

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.877-883>

УДК 636.082.2

**Ассоциация генотипов коров холмогорской породы по бета-казеину с молочной продуктивностью**© 2022. Е. В. Парыгина<sup>1</sup>, Н. А. Худякова<sup>1</sup>✉, О. В. Тулинова<sup>2</sup>, А. А. Первухина<sup>1</sup>, И. В. Селькова<sup>1</sup>, И. С. Кожевникова<sup>1</sup>, М. А. Кудрина<sup>1</sup><sup>1</sup>ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Российская Федерация,<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Цель исследования – выявление частоты встречаемости различных аллельных вариантов и генотипов бета-казеина у коров холмогорской породы и их связи с молочной продуктивностью. Задачи: генотипирование крупного рогатого скота холмогорской породы по локусу бета-казеина и установление его связи с качественными и количественными показателями молочной продуктивности. Объект и методы: 150 коров 1, 2 и 3-ей лактаций. Для идентификации A1 и A2 бета-казеина использован аллель-специфичный вариант метода ПЦР (АС-ПЦР). Результаты: в исследуемой части стада выявлено 23 % животных с генотипом A2A2, 43 % – с генотипом A1A1 и 34 % – с генотипом A1A2. За 100 дней первой лактации наибольшее значение по удою показали животные с генотипом A1A2. Животные с генотипом A2A2 за 305 дней лактации имели самый высокий удой и количество молочного белка, однако разница статически не значима по сравнению с животными с генотипом A1A2. Генотип A1A1 имеет более низкие по всем исследуемым параметрам показатели, с достоверной разницей относительно генотипов A1A2 и A2A2. Таким образом, изучение CSN2 является перспективным направлением научных изысканий, а результаты исследования генотипов по бета-казеину могут быть использованы в качестве маркерной селекции при совершенствовании стад холмогорской породы.*

**Ключевые слова:** молочный белок, генотип, частота встречаемости, корова, Архангельская область

**Благодарности:** работа подготовлена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения темы государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Разработка системы производства полноценной и экологически безопасной продукции отрасли молочного животноводства в АЗ РФ на основе использования генотипированных племенных животных» (FUUW-2021-0005) (регистрационный номер 121122800216-6).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Парыгина Е. В., Худякова Н. А., Тулинова О. В., Первухина А. А., Селькова И. В., Кожевникова И. С., Кудрина М. А. Ассоциация генотипов коров холмогорской породы по бета-казеину с молочной продуктивностью. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2022;23(6):877-883. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.877-883>

Поступила: 25.07.2022

Принята к публикации: 10.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

**Association of genotypes of cows of the Kholmogory breed by beta-casein with milk productivity**© 2022. Ekaterina V. Parygina<sup>1</sup>, Natalya A. Khudyakova<sup>1</sup>✉, Olga V. Tulinova<sup>2</sup>, Anastasia A. Pervukhina<sup>1</sup>, Iya V. Selkova<sup>1</sup>, Irina S. Kozhevnikova<sup>1</sup>, Marina A. Kudrina<sup>1</sup><sup>1</sup>Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Archangelsk, Russian Federation<sup>2</sup>Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Saint-Petersburg, Russian Federation

*The aim of the study is to identify the frequency of occurrence of various allelic variants and genotypes of beta-casein in cows of the Kholmogory breed and their relationship with dairy productivity. The tasks of the research are genotyping of cattle of the Kholmogory breed by the beta-casein locus and establishing its connection with qualitative and quantitative indicators of dairy productivity. As the objects for the research there were taken 150 cows of the 1st, 2nd and 3rd*

*lactation. An allele-specific variant of the PCR method (AS-PCR) was used to identify A1 and A2 beta-casein. As the result it had been established that in the studied part of the herd, 23 % of animals had the A2A2 genotype, 43 % of animals had the A1A1 genotype and 34 % of animals had the A1A2 genotype. For 100 days of the first lactation, animals with A1A2 genotype showed the highest value in milk yield. Animals with A2A2 genotype for 305 days of lactation had the highest milk yield and the amount of milk protein, however, the difference was not statistically significant compared to the animals with A1A2 genotype. Genotype A1A1 has lower indicators by all the parameters studied, with a significant difference relative to genotypes A1A2 and A2A2. Thus, the study of CSN2 is a promising area of scientific research, and the results of the study of beta-casein genotypes can be used as a marker selection in improving the herds of the Kholmogory breed.*

**Keywords:** milk protein, genotype, frequency of occurrence, cow, Arkhangelsk region

**Acknowledgements:** the research is carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the FECIAR UrB RAS "Development of the system of production of balanced and environmentally safe dairy products in the Arctic Zone of the Russian Federation based on the use of genotyped breeding animals" (FUUW-2021-0005) (registration number 121122800216-6).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the authors stated that there was no conflict of interest.

**For citation:** Parygina E. V., Khudyakova N. A., Tulinova O. V., Pervukhina A. A., Selkova I. V., Kozhevnikova I. S., Kudrina M. A. Association of genotypes of cows of the Kholmogory breed by beta-casein with milk productivity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):877-883. (In Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.877-883>

Received: 25.07.2022

Accepted for publication: 10.11.2022

Published online: 16.12.2022

На сегодняшний день молочное скотоводство в Российской Федерации является одним из ведущих направлений сельского хозяйства. Архангельская область не стала исключением, здесь осуществляется разведение отечественной породы крупного рогатого скота – холмогорской, которая обладает важными качествами, необходимыми для жизни в условиях русского севера [1].

Вопросом комплексного мониторинга популяций скота холмогорской породы по важным хозяйственно ценным признакам с целью повышения экономической эффективности разведения животных занимаются разные исследователи [2, 3]. При этом особое внимание уделяется генетическому полиморфизму бета-казеина.

Бета-казеин является одним из основных казеиновых белков коровьего молока и составляет приблизительно 45 % от общего числа белков. Полиморфизм гена бета-казеина (CSN2) в последние годы стал ценным хозяйственно полезным признаком, так как варианты A1 и A2 бета-казеина имеют значение как в отношении качественных и количественных показателей молока, так и в отношении полезных свойств продукта для потребителя [4, 5].

Считается, что A2 является исходным бета-казеиновым белком, а A1 это результат мутации, произошедшей у европейского крупного рогатого скота несколько тысяч лет назад [6, 7]. «Молоко A2», полученное от коров с генотипами A2A2, является перспективным продуктом для производства, так как в отличие от «молока A1» не вызывает негативных

последствий для организма человека: воспаление кишечника, обострение желудочно-кишечных симптомов [8, 9, 10, 11, 12].

Можно предположить, что «Молоко A2» будет пользоваться спросом среди потребителей Архангельской области из-за своих качеств и положительного влияния на здоровье человека. Производителями молока A2 могут считаться только коровы с комбинацией аллелей A2A2. Какое молоко производит корова – A1 или A2, целиком и полностью зависит от ее генетики. Ни за счет кормления, ни за счет содержания получить молоко A2 невозможно. Поэтому генотипирование животных по бета-казеину становится насущной задачей.

**Цель исследования** – оценка частоты встречаемости различных аллельных вариантов CSN2 у коров холмогорской породы и выявление их ассоциаций с признаками молочной продуктивности.

**Научная новизна:** впервые было проведено генотипирование маточного поголовья крупного рогатого скота холмогорской породы ООО «Агрофирма Холмогорское» на ген бета-казеина и исследованы ассоциации разных генотипов животных.

**Материал и методы.** Для определения полиморфизма CSN2 в стаде ООО «Агрофирма «Холмогорская» Архангельской области из 410 коров было отобрано 150 голов разных возрастных групп, из них 74 первотелки, введенные в основное стадо в 2021-2022 гг. Животные были как чистопородные холмогорские, так и помесные по голштинской породе. По оценке молочной продуктивности животных

за первые 100 дней лактации, в выборке участвовало 145 голов, т. к. у 5 животных не было показателей по данным параметрам.

Кровь, полученную из яремной вены животных, отбирали в пробирки со 100 мМ ЭДТА до конечной концентрации 10 мМ. Геномную ДНК выделяли с помощью набора реагентов «ДНК-Экстран-2».

Для определения аллелей А1 и А2 бета-казеина применяли аллель-специфичный вариант метода ПЦР (АС-ПЦР) [13].

Для проведения ПЦР были использованы праймеры синтезированные ЗАО «Синтол» с нуклеотидной последовательностью [13]:

GBhF: 5'-СТТ-ССС-TGG- GCC-CAT-ССА-3' (прямой праймер аллеля А1);

IGBhF: 5'-СТТ-ССС-TGG-GCC-CAT-ССС-3' (прямой праймер аллеля А2);

IGBhR: 5'-АГА-СТГ-GAG-CAG-АGG-CAG-АГ-3' (обратный праймер А1, А2).

ПЦР-программа проходила в температурно-временном режиме: начальная денатурация – 5 минут при 94 °С; следует 5 циклов: 30 секунд при 94 °С; 30 секунд – 66 °С, 30 секунд – 72 °С; следует 30 циклов: 30 секунд при 94 °С; 30 секунд – 64 °С, 30 секунд – 72 °С; финальная достройка – 5 минут при 72 °С.

Визуализация результатов проведения аллель-специфичной ПЦР осуществлялась путем электрофореза амплификатов в 2 % агарозном геле (табл. 1).

*Таблица 1 – Характеристика фрагментов ДНК аллельных вариантов CSN2 / Table 1 – Characteristics of DNA fragments of allelic variants of CSN2*

Генотип CSN2 / CSN2 genotype	1 амплификат CSN2, (н.н) / 1 CSN2 amplification, (bp)	2 амплификаты CSN2, (н.н) / 2 CSN2 amplification, (bp)
A1A1	A1 – 244	A2 – нет амплификата / A2 – no amplification
A1A2	A1 – 244	A2 – 244
A2A2	A1 – нет амплификата / A1 – no amplification	A2 – 244

Частоту встречаемости генотипов рассчитывали согласно Е. К. Меркурьевой по формуле<sup>1</sup>:

$$P = \frac{n}{N}, \quad (1)$$

где  $P$  – частота определенного генотипа,  $n$  – количество животных, имеющих определенный генотип,  $N$  – общее число животных.

Частоту отдельных аллелей определили по формулам<sup>2</sup>:

$$P^A = \frac{(2n_{AA} + n_{AB})}{2N}; \quad (2)$$

$$Q^B = \frac{(2n_{BB} + n_{AB})}{2N}, \quad (3)$$

где  $P^A$  – частота аллеля А,  $Q^B$  – частота аллеля В,  $n_{AA}$ ,  $n_{AB}$ ,  $n_{BB}$  – количество животных с определенным генотипом,  $N$  – общее число животных.

**Результаты и их обсуждение.** Анализ аллелофонда генотипированных коров ( $n = 150$ ) показал, что частота встречаемости аллеля А1 по локусу бета-казеина составляла – 0,6, аллеля А2 – 0,4. То есть, на момент проведения

генотипирования животные холмогорской породы исследуемой части стада имели относительно высокую долю аллеля А2.

По возрастным группам частота встречаемости животных с генотипом А2А2 изменяется из года в год, что видно из данных таблицы 2, где показано увеличение относительной численности коров с генотипом А1А1 на 16 % и снижение доли коров с генотипом А1А2 с 52 до 31 %. Вероятно, этот процесс, а также увеличение на 17 % и дальнейшее снижение на 11 % доли коров с генотипом А2А2 зависит от производителей, закрепляемых за маточным поголовьем стада в тот или иной период времени, и отбора коров для ремонта основного стада по показателю молочной продуктивности.

С целью выявления наиболее перспективных генотипов для данного стада определена взаимосвязь показателей молочной продуктивности 145 животных разных возрастных групп и генотипов по бета-казеину.

<sup>1</sup>Меркурьева Е. К., Шангин-Березовский Г. Н. Генетика с основами биометрии. М.: Колос, 1983. 400 с.

<sup>2</sup>Там же.

**Таблица 2 – Частота встречаемости генотипов бета-казеина в разных возрастных группах коров (n = 150) / Table 2 – Frequency of occurrence of beta-casein genotypes in different age groups of cows (n = 150)**

Год первой лактации / The year of the first lactation	№ ПЗ лактации / No. of lactation	Количество животных (n) / Number of animals (n)	Частота встречаемости генотипов, % / Frequency of occurrence of genotypes, %		
			A1A1	A1A2	A2A2
2019-2020	3	21	34	52	14
2020-2021	2	55	40	29	31
2021-2022	1	74	49	31	20
2019-2022	1-3	150	43	34	23

В таблице 3 представлены данные по удою коров разных возрастов и генотипов за первые 100 дней лактации. Самые высокие показатели имели коровы генотипа A1A2, которые были введены в основное стадо в

период 2021-2022 гг. Данные показывают, что эти животные имеют значительное превосходство по величине удоя (2281±60) над аналогами с генотипом A1A1 и A2A2 на 285 и 150 кг соответственно.

**Таблица 3 – Средний удой коров за первые 100 дней первой лактации, кг / Table 3 – Average milk yield of cows for the first 100 days of the first lactation, kg**

Год первой лактации / The year of the first lactation	Количество животных (n) / Number of animals (n)	Генотип / Genotype					
		A1A1		A1A2		A2A2	
		n	удой / milk yield	n	удой / milk yield	n	удой / milk yield
Кровность по голштинской породе, % / Holstein bloodlines, %	145	62	34,8±4,0	50	47,6±3,0	33	46,4±3,0
2019-2020	20	7	1765±99	11	1781±70	2	1695±351
2020-2021	51	19	1929±64	16	2127±81	16	2026±85
2021-2022	74	36	1996±47	23	2281±60*	15	2131±58
По выборке	145	62	1950±36	50	2122±49*	33	2053±54
95% ДИ / By samples 95% CI	-	-	1880-2020	-	2026-2218	-	1948-2158

Примечание: различия достоверны по отношению к группе коров с генотипом A1A1 в аналогичный период при \*p≤0,05 /

Note: differences are reliable in relation to the group of cows with A1A1 genotype in the same period at \*p≤0.05

Доверительные интервалы (ДИ) удоя коров с генотипами A2A2 и A1A2 перекрывались, различие в удое коров этих групп было статистически незначимое (p>0,05). Статистически незначимое различие было и в удое коров двух гомозигот (A2A2, A1A1), т. к. доверительные интервалы этих групп также перекрывались. Статистически значимые различия отмечены только между группами животных с генотипами A1A1 и A1A2 с годом первой лактации 2021-2022 на 14,28 %, и в целом по выборке между теми же группами (A1A1 и A1A2) на 8,82 % в пользу последних.

В таблице 4 представлены данные по признакам молочной продуктивности первотелок за 305 дней лактации с разными генотипами.

Различие в удое коров с генотипами A1A2 и A2A2 было статистически незна-

чимым. У коров с генотипом A1A1 удой получили на 461 кг ниже (p<0,05) по сравнению с животными с генотипом A1A2 и на 506 кг ниже (p<0,05) по сравнению с генотипом A2A2.

Различие по количеству молочного жира у коров с генотипами A1A2 и A2A2 было статистически незначимым. Коровы с генотипом A1A1 по этому показателю имели достоверные различия по сравнению с животными с генотипами A1A2 (на 22 кг больше) и A2A2 (на 18 кг больше).

Различие по количеству молочного белка у коров с генотипами A1A2 и A2A2 было статистически незначимым. Коровы с генотипом A1A1 достоверно уступали аналогам с генотипом A1A2 на 14 кг (10,00 %), а с генотипом A2A2 на 19 кг (13,57 %).

*Таблица 4 – Характеристика молочной продуктивности за 305 дней первой лактации животных с разными генотипами бета-казеина /*

*Table 4 – Characteristics of milk productivity for 305 days of the first lactation of animals with different beta-casein genotypes*

Показатель / Indicator	Генотип / Genotype		
	A1A1 (n = 29)	A1A2 (n = 27)	A2A2 (n = 20)
Кровность по голштинской породе, % / Holstein bloodlines, %	31,3±3,0	45,4±3,0	42,5±3,0
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	4556±133	5017±154*	5062±201*
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	3,71±0,04	3,83±0,05	3,70±0,05
Количество молочного жира, кг / Amount of milk fat, kg	169±5	191±6*	187±7*
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	3,06±0,03	3,08±0,03	3,16±0,04
Количество молочного белка, кг / Amount of milk protein, kg	140±4	154±4*	159±6*

\* Различия достоверны по отношению к группе коров с генотипом A1A1 при  $p \leq 0,05$  /

\* Differences are reliable in relation to the group of cows with A1A1 genotype at  $p \leq 0.05$

При исследовании белкомолочности выявлено, что животные-носители генотипа A2A2 являются самыми ценными (3,16 %±0,04), имея незначительное превосходство по белку по сравнению со сверстницами с другими генотипами (+0,1 и +0,08 %).

Анализ результатов величины удоев за 305 дней первой лактации показал, что наивысшую продуктивность имеют гомозиготные животные по аллелю A2 (5062±201 кг) и гетерозиготные (5017±154 кг) со значительным превосходством над коровами с генотипом A1A1.

По качественному составу молока самую высокую жирномолочность (3,83 %) за 305 дней первой лактации показали животные с генотипом A1A2, что превосходит данный показатель по сравнению со сверстницами с генотипами A1A1 и A2A2 на 0,12 и 0,13 %, соответственно. Животные этого генотипа превышают стандарт по холмогорской породе на 0,13 %. По количеству молочного жира подтверждается тенденция преимущества коров с генотипом A1A2 (191±6 кг) по сравнению с A1A1 на 22 кг и A2A2 – на 4 кг.

На результаты наших исследований, можно предположить, оказало влияние то,

что в группах с генотипами A2A2 и A1A2 доля кровности по голштинской породе была выше по сравнению с группой, имеющей генотип A1A1.

**Заключение.** Холмогорская порода крупного рогатого скота является перспективной для целенаправленного производства «Молоко А2» в Архангельской области. Исследования полиморфизма CSN2 у скота холмогорской породы показали его связь с количественными показателями молока в изучаемой части стада. При генотипировании зафиксировано 23 % животных с генотипом A2A2. За 100 дней первой лактации наибольшее значение по удою показали животные с генотипом A1A2. Животные с генотипом A2A2 за 305 дней лактации имели самый высокий удой и количество молочного белка, однако разница статически незначима по сравнению с животными с генотипом A1A2. Генотип A1A1 имеет более низкие по всем исследуемым параметрам показатели.

Таким образом, изучение CSN2 является перспективным направлением научных изысканий, а результаты исследования генотипов по бета-казеину могут быть использованы в качестве маркерной селекции при совершенствовании стад холмогорской породы.

*References*

1. Прожерин В. П., Ялуга В. Л. Холмогорская порода. Молочное и мясное скотоводство. 2020;(7):10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44347183>  
Prozherin V. P., Yaluga V. L. Kholmogory breed. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2020;(7):10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44347183>
2. Матюков В. С., Жариков Я. А., Зиновьева Н. А. Генетическая история и ценность генофонда исчезающей холмогорской породы. Молочное и мясное скотоводство. 2018;(2):2-8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34859644>  
Matyukov V. S., Zharikov Ya. A., Zinovieva N. A. Genetic history and value of the gene pool appearing holmogosky breed. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2018;(2):2-8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34859644>
3. Калашникова Л. А., Хабибрахманова Я. А., Багаль И. Е., Ялуга В. Л., Прожерин В. П. Оценка полиморфизма комплексных генотипов CSN3, LGB, PRL, GH, LEP и молочной продуктивности у холмогорских коров. Молочное и мясное скотоводство. 2019;(2):14-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37304535>  
Kalashnikova L. A., Khabibrakhmanova Ya. A., Bagal I. E., Yaluga V. L., Prozherin V. P. Assessment of polymorphism of complex genotypes CSN3, LGB, PRL, GH, LEP and dairy productivity in kholmogory cows. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2019;(2):14-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37304535>
4. Валитов Ф. Р. Ассоциация полиморфизма гена бета-казеина с молочной продуктивностью коров плановых пород Республики Башкортостан. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017;(1(63)):207-209. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28767185>  
Valitov F. R. Association of the beta-casein gene polymorphism with milk yields of planned cow breeds in the Republic of Bashkortostan. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017;(1(63)):207-209. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28767185>
5. Andiç S., Ayaz R. M., Oğuz Ş. A1 milk and beta-casomorphin-7. Food Health. 2021;7(2):128-137. DOI: <https://doi.org/10.3153/FH21014>
6. Malarmathi M., Senthil K. T., Parthiban M., Muthuramalingam T. T. Using allele specific PCR in Kangeyam and Holstein Friesian crossbred cattle in Tamil Nadu. Indian journal of veterinary and animal sciences and research. 2014;(43):310-315. URL: [https://www.researchgate.net/publication/301341851\\_ANALYSIS\\_OF\\_ss-CASEIN\\_GENE\\_FOR\\_A1\\_AND\\_A2\\_GENOTYPE\\_USING\\_ALELE\\_SPECIFIC\\_PCR\\_IN\\_KANGEYAM\\_AND\\_HOLSTEIN\\_FRIESIAN\\_CROSSBRED\\_CATTLE\\_IN\\_TAMIL\\_NADU](https://www.researchgate.net/publication/301341851_ANALYSIS_OF_ss-CASEIN_GENE_FOR_A1_AND_A2_GENOTYPE_USING_ALELE_SPECIFIC_PCR_IN_KANGEYAM_AND_HOLSTEIN_FRIESIAN_CROSSBRED_CATTLE_IN_TAMIL_NADU)
7. Mumtaz S., Javed K., Dawood M., Imran M., Ali A., Ramzan N.  $\beta$  casein Polymorphism in Indigenous and Exotic Cattle Breeds of Pakistan. Pakistan Journal of Zoology. 2022;54(3):1451-1454. DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20190307030303>
8. He M., Sun J., Jiang Z. Q., Yang Y. X. Effects of cow's milk beta-casein variants on symptoms of milk intolerance in Chinese adults: a multicentre, randomised controlled study. Nutrition journal. 2017;16:72. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12937-017-0275-0>
9. De Gaudry D. K., Lohner S., Schmucker C., Kapp P., Motschall E., Horrlein S., Roger C., Meerpohl J. J. Milk A1  $\beta$ -casein and health-related outcomes in humans: a systematic review. Nutrition reviews. 2019;77(5):278-306. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy063>
10. Ramakrishnan M., Eaton T., Sermet O., Savaiano D. A Single meal of milk containing A2  $\beta$ -casein causes fewer symptoms and lower gas production than milk containing both A1 and A2  $\beta$ -casein among lactose intolerant individuals. Current Developments in Nutrition. 2020;12(12):3855. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12123855>
11. Schettini G. P., Lambert S. M., Da Silva Souza B. M. P., Costa R. B., De Camargo G. M. F. Genetic potential of Sindhi cattle for A2 milk production. Animal Production Science. 2020;60(7):893-895. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN18677>
12. Ping F., Xiaojing D., Tie G., Ruyun D., Hongxu C. Determination of A2  $\beta$ -casein and total  $\beta$ -casein in cow milk and milk powder by capillary zone electrophoresis. Chinese Journal of Chromatography. 2020;38(6):722-729. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34213205/>
13. Ganguly I., Gaur G. K., Singh U., Kumar S., Kumar S., Mann S. Beta-casein (CSN2) polymorphism in Ongole (Indian zebu) and Frieswal (HF $\times$  Sahiwal crossbred) cattle. Indian Journal of Biotechnology. 2013;12(2):195-198. URL: [https://www.researchgate.net/publication/280059679\\_Beta-casein\\_CSN2\\_polymorphism\\_in\\_Ongole\\_Indian\\_zebu\\_and\\_Frieswal\\_HF\\_X\\_Sahiwal\\_crossbred\\_cattle](https://www.researchgate.net/publication/280059679_Beta-casein_CSN2_polymorphism_in_Ongole_Indian_zebu_and_Frieswal_HF_X_Sahiwal_crossbred_cattle)

*Сведения об авторах*

**Парыгина Екатерина Васильевна**, младший научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8236-1122>

✉ **Худякова Наталья Александровна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1302-2965>, e-mail: [nata070707hudyakova@yandex.ru](mailto:nata070707hudyakova@yandex.ru)

**Тулинова Ольга Васильевна**, кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией генетики и разведения крупного рогатого скота, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Московское шоссе, д. 55а, пос. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601, e-mail: [spbvniigen@mail.ru](mailto:spbvniigen@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7731-509X>

**Первухина Анастасия Александровна**, младший научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0246-3936>

**Селькова Ия Витальевна**, научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru)

**Кожевникова Ирина Сергеевна**, кандидат биол. наук, зав. лабораторией инновационных технологий в АПК, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>

**Кудрина Марина Александровна**, младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8255-2989>

*Information about the authors*

**Ekaterina V. Parygina**, junior researcher, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8236-1122>

✉ **Natalya A. Khudyakova**, PhD in Agricultural Science, researcher, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1302-2965>, e-mail: [nata070707hudyakova@yandex.ru](mailto:nata070707hudyakova@yandex.ru)

**Olga V. Tulinova**, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Genetics and Cattle Breeding, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moskovskoe shosse, 55a, Tyarlevo settlement, Saint Petersburg, Russian Federation, 196610, e-mail: [spbvniigen@mail.ru](mailto:spbvniigen@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7731-509X>

**Anastasia A. Pervukhina**, junior researcher, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0246-3936>

**Iya V. Selkova**, researcher, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru)

**Irina S. Kozhevnikova**, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory of Innovative Technologies in the AIC, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>

**Marina A. Kudrina**, junior researcher, the Laboratory of Innovative Technologies in the AIC, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: [dirnauka@fciactic.ru](mailto:dirnauka@fciactic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8255-2989>

✉ – Для контактов / Corresponding author