li, W. Jin, Y. Wang, J. Zhang, C. Meng, H. Wang, Y. Qian, Q. Li, and S. Cao // *DNA and Cell Biology*. 2020. Vol. 39. № 4. P. 563-571. <https://doi.org/10.1089/dna.2019.4984>
30. Shahram N., Goodarzi M. Polymorphism of candidate genes for meat production in Lori sheep // *IERI Procedia*. 2014. Vol. 8. P. 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.09.004>

References

1. Genetic structure of sheep of West Siberian meat and Kulunda thin-cross breeds by genes *CAST*, *GDF9* and *KRT1.2* / O.L. Khalina, S.N. Mager, G.M. Goncharenko, T.S. Khoroshilova, N.B. Grishina. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2022, no. 4, pp. 103-116. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-4-103-116>
2. Yearbook on pedigree work in sheep and goat breeding in farms of the Russian Federation (2022) / G.I. Shichkin, G.F. Safina, H.A. Amerkhanov, V.V. Chernov, L.N. Grigoryan, G.N. Khmelevskaya, S.A. Khatataev, A.V. Ravilov. Chernov, L.N. Grigoryan, G.N. Khmelevskaya, S.A. Khatataev, A.V. Ravicheva, N.G. Stepanova. Moscow, 2023, 324 p.
3. Variability of microsatellites in sheep breeds bred in Russia / T.E. Deniskova, M.I. Selionova, E.A. Gladyr, A.V. Dotsev, G.T. Bobrysheva, O.V. Kostyunina, G. Bram, N.A. Zinovieva. *Agricultural Biology*, 2016, vol. 51, no. 6, pp. 801-810. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.801rus>
4. Kolosov Yu.A., Getmantseva L.V., Shirokova N.V. Polymorphism of the *GDF9* gene in sheep of the Salish breed. *Veterinary Pathology*, 2014, no. 3-4, pp. 78-81.
5. Lushnikov V.P., Fetisova T.O., Strilchik A.A. Polymorphism of the *CAST* gene in sheep of Tatarstan and Edilbaev breeds. *Sheep, goats, wool business*, 2020, no. 2, pp. 9-11.

6. Mitypova E.N., Tsybikova R.N. Improvement of sheep of aboriginal Buryat rough-wooled breed in the direction of increasing productivity. *Bulletin of Altai State University*, 2017, no. 1 (147), pp. 104-110.
7. Pogodaev V.A., Kononova L.V., Aduchiev B.K. Polymorphism of calpastatin and somatotropin genes in sheep of Kalmykian Kurdy breed and ponies (1/2 Kalmykian Kurdy + 1/2 Dorper). *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2019, no. 3(47), pp. 141-145. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-3-141-145>
8. CAST gene polymorphism, features of fatty acid composition of blood lipids of sheep of different genotypes in ontogenesis / L.N. Chizhova, E.S. Surzhikova, E.D. Lutsiva, N.I. Efimova. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*, 2020, no. 6, pp. 47-51.
9. KRT1.2. gene polymorphism in domestic breeds of sheep / R.Yu. Senina, L.A. Kalashnikova, V.P. Lushnikov, M.B. Pavlov. *Sheep, goats, wool business*, 2018, no. 3, pp. 20-23.
10. KAP 1.3 gene polymorphism in domestic breeds of sheep of different productivity direction / R.Yu. Senina, L.A. Kalashnikova, V.P. Lushnikov, K.K. Tsoi. *Sheep, goats, wool business*, 2019, no. 4, pp. 10-12.
11. Selionova M.I., Evlagina D.D., Svetlichnyi S.I. Polymorphism of the gene GDF9 and its relationship with milk productivity of sheep breed Lakon. *Molecular genetic technologies for analyzing gene expression of productivity and resistance to diseases in animals: Proceedings of the Third International Scientific and Practical Conference in the framework of the Year of Science and Technology of the Russian Federation on "Genetics and quality of life"*, 2021, pp. 396-403.
12. Comparative evaluation of gene pools of sheep breeds based on ISSR-analysis / L.V. Nesteruk, N.N. Makarova, A.N. Evsyukov, S.G. Rvischeva, B.B. Lhasaranov, Yu.A. Stolpovsky. *Genetics*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 346-356. <https://doi.org/10.7868/S0016675816030115>
13. Formation of meat productivity in steers of different DGAT1 genotypes / T.A. Sedykh, L.A. Kalashnikova, I.Yu. Dolmatova, R.S. Gizatullin, V.I. Kosilov. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 156-174. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-155-174>
14. Chesnokov Yu.V., Artemieva A.M. Evaluation of the measure of information polymorphism of genetic diversity. *Agricultural Biology*, 2015, vol. 50, no. 5, pp. 571-578. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.5.571rus>
15. Wool productivity and wool quality of Russian meat merino sheep from intra- and inter-line selection / E.N. Chernobay. Chernobay, A.I. Surov, N.A. Rezun,

- O.N. Onishchenko, S.A. Oleinik. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 179-206. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-179-207>
16. A 5-Methylcytosine Site of Growth Differentiation Factor 9 (GDF9) Gene Affects Its Tissue-Specific Expression in Sheep / Z. Pan, X Wang., R Di., Q. Liu, W Hu., X. Cao, X Guo, X. He, S. Lv, F.Li, H. Wang, M. Chu. *Animals*, 2018, vol. 8(11). <https://doi.org/10.3390/ani8110200>
 17. Calpastatin (CAST) gene polymorphism in Kajli, Lohi and Thalli sheep breeds / M. Suleman, S.U. Khan, M.N. Riaz NRiaz M. Yousaf, Abdullah. Shah, R. Ishaq, A. Ghafoor. *African Journal of Biotechnology*, 2012, vol. 47, no. 11, pp. 10655-10660. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2478>
 18. Effect of the gene *GDF9* on the weight of lambs at birth / L. Getmantseva, N. Bakoev, N. Shirokova, M. Kolosova, S. Bakoev, A. Kolosov. A. Usatov, V. Shevtsova, Yu. Kolosov. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2019, vol. 25(1), pp. 153-157. <https://www.agrojournal.org/25/01-21.pdf>
 19. *GDF9* gene polymorphism and its association with litter size in two Russian sheep breeds / I.F. Gorlov, Y.A. Kolosov, N.V. Shirokova Lyubov V. Getmantse, M.I. Slozhenkina, N.I. Mosolova, N.F. Bakoev, M.A. Leonova, A. Yu. Kolosov, E. Yu. Zlobina. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 2018, vol. 29, pp. 61-66. <https://doi.org/10.1007/s12210-017-0659-2>
 20. Determination of CAST gene polymorphism in sheep of the Volgograd breed / Yu.A. Kolosov, I.F. Gorlov, A. Yu. Kolosov, N.V. Shirokova, A. Ya. Kulikova, M.A. Kolosova, M.I. Slozhenkina, E.S. Vorontsova, N.N. Kolosova. *IV international conference on agribusiness, environmental engineering and biotechnologies Agritech-iv-2020. IOP conference series: earth and environmental science*. Krasnoyarsk, 2021, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052112>
 21. Itenge-Mweza T.O. *Identification of genetic markers associated with wool quality traits in merino sheep*. Ph.D. Thesis, Lincoln University, Christchurch, New Zealand, 2007, 225 p.
 22. Khederzadeh S., Iranmanesh M., Motamedi-Mojdehi R. Genetic diversity of myostatin and calpastatin genes in Zandi sheep. *Journal of Livestock Science and Technologies*, 2016, vol. 4(1), pp. 45–52. <https://en.civilica.com/doc/862246/>
 23. *KRT 1.2* gene polymorphism & its association with wool traits in Rambouillet sheep / V.P. Singh, RK. Taggar, D. Chakraborty, B.P Singh, P. Khajuria, S. Singh, P. Gupta. *The Pharma Innovation Journal*, 2022, vol. 11(6), pp. 2619-2621.
 24. Mutations in the genes for oocytederived growth factors *GDF9* and *BMP15* are associated with both in-crated ovulation rate and sterility in Cambridge and belclare ship (*Ovis aries*) / J.P. Hanrahan, S.M. Gregan, T.P. Milsan. *Biology*

- of Reproduction*, 2004, vol. 70 (4), pp. 900-909. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.103.023093>
25. Nucleotide variation in the ovine *KRT3.1* promoter region and its association with variation in wool traits in Merino-cross lambs / W. Chai, H. Zhou, H. Gong, J. Wang, Y. Luo, J. Hickford. *The Journal of Agricultural Science*, 2019, vol. 157(2), pp. 182-188. <https://doi.org/10.1017/S0021859619000406>
 26. Polymorphism of genes *CAST*, *GH*, *GDF9* of sheep of the Dagestan mountain breed / A.A. Ozdermirov, L.N. Chizhova, A. A. Khozhokov, E.S. Surzhikova, G.D. Dogeev, S.Sh. Abdulmagomedov. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 2, pp. 39-44. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-39-44>
 27. Polymorphism of the *KAP 1.1*, *KAP 1.3* and *K33* genes in merino sheep / T.O. Itenge-Mweza, R.H.J. Forres, G.W. McKenzie, H. A., Abbot J., O. Amofo, J.G.H. Hickford. *Molecular and Cellular Probes*, 2007, vol. 21, pp. 338-342. <https://doi.org/10.1007/s12210-017-0659-2>
 28. Polymorphism of *KRT 1.2* and *KAP 1.3* genes in Indian sheep breeds / R. Kumar, A.S. Meena, R. Kumari, B. Jyotsana, L.L.L. Prince, S. Kumar. *Indian Journal of Small Ruminants*, 2016, vol. 1(22), pp. 28-31. <https://doi.org/10.5958/0973-9718.2016.00018.0>
 29. Three complete linkage SNPs of gene *GDF9* affect the litter size probably mediated by OCT1 in hu sheep / Y. Li, W. Jin, Y. Wang, J. Zhang, C. Meng, H. Wang, Y. Qian, Q. Li, and S. Cao. *DNA and Cell Biology*, 2020, vol. 39, no. 4, pp. 563-571. <https://doi.org/10.1089/dna.2019.4984>
 30. Shahram N., Goodarzi M. Polymorphism of candidate genes for meat production in Lori sheep. *IERI Procedia*, 2014, vol. 8, pp. 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.09.004>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Гончаренко Галина Моисеевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биотехнологии
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
р.п. Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, 630501, Российская Федерация
gal.goncharenko@mail.ru

Хаамируев Тимур Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник

*Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири – филиал ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
ул. Кирова, 49, г. Чита, 672010, Российская Федерация
tnik0979@mail.ru*

Солбон Мункуевич Дашинимаев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
*Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири – филиал ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
ул. Кирова, 49, г. Чита, 672010, Российская Федерация
solbonmd@mail.ru*

Хорошилова Татьяна Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
р.п. Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, 630501, Российская Федерация
tatagoryacheva@mail.ru*

Халина Ольга Леонидовна, научный сотрудник лаборатории биотехнологии
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
р.п. Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, 630501, Российская Федерация
halinaolga@mail.ru*

Гришина Наталья Борисовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
р.п. Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, 630501, Российская Федерация
natalja.grishina@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Galina M. Goncharenko, Doctor of Science in Biology, Chief Researcher of the Laboratory of Biotechnology

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS)

Krasnoobsk, Novosibirsk Oblast, 630501, Russian Federation

gal.goncharenko@mail.ru

SPIN-code: 7129-7759

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6248-0167>

ResearcherID: K-8079-2017

Timur N. Khamiruev, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher

Research Institute of Veterinary of Eastern Siberia – a branch of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

49, Kirova Str., Chita, 672010, Russian Federation

tnik0979@mail.ru

SPIN-code: 4899-2519

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0147-2929>

ResearcherID: Q-2628-2016

Solbon M. Dashinimaev, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

Research Institute of Veterinary of Eastern Siberia – a branch of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

49, Kirova Str., Chita, 672010, Russian Federation

solbonmd@mail.ru

SPIN-code: 5237-7529

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1294-5963>

ResearcherID: I-2806-2018

Tatyana S. Khoroshilova, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher at the Laboratory of Biotechnology

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS)

Krasnoobsk, Novosibirsk Oblast, 630501, Russian Federation

tatagoryacheva@mail.ru

Olga L. Khalina, Researcher at the Laboratory of Biotechnology
*Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian
Academy of Sciences (SFSCA RAS)*
Krasnoobsk, Novosibirsk Oblast, 630501, Russian Federation
halinaolga@mail.ru

Natalya B. Grishina, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher at
the Laboratory of Biotechnology
*Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian
Academy of Sciences (SFSCA RAS)*
Krasnoobsk, Novosibirsk Oblast, 630501, Russian Federation
natalja.grishina@gmail.com

Поступила 08.12.2023

После рецензирования 22.01.2024

Принята 10.02.2024

Received 08.12.2023

Revised 22.01.2024

Accepted 10.02.2024