

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.4.713-724>  
УДК 636.082



## Роль генов соматотропной оси в регуляции продуктивных качеств молочного и мясного скота (обзор)

© 2025. И. С. Кожевникова ✉, А. О. Ступина, И. А. Классен

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Российская Федерация

*Соматотропин играет важную роль в регулировании процессов роста, метаболизма и развития у крупного рогатого скота. Этот гормон действует через сложную сеть белковых взаимодействий, известную как соматотропная ось, которая отвечает за координацию обмена веществ и различных физиологических процессов у млекопитающих. Цель обзора – систематизировать современные данные о влиянии генов соматотропной оси (GH, GHR, IGF-1 и др.) на продуктивные качества крупного рогатого скота (молочную и мясную продуктивность), а также оценить перспективы их использования в селекционных программах животноводства. Множество аллельных вариантов генов, ассоциированных с соматотропной осью, оказывает значительное влияние на ключевые экономические показатели, такие как молочная продуктивность и состав молока, характеристики туши, уровень мясной продукции и репродуктивные способности животных. Генетические варианты гена GH влияют на такие параметры, как удой, содержание жира и белка в молоке, продолжительность лактации. Некоторые генотипы, например GH<sup>LL</sup>, способны обеспечить более высокий удой, однако они характеризуются пониженным содержанием жира и белка. В то же время другие генотипы, такие как GH<sup>VL</sup>, могут повышать содержание жира в молоке, но одновременно снижать общий удой. Взаимодействия GH с другими генами также играют важную роль в определении молочной продуктивности. В этом контексте рекомбинантный соматотропин активно используется для повышения продуктивных характеристик у коров, особенно в молочном скотоводстве. Применение рекомбинантного соматотропина крупного рогатого скота (rBGH) в кормлении коров в средние и поздние периоды лактации способствует активации механизмов, которые влияют на увеличение молочной и мясной продуктивности. Несмотря на существующие обширные данные, исследования генетической изменчивости гена гормона роста у различных пород крупного рогатого скота остаются актуальными и востребованными. В этом контексте разработка персонализированных схем применения rBGH, учитывающих генетические особенности животных, направлена на повышение продуктивности при сохранении их здоровья и качества продукции, что требует комплексных исследований для определения оптимальных дозировок, режимов введения и оценки их влияния на физиологическое состояние животных различных генотипов в течение продуктивного цикла.*

**Ключевые слова:** соматотропин, генотип, полиморфизм, крупный рогатый скот, рекомбинантный соматотропин

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук (тема № FUUW-2024-0006).

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

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

**Для цитирования:** Кожевникова И. С., Ступина А. О., Классен И. А. Роль генов соматотропной оси в регуляции продуктивных качеств молочного и мясного скота (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025;26(4):713–724. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.4.713-724>

Поступила: 14.10.2024

Принята к публикации: 04.07.2025

Опубликована онлайн: 29.08.2025

## The role of somatotrophic axis genes in regulating the productivity traits of dairy and beef cattle (review)

© 2025. Irina S. Kozhevnikova ✉, Aleksandra O. Stupina, Inga A. Klassen

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Archangelsk, Russian Federation

*Somatotropin plays a crucial role in regulating growth, metabolism, and development in cattle. This hormone acts through a complex network of protein interactions known as the somatotrophic axis, which coordinates metabolic and physiological processes in mammals. The aim of this review is to systematize current data on the influence of somatotrophic axis genes (GH, GHR, IGF-1, etc.) on cattle productivity (both dairy and beef traits) and assess their potential use in livestock breeding programs. Numerous allelic variants of genes associated with the somatotrophic axis significantly impact key economic indicators, such as milk yield and composition, carcass characteristics, meat production levels, and reproductive*

performance. Genetic variants of the GH gene affect parameters including milk yield, fat and protein content, and lactation efficiency. For example, certain genotypes (e.g., GH<sup>LL</sup>) may increase milk production but reduce fat and protein content, while others (GH<sup>VL</sup>) can enhance milk fat while decreasing overall yield. Interactions between GH and other genes also play a key role in determining dairy productivity. Recombinant bovine somatotropin (rBGH) is widely used to enhance productivity in dairy cattle, particularly during mid-to-late lactation, by activating mechanisms that improve milk and meat yields. Despite extensive existing research, studies on the genetic variability of the growth hormone gene across different cattle breeds remain relevant and in demand. In this context, the development of personalized rBGH administration protocols-tailored to the genetic profiles of animals-aims to maximize productivity while maintaining animal health and product quality. This necessitates comprehensive research to determine optimal dosages, administration regimens, and their effects on the physiological state of animals with different genotypes throughout their productive cycles.

**Keywords:** somatotropin, genotype, polymorphism, cattle, recombinant somatotropin

**Acknowledgement:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. FUUW-2024-0006).

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:** Kozhevnikova I. S., Stupina A. O., Klassen I. A. The role of somatotropic axis genes in regulating the productivity traits of dairy and beef cattle (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(4):713–724. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.4.713-724>

Received: 14.10.2024

Accepted for publication: 04.07.2025

Published online: 29.08.2025

Соматотропин играет ключевую роль в регуляции роста, метаболизма и развития у крупного рогатого скота. Интерес к соматотропину продолжает расти в сфере научных исследований и сельскохозяйственной практики, поскольку эффективное управление его выработкой может оказать значительное влияние на производственные характеристики скота, такие как увеличение массы тела, возраст первого осеменения, молочную продуктивность и качество мяса.

Понимание механизмов действия соматотропина, его взаимодействия с другими гормонами и влияние на здоровье животных имеет важное значение для разработки эффективных и безопасных стратегий его применения. Кроме того, в условиях повышения требований к благополучию животных и экологической устойчивости, изучение долгосрочных эффектов соматотропина на организм крупного рогатого скота является необходимым для обеспечения устойчивого развития отрасли.

Таким образом, обзор существующих данных о соматотропине поможет выявить пробелы в знаниях и наметить направления для будущих исследований, способствуя оптимизации его использования в сельском хозяйстве.

**Цель обзора** – систематизировать современные данные о влиянии генов соматотропной оси (GH, GHR, IGF-1 и др.) на продуктивные качества крупного рогатого скота (молочную и мясную продуктивность), а также оценить перспективы их использования в селекционных программах животноводства.

**Материал и методы.** Поиск осуществляли с использованием следующих ключевых слов и их комбинаций на русском – "соматотропная ось", "GH-IGF система", "полиморфизм гена GH" и английском языках – "somatotrophic axis", "growth hormone gene", "IGF-1".

Использовали следующие базы данных электронных библиотек: eLibrary (<https://elibrary.ru/>), ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com/>), Semantic Scholar (<https://www.semanticscholar.org/>) и PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), Scopus (<https://www.scopus.com/>).

Критерии включения публикаций: исследования, посвященные роли генов соматотропной оси (GH, GHR, IGF-1) в регуляции продуктивных качеств крупного рогатого скота; публикации в рецензируемых научных журналах; исследования, содержащие экспериментальные данные или мета-анализ.

Критерии исключения: статьи без полного текста; материалы конференций без рецензирования; исследования на других видах животных.

Географический охват исследований включал работы ученых из России, стран Европы, Северной и Южной Америки, Азии. Особое внимание уделялось исследованиям, проведенным на молочных и мясных породах крупного рогатого скота. Было проанализировано 49 научных публикаций.

**Основная часть.** Ген соматотропина. Гормон роста или соматотропин (GH) – это пептидный гормон, регулирующий метаболизм, а также рост позвоночных животных. Ген соматотропина локализован на девятнадцатой хромосоме (BTA19) и состоит в мультигенном

семействе, включающем пролактин и плацентарные лактогены. Данный ген охватывает около 1800 пар оснований и структурно состоит из пяти экзонов (I-V), которые в совокупности формируют мРНК длиной 786 пар оснований и кодируют полипептид из 217 аминокислот, сопровождаемый четырьмя интронами (A-D). Стоит отметить, что последовательности гена гормона роста у крупного рогатого скота, мышей и человека демонстрируют значительное сходство [1, 2].

В пятом экзоне бычьего гена GH обнаружен полиморфный сайт. Точечная мутация в позиции 2141 (трансверсия цитозина в гуанин) была выявлена эндонуклеазой AluI и привела к изменению аминокислотной последовательности: лейцин (L) заменен на валин (V) в позиции 127 белковой цепи бычьего GH [3, 4].

Например, И. В. Ткаченко с соавтором выявили, что у коров-первотёлок чёрно-пёстрой породы с генотипом GH<sup>LL</sup> за 305 дней лактации получены достоверно более высокие показатели по удою в сравнении с гетерозиготными сверстницами [5]. При исследовании продуктивных признаков коров чёрно-пёстрой породы с разными комплексными генотипами GH и TG К. Д. Сабетова с соавторами установили достоверную взаимосвязь аллелей GH<sup>L</sup> и TG<sup>T</sup> с показателями массовой доли жира и белка в молоке [6]. И. Ю. Долматова и И. Г. Ильясов в своей статье отмечали, что у коров бестужевской и чёрно-пёстрой пород с генотипом GH<sup>VL</sup> был зафиксирован более высокий выход молочного жира по сравнению с коровами, у которых генотипы были гомозиготными GH<sup>LL</sup> и GH<sup>VV</sup> – разница составила 55,4 и 30,9 кг соответственно. Авторы также отметили, что у гетерозиготных коров чёрно-пёстрой породы был обнаружен более высокий уровень удою по сравнению с коровами, имеющими гомозиготные генотипы [7]. При исследовании влияния гена соматотропина на показатели молочной продуктивности у коров холмогорской породы в работах Р. Р. Шайдуллина с соавторами показано, что животные носители генотипа GH<sup>LL</sup> имели достоверное преимущество перед полновозрастными коровами с генотипами GH<sup>VL</sup> и GH<sup>VV</sup> по удою [8]. В. Л. Ялуга с соавторами в своих исследованиях также отметили, что коровы-обладательницы генотипа GH<sup>LL</sup> по сравнению с носительницами генотипа GH<sup>VL</sup> характеризовались бóльшим удоём (на 419 кг), но более низкой массовой долей жира и белка в молоке (на 0,21 и 0,16 % соответственно) [9].

М. В. Позовникова с соавторами, изучая аллельный полиморфизм генов  $\beta$ -лактоглобулина, пролактина и соматотропина в группе коров айрширской породы, выявили, что у коров с генотипом GH<sup>LL</sup> удои были достоверно выше, чем у коров с генотипом GH<sup>VL</sup>, как и у коров с генотипом GH<sup>VL</sup> относительно коров с генотипом GH<sup>VV</sup> [10].

М. Е. Михайлова и Е. В. Белая установили, что скот голштинской породы с аллелем GH<sup>L</sup> имел лучшие показатели по удою и белку, а коровы с аллелью GH<sup>V</sup> отличались высоким показателем жирномолочности [11]. Н. Ю. Сафина с соавторами выявили у коров-первотёлок лучшие результаты по молочной продуктивности и качественному составу молока у животных с генотипом GH<sup>LL</sup> [12]. В исследованиях А. В. Перчуна с соавторами показано, что коровы костромской породы с генотипом GH<sup>LL</sup> превосходили коров с генотипом GH<sup>VL</sup> по удою и белку, тогда как коровы с генотипом GH<sup>VL</sup> отличались высоким содержанием молочного жира [13].

А. Н. Михайлюк с соавторами, проанализировав комплексное влияние генотипов О-ацилтрансферазы 1 (DGAT1), соматотропина, пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG) на показатели молочной продуктивности у коров голштинской породы в разрезе первой, второй и третьей лактаций, установили, что животные с комплексным генотипом DGAT1<sup>KK</sup>GH<sup>LL</sup>PRL<sup>AA</sup>BLG<sup>AB</sup> имели высокие показатели массовой доли жира и количества молочного жира в молоке, в других комбинациях комплексных генотипов (DGAT1<sup>KK</sup>GH<sup>LL</sup>PRL<sup>AB</sup>BLG<sup>AB</sup>, DGAT1<sup>KK</sup>GH<sup>LL</sup>PRL<sup>AA</sup>BLG<sup>AA</sup>) генотип GH<sup>LL</sup> оказывал положительное влияние на удои коров по первой и второй лактациям [14].

Имеются исследования влияния гена соматотропина на качественные показатели мясной продуктивности посредством действия гормона соматотропина на энергию роста и липидный обмен. Установлено, что масса туши у животных герефордской породы с генотипом GH<sup>VV</sup> больше на 5-10 кг в сравнении с остальными генотипами [15, 16]. А. Пэл, А. К. Чакраварти (A. Pal, A. K. Chakravarty) подтверждает, что животные с генотипом GH<sup>LL</sup> имеют наиболее высокую массу тела при рождении, а также в возрасте 3 и 6 мес., что значительно влияет на скорость их роста [17].

Многие исследователи указывают на позитивное влияние аллеля GH<sup>L</sup> гена соматотропина на рост и развитие молодняка. А. А. Некрасов с соавторами изучали молодняк голштинской

породы и выяснили, что наиболее высокий среднесуточный прирост в период от рождения до 18 месяцев имели телки с четырьмя комплексными генотипами  $bGH^{LL} - bPRL^{AA} - \kappa-CN^{AA} - PIT-1^{AB}$  [18]. М. В. Урядникова и И. Х. Улубаева в своем исследовании отметили первенство по живой массе у коров с генотипом  $GH^{LL}$  не только за первую лактацию, но и за вторую, и третью [19]. А. А. Ярышкин и соавторы показали, что телки голштинизированной черно-пестрой породы с генотипом  $GH^{LL}$  набирают оптимальный вес для осеменения раньше, чем телки той же породы с генотипами  $GH^{VL}$  и  $GH^{VV}$  [20].

Полиморфизм гена соматотропина также связывают с частотой хромоты у крупного рогатого скота. Исследование, проведенное на коровах голштинской породы показало, что помимо влияния факторов окружающей среды, таких как год отела, сезон, возраст, немаловажное значение имел генотип гена  $GH$  у животных. У особей с гетерозиготным генотипом вероятность развития хромоты значительно ниже, чем у представителей других генотипов [21].

В интроне 3 в позиции 1547 был установлен полиморфный сайт эндонуклеазой рестрикции  $Msp I$ . В ряде исследований сообщалось о взаимосвязи генотипов, полученных от  $Msp I$  с молочной продуктивностью крупного рогатого скота. Однако в некоторых исследованиях отмечалось расхождение в полиморфизме генов и ассоциации по отношению к целевому локусу [22].

В исследовании, проведенном С. Сачан с соавт. (S. Sachan et al.), было установлено, что аллель Т преобладает у крупного рогатого скота породы сахивал. Коровы с генотипом DD демонстрировали значительно более высокую молочную продуктивность в первую лактацию (305 дней), включая общее количество выработанного молока и продолжительность лактационного периода в сравнении с особями, обладающими генотипами CD и CC [23]. Ю. К. Бангар и его коллеги (Y. C. Bangar et al.) пришли к иным выводам. В своем обзоре выявили, что животные разных пород, несущие аллель С, имеют значительную связь с увеличением удоя, особенно в начальные периоды лактации [22].

Авторы исследования пришли к выводу, что у гибридного крупного рогатого скота (голландская × египетская баллади) гетерозиготные генотипы (CD) демонстрируют значительную корреляцию с содержанием сухого

вещества, белка и лактозы. В отличие от них, генотипы DD характеризуются более низким содержанием этих компонентов по сравнению с CD и CC. Также была обнаружена слабая связь между удоем за 305 дней и содержанием жира в молоке. Однако у коров голштино-фризской породы такая зависимость отсутствует как в гомозиготных, так и гетерозиготных генотипах [24].

*Соматотропная ось.* Гормон роста действует через сложную сеть взаимодействий белков, известную как соматотропная ось, представляющая собой эволюционно сохранённый сигнальный путь, участвующий в ряде фундаментальных биологических процессов, включая клеточный рост, пролиферацию, дифференцировку и поддержание гомеостаза у животных [25].

Соматотропная ось включает в себя гены, которые кодируют сам гормон роста, инсулиноподобный фактор роста 1 (ИФР-1, IGF-1), а также их рецепторы – гормона роста (GHR) и инсулиноподобного фактора роста (IGFR), кроме этого в состав входят гены нескольких внутриклеточных сигнальных белков [26]. Соматотропин через соматотропную ось контролирует распределение питательных веществ у молочных коров в начале лактации [27].

Гормон роста и инсулиноподобный фактор роста 1 выступают в роли мощных регуляторов роста как отдельных тканей, так и организма в целом. Гормон роста инициирует рост тканей и стимулирует общий рост организма через образование ИФР-1, который преимущественно синтезируется в печени под воздействием  $GH$ . Также  $GH$  активирует процесс роста тканей через механизмы, не связанные с ИФР-1. Инсулиноподобный фактор роста 1 стимулирует развитие тканей организма через эндокринные, паракринные и аутокринные механизмы действия. Разнообразные механизмы действия, а также взаимодействие гормона роста и инсулиноподобного фактора роста 1 затрудняют точное определение их относительной роли в процессе роста и развития тканей организма [28, 29].

Среди сигнальных путей соматотропной оси путь JAK2-STAT5 является основным для реализации воздействия  $GH$  на транскрипцию генов в печени [30]. Путь JAK-STAT включает три основных компонента: рецепторы; янускиназы (JAK) и преобразователи сигналов; активаторы транскрипции (STATs). Семейство JAK млекопитающих состоит из JAK1, JAK2,

ЖАК3 и тирозинкиназы 2 (ТЮК2), которые связаны с цитоплазматическими доменами различных цитокиновых рецепторов. Представители семейства STAT играют важную роль в процессах клеточного роста, дифференцировки, выживания, апоптоза и развития молочной железы [31]. Исследования показали, что условное ингибирование (conditional inhibition) STAT5 в первые 10 дней лактации приводит к снижению массы тела новорождённых на 30–40 % в результате изменений морфологии молочных желез и уменьшения выработки молока. Ингибирование STAT5a (изоформа STAT5) подавляет нормальное развитие и дифференцировку молочной железы в период беременности, тогда как делеция STAT5b (изоформа STAT5) в основном ухудшает общий рост организма [32].

Путь ЖАК2-STAT5 играет ключевую роль в транскрипционном действии GH на инсулиноподобный фактор роста 1 и выступает в роли супрессора цитокиновой сигнализации 2 (SOCS2). IGF-1 является митогенным фактором для различных типов клеток, тогда как GH-индуцированная продукция IGF-1 в печени является основным источником циркулирующего IGF-1 в организме [30].

Белки-супрессоры передачи сигналов цитокинов (SOCS) являются ингибиторами пути ЖАК-STAT и действуют как классическая петля отрицательной обратной связи, которая модулирует чувствительность клеток к цитокинам, впервые обнаруженная в 1997 году различными группами ученых [33, 34]. Л. А. Винкельман с соавт. (L. A. Winkelman et al.) сделали вывод, что повышенное содержание SOCS-2 в печени может нарушить способность GH к выработке ИФР-1 в печени коровы после отела [35].

У молочного скота начало лактации сопровождается интенсивной выработкой молока, при этом не происходит адекватного увеличения потребления энергии. Это приводит к значительному энергетическому дефициту в первые недели после родов. В этот период также наблюдается резистентность к гормону роста, что подтверждается снижением уровня IGF-1 в плазме крови, несмотря на его повышенные уровни в сыворотке [36]. Исследования показали, что одной из причин резистентности к гормону роста в печени является уменьшение количества его рецепторов, вызванное снижением экспрессии специфического для печени транскрипта рецептора GHR1A [37, 38].

Отрицательный энергетический баланс (ОЭБ) является метаболическим расстройством, наблюдаемым у высокопродуктивных коров. Это состояние характеризуется снижением уровней глюкозы, инсулина и инсулиноподобного фактора роста 1, а также повышением концентраций неэтерифицированных жирных кислот (NEFA),  $\beta$ -гидроксимасляной кислоты (BHBA) и гормона роста в плазме. В период ОЭБ происходит разобщение соматотропной оси вследствие подавления экспрессии рецептора гормона роста в печени, что приводит к формированию эндокринной среды, способствующей прямому влиянию гормона роста на липолиз и глюконеогенез в начале лактации [37].

С увеличением молочной продуктивности репродуктивные способности коров снижаются. В течение лактации энергетический баланс молочного скота становится отрицательным – это происходит в результате несоответствия между потребностью в питательных веществах и их расходом [3].

У маточного поголовья, имеющего положительный энергетический баланс, соматотропин высвобождается из передней доли гипофиза и стимулирует выработку ИФР-1 из печени. ИФР-1 снижает скорость высвобождения гормона роста, а также играет роль сенситизатора инсулина, тем самым помогая периферическим тканям поглощать глюкозу [39].

*Рекомбинантный соматотропин.* В области животноводства, особенно в молочном скотоводстве, рекомбинантный соматотропин активно применяется для стимуляции продуктивных показателей коров. Это искусственный гормон роста, синтезируемый с помощью технологии рекомбинантной ДНК [40]. Ученые идентифицировали ген, ответственный за выработку естественного bST, и, используя стандартные методы генной инженерии, дублировали ген и встроили его в ДНК бактерий *E. coli* [41]. Многочисленные исследования показали, что рекомбинантный соматотропин крупного рогатого скота (rBST) увеличивает молочную продуктивность и эффективность кормления у лактирующих коров, согласно обзору, проведенному Н. Р. Сен-Пьер с соавторами (N. R. St-Pierre et al.) [42].

Применение rBGH у лактирующих молочных коров способствовало увеличению глюконеогенеза в печени, а также подавляло ингибирующее воздействие инсулина на этот процесс, что, в свою очередь, влекло за собой увеличение полного окисления жирных кислот

в клетках печени и улучшило метаболические параметры. Однако влияние rBGH на метаболические индикаторы и общее состояние здоровья коров в период родов остается относительно неясным [39]. В частности, лечение коров в период родов с использованием дозы 500 мг rBGH каждые 14 дней приводило к увеличению уровня глюкозы, снижению концентрации жирных кислот и бета-гидроксипутирата, а также к росту удоев молока. Снижение дозы rBGH до диапазона от 142,8 до 325,0 мг каждые 14 дней в предродовом периоде также способствовало увеличению уровней инсулина, ИФР-1 и глюкозы, однако влияние на удои и показатели молока проявлялось с различной степенью выраженности [43].

В недавнем эксперименте Р. Б. Сильва с соавт. (P. R. B. Silva et al.) [44] коровы голштинской породы получали 0, 87,5 и 125 мг rBGH еженедельно, у коров, получавших 125 мг, наблюдали повышение концентрации ИФР-1, улучшение ответов, связанных с врожденным и адаптивным иммунитетом, и снижение концентраций бета-гидроксипутирата. При этом, согласно результатам данного эксперимента, rBGH не оказывал прямого влияния на функцию печени, так как не было выявлено значимых изменений в содержании общих липидов, триглицеридов или гликогена в печени. Однако наблюдаемое снижение концентрации бета-гидроксипутирата в группе коров, получавших 125 мг rBGH, может косвенно влиять на метаболические процессы, происходящие в печени, что, вероятно, связано с изменениями в метаболизме жиров. Кроме того, в этой же группе коров отмечено снижение уровня гаптоглобина, что указывает на снижение воспалительных процессов и, как следствие, на снижение нагрузки на печень [44, 45].

Коровы голштинской породы, содержащиеся в полупривязных условиях, показали лучшую продуктивность и состояние здоровья при введении 500 мг rBST на 63-й день лактации. Анализ соотношения дозы и интервала применения показал на оптимальный уровень rBST в крови, который составляет от 20,8 до 35,7 мг в сутки для достижения максимального эффекта. Применение rBST не оказало значительного влияния на уровень соматических клеток и количество случаев клинического мастита. Тем не менее, лечение препаратом в дозе 500 мг способствовало увеличению числа дней для оплодотворения животных, количества осеменений

на одно зачатие, частота которых при первом осеменении осталась без изменений [46]. Г. Грассиель с соавт. (G. Grassiele et al.) отметили повышение показателя частоты стельности при искусственном осеменении, а также скорости роста фолликулов при введении rBST [47].

В результате исследования влияния rBST на репродуктивную функцию крупного рогатого скота Ф. А. Оливейра и соавт. (F. A. Oliveira et al.) не обнаружили связи между введением рекомбинантного соматотропина и частотой овуляции и динамикой фолликулов [48].

Р. Баррейро с соавторами (R. Barreiro et al.) проводили исследование для определения воздействия rBST на состав молока крупного рогатого скота. На протяжении 37 недель у коров, которым вводили рекомбинантный соматотропин, определяли жировой и минеральный состав молока. Ученые выявили, что в отличие от контрольной группы животных ( $n = 3$ ), у экспериментальной ( $n = 6$ ) отмечено низкое разнообразие жирных кислот, выраженное в преобладании фракции мононенасыщенных жирных кислот, помимо этого зафиксировано пониженное содержание калия и кальция в молоке. Низкое разнообразие жирных кислот, а также дефицит минеральных элементов отражает низкую питательную ценность производимого молока [49].

**Заключение.** Таким образом, генетические вариации соматотропина существенно влияют на продуктивность и здоровье крупного рогатого скота, затрагивая такие показатели, как молочная и мясная продуктивность, а также рост и развитие животных. Нарушения в функционировании соматотропной оси, вызванные, например, энергетическим дефицитом, могут приводить к снижению уровня IGF-1, возникновению резистентности к гормону роста, а также к негативным последствиям для молочной продуктивности и репродуктивных функций. Применение рекомбинантного соматотропина может иметь неоднозначные эффекты на организм животных, включая влияние на качество молока, репродуктивные способности и общее состояние здоровья.

В связи с этим необходимо проведение дальнейших исследований, направленных на определение оптимальных дозировок и режимов применения rBGH, с целью максимизации продуктивности при минимизации рисков для здоровья коров и сохранения качества молока.

## Список литературы

1. Бейшова И. С. Фенотипические эффекты генов соматотропинового каскада, ассоциированных с мясной продуктивностью у коров казахской белоголовой породы. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(1):48–53.  
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35019210> EDN: OTEFVL
2. Bordonaro S., Tumino S., Marletta D., De Angelis A., Di Paola F., Avondo M., Valenti B. Effect of GH p.L127V Polymorphism and Feeding Systems on Milk Production Traits and Fatty Acid Composition in Modicana Cows. *Animals*. 2020;10(9):1651. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10091651>
3. Balogh O., Kovacs K., Kulcsar M., Gáspárdy A., Zsolnai A., Kátai L. et al. AluI polymorphism of the bovine growth hormone (GH) gene, resumption of ovarian cyclicity, milk production and loss of body condition at the onset of lactation in dairy cows. *Theriogenology*. 2009;71(4):553–559.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.06.032>
4. Шевцова А. А., Климов Е. А., Ковальчук С. Н. Обзор variability генов, связанных с молочной продуктивностью крупного рогатого скота. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018;(11-1):194–200. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36493474> EDN: YOWPLF
5. Ткаченко И. В., Гридина С. Л. Влияние полиморфных вариантов генов каппа-казеина и гормона роста на молочную продуктивность первотелок уральского типа. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2018;(5):87–95. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2018-5-87-95> EDN: YQVNSX
6. Сабетова К. Д., Чаицкий А. А., Лемякин А. Д., Щеголев П. О. Продуктивные признаки коров чёрно-пёстрой породы с разными комплексными генотипами по генам GH и TG в условиях племрепродукторов Костромской области. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2023;(3(63)):49–59.  
DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.63.3.006> EDN: RMVMSIM
7. Долматова И. Ю., Ильясов И. Г. Полиморфизм гена гормона роста крупного рогатого скота в связи с молочной продуктивностью. *Генетика*. 2011;47(6):814–820. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1022795411060081> EDN: NWCKGB
8. 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):75–78. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i3pp75-78> EDN: LBZXAT
9. Ялуга В. Л., Прожерин В. П., Хабибрахманова Я. А., Калашникова Л. А., Багаль И. Е. Полиморфизм генов CSN3, LGB, PRL, GH, LEP у холмогорских коров. *Молочное и мясное скотоводство*. 2018;(4):5–8.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35325822> EDN: XULDBR
10. Повозникова М. В., Тулинова О. В., Погорельский И. А., Сердюк Г. Н. Генетическая структура айрширского скота по однонуклеотидным ДНК-маркерам и влияние их генотипов на молочную продуктивность. *Генетика и разведение животных*. 2015;(2):22–27.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24389576> EDN: UNSQOD
11. Михайлова М. Е., Белая Е. В. Влияние полиморфных вариантов генов соматотропинового каскада bGH, bGHR и bIGF-1 на признаки молочной продуктивности у крупного рогатого скота голштинской породы. *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2011;55(2):63–69.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053537> EDN: ZHREYR
12. Сафина Н. Ю., Гилемханов И. Ю., Зиннатова Ф. Ф., Шакиров Ш. К. Характеристика молочной продуктивности коров-первотёлочек с разными генотипами соматотропина (GH). *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019;14(3):58–61.  
DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5db9535ced384a3.87060395](https://doi.org/10.12737/article_5db9535ced384a3.87060395) EDN: RPJVBV
13. Перчун А. В., Лазебная И. В., Белокуров С. Г., Рузина М. Н., Сулимова Г. Е. Полиморфизм генов CSN3, bPRL и bGH у коров костромской породы в связи с показателями молочной продуктивности. *Фундаментальные исследования*. 2012;(11–2):304–308. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18318436> EDN: PKWKUH
14. Михалюк А. Н., Танана Л. А., Кузьмина Т. И. Ассоциация комплекса полиморфных вариантов генов DGAT1, GH, PRL и BLG с показателями молочной продуктивности коров голштинской породы молочного скота отечественной селекции. *Генетика и разведение животных*. 2023;(1):74–83.  
DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2023-1-74-83> EDN: HOYEXJ
15. Танана Л. А., Вергинская О. В., Кизилевич К. О., Лебедев Е. Я. Убойные и качественные показатели мяса герефордских быков в зависимости от генотипов гена соматотропина. *Вестник Брянской ГСХА*. 2019;(6(76)):40–44. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41466924> EDN: XHRYBT
16. Sedykh T. A. Association between gene polymorphism of growth hormone and growth performance of meat bulls. *Nauka i studia*. 2016;23:10–13.
17. Pal A., Chakravarty A. K. Mutations in growth hormone gene affect stability of protein structure leading to reduced growth, reproduction, and milk production in crossbred cattle—an insight. *Domestic Animal Endocrinology*. 2020;71:106405. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2019.106405>

18. Некрасов А. А., Попов А. Н., Попов Н. А., Федотова Е. Г. Влияние полиморфизма генов молочных белков и гормонов на энергию роста телок черно-пестрой голштинской породы. Таврический научный обозреватель. 2016;(5-2(10)):91–95. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26249580> EDN: WCKXKH
19. Урядников М. В., Улубаев И. Х. Оценка аллелей и генотипов соматотропина по полиморфизму и живой массе коров черно-пестрой породы. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011;(3(77)):80–83. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15615380> EDN: NDSMTJ
20. Ярышкин А. А., Шаталина О. С., Лешонок О. И. Ассоциации полиморфных вариантов гена соматотропина с хозяйственно-ценными показателями коров. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021;(2):60–70. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-60-70> EDN: WKTPCT
21. Ferchichi M. A., Jemmali B., Bel Larbi M., Ben Gara A. Genetic polymorphism of the growth hormone (GH) gene and its effect on the incidence of lameness in dairy cows in Tunisia. Journal of new sciences. 2021;81(2):4696–4701. URL: <https://www.jnsiences.org/agri-biotech/116-volume-81/665-genetic-polymorphism-of-the-growth-hormone-gh-gene-and-its-effect-on-the-incidence-of-lameness-in-dairy-cows-in-tunisia.html>
22. Bangar Y. C., Magotra A., Yadav A. S., Patil C. S. Meta-analysis of MspI derived variants of growth hormone gene associated with milk yield in dairy cattle. Growth Hormone & IGF Research. 2022;63:101459. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2022.101459>
23. Sachan S., Gupta I. D., Verma A., Vineeth M. R., Sinha R. Growth hormone-MspI loci polymorphism and its association with first lactation traits in Sahiwal cattle. Indian Journal of Animal Sciences. 2020;90(4):655–657. DOI: <https://doi.org/10.56093/ijans.v90i4.104226>
24. El-Nahas A., Basiony W. M., El-Kassas S., Mahmoud S. Variation in the Genetic Effects of ABCG2, Growth Hormone and Growth Hormone Receptor Gene Polymorphisms on Milk Production Traits in Egyptian Native, Holstein and Hybrid Cattle Populations. Pakistan Veterinary Journal. 2018;38(4):371–376. DOI: <https://doi.org/10.29261/pakvetj/2018.089>
25. Keogh K., Waters S. M., Kelly A. K., Wylie A. R. G., Kenny D. A. Effect of feed restriction and subsequent re-alimentation on hormones and genes of the somatotrophic axis in cattle. Physiol Genomics. 2015;47(7):264–273. DOI: <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00134.2014>
26. Hax L. T., Schneider A., Jacometo C. B., Mattei P., Casarin da Silva T., Farina G., Corrêa M. N. Association between polymorphisms in somatotrophic axis genes and fertility of Holstein dairy cows. Theriogenology. 2017;88:67–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.044>
27. Lucy M. C., Verkerk G. A., Whyte B. E., Macdonald K. A., Burton L., Cursons R. T. et al. Somatotrophic axis components and nutrient partitioning in genetically diverse dairy cows managed under different feed allowances in a pasture system. Journal of Dairy Science. 2009;92(2):526–539. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1421>
28. Zheng W., Leng X., Vinsky M., Li C., Jiang H. Association of body weight gain with muscle, fat, and liver expression levels of growth hormone receptor, insulin-like growth factor I, and beta-adrenergic receptor mRNAs in steers. Domestic Animal Endocrinology. 2018;64:31–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2018.03.008>
29. Mense K., Meyerholz M., Gil Araujo M., Lietzau M., Knaack H., Wrenzycki C. The somatotrophic axis during the physiological estrus cycle in dairy heifers – Effect on hepatic expression of GHR and SOCS2. Journal of Dairy Science. 2015;98(4):2409–2418. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8734>
30. Yu J., Zhao L., Wang A., Eleswarapu S., Ge X., Chen D., Jiang H. Growth hormone stimulates transcription of the fibroblast growth factor 21 gene in the liver through the signal transducer and activator of transcription 5. Endocrinology. 2012;153(2):750–758. DOI: <https://doi.org/10.1210/en.2011-1591>
31. Khan M. Z., Khan A., Xiao J., Ma Yu., Ma J., Gao J., Gao Zh. Role of the JAK-STAT Pathway in Bovine Mastitis and Milk Production. Animals. 2020;10(11):2107. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10112107>
32. Tian M., Qi Y., Zhang X., Wu Zh., Chen J., Chen F. et al. Regulation of the JAK2-STAT5 Pathway by Signaling Molecules in the Mammary Gland. Frontiers Cell and Developmental Biology. 2020;8:604896. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.604896>
33. Huang Y., Zhao F., Luo C., Zhang X., Si Yu, Sun Zh. et al. SOCS3-Mediated Blockade Reveals Major Contribution of JAK2/STAT5 Signaling Pathway to Lactation and Proliferation of Dairy Cow Mammary Epithelial Cells in Vitro. Molecules. 2013;18(10):12987–13002. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules181012987>
34. Arun S. J., Thomson P. C., Sheehy P. A., Khatkar M. S., Raadsma H. W., Williamson P. Targeted Analysis Reveals an Important Role of JAK-STAT-SOCS Genes for Milk Production Traits in Australian Dairy Cattle. Frontiers in Genetics. 2015;6:00342. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00342>
35. Winkelman L. A., Lucy M. C., Elsasser T. H., Pate J. L., Reynolds C. K. Short Communication: Suppressor of Cytokine Signaling-2 mRNA Increases After Parturition in the Liver of Dairy Cows. Journal of Dairy Science. 2008;91(3):1080–1086. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0433>
36. Kim J. W., Rhoads R. P., Block S., Overton T. R., Frank S. J., Boisclair Y. R. Dairy cows experience selective reduction of the hepatic growth hormone receptor during the periparturient period. Journal of Endocrinology. 2004;181(2):281–290. DOI: <https://doi.org/10.1677/joe.0.1810281>

37. Durante L. I., Angeli E., Etchevers L., Notaro U. S., Rodríguez F. M., Ortega H. H., Marelli B. E. Evaluation of the expression of growth hormone and its receptor during the resumption of postpartum ovarian follicle development in dairy cows. *Reproductive Biology*. 2024;24(1):100848. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.repbio.2023.100848>
38. Caixeta L. S., Giesy S. L., Krumm C. S., Perfield J. W., Butterfield A., Boisclair Y. R. Fibroblast growth factor-21 (FGF21) administration to early-lactating dairy cows. II. Pharmacokinetics, whole-animal performance, and lipid metabolism. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(12):11597–11608. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16696>
39. Davis A. N., Myers W. A., Chang C., Tate B. N., Rico J. E., Moniruzzaman M. et al. Somatotropin increases plasma ceramide in relation to enhanced milk yield in cows. *Domestic Animal Endocrinology*. 2021;74:106480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2020.106480>
40. Zhao Y. Recombinant Bovine Somatotropin. Published under licence by IOP Publishing Ltd. 2020;440:022034. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/440/2/022034>
41. Jarvis L. S. The Potential Effect Of Two New Biotechnologies On The World Dairy Industry. Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 168. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429314032>
42. St-Pierre N. R., Milliken G. A., Bauman D. E., Collier R. J., Hogan J. S., Shearer J. K. et al. Meta-analysis of the effects of somatotropin zinc suspension on the production and health of lactating dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2014;245(5):550–564. DOI: <https://doi.org/10.2460/javma.245.5.550>
43. Silva P. R.B., Weber W. J., Crooker B. A., Collier R. J., Thatcher W. W., Chebel R. C. Hepatic mRNA expression for genes related to somatotropic axis, glucose and lipid metabolisms, and inflammatory response of periparturient dairy cows treated with recombinant bovine somatotropin. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(5):3983–3999. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12135>
44. Silva P. R. B., Machado K. S., Lobao Da Silva D. N., Moraes J. G. N., Keisler D. H., Chebel R. C. Effects of recombinant bovine somatotropin during the periparturient period on innate and adaptive immune responses, systemic inflammation, and metabolism of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2015;98(7):4449–4464. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8959>
45. Baruselli P. S., Elliff F. M., Silva L. G., Catussi B. L. Ch., Bayeux B. M. Estrategias para aumentar a producao de embrioes em bovinos. *Revista Brasileira de Reproducao Animal*. 2019;43(2):315–326. URL: <https://repositorio.usp.br/item/002956228>
46. Campos B. G., Lombardi M. C., Neto H. C. D., Lana A. M. Q., Pereira M. N., Rabelo E. et al. How to use recombinant bovine somatotropin in crossbred Holstein x Gyr (3/4 and 7/8) cows? *Tropical Animal Health and Production*. 2022;1–11. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1702713/v1>
47. Gasseferth G., Gaievski F. R., Bergstein-Galan T. G., Junior A. G., Bragato A., Valle V. M. et al. Effect of recombinant bovine somatotropin on the reproductive efficiency of beef cows subjected to differently timed-artificial insemination protocols. *Reproduction in Domestic Animals*. 2023;58(12):1654–1661. DOI: <https://doi.org/10.1111/rda.14479>
48. Oliveira F. A., Almeida I. C., Sena L. M., Penitente-Filho J. M., Torres C. A. A. Recombinant bovine somatotropin in the synchronization of ovulation in crossbred dairy cows (*Bos taurus indicus* × *Bos taurus taurus*). *Veterinary World*. 2020;13(4):746–750. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.746-750>
49. Barreiro R., Lamas A., Miranda J. M., Franco C. M., Cepeda A., Regal P. Impact of Recombinant Bovine Somatotropin on Bovine Milk Composition and Fatty Acidome: A Multidose Longitudinal Study. *Foods*. 2022;11(21):3477. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11213477>

### Reference

1. Beyshova I. S. Phenotypic effects of somatotropin cascade genes associated with meat productivity in Kazakh Whiteheaded cows. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2018;(1):48–53. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35019210>
2. Bordonaro S., Tumino S., Marletta D., De Angelis A., Di Paola F., Avondo M., Valenti B. Effect of GH p.L127V Polymorphism and Feeding Systems on Milk Production Traits and Fatty Acid Composition in Modicana Cows. *Animals*. 2020;10(9):1651. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10091651>
3. Balogh O., Kovacs K., Kulcsar M., Gáspárdy A., Zsolnai A., Kátai L. et al. AluI polymorphism of the bovine growth hormone (GH) gene, resumption of ovarian cyclicity, milk production and loss of body condition at the onset of lactation in dairy cows. *Theriogenology*. 2009;71(4):553–559. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.06.032>
4. Shevtsova A. A., Klimov E. A., Kovalchuk S. N. Review of genes variability associated with milk productivity of dairy cattle. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018;(11-1):194–200. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36493474>
5. Tkachenko I. V., Gridina S. L. Influence of polymorphic variants of kappa-casein genes and growth hormone on dairy efficiency of ural-type heifers. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2018;(5):87–95. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2018-5-87-95>

6. Sabetova K. D., Chaitkiy A. A., Lemyakin A. D., Shchegolev P. O. Productive traits of black and white cows with different GH and TG complex genotypes in the conditions of pedigree breeding units of the Kostroma region. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2023;(3(63)):49–59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.63.3.006>
7. Dolmatova I. Yu., Il'yasov I. G. Association of cattle growth hormone gene polymorphism with milk productivity. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2011;47(6):814–820. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S1022795411060081>
8. Shaydullin R. R., Zagidullin L. R., Akhmetov T. M., Khalilova G. Kh. Estimation of dairy productivity of kholmogorsky cows with allele variants of prolactin and somatotropin genes. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2022;(3):75–78. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i3pp75-78>
9. Yaluga V. L., Prozherin V. P., Khabibrakhmanova Ya. A., Kalashni-kova L. A., Bagal I. E. Polymorphism of genes CSN3, LGB, PRL, GH, LEP in holmogorskaya cows. *Molochnoe i myasnnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2018;(4):5–8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35325822>
10. Povochnikova M. V., Tulinova O. V., Pogorel'skiy I. A., Serdyuk G. N. The genetic structure of ayrshire cattle at single nucleotide dna markers and their influence on milk production. *Genetika i razvedenie zivotnykh* = Genetics and breeding of animals. 2015;(2):22–27. (In Russ) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24389576>
11. Mikhaylova M. E., Belaya E. V. Influence of polymorphic variants of somatotropin cascade genes BGH, BGHR and bIGF-1 on milk productivity traits in holstein cattle. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi*. 2011;55(2):63–69. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053537>
12. Safina N. Yu., Gilemkanov I. Yu., Zinnatova F. F., Shakirov Sh. K. Characteristic of milk productivity of cows-heifers with different genotypes of somatotropin (GH). *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019;14(3):58–61. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5db9535ed384a3.87060395](https://doi.org/10.12737/article_5db9535ed384a3.87060395)
13. Perchun A. V., Lazebnaya I. V., Belokurov S. G., Ruzina M. N., Sulimova G. E. Polymorphism of CSN3, bGH and bPRL genes in connection with milk quality traits in kostroma cattle breed. *Fundamental'nye issledovaniya* = Fundamental research. 2012;(11–2):304–308. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18318436>
14. Mikhalyuk A. N., Tanana L. A., Kuz'mina T. I. Association of the complex of polymorphic variants of the DGAT1, GH, PRL and BLG, genes with dairy productivity indicators of holstein dairy cattle cows of domestic selection. *Genetika i razvedenie zivotnykh* = Genetics and breeding of animals. 2023;(1):74–83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2023-1-74-83>
15. Tanana L. A. Vertinskaya O. V., Kizilevich K. O., Lebedko E. Ya. Slaughter and quality meat indicators of hereford bulls depending on the genotypes of the somatotropin gene. *Vestnik Bryanskoy GSKhA* = Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2019;(6(76)):40–44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41466924>
16. Sedykh T. A. Association between gene polymorphism of growth hormone and growth performance of meat bulls. *Nauka i studia*. 2016;23:10–13.
17. Pal A., Chakravarty A. K. Mutations in growth hormone gene affect stability of protein structure leading to reduced growth, reproduction, and milk production in crossbred cattle—an insight. *Domestic Animal Endocrinology*. 2020;71:106405. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2019.106405>
18. Nekrasov A. A., Popov A. N., Popov N. A., Fedotova E. G. Impacts of milk protein and hormone gene polymorphisms on energy for growth of holstein black-and-white heifers. *Tavrisheskiy nauchnyy obozrevatel'*. 2016;(5-2(10)):91–95. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26249580>
19. Uryadnikov M. V., Ulubaev I. Kh. Assessment of somatotropin alleles and genotypes by polymorphism and live weight of black-and-white cows. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2011;(3(77)):80–83. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15615380>
20. Yaryshkin A. A., Shatalina O. S., Leshonok O. I. Associations of polymorphic variants of the somatotropin gene with economically valuable indicators of cows. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2021;(2):60–70. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-60-70>
21. Ferchichi M. A., Jemmali B., Bel Larbi M., Ben Gara A. Genetic polymorphism of the growth hormone (GH) gene and its effect on the incidence of lameness in dairy cows in Tunisia. *Journal of new sciences*. 2021;81(2):4696–4701. URL: <https://www.jnsiences.org/agri-biotech/116-volume-81/665-genetic-polymorphism-of-the-growth-hormone-gh-gene-and-its-effect-on-the-incidence-of-lameness-in-dairy-cows-in-tunisia.html>
22. Bangar Y. C., Magotra A., Yadav A. S., Patil C. S. Meta-analysis of MspI derived variants of growth hormone gene associated with milk yield in dairy cattle. *Growth Hormone & IGF Research*. 2022;63:101459. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2022.101459>
23. Sachan S., Gupta I. D., Verma A., Vineeth M. R., Sinha R. Growth hormone-Msp1 loci polymorphism and its association with first lactation traits in Sahiwal cattle. *Indian Journal of Animal Sciences*. 2020;90(4):655–657. DOI: <https://doi.org/10.56093/ijans.v90i4.104226>

24. El-Nahas A., Basiony W. M., El-Kassas S., Mahmoud S. Variation in the Genetic Effects of ABCG2, Growth Hormone and Growth Hormone Receptor Gene Polymorphisms on Milk Production Traits in Egyptian Native, Holstein and Hybrid Cattle Populations. *Pakistan Veterinary Journal*. 2018;38(4):371–376. DOI: <https://doi.org/10.29261/pakvetj/2018.089>
25. Keogh K., Waters S. M., Kelly A. K., Wylie A. R. G., Kenny D. A. Effect of feed restriction and subsequent re-alimentation on hormones and genes of the somatotrophic axis in cattle. *Physiol Genomics*. 2015;47(7):264–273. DOI: <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00134.2014>
26. Hax L. T., Schneider A., Jacometo C. B., Mattei P., Casarin da Silva T., Farina G., Corrêa M. N. Association between polymorphisms in somatotrophic axis genes and fertility of Holstein dairy cows. *Theriogenology*. 2017;88:67–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.044>
27. Lucy M. C., Verkerk G. A., Whyte B. E., Macdonald K. A., Burton L., Cursons R. T. et al. Somatotrophic axis components and nutrient partitioning in genetically diverse dairy cows managed under different feed allowances in a pasture system. *Journal of Dairy Science*. 2009;92(2):526–539. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1421>
28. Zheng W., Leng X., Vinsky M., Li C., Jiang H. Association of body weight gain with muscle, fat, and liver expression levels of growth hormone receptor, insulin-like growth factor I, and beta-adrenergic receptor mRNAs in steers. *Domestic Animal Endocrinology*. 2018;64:31–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2018.03.008>
29. Mense K., Meyerholz M., Gil Araujo M., Lietzau M., Knaack H., Wrenzycki C. The somatotrophic axis during the physiological estrus cycle in dairy heifers – Effect on hepatic expression of GHR and SOCS2. *Journal of Dairy Science*. 2015;98(4):2409–2418. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8734>
30. Yu J., Zhao L., Wang A., Eleswarapu S., Ge X., Chen D., Jiang H. Growth hormone stimulates transcription of the fibroblast growth factor 21 gene in the liver through the signal transducer and activator of transcription 5. *Endocrinology*. 2012;153(2):750–758. DOI: <https://doi.org/10.1210/en.2011-1591>
31. Khan M. Z., Khan A., Xiao J., Ma Yu., Ma J., Gao J., Gao Zh. Role of the JAK-STAT Pathway in Bovine Mastitis and Milk Production. *Animals*. 2020;10(11):2107. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10112107>
32. Tian M., Qi Y., Zhang X., Wu Zh., Chen J., Chen F. et al. Regulation of the JAK2-STAT5 Pathway by Signaling Molecules in the Mammary Gland. *Frontiers Cell and Developmental Biology*. 2020;8:604896. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.604896>
33. Huang Y., Zhao F., Luo C., Zhang X., Si Yu, Sun Zh. et al. SOCS3-Mediated Blockade Reveals Major Contribution of JAK2/STAT5 Signaling Pathway to Lactation and Proliferation of Dairy Cow Mammary Epithelial Cells in Vitro. *Molecules*. 2013;18(10):12987–13002. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules181012987>
34. Arun S. J., Thomson P. C., Sheehy P. A., Khatkar M. S., Raadsma H. W., Williamson P. Targeted Analysis Reveals an Important Role of JAK-STAT-SOCS Genes for Milk Production Traits in Australian Dairy Cattle. *Frontiers in Genetics*. 2015;6:00342. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00342>
35. Winkelman L. A., Lucy M. C., Elsasser T. H., Pate J. L., Reynolds C. K. Short Communication: Suppressor of Cytokine Signaling-2 mRNA Increases After Parturition in the Liver of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 2008;91(3):1080–1086. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0433>
36. Kim J. W., Rhoads R. P., Block S., Overton T. R., Frank S. J., Boisclair Y. R. Dairy cows experience selective reduction of the hepatic growth hormone receptor during the periparturient period. *Journal of Endocrinology*. 2004;181(2):281–290. DOI: <https://doi.org/10.1677/joe.0.1810281>
37. Durante L. I., Angeli E., Etchevers L., Notaro U. S., Rodriguez F. M., Ortega H. H., Marelli B. E. Evaluation of the expression of growth hormone and its receptor during the resumption of postpartum ovarian follicle development in dairy cows. *Reproductive Biology*. 2024;24(1):100848. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.repbio.2023.100848>
38. Caixeta L. S., Giesy S. L., Krumm C. S., Perfield J. W., Butterfield A., Boisclair Y. R. Fibroblast growth factor-21 (FGF21) administration to early-lactating dairy cows. II. Pharmacokinetics, whole-animal performance, and lipid metabolism. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(12):11597–11608. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16696>
39. Davis A. N., Myers W. A., Chang C., Tate B. N., Rico J. E., Moniruzzaman M. et al. Somatotropin increases plasma ceramide in relation to enhanced milk yield in cows. *Domestic Animal Endocrinology*. 2021;74:106480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2020.106480>
40. Zhao Y. Recombinant Bovine Somatotropin. Published under licence by IOP Publishing Ltd. 2020;440:022034. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/440/2/022034>
41. Jarvis L. S. The Potential Effect Of Two New Biotechnologies On The World Dairy Industry. Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 168. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429314032>
42. St-Pierre N. R., Milliken G. A., Bauman D. E., Collier R. J., Hogan J. S., Shearer J. K. et al. Meta-analysis of the effects of somatotrophic zinc suspension on the production and health of lactating dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2014;245(5):550–564. DOI: <https://doi.org/10.2460/javma.245.5.550>
43. Silva P. R.B., Weber W. J., Crooker B. A., Collier R. J., Thatcher W. W., Chebel R. C. Hepatic mRNA expression for genes related to somatotrophic axis, glucose and lipid metabolisms, and inflammatory response of periparturient dairy cows treated with recombinant bovine somatotropin. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(5):3983–3999. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12135>

44. Silva P. R. B., Machado K. S., Lobao Da Silva D. N., Moraes J. G. N., Keisler D. H., Chebel R. C. Effects of recombinant bovine somatotropin during the periparturient period on innate and adaptive immune responses, systemic inflammation, and metabolism of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2015;98(7):4449–4464.

DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8959>

45. Baruselli P. S., Elliff F. M., Silva L. G., Catussi B. L. Ch., Bayeux B. M. Estrategias para aumentar a producao de embrioes em bovinos. *Revista Brasileira de Reproducao Animal*. 2019;43(2):315–326.

URL: <https://repositorio.usp.br/item/002956228>

46. Campos B. G., Lombardi M. C., Neto H. C. D., Lana A. M. Q., Pereira M. N., Rabelo E. et al. How to use recombinant bovine somatotropin in crossbred Holstein x Gyr (¾ and 7/8) cows? *Tropical Animal Health and Production*. 2022;1–11. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1702713/v1>

47. Gasseferth G., Gaievski F. R., Bergstein-Galan T. G., Junior A. G., Bragato A., Valle V. M. et al. Effect of recombinant bovine somatotropin on the reproductive efficiency of beef cows subjected to differently timed-artificial insemination protocols. *Reproduction in Domestic Animals*. 2023;58(12):1654–1661.

DOI: <https://doi.org/10.1111/rda.14479>

48. Oliveira F. A., Almeida I. C., Sena L. M., Penitente-Filho J. M., Torres C. A. A. Recombinant bovine somatotropin in the synchronization of ovulation in crossbred dairy cows (*Bos taurus indicus* × *Bos taurus taurus*). *Veterinary World*. 2020;13(4):746–750. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.746-750>

49. Barreiro R., Lamas A., Miranda J. M., Franco C. M., Cepeda A., Regal P. Impact of Recombinant Bovine Somatotropin on Bovine Milk Composition and Fatty Acidome: A Multidose Longitudinal Study. *Foods*. 2022;11(21):3477. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11213477>

#### **Сведения об авторах**

✉ **Кожевникова Ирина Сергеевна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, проспект Никольский, 20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: [labinnovrazv@yandex.ru](mailto:labinnovrazv@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>

**Ступина Александра Олеговна**, младший научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, проспект Никольский, 20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: [labinnovrazv@yandex.ru](mailto:labinnovrazv@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7664-3684>

**Классен Инга Андреевна**, младший научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, проспект Никольский, 20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: [labinnovrazv@yandex.ru](mailto:labinnovrazv@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4421-6087>

#### **Information about the authors**

✉ **Irina S. Kozhevnikova**, PhD in Biology, senior researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Prospekt, 20, Archangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: [labinnovrazv@yandex.ru](mailto:labinnovrazv@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>

**Alexsandra O. Stupina**, junior researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Prospekt, 20, Archangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: [labinnovrazv@yandex.ru](mailto:labinnovrazv@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7664-3684>

**Inga A. Klassen**, junior researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Prospekt, 20, Archangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: [labinnovrazv@yandex.ru](mailto:labinnovrazv@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7664-3684>

✉ – Для контактов / Corresponding author