Научная статья
УДК 636.082: 575.113.2
doi:10.35694/YARCX.2026.73.1.005

# ГЕНЫ-МАРКЕРЫ МЯСНОЙ И МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА: GH И MSTN (ОБЗОР)

**П. О. Щеголев[1], А. А. Чаицкий[2], К. Д. Чаицкая[3], В. А. Дуркина[4]**
[1, 2, 3, 4]Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия

Автор, ответственный за переписку: Алексей Александрович Чаицкий,
leha.chaittskiy@mail.ru, ORCID 0000-0002-5853-3809

**Реферат.** Рассмотрены литературные данные о полиморфизмах, локализованных в генах гормона роста и миостатина. Полиморфизм AluI гена гормона роста (GH) оказывает существенное влияние на рост органов и тканей, в том числе скелетной мускулатуры, формируя признаки как мясной, так и молочной продуктивности. В большинстве популяций крупного рогатого скота (голштинская, чёрно-пёстрая, костромская, холмогорская и другие породы) преобладает аллель L (0,624…1,000), ассоциированный, согласно данным большинства исследований, с повышенной скоростью роста живой массы и удоем у коров. В то же время ряд авторов указывает на широкое распространение гетерозиготных генотипов, а в ряде случаев – и гомозигот с генотипом VV. Литературные данные свидетельствуют также о существенном влиянии полиморфизма F94L гена миостатина на параметры мясной продуктивности крупного рогатого скота, в том числе на количество мышечных волокон и содержание жира в мясе, толщину подкожного жира и интенсивность роста живой массы. Исследователи также сообщают о влиянии полиморфизма MSTNF94L на эффективность потребления кормов и интенсивность дыхательных процессов у ремонтных тёлок молочных пород, а также на показатели их последующей молочной продуктивности. При этом в большинстве протестированных пород (голштинская, абердин-ангусская, симментальская, бельгийская голубая и герефордская) превалировал «дикий» аллельный вариант C (0,920…1,000), ассоциированный с большей живой массой, удоем, выходом молочного жира и белка у коров.

***Ключевые слова:*** *крупный рогатый скот, ген, гормон роста, миостатин, мясная продуктивность, молочная продуктивность*

# THE MARKER GENES OF CATTLE MEAT AND DAIRY PRODUCTIVITY: GH AND MSTN (REVIEW)

**P. O. Schiogolev[1], A. A. Chaitskiy[2], K. D. Chaickaya[3], V. A. Durkina[4]**
[1, 2, 3, 4]Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

Author responsible for correspondence: Aleksey A. Chaitskiy,
leha.chaittskiy@mail.ru, ORCID 0000-0002-5853-3809

**Abstract.** Literature data on polymorphisms localized in growth hormone and myostatin genes were considered. The AluI polymorphism of the growth hormone (GH) gene has a significant effect on the growth of organs and tissues, including skeletal muscles, forming signs of both meat and dairy productivity. In most cattle populations (Holstein, Black-and-White, Kostroma, Kholmogory and other breeds), the L allele (0.624...1.000) is prevalent, associated, according to most studies, with an increased growth rate of live weight and milk yield in cows. At the same time, a number of authors point the widespread occurrence of heterozygous genotypes, and in some cases, homozygotes with the VV genotype. Literature data also indicate a significant effect of F94L myostatin gene polymorphism on the parameters of meat productivity in cattle, including the amount of muscle fibers and fat content in meat, subcutaneous fat thickness and intensity of live weight growth. Researchers also report on the effect of MSTN F94L polymorphism on the efficiency of feed consumption and the intensity of respiratory processes in replacement heifers of dairy breeds, as well as on the indicators of

their subsequent dairy productivity. At the same time, in most of the tested breeds (Holstein, Aberdeen Angus, Simmental, Belgian blue and Hereford), the "wild" allelic variant C (0.920...1.000) prevailed, associated with a greater live weight, milk yield, yield of milk fat and protein in cows.

***Keywords:*** *cattle, gene, growth hormone, myostatin, meat productivity, dairy productivity*

**Введение.** При изучении генетических маркеров мясной и молочной продуктивности крупного рогатого скота нельзя обойти вниманием механизмы, вовлечённые в регуляцию процессов роста и развития как организма в целом, так и определённых тканей и органов, в частности, скелетной мускулатуры. В этом качестве весьма интересны к рассмотрению локусы, участвующие в процессах белкового обмена и роста мышц, в частности, гены гормона роста и миостатина. Данные локусы, известные, в первую очередь, как ДНК-маркеры мясной продуктивности, в силу ряда причин могут рассматриваться как перспективные маркеры молочной продуктивности коров, что послужило причиной их включения в данный обзор.

Цель данного исследования – систематизация сведений о ДНК-маркерах, ассоциированных одновременно с признаками мясной и молочной продуктивности крупного рогатого скота. Гены гормона роста и миостатина в качестве перспективных маркеров для комбинированной селекции скота рассматриваются впервые, что составляет научную новизну данной публикации.

**Материал и методы исследований.** Для выполнения работы использовались базы данных электронных библиотек eLibrary (https://elibrary.ru/), КиберЛенинка (https://cyberleninka.ru/), PubMed (https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/) и ResearchGate (https://www.researchgate.net/). В ходе работы были изучены данные 369 литературных источников, из которых 30 включены в текст публикации.

Генетические маркеры мясной продуктивности традиционно учёные делят на те, что влияют преимущественно на жировой обмен, и те, что влияют на интенсивность роста мышц (белковый обмен) и качественные характеристики мяса (цвет, нежность). В связи с этим данная публикация будет посвящена обзору литературы по генам гормона роста (GH) и миостатина (MSTN).

**Результаты исследований.**

*Ген гормона роста (GH)*

Соматотропин (гормон роста) синтезируется в передней доле гипофиза и выполняет широкий спектр регуляторных функций. У жвачных животных соматотропный гормон участвует в регуляции роста и развития (стимуляция белкового, липидного, углеводного и минерального обменов), репродуктивной функции (постнатальный рост), лактогенезе (состав молока, величина молочной продуктивности) [1].

Исследователи предлагают рассматривать биологическую реализацию гена GH не в отдельности, а в составе генов соматотропинового каскада (*somatotropic axisgenes*) [2]. Компоненты этой системы генов задействованы в запуске секреции соматотропина, его транспорте, передаче сигнала от молекулы гормона к клетке-мишени и регуляции экспрессии генов в клетке мишени. В группу генов соматотропинового каскада, помимо собственно гена соматотропина (GH), также относят гены: bPit1 (гипофизарного фактора транскрипции 1), PRL (пролактина), GHRH (соматотропин-высвобождающего гормона), IGF1 (инсулиноподобного фактора 1).

В недавних исследованиях T. Li и соавторов (2022) установлено, что гормон роста подавляет экспрессию генов SCD1, SREBP1, PPARγ и CEBPα на стадии дифференциации адипоцитов. Кроме того, обнаружено стимулирующее действие GH на экспрессию генов, вызывающих развитие бурой жировой ткани, таких как UCP1, а также на митохондриальный биогенез путём повышения уровня экспрессии соответствующих генов, например, STAT5B [1]. При этом, согласно исследованиям M. A. Mohsin и соавторов (2022), повышение концентрации гормона роста в плазме крови у новотельных коров с субклиническим кетозом может привести к массовой мобилизации жировой ткани их организма с последующей гиперкетонемией [3].

Ген гормона роста крупного рогатого скота (GH1) расположен на хромосоме 19 и включает в себя 5 экзонов*. По актуальным сведениям, приведённым в биоинформатической базе данных Ensembl, в регионе гена GH1 зарегистрировано 2553 мутации, в том числе 382 полиморфизма, непосредственно влияющих на первичную структуру производного протеина (аминокислотные миссенс-замены, стоп-кодоны, сдвиги рамки чтения, различные варианты альтернативного сплайсинга)**.

---

* GH1 growth hormone 1 [*Bos taurus* (domestic cattle)] – Gene – NCBI. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/280804 (date of access: 28.07.2025).

** Gene: GH1 (ENSBTAG00000017220) – Variant table – *Bos_taurus* – Ensembl genome browser 114. URL: https://www.ensembl.org/Bos_taurus/Gene/Variation_Gene/Table?db=core;g=ENSBTAG00000017220;r=19:48117957-48119781 (date of access: 28.07.2025).

Таблица 1 – Частоты встречаемости генотипов и аллелей по локусу GHAluI в различных породах крупного рогатого скота (по литературным данным)

| Порода | Генотип | | | Аллель | | Литературный источник |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | LL | LV | VV | L | V | |
| Голштинская | 44,9 | 35,0 | 20,1 | 0,624 | 0,376 | Сафина и др., 2021 [4] |
| Чёрно-пёстрая | 74,1 | 25,9 | 0,0 | 0,871 | 0,129 | Загидуллин и др., 2020 [5] |
| Симментальская | 36,9 | 44,1 | 19,0 | 0,590 | 0,410 | Зырянова, Севастьянов, 2023 [6] |
| Костромская | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 1,000 | 0,000 | Лемякин А. Д. и др., 2024 [7] |
| Красная белорусская | 66,0 | 32,0 | 2,0 | 0,813 | 0,187 | Михалюк А. Н. и др., 2024 [8] |
| Холмогорская | 46,9 | 47,5 | 5,6 | 0,706 | 0,294 | Шайдуллин и др., 2022 [9] |
| Калмыцкая | 25,0 | 41,0 | 34,0 | 0,450 | 0,550 | Шевхужев и др., 2023 [10] |
| Герефордская | 47,8 | 41,7 | 10,5 | 0,690 | 0,310 | Седых и др., 2020 [11] |

Наиболее часто при изучении гена GH внимание уделяется полиморфизму GH-AluI. Актуальные литературные данные о частотах встречаемости генотипов и аллелей гена соматотропина по локусам AluI приведены в таблице 1.

Полученные исследователями данные по различным породам крупного рогатого скота демонстрируют, что у большинства животных (голштинская, костромская, чёрно-пёстрая, красная белорусская, холмогорская) по гену соматотропина более всего превалировал гомозиготный вариант LL, тогда как аллельный вариант VV имел сравнительно меньшую частоту встречаемости. Однако в таких породах, как голштинская, симментальская и калмыцкая отмечается относительно высокая частота генотипа VV.

Исходя из вовлечённости гена соматотропина в регуляцию белкового обмена, что оказывает непосредственное влияние на рост и развитие организма, многими исследователями изучалось влияние полиморфизмов GH на формирование мясных качеств крупного рогатого скота. Так, А. Ф. Шевхужевым с соавторами (2023) в опытах на бычках калмыцкой породы установлено, что носители аллеля V во всех опытных группах превосходили носителей аллеля L по живой массе [10]. В то же время Т. А. Седых с соавторами (2020) в опытах на бычках лимузинской и герефордской пород получили иные результаты, показывающие превосходство бычков с генотипом $GH^{LL}$ над сверстниками генотипа $GH^{VV}$ по предубойной живой массе, массе парной туши, убойной массе, площади мышечного глазка, а у герефордского скота – и по убойному выходу [11].

Результаты исследования М. П. Дубовсковой и Н. П. Герасимова (2020) также показывали превосходство генотипа LL, но среди коров-первотёлок герефордской породы. Данные животные по параметрам балльной оценки общего вида, мускулатуры, груди, холки, спины и поясницы превосходили своих сверстниц с альтернативными генотипами [12]. При этом Ш. А. Макаев с коллегами (2019) установили, что коровы казахской белоголовой породы с генотипом VV гена GH отличались наименьшей живой массой в возрасте 5 лет и наихудшей оценкой экстерьера и телосложения по сравнению со своими сверстницами других генотипов [13].

Учитывая выраженное влияние гена гормона роста на обменные процессы в организме коров, многие учёные предполагали наличие значимой связи между полиморфизмом в данном локусе и параметрами молочной продуктивности коров. Так, по мнению G. Ruprechter et al. (2011), более высокая молочная продуктивность коров с генотипом LL связана с большей концентрацией в плазме крови ненасыщенных жирных кислот и инсулиноподобного фактора роста 1, что говорит о более интенсивном протекании энергетического обмена у носителей этого генотипа [14]. Повышенные показатели молочной продуктивности коров с генотипом $GH^{LL}$ наблюдались в исследованиях А. Н. Михалюк и Л. А. Танана (2025), где были получены сходные данные не только по удою, но и по жирно- и белковомолочности – гомозиготы LL превосходили своих сверстниц с альтернативными генотипами на 0,2…0,3% ($P < 0,05$) по количеству молочного жира и на 1,1…9,1% ($P < 0,01$) – по содержанию белка в молоке [15]. Аналогичные результаты были получены Р. Р. Шайдуллиным и соавторами (2022) в популяции скота голштинской породы [9].

Однако ряд авторов, напротив, отмечает положительное влияние аллеля V на величину молочной продуктивности, содержание в молоке массовой доли жира и белка, а также мясные качества [12]. Например, Р. Р. Шайдуллин и соавторы (2022) на первотёлках голштинской породы наблюдали наибольшие показатели жирномолочности и белковомолочности у животных с генотипом $GH^{VV}$ (3,90 и 3,26% соответственно) [9].

Впрочем, в ряде публикаций отмечается, что наибольшим потенциалом молочной продуктив-

ности обладают коровы, гетерозиготные по гену гормона роста. Например, А. Н. Михалюк и соавторы (2024) на коровах голштинской породы белорусской селекции установили, что в большинстве случаев гетерозиготные по гену GH животные генотипа $GH^{LV}$ превосходили по удою своих гомозиготных сверстниц генотипов $GH^{LL}$ и $GH^{VV}$ на 2,5…6,6% (P < 0,05), аналогичная картина наблюдалась также по жирно- и белковомолочности [8]. A. A. Saleh с соавторами (2024) также отмечал у гетерозиготных коров голштинской породы наиболее высокие показатели удоя и воспроизводительной способности [16].

Однако в некоторых исследованиях, например, в работе Z. Sonmez, S. Kopuzlu и M. Özdemir (2024), статистически значимую связь полиморфизма гормона роста с показателями молочной продуктивности найти не удалось [2].

Таким образом, в литературе присутствует множество актуальных данных о влиянии полиморфизма AluI гена гормона роста на формирование признаков мясной и молочной продуктивности крупного рогатого скота. Однако неоднозначность воздействия данного полиморфизма на продуктивные качества животных, отмечаемая существенным количеством исследователей, говорит о необходимости применять ген гормона роста в селекции скота только в комплексе с другими ДНК-маркерами.

*Ген миостатина (MSTN)*

Ген миостатина (MSTN) играет важную роль в регуляции роста мышечной ткани. Белок миостатин имеет важное значение для регулирования постнатальной миогенной программы сателлитных клеток, обеспечивающей регенерацию мышечной ткани [17]. У лабораторных мышей с выключенным MSTN резко снижается регенерация мышечной ткани, по данным L. Gao и соавторов (2020), при этом происходит подавление экспрессии генов PAX3, PAX7, MyoG и MyoD, тогда как синтез белка TET1 существенно увеличивается [18].

По данным биоинформатической базы NCBI, у крупного рогатого скота ген миостатина (MSTN) расположен на хромосоме 2 и состоит из 3 экзонов и 2 интронов***. На данный момент, согласно базе данных Ensembl, в регионе гена MSTN локализовано 706 различных полиморфизмов, в том числе 65 мутаций, непосредственно влияющих на первичную структуру производного белка (миссенс-мутации, сдвиг рамки чтения, стоп-кодоны и различные виды альтернативного сплайсинга)****.

В гене миостатина крупного рогатого скота идентифицированы три клинически значимых полиморфизма с доказанным влиянием на фенотип. Наиболее изученной является 11-нуклеотидная делеция в 3′-нетранслируемой области (rs110344317), приводящая к снижению экспрессии гена на 40–45% (P < 0,01) и увеличению мышечной массы на 8–10%. Наиболее выраженный эффект демонстрирует нонсенс-мутация Q204X, характерная для бельгийской голубой породы: введение преждевременного стоп-кодона полностью инактивирует белок, вызывая фенотип «двойной мускулатуры» с увеличением мышечной массы на 18–22% (P < 0,001). Двойной мускулистый фенотип характеризуется увеличением количества мышечных волокон (гиперплазия), в отличие от увеличения размера отдельных мышечных волокон (гипертрофия), характерного для животных с нормально функционирующим миостатином [19].

Перспективным ДНК-маркером признаков мясной продуктивности в последние годы считается полиморфизм rs110065568 (6:c.282C>A, 4:p. Phe94Leu), который связан с такими показателями, как размеры и масса туши, содержание в ней общего и внутримышечного жира, площадь поперечного сечения длиннейшей мышцы спины (площадь «мышечного глазка») и ряд других. Имеющиеся литературные данные говорят о высокой полиморфности данного локуса (табл. 2).

Как свидетельствуют данные таблицы 2, у представителей большинства изученных пород скота молочного и мясного направления продуктивности наибольшим распространением отличается аллель C. Однако в отдельных популяциях скота, например, среди скота лимузинской породы, наиболее часто регистрировались носители аллеля A.

Участие белка миостатина в регуляции роста мышечной ткани обусловило интерес исследователей к полиморфизму гена MSTN. Ещё в 2008 г. A. K. Esmailizadeh с коллегами установили значимую ассоциативную связь полиморфизма rs110065568 (MSTNF94L) с рядом мясных качеств у крупного рогатого скота: длиной и массой туши, содержанием жира в туше, толщиной подкожного жира, а также с площадью «мышечного глазка» и содержанием внутримышечного жира [25]. Эти данные подтверждаются результатами исследований K. Keogh с соавторами, в которых локус MSTN F94L значимо связан с такими показателями, как развитость мясных форм, масса туши, содержание

*** MSTN myostatin [*Bos taurus* (domestic cattle)] – Gene – NCBI. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/281187/ (date of access: 04.08.2025).

**** Gene: MSTN (ENSBTAG00000011808) – Variant table – *Bos_taurus* – Ensembl genome browser 114. URL: https://www.ensembl.org/Bos_taurus/Gene/Variation_Gene/Table?db=core;g=ENSBTAG00000011808;r=2:6278864-6285486;t=ENSBTAT00000015674 (date of access: 04.08.2025).

Таблица 2 – Частота генотипов и аллелей локуса F94L гена миостатина (MSTN) у крупного рогатого скота разных пород (литературные данные)

| Порода | Генотип | | | Аллель | | Литературный источник |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | CC | CA | AA | C | A | |
| Голштинская | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 1,000 | 0,000 | Anwar S. et al., 2020 [20] |
| Абердин-ангусская | 93,1 | 6,9 | 0,0 | 0,970 | 0,070 | Коновалова Е. Н. и др., 2023 [21] |
| Лимузинская | 0,0 | 3,3 | 96,7 | 0,030 | 0,970 | Konovalova E. et al., 2021 [22] |
| Симментальская | 96,4 | 0,0 | 3,6 | 0,960 | 0,040 | Konovalova E. et al., 2021 [22] |
| Бельгийская голубая | 91,6 | 0,0 | 8,4 | 0,920 | 0,080 | Коновалова Е. Н. и др., 2020 [23] |
| Герефордская | 98,0 | 2,0 | 0,0 | 0,990 | 0,010 | Басонов О. А. и др., 2024 [24] |

жира в туше, а также потребление корма животными [26].

В опытах на тёлках лимузинской породы K. E. Hales и соавторы (2020) установили, что потребление кислорода в расчёте на килограмм метаболической массы тела было выше у тёлок, не имевших ни одного мутантного аллеля по локусу F94L MSTN, чем у сверстниц, гомозиготных по мутантному аллелю A. При этом коэффициент дыхания, как и среднесуточный прирост живой массы, был выше у гомозиготных мутантных тёлок по сравнению со сверстницами [27].

По сведениям, полученным в исследовании И. В. Щукиной с соавторами (2022), полиморфизм гена миостатина оказывает существенное влияние на рост и развитие ремонтных тёлок голштинской породы, при этом наилучшими показателями последующей молочной продуктивности отличаются животные с генотипом CC по локусу MSTN [28]. В то же время на коровах бельгийской голубой породы комбинированного направления B. Buske с соавторами (2011) установлена положительная ассоциативная связь между «диким» аллелем гена MSTN и выходом молочного жира и белка [29].

Результаты исследований X. Zhao и соавторов (2025) на коровах люсинской жёлтой породы показали, что инактивация гена MSTN у коров сопровождалась увеличением площади таза и живой массы телёнка при рождении. По сравнению с носительницами «дикого типа» гена MSTN, у мутантных коров был повышен метаболизм глюкозы, снижен синтез липидов, повышен синтез белка и способность к усвоению питательных веществ, а также снижен синтез триптофана на разных стадиях стельности [30].

Таким образом, ген миостатина изучен, в первую очередь, как ДНК-маркер, ассоциированный с признаками мясной продуктивности и различными свойствами мяса крупного рогатого скота. В то же время результаты некоторых исследований указывают на имеющуюся потенциальную связь локуса MSTNF94L с признаками молочной продуктивности и воспроизводительными качествами скота, однако сведений в данной области накоплено крайне мало. Поэтому изучение данного полиморфизма в качестве маркера, ассоциированного как с параметрами молочной, так и мясной продуктивности, представляется актуальным.

**Выводы.** Литературные данные указывают на прямую связь полиморфизма AluI гена гормона роста с развитием мясных качеств, таких как интенсивность роста живой массы, балльной оценкой мясных форм (общей обмускуленности, груди, шеи, поясницы, холки), убойным выходом, площадью поперечного сечения длиннейшей мышцы спины. В то же время полиморфмзм GH AluI также оказывает существенное влияние и на признаки молочной продуктивности – удой, содержание жира и белка в молоке коров. Исследования полиморфизма F94L гена миостатина в большей степени подтверждают его влияние на мясные характеристики: длину, массу туши и содержание жира в ней, толщину подкожного жира, площадь «мышечного глазка» и содержание внутримышечного жира. Кроме того, полиморфизм MSTN F94L, по некоторым данным, ассоциирован с эффективностью использования кормов животными, интенсивностью дыхательных процессов, скоростью метаболизма глюкозы, синтеза липидов, белков и триптофана в организме стельной коровы, что в последующем сказывается на живой массе новорождённых телят. Поэтому оба этих ДНК-маркера представляют значительный интерес для дальнейших исследований в качестве ДНК-маркеров комбинированной селекции для признаков мясной и молочной продуктивности.

### *Список источников*

1. Li T., Bai H., Fang H. [et al.] Growth hormone inhibits adipogenic differentiation and induces browning in bovine subcutaneous adipocytes // Growth Hormone & IGF Research : Official Journal of the Growth Hormone Research Society and the International IGF Research Society. 2022. Vol. 66. Art. 101498. DOI 10.1016/j.ghir.2022.101498.

2. Sonmez Z., Kopuzlu S., Özdemir M. Effects of Somatotropic Axis Gene Polymorphisms on Milk Yields in Simmental Cattle // Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society. 2023. Vol. 74, №. 4. P. 6589–6598. DOI 10.12681/jhvms.31661.

3. Mohsin M. A., Yu H., He R. [et al.] Differentiation of Subclinical Ketosis and Liver Function Test Indices in Adipose Tissues Associated With Hyperketonemia in Postpartum Dairy Cattle // Frontiers in Veterinary Science. 2021. Vol. 8. Art. 796494. DOI 10.3389/fvets.2021.796494.

4. Сафина Н. Ю., Шакиров Ш. К., Шарафутдинов Г. С. Ассоциация полиморфизма гена GH с показателями живой массы гоштинского скота // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, биотехнологии и морфологии : сб. науч. тр. Национальной науч.-практ. конф. с международ. уч., посвящ. 70-летию Заслуженного деятеля науки РФ, доктора биологических наук, профессора Баймишева Хамидуллы Балтухановича, Кинель, 11–13 июня 2021 года. Кинель : Самарский государственный аграрный университет, 2021. С. 240–243. EDN SHIIVX.

5. Загидуллин Л. Р., Гилемханов И. Ю., Зарипов Р. У. [и др.] Оценка быков-производителей с разными генотипами генов соматотропинового каскада по молочной продуктивности и качеству молока ближайших женских предков // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2020. Т. 244, № 4. С. 86–91. DOI 10.31588/2413-4201-1883-244-4-86-92. EDN QCNHWH.

6. Зырянова А. А., Севостьянов М. Ю. Генетическая структура симментальского скота по комбинированным генам каппа-казеина и соматотропина // Научные достижения генетики и биотехнологии в ветеринарной медицине и животноводстве : сб. материалов науч.-практ. конф. с международ. уч., Екатеринбург, 27 апреля 2023 года. Екатеринбург : Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, 2023. С. 70–75. EDN RHORXR.

7. Лемякин А. Д., Баданина Л. С., Чаицкая К. Д. [и др.] Молочная продуктивность коров костромской породы комплексных генотипов GH/PRL // Вестник аграрной науки. 2024. № 3 (108). С. 60–66. DOI 10.17238/issn2587-666X.2024.3.60. EDN MMBANW.

8. Михалюк А. Н., Пешко Н. Н., Танана Л. А. Влияние полиморфизма генов диацилглицерол о-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG) на показатели молочной продуктивности коров голштинской породы молочного скота отечественной селекции // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак Почета государственная академия ветеринарной медицины. 2024. Т. 60, № 3. С. 97–106. DOI 10.52368/2078-0109-2024-60-3-97-106. EDN OWUHEM.

9. Шайдуллин Р. Р., Загидуллин Л. Р., Ахметов Т. М., Халилова Г. Х. Оценка молочной продуктивности холмогорских коров с аллельными вариантами генов пролактина и соматотропина // Аграрный научный журнал. 2022. № 3. С. 75–78. DOI 10.28983/asj.y2022i3pp75-78. EDN LBZXAT.

10. Шевхужев А. Ф., Скорых Л. Н., Суховеева А. В. Полиморфизмы гена GH и LEP, ассоциированные с признаками роста в популяции мясного скота калмыцкой породы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2023. Т. 15, № 3. С. 61–68. DOI 10.36508/RSATU.2023.60.53.009. EDN VJKXPF.

11. Седых Т. А., Гизатуллин Р. С., Долматова И. Ю. [и др.] Полиморфизм гена соматотропного гормона в связи с качеством туш мясного скота // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 2. С. 53–57. DOI 10.31857/S2500-2627-2020-2-53-57. EDN KLUYDL.

12. Дубовскова М. П., Герасимов Н. П. Генетическая структура и ассоциация полиморфизма генов гормона роста (L127V) и лептина (A80V) с продуктивностью в северо-кавказской популяции герефордской породы // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103, № 3. С. 91–101. DOI 10.33284/2658-3135-103-3-91. EDN ZNLSRY.

13. Макаев Ш. А., Тайгузин Р. Ш., Ляпин О. А., Фомин А. В. Генетическая характеристика казахского белоголового скота // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 6 (80). С. 281–285. EDN NHPXIS.

14. Ruprechter G., Carriguiry M., Ramos J. M. [et al.] Metabolic and endocrine profiles and reproductive parameters in dairy cows under grazing conditions: effect of polymorphisms in somatotropic axis genes // Acta Veterinaria Scandinavica. 2011. Vol. 53. Art. 35. DOI 10.1186/1751-0147-53-35.

15. Михалюк А. Н., Танана Л. А. Влияние полиморфизма генов DGAT1, GH, PRL и BLG на показатели молочной продуктивности коров Красной белорусской породной группы // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак Почета государственная академия ветеринарной медицины. 2025. Т. 61, № 1. С. 53–62. DOI 10.52368/2078-0109-2025-61-1-53-62. EDN UKHVOD.

16. Saleh A. A., Hassan T. G. M., El-Hedainy D. K. A. [et al.] IGF-I and GH Genes polymorphism and their association with milk yields, composition and reproductive performance in Holstein-Friesian dairy cattle // BMC Veterinary Research. 2024. Vol. 20. Art. 341. DOI 10.1186/s12917-024-04188-4.

17. Han H. Q., Zhou X., Mitch W. E. [et al.] Myostatin/activin pathway antagonism: molecular basis and therapeutic potential // The International Journal of Biochemistry & Cell Biology. 2013. Vol. 45, Is. 10. P. 2333–2347. DOI 10.1016/j.biocel.2013.05.019.

18. Gao L., Yang M., Wei Z. [et al.] *MSTN* Mutant Promotes Myogenic Differentiation by Increasing Demethylase *TET1* Expression via the SMAD2/SMAD3 Pathway // International Journal Biological Sciences. 2020. Vol. 16, № 8. P. 1324–1334. DOI 10.7150/ijbs.40551.

19. McPherron A. C., Lee S. J. Double muscling in cattle due to mutations in the myostatin gene // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1997. Vol. 94, № 23. P. 12457–12461. DOI 10.1073/pnas.94.23.12457.

20. Anwar S., Volkandari S. D., Wulandari A. S. [et al.] Detection of F94L mutation of the MSTN gene in four Indonesian local cattle breeds // Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture. 2020. Vol. 45, № 1. P. 7–14. DOI 10.14710/jitaa.45.1.7.-14.

21. Коновалова Е. Н., Селионова М. И., Гладырь Е. А. [и др.] ДНК-анализ полиморфизма генов миостатина, лептина и кальпаина 1 у российской популяции крупного рогатого скота абердин-ангусской породы // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 4. С. 622–637. DOI 10.15389/agrobiology.2023.4.622rus. EDN KVFATF.

22. Konovalova E., Romanenkova O., Zimina A. [et al.] Genetic Variations and Haplotypic Diversity in the Myostatin Gene of Different Cattle Breeds in Russia // Animals (Basel). 2021. Vol. 11 (10). Art. 2810. DOI 10.3390/ani11102810.

23. Коновалова Е. Н., Романенкова О. С., Костюнина О. В. Мутации гена миостатина у крупного рогатого скота Абердин-ангусской и бельгийской голубой пород российской популяции // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2020. № 1. С. 311–314. DOI 10.17238/issn2072-6023.2020.1.311. EDN MVSDNH.

24. Басонов О. А., Судакова А. В., Миткина С. Ю. Анализ генетического профиля герефордского скота разных селекций по ключевым генам CAPNI, CAST, LEP и MSTN // Аграрный научный журнал. 2024. № 12. С. 92–99. DOI 10.28983/asj.y2024i12pp92-99. EDN IKGJEL.

25. Esmailizadeh A. K., Bottema C. D. K., Sellick G. S. [et al.] Effects of the myostatin F94L substitution on beef traits // Journal of Animal Science. 2008. Vol. 86, № 5. P. 1038–1046. DOI 10.2527/jas.2007-0589.

26. Keogh K., Carthy T. R., McClure M. C. [et al.] Genome-wide association study of economically important traits in Charolais and Limousin beef cows // Animal: an International Journal of Animal Bioscience. 2021. Vol. 15, Is. 1. Art. 100011. DOI 10.1016/j.animal.2020.100011.

27. Hales K. E., Tait R. G., Lindholm-Perry A., Cushman R. A. Effects of the F94L Limousin associated myostatin gene marker on metabolic index in growing beef heifers // Applied Animal Science. 2020. Vol. 36, Is. 6. P. 851–856. DOI 10.15232/aas.2020-02046.

28. Щукина И. В., Кощаев А. Г., Шуклин С. Ю. [и др.] Ассоциация полиморфизма ген-маркеров DGAT1 и MSTN с показателями развития молодняка голштинской породы крупного рогатого скота // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 95. С. 213–218. DOI 10.21515/1999-1703-95-213-218. EDN ZQEQAT.

29. Buske B., Gengler N., Soyeurt H. Short communication: Influence of the muscle hypertrophy mutation of the myostatin gene on milk production traits and milk fatty acid composition in dual-purpose Belgian Blue dairy cattle // Journal of Dairy Science. 2011. Vol. 94, Is. 7. P. 3687–3692. DOI 10.3168/jds.2010-4057.

30. Zhao X., Xiao J., Yun Y. [et al.] Comparative analysis of reproductive organs, hormones and blood metabolism of MSTN mutated and non-mutated cows during gestation // BMC Veterinary Research. 2025. Vol. 21. Art. 279. DOI 10.1186/s12917-025-04742-8.

***References***

1. Li T., Bai H., Fang H. [et al.] Growth hormone inhibits adipogenic differentiation and induces browning in bovine subcutaneous adipocytes // Growth Hormone & IGF Research : Official Journal of the Growth Hormone Research Society and the International IGF Research Society. 2022. Vol. 66. Art. 101498. DOI 10.1016/j.ghir.2022.101498.

2. Sonmez Z., Kopuzlu S., Özdemir M. Effects of Somatotropic Axis Gene Polymorphisms on Milk Yields in Simmental Cattle // Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society. 2023. Vol. 74, №. 4. P. 6589–6598. DOI 10.12681/jhvms.31661.

3. Mohsin M. A., Yu H., He R. [et al.] Differentiation of Subclinical Ketosis and Liver Function Test Indices in Adipose Tissues Associated With Hyperketonemia in Postpartum Dairy Cattle // Frontiers in Veterinary Science. 2021. Vol. 8. Art. 796494. DOI 10.3389/fvets.2021.796494.

4. Safina N. Yu., Shakirov Sh. K., Sharafutdinov G. S. Associaciya polimorfizma gena GH s pokazatelyami zhivoj massy goshtinskogo skota // Aktual'nye problemy veterinarnoj mediciny, biotekhnologii i morfologii : sb. nauch. tr. Nacional'noj nauch.-prakt. konf. s mezhdunarod. uch., posvyashch. 70-letiyu Zasluzhennogo deyatelya nauki RF, doktora biologicheskih nauk, professora Bajmisheva Hamidully Baltuhanovicha, Kinel', 11–13 iyunya 2021 goda. Kinel' : Samarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2021. S. 240–243. EDN SHIIVX.

5. Zagidullin L. R., Gilemkhanov I. Yu., Zaripov R. U. [i dr.] Ocenka bykov-proizvoditelej s raznymi genotipami genov somatotropinovogo kaskada po molochnoj produktivnosti i kachestvu moloka blizhajshih zhenskih predkov //

Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N. E. Baumana. 2020. T. 244, № 4. S. 86–91. DOI 10.31588/2413-4201-1883-244-4-86-92. EDN QCNHWH.

6. Zyryanova A. A., Sevost'yanov M. Yu. Geneticheskaya struktura simmental'skogo skota po kombinirovannym genam kappa-kazeina i somatotropina // Nauchnye dostizheniya genetiki i biotekhnologii v veterinarnoj medicine i zhivotnovodstve : sb. materialov nauch.-prakt. konf. s mezhdunarod. uch., Ekaterinburg, 27 aprelya 2023 goda. Ekaterinburg : Ural'skij federal'nyj agrarnyj nauchno-issledovatel'skij centr UrO RAN, 2023. S. 70–75. EDN RHORXR.

7. Lemyakin A. D., Badanina L. S., Chaickaya K. D. [i dr.] Molochnaya produktivnost' korov kostromskoj porody kompleksnyh genotipov GH/PRL // Vestnik agrarnoj nauki. 2024. № 3 (108). S. 60–66. DOI 10.17238/issn2587-666X.2024.3.60. EDN MMBANW.

8. Mikhalyuk A. N., Peshko N. N., Tanana L. A. Vliyanie polimorfizma genov diacilglicerol o-acil transferazy 1 (DGAT1), somatotropina (GH), prolaktina (PRL) i beta-laktoglobulina (BLG) na pokazateli molochnoj produktivnosti korov golshtinskoj porody molochnogo skota otechestvennoj selekcii // Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaya ordena Znak Pocheta gosudarstvennaya akademiya veterinarnoj mediciny. 2024. T. 60, № 3. S. 97–106. DOI 10.52368/2078-0109-2024-60-3-97-106. EDN OWUHEM.

9. Shajdullin R. R., Zagidullin L. R., Akhmetov T. M., Khalilova G. Kh. Ocenka molochnoj produktivnosti holmogorskih korov s allel'nymi variantami genov prolaktina i somatotropina // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2022. № 3. S. 75–78. DOI 10.28983/asj.y2022i3pp75-78. EDN LBZXAT.

10. Shevkhuzhev A. F., Skorykh L. N., Sukhoveeva A. V. Polimorfizmy gena GH i LEP, associirovannye s priznakami rosta v populyacii myasnogo skota kalmyckoj porody // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva. 2023. T. 15, № 3. S. 61–68. DOI 10.36508/RSATU.2023.60.53.009. EDN VJKXPF.

11. Sedykh T. A., Gizatullin R. S., Dolmatova I. Yu. [i dr.] Polimorfizm gena somatotropnogo gormona v svyazi s kachestvom tush myasnogo skota // Rossijskaya sel'skohozyajstvennaya nauka. 2020. № 2. S. 53–57. DOI 10.31857/S2500-2627-2020-2-53-57. EDN KLUYDL.

12. Dubovskova M. P., Gerasimov N. P. Geneticheskaya struktura i associaciya polimorfizma genov gormona rosta (L127V) i leptina (A80V) s produktivnost'yu v severo-kavkazskoj populyacii gerefordskoj porody // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2020. T. 103, № 3. S. 91–101. DOI 10.33284/2658-3135-103-3-91. EDN ZNLSRY.

13. Makaev Sh. A., Tajguzin R. Sh., Lyapin O. A., Fomin A. V. Geneticheskaya harakteristika kazahskogo belogolovogo skota // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 6 (80). S. 281–285. EDN NHPXIS.

14. Ruprechter G., Carriguiry M., Ramos J. M. [et al.] Metabolic and endocrine profiles and reproductive parameters in dairy cows under grazing conditions: effect of polymorphisms in somatotropic axis genes // Acta Veterinaria Scandinavica. 2011. Vol. 53. Art. 35. DOI 10.1186/1751-0147-53-35.

15. Mikhalyuk A. N., Tanana L. A. Vliyanie polimorfizma genov DGAT1, GH, PRL i BLG na pokazateli molochnoj produktivnosti korov Krasnoj belorusskoj porodnoj gruppy // Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaya ordena Znak Pocheta gosudarstvennaya akademiya veterinarnoj mediciny. 2025. T. 61, № 1. S. 53–62. DOI 10.52368/2078-0109-2025-61-1-53-62. EDN UKHVOD.

16. Saleh A. A., Hassan T. G. M., El-Hedainy D. K. A. [et al.] IGF-I and GH Genes polymorphism and their association with milk yields, composition and reproductive performance in Holstein-Friesian dairy cattle // BMC Veterinary Research. 2024. Vol. 20. Art. 341. DOI 10.1186/s12917-024-04188-4.

17. Han H. Q., Zhou X., Mitch W. E. [et al.] Myostatin/activin pathway antagonism: molecular basis and therapeutic potential // The International Journal of Biochemistry & Cell Biology. 2013. Vol. 45, Is. 10. P. 2333–2347. DOI 10.1016/j.biocel.2013.05.019.

18. Gao L., Yang M., Wei Z. [et al.] *MSTN* Mutant Promotes Myogenic Differentiation by Increasing Demethylase *TET1* Expression via the SMAD2/SMAD3 Pathway // International Journal Biological Sciences. 2020. Vol. 16, № 8. P. 1324–1334. DOI 10.7150/ijbs.40551.

19. McPherron A. C., Lee S. J. Double muscling in cattle due to mutations in the myostatin gene // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1997. Vol. 94, № 23. P. 12457–12461. DOI 10.1073/pnas.94.23.12457.

20. Anwar S., Volkandari S. D., Wulandari A. S. [et al.] Detection of F94L mutation of the MSTN gene in four Indonesian local cattle breeds // Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture. 2020. Vol. 45, № 1. P. 7–14. DOI 10.14710/jitaa.45.1.7.-14.

21. Konovalova E. N., Selionova M. I., Gladyr' E. A. [i dr.] DNK-analiz polimorfizma genov miostatina, leptina i kal'paina 1 u rossijskoj populyacii krupnogo rogatogo skota aberdin-angusskoj porody // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2023. T. 58, № 4. S. 622–637. DOI 10.15389/agrobiology.2023.4.622rus. EDN KVFATF.

22. Konovalova E., Romanenkova O., Zimina A. [et al.] Genetic Variations and Haplotypic Diversity in the Myostatin Gene of Different Cattle Breeds in Russia // Animals (Basel). 2021. Vol. 11 (10). Art. 2810. DOI 10.3390/ani11102810.

23. Konovalova E. N., Romanenkova O. S., Kostyunina O. V. Mutacii gena miostatina u krupnogo rogatogo skota Aberdin-angusskoj i bel'gijskoj goluboj porod rossijskoj populyacii // Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii. 2020. № 1. S. 311–314. DOI 10.17238/issn2072-6023.2020.1.311. EDN MVSDNH.

24. Basonov O. A., Sudakova A. V., Mitkina S. Yu. Analiz geneticheskogo profilya gerefordskogo skota raznyh selekcij po klyuchevym genam CAPNI, CAST, LEP i MSTN // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2024. № 12. S. 92–99. DOI 10.28983/asj.y2024i12pp92-99. EDN IKGJEL.

25. Esmailizadeh A. K., Bottema C. D. K., Sellick G. S. [et al.] Effects of the myostatin F94L substitution on beef traits // Journal of Animal Science. 2008. Vol. 86, № 5. P. 1038–1046. DOI 10.2527/jas.2007-0589.

26. Keogh K., Carthy T. R., McClure M. C. [et al.] Genome-wide association study of economically important traits in Charolais and Limousin beef cows // Animal: an International Journal of Animal Bioscience. 2021. Vol. 15, Is. 1. Art. 100011. DOI 10.1016/j.animal.2020.100011.

27. Hales K. E., Tait R. G., Lindholm-Perry A., Cushman R. A. Effects of the F94L Limousin associated myostatin gene marker on metabolic index in growing beef heifers // Applied Animal Science. 2020. Vol. 36, Is. 6. P. 851–856. DOI 10.15232/aas.2020-02046.

28. Shchukina I. V., Koshchaev A. G., Shuklin S. Yu. [i dr.] Associaciya polimorfizma gen-markerov DGAT1 i MSTN s pokazatelyami razvitiya molodnyaka golshtinskoj porody krupnogo rogatogo skota // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 95. S. 213–218. DOI 10.21515/1999-1703-95-213-218. EDN ZQEQAT.

29. Buske B., Gengler N., Soyeurt H. Short communication: Influence of the muscle hypertrophy mutation of the myostatin gene on milk production traits and milk fatty acid composition in dual-purpose Belgian Blue dairy cattle // Journal of Dairy Science. 2011. Vol. 94, Is. 7. P. 3687–3692. DOI 10.3168/jds.2010-4057.

30. Zhao X., Xiao J., Yun Y. [et al.] Comparative analysis of reproductive organs, hormones and blood metabolism of MSTN mutated and non-mutated cows during gestation // BMC Veterinary Research. 2025. Vol. 21. Art. 279. DOI 10.1186/s12917-025-04742-8.

***Информация об авторах***

**Павел Олегович Щеголев** – кандидат сельскохозяйственных наук, селекционер-зоотехник Регионального информационно-селекционного центра, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 4842-8345.

**Алексей Александрович Чаицкий** – кандидат биологических наук, преподаватель кафедры частной зоотехнии, разведения и генетики, заведующий лабораторией генетики и ДНК-технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 3284-3654.

**Ксения Дмитриевна Чаицкая** – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры внутренних незаразных болезней, хирургии и акушерства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 6120-9223.

**Виктория Алексеевна Дуркина** – обучающаяся факультета ветеринарной медицины и зоотехнии, лаборант лаборатории генетики и ДНК-технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 6693-6977.

***Information about the authors***

**Pavel O. Schiogolev** – Candidate of Agricultural Sciences, breeder-zootechnician of the Regional Information and Breeding Center, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 4842-8345.

**Aleksey A. Chaitskiy** – Candidate of Biological Sciences, lecturer of the Department of Private Animal Science, Breeding and Genetics, Head of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 3284-3654.

**Kseniya D. Chaickaya** – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of internal non-contagious diseases, surgery, and obstetrics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 6120-9223.

**Victoriya A. Durkina** – student of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, laboratory assistant of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 6693-6977.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.