

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-471-481

EDN WZGKCP

УДК 636.2.034

Научная статья / Research article

Ассоциация сайтов A80V, R25C, Y7F гена лептина с продолжительностью продуктивного долголетия у коров холмогорской породы

Н.А. Худякова¹  , И.С. Кожевникова^{1,2} , И.А. Классен¹ ,
А.О. Ступина¹ , М.С. Калмыкова¹ 

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, г. Архангельск, Российская Федерация

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Российская Федерация

 nata070707hudyakova@yandex.ru

Аннотация. В современном молочном скотоводстве актуально изучение генетических факторов, влияющих на продуктивное долголетие и молочную продуктивность крупного рогатого скота. Ген лептина, участвующий в регуляции энергетического обмена, является перспективным маркером для селекции. Однако влияние комплексных генотипов его полиморфизмов (A80V, R25C, Y7F) на продуктивность и долголетие животных изучено недостаточно, что определяет важность данного исследования. Цель исследования — изучить влияние комплексных генотипов гена лептина сайтов A80V, R25C, Y7F на показатели молочной продуктивности и длительности хозяйственного использования крупного рогатого скота холмогорской породы. Исследование проводилось на 207 коровах холмогорской породы, распределенных на группы с разными комплексными генотипами. Для статистического анализа численность животных в сравниваемых группах была уравнена между собой: по 13 голов в каждой группе при изучении пожизненной молочной продуктивности и по 19 голов в каждой группе при оценке длительности использования. Генотипирование проводили методом ПЦР-ПДРФ, а статистическую обработку — с помощью непараметрических методов (U-критерий Манна — Уитни). Анализировали пожизненный суточный удой, содержание жира и белка в молоке, возраст выбытия и пожизненные дойные дни (ПДД). Выявлено, что генотип AVRCYY ассоциирован с максимальным суточным удоем (22,04 кг) и наибольшим количеством ПДД (2032 дня), что свидетельствует о его положительном влиянии на продуктивное долголетие. Наименьшие показатели отмечены у генотипа AVCCYY (194 ПДД). Достоверные различия по содержанию жира в молоке обнаружены между группами AACCCYY, AARCCYY, AARRYY и AVCCYY. Генотип AACCCYY показал наивысшее содержание белка (3,23 %), но наименьший удой. Также выявлены различия в структуре причин выбытия: у животных с сочетанием генотипов AVCCYY преобладали гинекологические заболевания, а у животных с комплексным генотипом AVRCYY — болезни конечностей. Результаты исследования демонстрируют значимость комплексного анализа генотипов гена лептина для селекции молочного скота. Комплексный генотип AVRCYY может быть рекомендован как маркер повышенного продуктивного долголетия.

© Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Классен И.А., Ступина А.О., Калмыкова М.С., 2025



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

Ключевые слова: крупный рогатый скот, полиморфизм, комплексные генотипы, удой, жир, белок, длительность хозяйственного использования

Вклад авторов: Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Классен И.А., Ступина А.О., Калмыкова М.С. — равный вклад в разработку концепции и дизайна исследования, сбор и обработку материалов, анализ полученных данных, написание текста.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения темы государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Молекулярно-генетическая оценка сельскохозяйственных животных по селекционным и хозяйственно-полезным признакам в условиях арктических и субарктических территорий РФ» (FUUW-2024–0006).

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

История статьи: поступила в редакцию 6 мая 2025 г., принята к публикации 5 июня 2025 г.

Для цитирования: Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Классен И.А., Ступина А.О., Калмыкова М.С. Ассоциация сайтов A80V, R25C, Y7F гена лептина с продолжительностью продуктивного долголетия у коров холмогорской породы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 471–481. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-471-481 EDN: WZGKCP

Association of A80V, R25C, AND Y7F leptin gene sites with productive longevity duration in Kholmogory cows

Natalya A. Khudyakova¹  , Irina S. Kozhevnikova^{1, 2} ,
Inga A. Klassen¹ , Aleksandra O. Stupina¹ , Maria S. Kalmykova¹ 

¹Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Arkhangelsk, Russian Federation

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation

 nata070707hudyakova@yandex.ru

Abstract. In modern dairy farming, the study of genetic factors affecting the productive longevity and milk productivity of cattle is relevant. The leptin gene, involved in the regulation of energy metabolism, is a promising marker for selection. However, the influence of its polymorphism complex genotypes (A80V, R25C, Y7F) on the productivity and longevity of animals has not been sufficiently studied, which determines the importance of this research. The aim of the study was to investigate the influence of the leptin gene complex genotypes at sites A80V, R25C, Y7F on the milk productivity indicators and the duration of economic use of Kholmogory cattle. The study was conducted on 207 Kholmogory breed cows, divided into groups with different complex genotypes. For statistical analysis, the number of animals in the compared groups was equalized: 13 heads per group for the study of lifetime milk productivity and 19 heads per group for the assessment of the duration of use. Genotyping was performed by PCR-RFLP, and statistical processing was carried out using non-parametric methods (Mann – Whitney U test). Lifetime daily milk yield, milk fat and protein content, age at culling, and lifetime milking days (LMD) were analyzed. It was revealed that the AVRCYY genotype is associated with the maximum daily milk yield (22.04 kg) and the highest number of LMD (2032 days), indicating its positive influence on productive longevity. The lowest indicators were noted for the AVCCYY genotype (194 LMD). Significant differences in milk fat content were found between groups AACCCYY, AARCCYY, AARRYY, and AVCCYY. The AACCCYY genotype showed the highest protein content (3.23%), but the lowest milk yield. Differences in the structure of culling reasons were also identified: gynecological diseases prevailed in animals with the AVCCYY genotype combination, while limb diseases prevailed in animals with the AVRCYY complex genotype. The

results of the study demonstrate the significance of a comprehensive analysis of leptin gene genotypes for dairy cattle selection. The AVRYY genotype can be recommended as a marker for increased productive longevity.

Keywords: cattle, polymorphism, complex genotypes, milk yield, fat, protein, duration of economic use

Authors' contribution: Khudyakova N.A., Kozhevnikova I.S., Klassen I.A., Stupina A.O., Kalmykova M.S. — equal contribution to the development of the concept and design of the study, collection and processing of materials, analysis of the obtained data, writing the text.

Financing. The article was prepared within the framework of the state assignment of the Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FRCBSA UB RAS) “Molecular-genetic evaluation of farm animals according to breeding and economically useful traits under the conditions of Arctic and subarctic territories of the Russian Federation” (FUUW-2024–0006).

Conflicts of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Article history: received 6 May 2025; accepted 5 June 2025.

For citation: Khudyakova NA, Kozhevnikova IS, Klassen IA, Stupina AO, Kalmykova MS. Association of A80V, R25C, AND Y7F leptin gene sites with productive longevity duration in Kholmogory cows. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3):471–481. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-471-481 EDN: WZGKCP

Введение

Современное молочное скотоводство решает задачу оптимизации продуктивных качеств крупного рогатого скота через совершенствование методов селекции и содержания животных. Ключевым аспектом в данном контексте выступает взаимосвязь между динамикой роста молодняка и его последующей молочной продуктивностью. Как показывают исследования, интенсивность роста в раннем возрасте непосредственно влияет на сроки полового созревания и возможность раннего первого осеменения [1], что в свою очередь оказывает существенное влияние на экономическую эффективность производства молока [2–4].

Важное значение приобретает изучение генетических факторов, определяющих рост и развитие животных. Среди перспективных генетических маркеров особый интерес представляет ген лептина (LEP), кодирующий пептидный гормон, участвующий в регуляции энергетического обмена и влияющий на продуктивное долголетие скота [5, 6]. Структурные особенности данного гена, включающие три экзона [7, 8], и его полиморфизмы, такие как A80V, R25C и Y7F [9], открывают новые возможности для генетической селекции.

Многочисленные исследования демонстрируют значимость генетических маркеров в селекции молочного скота. Отдельные полиморфизмы гена LEP, такие как R25C, оказывают существенное влияние на продуктивные качества крупного рогатого скота. Например, установлено, что гомозиготный генотип CC по локусу R25C ассоциирован с повышенным риском выбраковки животных (в 3,14 раза по сравнению с гетерозиготами), что напрямую влияет на экономику молочных хозяйств [10, 11].

Другое исследование выявило значимые ассоциации полиморфизма A80V с функциональным долголетием коров, а также влияние генотипов отцов по гену LEP на передаваемые дочерям признаки молочной продуктивности [12]. В ра-

ботах зарубежных авторов отмечается, что носительство определенных аллелей (V, C, F) может негативно сказываться на продолжительности хозяйственного использования животных [11, 13].

Однако вопросы влияния комплексных генотипов по SNP A80V, R25C и Y7F гена LEP на пожизненную молочную продуктивность и здоровье животных изучены недостаточно.

В доступной литературе преобладают данные по изолированному анализу отдельных полиморфизмов, тогда как их комбинированный эффект требует дополнительного изучения. Особую актуальность приобретает исследование взаимодействия этих генетических вариантов, поскольку, определенные сочетания аллелей (например, CCYF, CCFF и RCFF) могут приводить к негативным последствиям на различных этапах онтогенеза [14].

Цель исследования — изучение влияния комплексных генотипов гена LEP сайтов A80V, R25C, Y7F на показатели молочной продуктивности и длительности хозяйственного использования крупного рогатого скота холмогорской породы.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования стало маточное поголовье крупного рогатого скота холмогорской породы, содержавшееся в АО «Холмогорский племязавод» и выбывшее в период 2023–2024 гг. Количество исследуемых животных — 207 голов. Однако для повышения статистической достоверности из анализа были исключены группы животных, представленные выборками менее 13 особей при расчетах показателей молочной продуктивности и менее 19 особей при анализе возраста выбытия и пожизненных дойных дней. В результате, итоговая численность животных, включенных в анализ, составила 65 при расчетах показателей молочной продуктивности и 95 голов при анализе возраста выбытия и пожизненных дойных дней.

Для обеспечения корректности статистических расчетов и повышения точности результатов, обработке подвергли данные по 5 генотипическим группам (AACCYY, AARCY, AARRY, AVCCYY, AVRYY), поскольку только эти группы имели достаточную численность выборки, обеспечивающую статистическую достоверность результатов. С целью повышения точности сравнительного статистического анализа сформировали группы с равным количеством животных.

Для уравнивания численности анализируемых групп было применено рандомизированное уравнивание объемов выборок с помощью программного обеспечения Microsoft Excel.

Получение биологического материала (крови) осуществляли ветеринарные врачи с использованием вакуумных пробирок с КЗ ЭДТА. Выделение ДНК проводили коммерческим набором «МагноПрайм ВЕТ» в соответствии с протоколом.

Генотипирование поголовья крупного рогатого скота осуществлено методом ПЦР-ПДРФ [11]. Применяли следующие режимы амплификации: SNP A80V (F: 5'-CAAGCAGGAAATAGGGAGTCATGG-3' и R: 5'-CTGGTGAGGATCTGTTGGTAGGTC-3') — 1 цикл 95 °C 3 мин, 32

цикла 95 °C 30 с / 67 °C 30 с / 72 °C 30 с, 1 цикл 72 °C 7 мин; SNPs R25C (F: 5'-CCAGGGAGTGCCTTTCATTA-3' и R: 5'-GGTGTATCCTGGACCTTCC-3') и Y7F (F: 5'-CTGCGTGGTCTACAGCACACCTC-3' и R: 5'-AGGGCCAAAGCCACAGGATTCG-3') — 1 цикл 94 °C 2 мин, 29 циклов 94 °C 20 с / 62 °C 20 с / 72 °C 30 с, 1 цикл 72 °C 5 мин.

При генотипировании по SNPs A80V и R25C электрофоретического разделение продуктов рестрикции производилось в 2%-м агарозном геле, по SNP Y7F — в 6%-м полиакриламидном геле.

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программы IBM SPSS Statistics. Учитывая ненормальное распределение показателей, для описания количественных переменных применялись медианные значения Me с указанием нижнего и верхнего квартилей Q1— Q3. Сравнительный анализ независимых выборок проводили с использованием непараметрического U-критерия Манна — Уитни. Различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Из 27 теоретически возможных аллельных комбинаций полиморфных сайтов A80V, R25C и Y7F гена LEP выявлено 12 вариантов. Дальнейшей обработке подверглись данные по 5 генотипическим группам (AACCCY, AARCCY, AARRYY, AVCCYY, AVRCCY).

Мы проанализировали показатели пожизненной молочной продуктивности у коров холмогорской породы с разными аллельными сочетаниями генотипов (табл. 1).

Таблица 1

Показатели пожизненной молочной продуктивности и аллельные сочетания сайтов A80V, R25C и Y7F гена лептина у коров холмогорской породы, Me (Q1; Q3)

Генотипы	Пожизненная массовая доля жира, %	Пожизненная массовая доля белка, %	Пожизненный суточный удой, кг
AACCCY	3,91 (3,65; 4,23) *	3,23 (3,00; 3,35)	19,59 (17,91; 21,81)
n	13	13	13
AARCCY	3,56 (3,45; 3,62) *	3,14 (3,06; 3,29)	20,99 (18,33; 22,28)
n	13	13	13
AARRYY	3,69 (3,59; 3,96) *	3,11 (3,00; 3,20)	21,63 (20,91; 24,20)
n	13	13	13
AVCCYY	4,03 (3,59; 4,56) *	3,18 (3,06; 3,26)	21,31 (19,68; 22,02)
n	13	13	13
AVRCCY	3,72 (3,39; 4,02)	3,19 (3,09; 3,27)	22,04 (20,89; 24,16)
n	13	13	13

Примечание. * — отмечены достоверные различия между группами ($p \leq 0,05$); — обозначены группы, между которыми обнаружены различия.

Источник: составлено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, И.А. Классен, А.О. Ступиной, М.С. Калмыковой.

Table 1

Lifetime milk productivity indicators and allelic combinations of sites A80V, R25C and Y7F of the leptin gene in Kholmogory cows, Me (Q1; Q3)

Genotypes	Lifetime mass fraction of fat, %	Lifetime mass fraction of protein, %	Lifetime daily milk yield, kg
AACCCYY	3.91 (3.65; 4.23) *	3.23 (3.00; 3.35)	19.59 (17.91; 21.81)
n	13	13	13
AARCCYY	3.56 (3.45; 3.62) *	3.14 (3.06; 3.29)	20.99 (18.33; 22.28)
n	13	13	13
AARRYY	3.69 (3.59; 3.96) *	3.11 (3.00; 3.20)	21.63 (20.91; 24.20)
n	13	13	13
AVCCYY	4.03 (3.59; 4.56) *	3.18 (3.06; 3.26)	21.31 (19.68; 22.02)
n	13	13	13
AVRCYY	3.72 (3.39; 4.02)	3.19 (3.09; 3.27)	22.04 (20.89; 24.16)
n	13	13	13

Note. * – significant differences between groups ($p \leq 0.05$) are indicated; [– groups between which differences were found are indicated.

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, I.A. Klassen, A.O. Stupina, M.S. Kalmykova.

Анализ представленных данных демонстрирует, что максимальный пожизненный суточный удой, равный 22,04 кг, отмечен у животных с комплексным генотипом AVRCYY, он превышает показатель группы с сочетанием генотипов AACCCYY, который характеризуется наименьшим удоём (19,59 кг). В группе AACCCYY, показывающей наименьшую продуктивность, наблюдалось наиболее высокое среднее содержание белка в молоке, составляющее 3,23 % за весь период лактации в стаде.

Также, достаточно высокое содержание белка было получено у коров в группе с комплексным генотипом AVRCYY, животные которой показали максимальный суточный пожизненный удой. Необходимо отметить, что достоверных различий по пожизненному суточному удою и среднему значению содержания белка в молоке между группами с разными комплексными генотипами получено не было. Однако, в ходе статистического анализа влияния комплексных генотипов на содержание жира в молоке получено достоверные различия между группами со следующими генотипами: AACCCYY и AARCCYY, AARCCYY и AARRYY, AARCCYY и AVCCYY.

Наивысшие показатели по содержанию жира получены в группах у животных, имеющих генотипы AVCCYY и AACCCYY, в которых изучаемый показатель составил 4,03 и 3,91 % соответственно. Эти данные достоверно отличались от показателя группы коров с генотипом AARCCYY. В этой группе коровы имели наименьшее содержание жира в молоке за все периоды лактации — 3,56 %. В группе животных с генотипом AVRCYY, где среднее содержание жира составило 3,72 %, не получено достоверных различий с другими группами.

Данные о возрасте выбытия и пожизненных дойных днях (ПДД) коров холмогорской породы с различными комплексными генотипами гена лептина приведены в табл. 2. Показатель ПДД — суммарное количество дней лактационной активности

особи за весь период ее хозяйственного использования — служит важным критерием оценки продолжительности продуктивного долголетия животных. Возраст выбытия в отелах характеризует продуктивное долголетие коровы и определяется количеством отелов за период ее использования до момента выбытия из стада.

Таблица 2

Показатели длительности использования коров у групп с комплексными генотипами сайтов A80V, R25C и Y7F гена лептина, Me (Q1; Q3)

Комплексный генотип	Пожизненные дойные дни	Возраст выбытия в отелах
AACCYY	714,50 (621,75; 1202,75)*	3,00 (2,75; 4,25)*
n	19	19
AARCCY	782,00 (304,00; 1567,00)*	3,00 (1,00; 6,00)
n	19	19
AARRYY	1112,50 (745,50; 1357,00)*	3,00 (4,00; 7,00)*
n	19	19
AVCCYY	194,00 (135,00; 930,00)*	1,00 (1,00; 3,00)*
n	19	19
AVRCYY	2032,00 (469,00; 2201,00)*	7,00 (1,00; 8,00)*
n	19	19

Примечание. * отмечены достоверные различия между группами ($p \leq 0,05$); [— обозначены группы, между которыми обнаружены различия.

Источник: составлено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, И.А. Классен, А.О. Ступиной, М.С. Калмыковой.

Table 2

Cow utilization rates in groups with complex genotypes of A80V, R25C and Y7F sites of the leptin gene, Me (Q1; Q3)

Complex genotype	Lifetime milking days	Age of departure in calvings
AACCYY	714.50 (621.75; 1202.75)*	3.00 (2.75; 4.25)*
n	19	19
AARCCY	782.00 (304.00; 1567.00)*	3.00 (1.00; 6.00)
n	19	19
AARRYY	1112.50 (745.50; 1357.00)*	3.00 (4.00; 7.00)*
n	19	19
AVCCYY	194.00 (135.00; 930.00)*	1.00 (1.00; 3.00)*
n	19	19
AVRCYY	2032.00 (469.00; 2201.00)*	7.00 (1.00; 8.00)*
n	19	19

Note. * marked significant differences between groups ($p \leq 0.05$); [— the groups between which differences were found are labelled

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, I.A. Klassen, A.O. Stupina, and M.S. Kalmykova.

Наиболее продолжительным периодом хозяйственного использования, выраженном в количестве дойных дней, характеризовались животные с комплексным генотипом AVRCYY. Коровы с представленным генотипом в своей выборке имели медиану, равную 2032,00, что в 2–3 раза больше, чем у остальных сочетаний генотипов. Кроме того, представленная комбинация генотипов достоверно больше, чем у группы животных с сочетанием генотипов AVCCYY. Аналогичная закономерность наблюдалась при анализе параметра «возраст выбытия в отелах». Полученные результаты свидетельствуют о том, что генотип AVRCYY ассоциирован с повышенными показателями продуктивного долголетия у крупного рогатого скота.

Группа особей с генотипом AARRYU показывает среднее значение, равное 1112,50 дойным дням, что является вторым по величине показателем, имеющим достоверную разницу с группой животных с комбинацией генотипов AVCCYY. Медиана показателя возраста выбытия в группе AARRYU составляет 3 отела, что в свою очередь является самым распространенным значением среди большинства групп. Достоверное различие отмечено с группой животных, несущих комплексный генотип AVCCYY.

Особь, обладающие сочетаниями генотипов AACCYY и AARCYU, имеют похожее значения ПДД — 714,50 и 782,00 соответственно, а также чаще всего выбывали в начале 3 отела.

Наименьшее количество ПДД (всего 194 дойных дня) и возраст выбытия (1 отел) имели животные с комбинацией генотипов AVCCYY. Статистически значимые различия с AACCYY, AARCYU, AARRYU и AVRCYY подчеркивают ее неблагоприятное влияние на длительность продуктивного долголетия.

Анализ причин выбытия коров холмогорской породы в зависимости от их генотипов сайтов A80V, R25C и Y7F по гену лептина выявил межгрупповые различия в структуре заболеваний/причин выбытия. Наибольшая доля выбытия по гинекологическим причинам отмечена у животных с генотипом AVCCYY (47,37 %), тогда как минимальные показатели отмечены в группе AARRYU (17,24 %). При этом генотип AARCYU характеризовался максимальной частотой болезней молочной железы (30,00 %), что почти в два раза превышает данный показатель у AVCCYY (15,79 %). Особого внимания заслуживает группа животных с комплексным генотипом AVRCYY, показывающая наивысшую частоту заболеваний конечностей (36,84 %) при относительно низком уровне гинекологических заболеваний (21,05 %).

Нарушения обмена веществ наиболее выражены у AARCYU (4,00 %), тогда как в группах особей с сочетаниями генотипов AVCCYY и AVRCYY подобные случаи не зафиксированы. Болезни пищеварительной системы встречались с низкой частотой почти во всех группах (2,56...5,26 %), а болезни дыхательной системы были отмечены лишь единично (1,00 % у AARCYU).

Заключение

Таким образом, результаты исследования показывают, что анализ частотного распределения генотипов выявил преобладание пяти вариантов аллельных сочетаний (AACCYY, AARCYU, AARRYU, AVCCYY, AVRCYY) по сайтам A80V,

R25C и Y7F гена лептина в исследуемой выборке холмогорского скота. Наивысший пожизненный суточный удой отмечен у животных с комплексным генотипом AVRCCY, который составил 22,04 кг, данный показатель на 2,81 кг, превышает группу животных с сочетанием генотипов AACCCY, который имел наименьший пожизненный суточный удой (19,59 кг). Однако животные в этой группе с генотипом AACCCY за весь период жизни имели наивысшее среднее содержание белка в молоке, среднее значение которого составило 3,23 %. Достоверные различия обнаружены по содержанию жира в молоке между группами со следующими генотипами — AACCCY и AACRCY, AACRCY и AACRRY, AACRCY и AVCCY.

Наиболее продолжительным периодом продуктивного долголетия характеризовались животные с комплексным генотипом AVRCCY, который также характеризовались самым высоким значением пожизненного суточного удоя в изучаемой выборке животных.

Комплексное изучение взаимодействия полиморфизмов гена лептина представляет значительный научный и практический интерес. Полученные данные могут стать основой для разработки более эффективных стратегий генетического отбора, направленных на улучшение продуктивных качеств и повышение длительности использования молочного скота.

Список литературы

1. Часовицкова М.А., Козлов К.А. Продуктивное долголетие коров черно-пестрой породы в зависимости от возраста и живой массы при первом осеменении // *Агропродовольственная политика России*. 2021. № 4. С. 37–40. EDN: XNCIZG
2. Wangchuk K., Wangdi J., Mindu M. Comparison and reliability of techniques to estimate live cattle body weight // *Journal of Applied Animal Research*. 2018. Vol. 46. № 1. P. 349–352. doi: 10.1080/09712119.2017.1302876
3. Панков М.Н., Смолина В.С., Ступина А.О., Классен И.А., Спаский Е.А. Бета-казеин коровьего молока и его влияние на организм человека (обзор) // *Журнал медико-биологических исследований*. 2024. Т. 12. № 3. С. 411–418. doi: 10.37482/2687-1491-Z207 EDN: QWJTGF
4. Ковалюк Н.В., Гырнец Е.А. Полиморфизм аллелей гена Lер как генетический маркер функционального долголетия крупного рогатого скота айрширской породы // *Universum: химия и биология*. 2016. № 6 (24). С. 1–6. URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/3257> EDN: WAIRVB
5. Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Ступина А.О., Классен И.А., Кашин А.С. Динамика живой массы коров холмогорской породы по полиморфизму гена лептина // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025. Т. 26. № 1. С. 158–165. doi: 10.30766/2072-9081.2025.26.1.158-165 EDN: RPVEBM
6. Комендант Т.М., Епишко О.А., Чебуранова Е.С. Оптимизация методики выявления полиморфизмов гена лептина (LEP), влияющего на продуктивное долголетие крупного рогатого скота // *Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии*. 2017. № 37. С. 99–105. EDN: YOZAZO
7. Щеголев П.О., Сабетова К.Д., Чаицкий А.А., Сорокина А. Связь полиморфизма гена лептина (LEP) с хозяйственно полезными признаками крупного рогатого скота // *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2021. № 1 (1). С. 25–32. doi: 10.52025/2712-8679_2021_01_25 EDN: HBJLBZ
8. Гайнутдинова Э.Р., Сафина Н.Ю., Шакиров Ш.К., Варламова М.И. Влияние полиморфизма гена лептина (LEP) на молочную и мясную продуктивность коров-первотелок голштинской породы // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2021. Т. 245. № 1. С. 24–28. doi: 10.31588/2413-4201-1883-245-1-24-28 EDN: ZRWONH
9. Ковалюк Н.В., Сацук В.Ф., Мачульская Е.В., Морковкина Н.А., Шахназарова Ю.Ю. Использование полиморфизма локуса LEP в селекции чернопестрого скота // *Молочное и мясное скотоводство*. 2017. № 3. С. 14–16. EDN: YTDPRG
10. Komisarek J. Impact of LEP and LEPR gene polymorphisms on functional traits in Polish Holstein-Friesian cattle // *Animal Science Papers and Reports*. 2010. Vol. 28. P. 133–141.

11. Szyda J., Morek-Kopec M., Komisarek J., Zarnecki A. Evaluation markers in selected genes for association with functional longevity of dairy cattle // *BMC Genetics*. 2011. Vol. 12. P. 3. doi: 10.1186/1471-2156-12-30 EDN: OAQCYN
12. Ковалюк Н.В., Сацук В.Ф., Мачульская Е.В., Шахназарова Ю.Ю. Связь полиморфизма локусов R25C и A80V гена лептина с хозяйственно-ценными признаками у крупного рогатого скота голштинской породы // Сборник научных трудов СКНИИЖ. 2017. Т. 6. № 3. С. 16–21. EDN: VRCCIP
13. Yoon D.H., Cho B.H., Park B.L., Choi Y.H., Cheong H.S., Lee H.K., Chung E.R., Cheong I.C., Shin H.D. Highly Polymorphic Bovine Leptin Gene // *Journal of Animal Science*. 2005. Vol. 18. № 11. P. 1548–1551. doi: 10.5713/ajas.2005.1548
14. Ковалюк Н.В., Сацук В.Ф., Волченко А.Е., Мачульская Е.В., Шахназарова Ю.Ю. Использование полиморфизма локуса лептина в селекции крупного рогатого скота айрширской породы // Молочное и мясное скотоводство. 2014. № 6. С. 13–15. EDN: SQJJJN
15. Szyda J. Statistical modeling of candidate gene effects on milk production traits in dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 2007. Vol. 90. № 6. P. 2971–2979. doi: 10.3168/jds.2006-724

References

1. Chasovchshikova MA, Kozlov KA. Productive longevity of the black-and-white breed of cows in relation to age and live weight at the first insemination. *Agro-food Policy in Russia*. 2021;(4):37–40. (In Russ.). EDN: XNCIZG
2. Wangchuk K, Wangdi J, Mindu M. Comparison and reliability of techniques to estimate live cattle body weight. *Journal of Applied Animal Research*. 2018;(46):349–352. doi: 10.1080/09712119.2017.1302876
3. Pankov MN, Smolina VS, Stupina AO, Klassen IA, Spasskiy EA. Beta-casein of cow's milk and its effects on the human body (review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2024;12(3):411–418. (In Russ.). doi: 10.37482/2687-1491-Z207 EDN: QWJTGF
4. Kovalyuk N, Gyrnets E. Polymorphism of lep gene allele as a genetic marker of functional longevity of ayrshire cattle. *Universum: Chemistry and Biology*. 2016;(6):1–6. (In Russ.). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/3257> EDN: WAIRVB
5. Khudyakova NA, Kozhevnikova IS, Stupina AO, Klassen IA, Kashin AS. Dynamics of the development of live weight in cows of the Kholmogory breed according to the polymorphism of the leptin gene. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(1):158–165. (In Russ.). doi: 10.30766/2072-9081.2025.26.1.158-165 EDN: RPVEBM
6. Komendant TM, Epishko OA, Cheburanova ES. Optimization of the method of detecting polymorphisms of the leptin gene (LEP), affecting the productive longevity of cattle. *Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine*. 2017;(37):99–105. (In Russ.). EDN: YOZAZO
7. Shchegolev PO, Sabetova KD, Chaitskiy AA, Sorokina A. Relationship of leptin gene polymorphism (LEP) with economically useful traits of cattle. *Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem Region*. 2021;(1):25–32. (In Russ.). doi: 10.52025/2712-8679_2021_01_25 EDN: HBJLBZ
8. Gaynutdinova ER, Safina NYU, Shakirov SHK, Varlamova MI. Influence of leptin (LEP) gene polymorphism on dairy and meat productivity of Holstein heifers. *Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*. 2021;245(1):24–28. (In Russ.). doi: 10.31588/2413-4201-1883-245-1-24-28 EDN: ZRW0HH
9. Kovalyuk NV, Satsuk VF, Machulskaya EV, Morkovkina NA, Shakhnazarova YY. Use of polymorphism at loci of LEP in breeding of Black-Motley cattle. *Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*. 2017;(3):14–16. (In Russ.). EDN: YTDPRG
10. Komisarek J. Impact of LEP and LEPR gene polymorphisms on functional traits in Polish Holstein-Friesian cattle. *Animal Science Papers and Reports*. 2010;28:133–141.
11. Szyda J, Morek-Kopec M, Komisarek J, Zarnecki A. Evaluation markers in selected genes for association with functional longevity of dairy cattle. *BMC Genetics*. 2011;12:3. doi: 10.1186/1471-2156-12-30 EDN: OAQCYN
12. Kovalyuk NV, Satsuk VF, Machulskaya EV, Shakhnazarova YuYu. Relationship of polymorphism of R25C locus and A80V leptin gene with agriculturally valuable traits in Holstein cattle. *Collection of Scientific Papers of KRCAHVM*. 2017;6(3):16–21. (In Russ.). EDN: VRCCIP
13. Yoon DH, Cho BH, Park BL, Choi YH, Cheong HS, Lee HK, Chung ER, Cheong IC, Shin HD. Highly polymorphic bovine leptin gene. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 2005;18(11):1548–1551. doi: 10.5713/ajas.2005.1548
14. Kovalyuk NV, Satsuk VF, Volchenko AE, Machulskaya EV, Shahnazarova JJ. Using of polymorphism of the leptin locus in breeding of cattle of ayrshire breed. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2014;(6):13–15. (In Russ.). EDN: SQJJJN

15. Szyda J. Statistical modeling of candidate gene effects on milk production traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2007;90(6):2971–2979. doi: 10.3168/jds.2006-724

Об авторах:

Худякова Наталья Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Российская Федерация, 163000, г. Архангельск, проспект Никольский, д. 20; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1302-2965 SPIN-код: 3906-2286

Кожевникова Ирина Сергеевна — кандидат биологических наук, заведующая лабораторией лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Российская Федерация, 163000, г. Архангельск, проспект Никольский, д. 20; доцент кафедры биологии человека и биотехнических систем, Северный арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Архангельск, 163002, Набережная Северной Двины, д. 17; e-mail: kogechnikovais@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7194-9465 SPIN-код: 2441-2363

Класен Инга Андреевна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Российская Федерация, 163000, г. Архангельск, проспект Никольский, д. 20; E-mail: klassening@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4421-6087 SPIN-код: 5343-4901

Ступина Александра Олеговна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Российская Федерация, 163000, г. Архангельск, проспект Никольский, д. 20; e-mail: sashaatupina6@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7664-3684 SPIN-код: 4712-2893

Калмыкова Мария Сергеевна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Российская Федерация, 163000, г. Архангельск, проспект Никольский, д. 20; e-mail: kalmykova.m@edu.narfu.ru

ORCID: 0009-0000-0404-4631 SPIN-код: 3670-8226

About the authors:

Khudyakova Natalya Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky Prospekt, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1302-2965 SPIN-code: 3906-2286

Kozhevnikova Irina Sergeevna — Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Russian Federation, 20 Nikolsky Prospekt, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; Associate Professor, Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17 Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: kogechnikovais@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7194-9465 SPIN-code: 2441-2363

Klassen Inga Andreevna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky Prospekt, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; E-mail: klassening@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4421-6087 SPIN-code: 5343-4901

Stupina Aleksandra Olegovna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky Prospekt, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: sashaatupina6@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7664-3684 SPIN-code: 4712-2893

Kalmykova Maria Sergeevna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky Prospekt, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; email: kalmykova.m@edu.narfu.ru

ORCID: 0009-0000-0404-4631 SPIN-code: 3670-8226