



Комплексные SNPs лептина и соматотропина и их связь с хозяйственно полезными признаками крупного рогатого скота

© 2026. А. А. Ярышкин✉, О. С. Шаталина, А. А. Зырянова

ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург, Российская Федерация

Цель исследований – оценить влияние 12 комплексных генотипов GH и LEP на продуктивность коров для выявления стабильно эффективных сочетаний аллелей, учитывающих генотип-средовое взаимодействие, и разработки персонализированных стратегий селекции и управления стадом. Проведенное исследование выявило значимую связь комплексных генотипов генов соматотропина (GH, LV-полиморфизм) и лептина (LEP, полиморфизмы R25C и A80V) с показателями молочной продуктивности коров голштинской породы. Изучение 120 животных (по 60 голов из двух сельскохозяйственных организаций) показало выраженную неравномерность распределения 12 анализируемых генотипов в обоих стадах, обусловленную селекционными приоритетами хозяйств. Ключевым результатом является идентификация генотипа $GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$ как наиболее перспективного для селекции на высокую пожизненную молочную продуктивность. Животные с этим генотипом неизменно характеризовались максимальными удоями за первую, третью лактации и пожизненной продуктивностью, демонстрируя стабильность и высокий генетический потенциал. Параллельно выявлены генотипы, ассоциированные с качественными признаками молока, так у носителей генотипа $GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}$ в организации «К» пожизненная массовая доля жира и белка в молоке составила 3,92 и 3,27 % соответственно. Животные с генотипом $GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AA}$ в организации «П» имели максимальную массовую долю жира 4,13 % при сохранении высокого удоя. Исследование подтвердило критическое влияние факторов среды (кормление, менеджмент) на реализацию генетического потенциала. Существенно более высокие удои в организации «П» по сравнению с организацией «К» подчеркивают необходимость системного подхода, сочетающего генетический отбор с совершенствованием технологий животноводства. Полученные данные доказывают, что комплексные генотипы GH и LEP служат информативными маркерами для прогнозирования молочной продуктивности и адаптивного потенциала коров.

Ключевые слова: ген, удои, массовая доля жира, массовая доля белка, продуктивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (№ 0532-2026-0013 «Совершенствование селекционно-племенной работы с крупным рогатым скотом Уральского региона в целях повышения генетического потенциала молочной продуктивности и продолжительности хозяйственного использования на основе биотехнологических и молекулярно-генетических методов»).

Авторы выражают благодарность сотрудникам отдела животноводства и генетических исследований Уральского НИИСХ – филиала ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» за помощь в проведении исследований.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ярышкин А. А., Шаталина О. С., Зырянова А. А. Комплексные SNPs лептина и соматотропина и их связь с хозяйственно полезными признаками крупного рогатого скота. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(3):680–690. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.3.680-690>

Поступила: 12.08.2025

Доработана после рецензирования: 19.01.2026

Принята к публикации: 05.06.2026

Опубликована онлайн: 30.06.2026

Complex SNPs of leptin and somatotropin and their association with economic traits in cattle

© 2026. Andrey A. Yaryshkin✉, Olga S. Shatalina, Anastasia A. Zyryanova

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

The aim of the study was to evaluate the effect of 12 complex GN and LEP genotypes on cow productivity in order to identify consistently effective allele combinations that account for genotype-environment interactions, and to develop personalized strategies for herd breeding and management. The conducted study revealed a significant association between complex genotypes of the somatotropin (GH, LV polymorphism) and leptin (LEP, R25C and A80V polymorphisms) genes and milk productivity in Holstein cows. A study of 120 animals (60 animals each from two agricultural organizations) showed a marked uneven distribution of the 12 analyzed genotypes in both herds, due to the farm breeding priorities. A key result was the identification of the $GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$ genotype as the most promising for breeding for high lifetime milk productivity. Animals with this genotype consistently demonstrated maximum milk yields in the first and third lactations and lifetime productivity, demonstrating stability and high genetic potential. In parallel, genotypes associated with milk quality traits were identified.

For example, in animals carrying the $GH^{LV}R25C^CA80V^{VV}$ genotype at Organization "K," the lifetime fat and protein content was 3.92 and 3.27 %, respectively. Animals with the $GH^{LV}R25C^CA80V^{AA}$ genotype in Organization "P" had a maximum fat content of 4.13 % while maintaining high milk yield. The study confirmed the critical influence of environmental factors (feeding, management) on the realization of genetic potential. The significantly higher milk yields in Organization "P" compared to Organization "K" highlight the need for a systematic approach combining genetic selection with improved livestock production technologies. The obtained data demonstrate that the complex GH and LEP genotypes serve as informative markers for predicting milk productivity and the adaptive potential of cows.

Keywords: gene, milk yield, mass fraction of fat, mass fraction of protein, productivity

Acknowledgments: 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 Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (No. 0532-2026-0013, "Improving Selection and Breeding Work with Cattle in the Ural Region to Increase the Genetic Potential of Dairy Production and the Duration of Farm Use on the basis of Biotechnological and Molecular Genetic Methods").

The authors are grateful to the staff of the Department of Animal Husbandry and Genetic Research at the Ural Research Institute of Agriculture, a branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, for their assistance in conducting the research.

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

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Yaryshkin A. A., Shatalina O. S., Zyryanova A. A. Complex SNPs of leptin and somatotropin and their association with economic traits in cattle. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(3):680–690. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.3.680-690>

Received: 12.08.2025

Revised: 19.01.2026

Accepted for publication: 05.06.2026

Published online: 30.06.2026

Прежде чем переходить к использованию генетических технологий для повышения продуктивности молочного скота, необходимо обеспечить базовые условия – оптимизацию кормления и содержания животных. Даже самые перспективные генетические маркеры не раскроют свой потенциал в условиях дефицита питательных веществ, стресса из-за плохого микроклимата или недостаточной ветеринарной поддержки. Сбалансированный рацион, соответствующий физиологическим потребностям лактирующих коров, современные системы вентиляции, комфортные условия содержания и профилактика заболеваний создают фундамент, на котором генетические преимущества реализуются в полной мере [1, 2, 3].

В настоящее время молочное животноводство сталкивается с необходимостью балансировать между повышением продуктивности, улучшением качества молока и обеспечением устойчивости поголовья к заболеваниям в условиях современных экологических и экономических требований [4, 5, 6].

Одним из ключевых решений этих задач становится применение геномных технологий, позволяющих выявлять генетические маркеры, ассоциированные с хозяйственно полезными признаками [7, 8, 9]. Особый интерес представляют гены, регулирующие эндокринную систему, такие как соматотропин (GH , LV -полиморфизм) и лептин (LEP , полиморфизмы $R25C$ и $A80V$), которые контролируют рост, энергетический метаболизм, лактацию и репродуктивную функцию.

Соматотропин – гормон, синтезируемый гипофизом, стимулирует выработку инсулиноподобного фактора роста ($IGF-1$), который усиливает пролиферацию клеток молочной железы и синтез молочного белка. У голштинских коров селекция на определённые аллели GH позволила достичь рекордных показателей – до 10–12 тыс. кг молока за лактацию [10, 11].

Лептин – гормон, продуцируемый адипоцитами, регулирует энергетический баланс, аппетит и иммунный ответ. Полиморфизмы в гене LEP , такие как $LEP-A80V$, влияют на метаболизм липидов, что критично в ранний лактационный период, когда корова сталкивается с энергетическим дефицитом. Животные с «благоприятными» аллелями LEP имеют меньшую потерю живой массы после отела и более высокую жирность молока [12, 13].

Генетическая изменчивость, лежащая в основе селекционного процесса, обеспечивает возможность отбора животных с оптимальными характеристиками, будь то высокая молочная продуктивность, устойчивость к болезням или адаптация к стрессовым условиям [14, 15].

Продуктивность коров не статична: она изменяется как в рамках отдельной лактации, так и между разными лактационными циклами [16]. Первая лактация, как правило, характеризуется умеренными удоями, поскольку организм животного ещё не полностью адаптирован к физиологическим нагрузкам. Максимальная продуктивность достигается к третьей лактации, когда завершается развитие молочной железы, а гормональные и метаболические

системы функционируют в оптимальном режиме. Например, у голштинской породы, являющейся лидером молочной индустрии, пик суточного удоя в третью лактацию может превышать показатели первой на 15–20 %. Однако после 4-5-й лактации начинается постепенное снижение надоев, связанное с возрастной инволюцией железистой ткани, накоплением стрессовых факторов и репродуктивными нарушениями [17]. Здесь ключевую роль играют генетические факторы: аллели гена *GH*, (*LV*-полиморфизм), ассоциированные с повышенным синтезом соматотропина, поддерживают стабильность удоев в первую лактацию, тогда как полиморфизмы гена *LEP*, например, *LEP-R25C*, улучшают энергетический обмен, помогая сохранить продуктивность в старшем возрасте [18].

Динамика живой массы тесно связана с лептиновой сигнализацией: высокий уровень гормона подавляет аппетит, способствуя мобилизации жировых резервов для поддержания лактации, тогда как его дефицит провоцирует избыточное накопление жира в сухостойный период. Например, голштинки с аллелем *LEP-R25C* теряют на 5–7 % меньше массы в первые месяцы лактации, что снижает риски метаболического синдрома и продлевает продуктивное долголетие. Интеграция данных о генетических маркерах *GH* и *LEP* с анализом лактационной динамики и физиологических процессов открывает новые возможности для создания сбалансированных селекционных программ. Такой подход не только повышает удои и качество молока, но и укрепляет здоровье поголовья, обеспечивая устойчивость к заболеваниям и стрессам [19, 20, 21].

Цель исследования – оценить влияние 12 комплексных генотипов *GH* и *LEP* на продуктивность коров в двух сельскохозяйственных организациях для выявления стабильно эффективных сочетаний аллелей, учитывающих генотип-средовое взаимодействие и разработки персонализированных стратегий селекции и управления стадом.

Основные задачи:

- определение частоты встречаемости генотипов в популяциях сельскохозяйственных организаций «К» и «П»;
- анализ связи генотипов с удоем, содержанием жира и белка в молоке.

Научная новизна – применение комплексного подхода, сочетающего анализ продуктивности и биохимических параметров молока.

Материал и методы. Исследование проводили в 2023–2025 гг. на 120 пробках ДНК

крупного рогатого скота с использованием стандартизированных протоколов генотипирования и статистических методов (GenAlEx). Для этого было отобрано 120 коров голштинской породы в различные периоды жизни и продуктивности, принадлежащих двум сельскохозяйственным организациям Свердловской области («К» и «П»). У коров отцами являлось более 50 быков-производителей, в связи с чем ранжирование по отцу не проводили. Комплексные генотипы животных представлены в следующей форме: генотип соматотропина + генотип лептина *R25C* + генотип лептина *A80V* (*GH* + *R25C* + *A80V*).

Исследование влияния генотипов соматотропина и лептина крупного рогатого скота на хозяйственно полезные признаки проведено с помощью следующих методов: генетического, аналитического и статистического.

Генетический – выделение ДНК крупного рогатого скота осуществляли в соответствии с протоколом фирмы ООО «НПФ Синтол», затем проводили полимеразную цепную реакцию (ПЦР). Для определения генов соматотропина и лептина животных проводили рестрикцию и визуализацию ДНК фрагментов. Рестрикционную смесь по полиморфизмам выдерживали в термостате при температуре 37 °C в течение 3-х часов.

В дальнейшем вносили продукты рестрикции с красителем в лунки 3%-го агарозного геля и помещали в камеру горизонтального электрофореза на 1 час с напряжением 100 В. Результаты оценивали с помощью трансиллюминатора Gel Doc (BioRad).

Аналитический – проведен анализ молочной продуктивности голштинской породы, данные взяты из программы ИАС «СЕЛЭКС» – Молочный скот.

Статистический – биометрическая обработка результатов исследований выполнена с помощью программ IBM SPSS Statistics 23, Microsoft Excel, рассчитаны средние величины ($\bar{X}$), ошибки средних (S_x), установлен критерий достоверности Стьюдента и определен уровень значимости разницы величин, рассчитанный сравнением показателя продуктивности к среднему по стаду при $p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$; $p \leq 0,001$, проведен корреляционный анализ по Спирмену (r_s).

Результаты и их обсуждение. Определены комплексные генотипы по соматотропину и лептину у 120 животных (по 60 голов из организаций «К» и «П»). В таблицах 1 и 2 показана частота встречаемости комплексных генотипов.

Таблица 1 – Частота встречаемости комплексных генотипов $GH + LEP$ у коров из организации «К» ($n = 60$) /
Table 1 – Frequency of occurrence of complex genotypes $GH + LEP$ in cows of Organization "K" ($n = 60$)

Комплексный генотип / Complex genotype	Частота встречаемости, % / Frequency of occurrence, %
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AA}$	8,3
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AV}$	3,3
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{VV}$	11,7
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}$	15,0
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}$	18,3
$GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}$	16,7
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AV}$	3,3
$GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}$	5,0
$GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AA}$	1,7
$GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$	11,7
$GH^{VV}R25C^{CR}A80V^{AV}$	1,7
$GH^{VV}R25C^{RR}A80V^{AA}$	3,3

Таблица 2 – Частота встречаемости комплексных генотипов $GH + LEP$ у коров из организации «П» ($n = 60$) /
Table 2 – Frequency of occurrence of complex genotypes $GH + LEP$ in cows of Organization "P" ($n = 60$)

Комплексный генотип / Complex genotype	Частота встречаемости, % / Frequency of occurrence, %
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AA}$	15,0
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AV}$	5,0
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{VV}$	8,3
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}$	16,7
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}$	10,0
$GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}$	18,3
$GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{AV}$	6,7
$GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}$	1,7
$GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AV}$	3,3
$GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AA}$	3,3
$GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$	10,0
$GH^{VV}R25C^{CC}A80V^{AV}$	1,7

Распределение комплексных генотипов соматотропина и лептина в организации «К» характеризуется выраженной неравномерностью, что отражает как селекционные приоритеты, так и генетические ограничения. При этом в группе животных сохраняется равновесие Харди-Вайнберга. Наиболее распространенный генотип – $GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}$ (18,3 %), далее по частоте встречаемости следуют $GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}$ (16,7 %) и $GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}$ (15,0 %). Высокая частота вариантов может быть связана с их ассоциацией с ключевыми хозяйственно полезными признаками, такими как устойчивость к стрессам, высокая молочная

продуктивность или адаптивность к локальным условиям содержания. Генотипы $GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$ и $GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{VV}$, встречающиеся с частотой 11,7 %, также занимают значительную долю в популяции, что позволяет предположить их селекционную ценность, например, за счёт баланса между продуктивностью и здоровьем, что подтверждается рядом исследований [22, 23].

В выборке отсутствуют шесть генотипов: $GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{AA}$, $GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AV}$, $GH^{VV}R25C^{CC}A80V^{AA}$, $GH^{VV}R25C^{CC}A80V^{AV}$, $GH^{VV}R25C^{CC}A80V^{VV}$, $GH^{VV}R25C^{CR}A80V^{AA}$. Это объясняется эффектом сцепленного наследования аллелей. Например, аллель VV в локусе SNP A80V встречается исключительно в сочетании с CC в локусе SNP PR25C, а аллель RR (SNP R25C) наследуется только вместе с AA (SNP A80V) как показано в работе Н. В. Ковалюк с соавт. [10].

Таким образом, распределение генотипов отражает не только селекционные предпочтения, но и генетические ограничения, связанные с особенностями наследования ключевых аллелей.

Распределение комплексных генотипов соматотропина и лептина в организации «П» отличается от тенденций, выявленных в организации «К», что подчеркивает влияние региональных селекционных стратегий и условий содержания. При этом в выборке соблюдается закон Харди-Вайнберга. Наибольшая доля в стаде приходится на генотип $GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}$ (18,3 %), что, вероятно, связано с его ассоциацией с высокой молочной продуктивностью. Второе и третье места по частоте встречаемости занимают генотипы – $GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}$ (16,7 %), $GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AA}$ (15,0 %). Это указывает на селекционное предпочтение генотипов с комбинацией аллелей LL , которые могут обеспечивать стабильность метаболизма и адаптацию к интенсивным условиям молочного производства.

Генотипы $GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}$ и $GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$ встречаются с частотой 10 %, что ниже, чем в организации «К». Редкие варианты, такие как $GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}$ и $GH^{VV}R25C^{CC}A80V^{AV}$ (по 1,7 %), практически отсутствуют в популяции, что может быть следствием их негативного влияния на продуктивное долголетие.

В таблицах 3 и 4 отражена зависимость молочной продуктивности за первую лактацию от комплексных генотипов.

Таблица 3 – Показатели молочной продуктивности коров с различными комплексными генотипами *GH + LEP* за 305 дней первой лактации в организации «К» (n = 53) ($X \pm Sx$) /

Table 3 – Milk productivity indicators of cows with different complex genotypes *GH + LEP* for 305 days of the first lactation in Organization "K" (n = 53) ($X \pm Sx$)

Комплексный генотип / Complex genotype	Удой, кг / Milk yield, kg	Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %
<i>GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AA}</i>	5980±605	3,97±0,08	3,18±0,03
<i>GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{VV}</i>	6108±488	3,95±0,06	3,19±0,03
<i>GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}</i>	6369±322	3,90±0,03	3,20±0,02
<i>GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}</i>	7146±442	3,85±0,04	3,18±0,02
<i>GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}</i>	5934±409	3,91±0,05	3,19±0,02
<i>GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}</i>	6506±686	3,98±0,05	3,17±0,05
<i>GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}</i>	7285±546	3,87±0,05	3,16±0,02

Таблица 4 – Показатели молочной продуктивности коров с различными комплексными генотипами *GH + LEP* за 305 дней первой лактации в организации «П» (n = 58) ($X \pm Sx$) /

Table 4 – Milk productivity indicators of cows with different complex genotypes *GH + LEP* for 305 days of the first lactation in Organization "P" (n = 58) ($X \pm Sx$)

Комплексный генотип / Complex genotype	Удой, кг / Milk yield, kg	Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %
<i>GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AA}</i>	7952±204	3,86±0,04	3,12±0,02
<i>GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AV}</i>	9145±185	3,96±0,02	3,10±0,01
<i>GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{VV}</i>	8693±320	3,74±0,03	3,11±0,01
<i>GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}</i>	8321±175	4,01±0,01	3,16±0,02
<i>GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}</i>	9132±254	4,12±0,01	3,17±0,03
<i>GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}</i>	8978±198	3,85±0,04	3,11±0,02
<i>GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{AV}</i>	7966±301	4,02±0,02	3,09±0,02
<i>GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AV}</i>	8542±224	3,71±0,02	3,14±0,01
<i>GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AA}</i>	9234±218	4,00±0,01	3,18±0,03
<i>GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}</i>	9563±113***	4,02±0,03	3,15±0,02

*** – $p \leq 0,001$ по отношению к средним показателям по стаду / *** – $p \leq 0,001$ relative to the herd averages

В организации «К» представлено семь комплексных генотипов, общее поголовье 53 головы, редкие генотипы с частотой встречаемости менее 4 % из выборки исключены.

В организации «К» коровы с генотипом *GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}* за первую лактацию имели наивысшую молочную продуктивность: удой 7285±546 кг, что на 1351 кг превышает показатели *GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}* и на 1305 кг – *GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AA}*. Животные с этим генотипом также характеризуются умеренным содержанием жира (3,87 %) и белка (3,16 %) в молоке, что делает его универсальным для хозяйств, ориентированных на высокие удои. У коров с генотипом *GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}* отмечен второй по величине удой (7146±442 кг), но при этом зафиксировано самое низкое содержание жира (3,85 %), что может быть связано с энергетическими затратами на синтез молока.

Максимальное содержание жира в молоке (3,98 %) выявлено у животных с генотипом *GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}*, что делает этот генотип перспективным для производства жирномолочной продукции. Однако их удой (6506±686 кг) уступает показателям носительниц генотипа *GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}*, что отражает компромисс между качеством и количеством молока. Коровы с генотипом *GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}* отличаются самым высоким уровнем белка (3,20 %), что важно для сыроделия, но с удоом (6369±322 кг) на среднем уровне.

В организации «П» представлены десять комплексных генотипов с поголовьем 58 голов, из выборки исключены редкие генотипы с частотой встречаемости менее 3 %.

В организации «П» лидером по удою являются коровы с генотипом *GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}* (9563±113 кг), опережая ближайших конкурентов на 329 кг. При этом животные с генотипом

$GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$ сохраняют высокое содержание жира в молоке (4,02 %), что подчеркивает их ценность для хозяйств, ориентированных на комбинированные показатели. Коровы с генотипом $GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}$ имеют рекордную массовую долю жира (4,12 %), но уступают по удою (9132±254 кг), что определяет их специализацию в производстве высокожирного молока.

Важно отметить, что одни и те же комплексные генотипы (в частности, $GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$) демонстрировали одинаковое влияние на продуктивность животных, несмотря на межхозяйственные различия, что подчеркивает преобладание влияния генетических факторов

над факторами среды (кормление, менеджмент) на реализацию продуктивного потенциала. Более высокие удои в сельскохозяйственной организации «П» можно объяснить внедрением оптимизированного рациона кормления или улучшенными условиями содержания скота. Это подтверждает необходимость комплексного подхода, сочетающего генетический отбор с совершенствованием технологий животноводства^{1, 2}.

В таблицах 5 и 6 отражена зависимость молочной продуктивности за третью лактацию от комплексных генотипов.

Таблица 5 – Показатели молочной продуктивности коров с различными комплексными генотипами $GH + LEP$ за 305 дней третьей лактации в организации «К» (n = 53) ($X \pm Sx$) /

Table 5 – Milk productivity indicators of cows with different complex genotypes $GH + LEP$ for 305 days of the third lactation in Organization “K” (n = 53) ($X \pm Sx$)

Комплексный генотип / Complex genotype	Удой, кг / Milk yield, kg	Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AA}$	9858±444	3,83±0,04*	3,20±0,03
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{VV}$	7269±748	3,88±0,02	3,20±0,03
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}$	8396±621	3,90±0,02	3,18±0,02
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}$	8205±734	3,91±0,01	3,19±0,02
$GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}$	7424±626*	3,89±0,02	3,20±0,02
$GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}$	8412±1108	3,87±0,02	3,19±0,02
$GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$	9889±604	3,90±0,02	3,18±0,02

* – $p \leq 0,05$ по отношению к средним показателям по стаду / * – $p \leq 0.05$ relative to the herd averages

Таблица 6 – Показатели молочной продуктивности коров с различными комплексными генотипами $GH + LEP$ за 305 дней третьей лактации в организации «П» (n = 58) ($X \pm Sx$) /

Table 6 – Milk productivity indicators of cows with different complex genotypes $GH + LEP$ for 305 days of the third lactation in Organization “P” (n = 58) ($X \pm Sx$)

Комплексный генотип / Complex genotype	Удой, кг / Milk yield, kg	Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AA}$	9654±365	3,91±0,05	3,14±0,03
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AV}$	9235±211	3,85±0,03	3,14±0,04
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{VV}$	10012±174	4,01±0,04	3,18±0,02
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}$	9874±325	3,95±0,02	3,15±0,02
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}$	9328±274	3,89±0,02	3,13±0,03
$GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}$	9881±301	4,01±0,03	3,16±0,05
$GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{AV}$	8978±144***	4,11±0,05***	3,15±0,04
$GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AV}$	9558±176	3,89±0,03	3,17±0,03
$GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AA}$	9642±287	3,92±0,03	3,19±0,02
$GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$	10574±234***	3,97±0,04	3,16±0,02

*** – $p \leq 0,001$ по отношению к средним показателям по стаду / *** – $p \leq 0.001$ relative to the herd averages

¹Топалов Ф. Г. Основы генетики и разведения домашнего скота. М.: АСТ, Донецк: Сталкер, 2004. 136 с.

²Красота В. Ф., Лобанов В. Т., Джапаридзе Т. Г. Разведение сельскохозяйственных животных. 2-е изд. М.: ВНИИплем, 1983. 385 с.

В третьей лактации наблюдается динамика изменения продуктивности по сравнению с первой, что подчеркивает влияние возраста и накопленного физиологического потенциала. В организации «К» животные с генотипом $GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$ лидируют по уровню удоя (9889 ± 604 кг), демонстрируя рост на 26 % относительно первой лактации (7285 ± 546 кг).

У животных с генотипом $GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AA}$, напротив, отмечен резкий рост удоя с 5980 ± 605 кг (первая лактация) до 9858 ± 444 кг (третья), что свидетельствует о позднем созревании и адаптации к нагрузкам. Однако массовая доля жира в молоке у них снизилась с 3,97 до 3,83 %, что указывает на компромисс между удоём и жирностью молока.

Исследования подтвердили, что носители генотипов $GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$ в организации «П» сохранили лидерство по удою в третьей лактации: разница с другими носителями составила 1159 кг ($rs = 0,56$; $p \leq 0,001$). Максимальная массовая доля жира отмечена у коров с генотипом $GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{AV}$, которые превосходят

носительниц $GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AV}$ на 0,26 % ($p \leq 0,001$). Высокое содержание белка в молоке (3,19 %) характерно для животных с генотипом $GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AA}$ ($rs = 0,4$).

Полученные данные указывают на прямую зависимость между генетическим профилем и хозяйственно полезными признаками, что актуально для селекции высокопродуктивных животных.

Данные о пожизненной молочной продуктивности коров в зависимости от комплексных генотипов соматотропина и лептина в организациях «К» и «П» представлены в таблицах 7 и 8. В изучаемые группы вошли выбывшие коровы с 3-4-й законченными лактациями (организация «К») и с 4-5-й законченными лактациями (организация «П»). В число анализируемых показателей входили суммарный удой за жизнь, средние значения массовой доли жира и белка в молоке, что позволило оценить долгосрочное влияние генетических факторов на продуктивность и физиологические особенности коров.

Таблица 7 – Влияние комплексных генотипов $GH + LEP$ на показатели пожизненной продуктивности коров в организации «К» ($n = 53$) ($X \pm Sx$) /

Table 7 – The influence of complex genotypes on lifelong productivity indicators of cows in Organization "K" ($n = 53$) ($X \pm Sx$)

Комплексный генотип / Complex genotype	Удой, кг / Milk yield, kg	Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AA}$	22524 ± 2278	$3,87 \pm 0,02$	$3,15 \pm 0,01$
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{VV}$	26119 ± 2245	$3,89 \pm 0,02$	$3,18 \pm 0,01$
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}$	24454 ± 1787	$3,86 \pm 0,02$	$3,16 \pm 0,01$
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}$	28099 ± 2406	$3,88 \pm 0,01$	$3,19 \pm 0,01$
$GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}$	31829 ± 1655	$3,90 \pm 0,01$	$3,21 \pm 0,01$
$GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}$	30867 ± 2643	$3,92 \pm 0,04^{***}$	$3,27 \pm 0,03^{***}$
$GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$	$31899 \pm 1544^{**}$	$3,91 \pm 0,03$	$3,22 \pm 0,01$

** – $p \leq 0,01$, *** – $p \leq 0,001$ по отношению к средним показателям по стаду /

** – $p \leq 0,01$, *** – $p \leq 0,001$ relative to the herd averages

Таблица 8 – Влияние комплексных генотипов $GH + LEP$ на показатели пожизненной продуктивности коров в организации «П» ($n = 58$) ($X \pm Sx$) /

Table 8 – The influence of complex genotypes $GH + LEP$ on lifelong productivity indicators of cows in Organization "P" ($n = 58$) ($X \pm Sx$)

Комплексный генотип / Complex genotype	Удой, кг / Milk yield, kg	Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AA}$	44223 ± 1152	$3,98 \pm 0,04$	$3,18 \pm 0,01$
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{AV}$	47896 ± 1264	$4,00 \pm 0,03$	$3,13 \pm 0,04$
$GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{VV}$	51203 ± 708	$3,97 \pm 0,03$	$3,15 \pm 0,03$
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AA}$	50665 ± 812	$3,65 \pm 0,02$	$3,15 \pm 0,03$
$GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}$	50874 ± 1144	$4,11 \pm 0,03$	$3,17 \pm 0,06$
$GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}$	47320 ± 1876	$4,02 \pm 0,02$	$3,16 \pm 0,03$
$GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{AV}$	51479 ± 965	$3,87 \pm 0,05$	$3,14 \pm 0,03$
$GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AV}$	49811 ± 325	$3,98 \pm 0,04$	$3,18 \pm 0,02$
$GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AA}$	48633 ± 896	$4,13 \pm 0,02$	$3,19 \pm 0,04$
$GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$	55632 ± 614	$3,85 \pm 0,03$	$3,16 \pm 0,02$

В организации «К» (табл. 7) максимальный пожизненный удой, достигший 31899 кг, продемонстрировали коровы с генотипом $GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$, что статистически значимо превысило показатели других групп. Носительницы $GH^{LL}R25C^{RR}A80V^{AA}$ также показали высокий результат (31829 кг), подчеркивая важность аллеля *R* в комбинации с другими вариантами генов для долгосрочной продуктивности. Примечательно, что животные с генотипом $GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}$, несмотря на относительно средний удой (30867 кг), отличились высокими показателями массовой доли жира (3,92 %) и массовой доли белка (3,27 %), что указывает на их потенциал для селекции на повышение качества молока. Коровы с генотипом $GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}$, хотя и уступили лидерам по удою (28099 кг), показали стабильные значения по жиру и белку.

В организации «П» абсолютным лидером по пожизненному удою стали обладательницы генотипа $GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$ (55632 кг), подтвердив тенденцию, выявленную в организации «К», где носительницы этого же генотипа занимали первое место по молочной продуктивности. Удой в организации «П» в целом получили существенно выше: животные с генотипом $GH^{LL}R25C^{CC}A80V^{VV}$ достигли пожизненной продуктивности 51203 кг, в организации «К» продуктивность составила 26119 кг. Это может быть связано с улучшенными условиями содержания, кормления или более строгим отбором поголовья, что, в свою очередь, способствовало увеличению срока хозяйственного использования коров. Животные с генотипом $GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AA}$ отличались максимальным содержанием жира в молоке (4,13 %) при сохранении высокого удою (48633 кг), что делает его носительниц перспективными для хозяйств, ориентированных на производство жирномолочной продукции.

В организации «К» акцент смещен в сторону качества молока у отдельных генотипов ($GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}$), несмотря на меньшие объёмы надоев. Наличие статистически значимых различий в показателях подчеркивает, что влияние генотипов на пожизненную продуктивность неслучайно и может быть использовано в селекционных программах. Полученные данные также указывают на то, что пожизненные показатели сильнее зависят от генетического потенциала, чем результаты отдельной лактации, что подтверждается ростом удоев у животных с одинаковыми генотипами при переходе от

анализа первой лактации к многолетним данным. Это позволяет рассматривать комплексные генотипы как маркеры долгосрочной продуктивности, но для достижения максимальной реализации генетического потенциала необходимо учитывать особенности конкретного хозяйства.

Заключение. Проведенное исследование комплексных генотипов по генам соматотропина и лептина у 120 коров голштинской породы из двух сельскохозяйственных организаций Свердловской области выявило существенную связь генетического профиля с показателями молочной продуктивности за первую и третью лактации и пожизненной продуктивностью. Распределение генотипов в обоих стадах характеризовалось выраженной неравномерностью, отражающей как селекционные приоритеты (например, преобладание генотипов *LL* в организации «П»), так и фундаментальные генетические ограничения, обусловленные сцепленным наследованием аллелей. Ключевым результатом, наблюдаемым в обеих организациях, является идентификация генотипа $GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$ как наиболее перспективного для селекции на высокую молочную продуктивность. Животные с этим генотипом неизменно характеризовались максимальными удоями как за первую и третью лактации, так и пожизненной продуктивностью. При этом выявлена значительная вариабельность реализации генетического потенциала в зависимости от хозяйственных условий: превосходство организации «П» по удою подчеркивает критическую роль оптимизированного кормления животных и менеджмента.

Параллельно обнаружены генотипы, ассоциированные со значимыми качественными признаками: носители $GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}$ в организации «К» выделились рекордной пожизненной массовой долей жира в молоке (3,92 %) и массовой долей белка (3,27 %), коровы с генотипом $GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AA}$ в организации «П» – максимальной массовой долей жира (4,13 %) при высоком удое. Носительницы генотипа $GH^{LL}R25C^{CR}A80V^{AV}$ продемонстрировали потенциал для высокожирного молока, но уступали по долгосрочной продуктивности. Полученные данные однозначно свидетельствуют о том, что комплексные генотипы по соматотропину и лептину служат информативными маркерами для прогнозирования молочной продуктивности (количества и качества молока) и адаптивного потенциала коров.

В связи с тем, что в последние годы продуктивное долголетие коров сократилось до 2,5 лактаций, а основными причинами выбытия являются проблемы со здоровьем, а не низкая продуктивность, проведение генотипирования животных в раннем возрасте с последующим отбором желательных генотипов позволит создать высокопродуктивные стада. Для эффективной селекции рекомендуется приоритетный отбор

животных с генотипом $GH^{LV}R25C^{RR}A80V^{AA}$ как универсально высокопродуктивного варианта, а также использование специализированных генотипов ($GH^{LV}R25C^{CC}A80V^{VV}$, $GH^{LV}R25C^{CR}A80V^{AA}$) в программах, направленных на улучшение конкретных компонентов молока, с обязательным учетом и оптимизацией факторов среды конкретной организации для полной реализации генетического потенциала.

Список литературы

1. Deen A. U., Tyagi N., Yadav R. D., Kumar S., Tyagi A. K., Singh S. K. Feeding balanced ration can improve the productivity and economics of milk production in dairy cattle: a comprehensive field study. *Tropical Animal Health and Production*. 2019;51(4):737–744. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1747-8>
2. Bosire C. K., Mtinet N., Enahoro D. K., Ogotu J. O., Krol M. S., de Leeuw J. et al. Livestock water and land productivity in Kenya and their implications for future resource use. *Heliyon*. 2022;8(3):e09006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09006>
3. Hoes A. Ch., Aramyan L. Blind Spot for Pioneering Farmers? Reflections on Dutch Dairy Sustainability Transition. *Sustainability*. 2022;14(17):10959. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141710959>
4. Hallein E., Shallcross D., Dalvean J., Celi P., McGowan M., Jacobson C. et al. Collaborative Development of a Farm Systems Learning Platform «4D Virtual Farm». *Journal of Veterinary Medical Education*. 2025;52(1):8–16. DOI: <https://doi.org/10.3138/jvme-2023-0023>
5. Mauki D. H., Adeola A. C., Ng'ang'a S. I., Tijjani A., Akanbi I. M., Sanke O. J. et al. Genetic variation of Nigerian cattle inferred from maternal and paternal genetic markers. *PeerJ*. 2021;9:e10607. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.10607>
6. Ginja C., Gama L. T., Cortés O., Burriel I. M., Vega-Pla J. L., Penedo C. et al. Author Correction: The genetic ancestry of American Creole cattle inferred from uniparental and autosomal genetic markers. *Scientific Reports*. 2020;10(1):1–2. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73066-4>
7. Joshi P., Vyas P., Mehta S. C. Genetic Characterization and Diversity Study of Indigenous Cattle Breeds Through Microsatellite Markers. *The Indian Veterinary Journal*. 2024;101(10):43–48. DOI: <https://doi.org/10.62757/IVA.2024.101.10.43-48>
8. Zhang H., Wang A., Xiao W., Mi S., Hu L., Brito L. F. et al. Genetic parameters and genome-wide association analyses for lifetime productivity in Chinese Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*. 2024;107(11):9638–9655. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jods.2024.10.001>
9. Nakatsuchi A., Matsumoto Y., Aida Y. Influence of BoLA-DRB3 Polymorphism and Bovine Leukemia Virus (BLV) Infection on Dairy Cattle Productivity. *Veterinary Sciences*. 2023;10(4):250. DOI: <https://doi.org/10.3390/vetsci10040250>
10. Kovalyuk N. V., Kuzminova E. V., Semenenko M. P., Abramov A. A., Yakusheva L. I. The relationship between snp-polymorphisms of the leptin gene and the development of fatty liver disease in dairy cows. *E3S Web of Conferences*. 2021;254(11):09019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125409019>
11. Хаудов А. Д., Курашев Ж. Х., Слонов Т. Л., Жекамухов М. Х. Полиморфизм генов молочной продуктивности GH и DGAT1 в популяции крупного рогатого скота голштинской породы нидерландской селекции. *Сельскохозяйственный журнал*. 2024;(4(17)):160–170. DOI: <https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/016.4.17.2024> EDN: WPWWNI
12. Bashchenko M. I., Boiko O. V., Honchar O. F., Sotnichenko Y. M., Lesyk Y. V., Iskra R. Y., Gutty B. V. Peculiarities of growth and further productivity of purebred and crossbred cows. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2023;14(1):118–124. DOI: <https://doi.org/10.15421/022318>
13. Горелик А. С., Горелик О. В., Ребезов М. Б., Харлап С. Ю. Динамика молочной продуктивности коров голштинской породы в зависимости от возраста в лактациях. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2025;(1(10)):146–157. DOI: [https://doi.org/10.52754/16948696_2025_1\(10\)_20](https://doi.org/10.52754/16948696_2025_1(10)_20) EDN: WMYENZ
14. Гаджиев З. К., Суржикова Е. С., Евлагина Д. Д., Ковалева Г. П., Лапина М. Н. Оценка коров-первотёлок чёрно-пёстрой породы по ДНК-маркерам, ассоциированных с хозяйственно полезными признаками. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2024;61-3:29–36. DOI: https://doi.org/10.54258/20701047_2024_61_3_29 EDN: YEXICZ
15. 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
16. Щеголев П. О., Сабетова К. Д., Чаицкий А. А., Дудихин А. С. Ассоциация гена гормона роста с продуктивными признаками крупного рогатого скота (обзор). *Вестник АПК Верхневолжья*. 2023;(2(62)):61–72. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.62.2.010> EDN: UQZHHM
17. Сабетова К. Д., Лемякин А. Д., Чаицкий А. А., Щеголев П. О., Баданина Л. С., Метляев Н. Ю., Дудихин А. С., Кочуева Н. А. Роль полиморфизма LEP R25C в предрасположенности коров к кетозу. *Международный вестник ветеринарии*. 2024;(1):415–426. DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2024.1.415> EDN: MWZUDC

18. Кожевникова И. С., Худякова Н. А., Калмыкова М. С., Кашин А. С. Установление связи полиморфизма гена лептина (сайт R25C) с хозяйственно полезными признаками. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2025;(1):59–62. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208225010138> EDN: CSFXHF
19. Худякова Н. А., Кожевникова И. С., Ступина А. О., Классен И. А., Кашин А. С. Динамика живой массы коров холмогорской породы по полиморфизму гена лептина. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(1):158–165. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.1.158-165> EDN: RPVEBM
20. Харченко А. В., Фейзуллаев Ф. Р. Полиморфизм гена лептина у коров голштинской породы. Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2024;(8):126–130. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202408014> EDN: VVRNMG
21. Парамонова М. А., Валитов Ф. Р., Ганиева И. Н., Кононенко Т. В. Ассоциация полиморфизма гена лептина с хозяйственно полезными признаками крупного рогатого скота чёрно-пёстрой породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023;(1(99)):277–283. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-99-1-277-283> EDN: UDIXDT
22. Русакова Е. А., Косян Д. Б. Взаимосвязь полиморфизма гена LEP/A80V с гематологическими показателями и характеристикой неспецифического иммунитета крупного рогатого скота. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019;(4):4. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42503537> EDN: XKDNV
23. Дубовскова М. П., Суржикова Е. С., Евлагина Д. Д. Особенности полиморфизма генов GH, TG5, LEP у скота герфордской породы. Сельскохозяйственный журнал. 2024;(4(17)):36–44. DOI: <https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/004.4.17.2024> EDN: SYBQSC

References

1. Deen A. U., Tyagi N., Yadav R. D., Kumar S., Tyagi A. K., Singh S. K. Feeding balanced ration can improve the productivity and economics of milk production in dairy cattle: a comprehensive field study. *Tropical Animal Health and Production*. 2019;51(4):737–744. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1747-8>
2. Bosire C. K., Mtimet N., Enahoro D. K., Ogutu J. O., Krol M. S., de Leeuw J. et al. Livestock water and land productivity in Kenya and their implications for future resource use. *Heliyon*. 2022;8(3):e09006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09006>
3. Hoes A. Ch., Aramyan L. Blind Spot for Pioneering Farmers? Reflections on Dutch Dairy Sustainability Transition. *Sustainability*. 2022;14(17):10959. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141710959>
4. Hallein E., Shallcross D., Dalvean J., Celi P., McGowan M., Jacobson C. et al. Collaborative Development of a Farm Systems Learning Platform «4D Virtual Farm». *Journal of Veterinary Medical Education*. 2025;52(1):8–16. DOI: <https://doi.org/10.3138/jvme-2023-0023>
5. Mauki D. H., Adeola A. C., Ng'ang'a S. I., Tijjani A., Akanbi I. M., Sanke O. J. et al. Genetic variation of Nigerian cattle inferred from maternal and paternal genetic markers. *PeerJ*. 2021;9:e10607. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.10607>
6. Ginja C., Gama L. T., Cortés O., Burriel I. M., Vega-Pla J. L., Penedo C. et al. Author Correction: The genetic ancestry of American Creole cattle inferred from uniparental and autosomal genetic markers. *Scientific Reports*. 2020;10(1):1–2. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73066-4>
7. Joshi P., Vyas P., Mehta S. C. Genetic Characterization and Diversity Study of Indigenous Cattle Breeds Through Microsatellite Markers. *The Indian Veterinary Journal*. 2024;101(10):43–48. DOI: <https://doi.org/10.62757/IVA.2024.101.10.43-48>
8. Zhang H., Wang A., Xiao W., Mi S., Hu L., Brito L. F. et al. Genetic parameters and genome-wide association analyses for lifetime productivity in Chinese Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*. 2024;107(11):9638–9655. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jds.2024.10.001>
9. Nakatsuchi A., Matsumoto Y., Aida Y. Influence of BoLA-DRB3 Polymorphism and Bovine Leukemia Virus (BLV) Infection on Dairy Cattle Productivity. *Veterinary Sciences*. 2023;10(4):250. DOI: <https://doi.org/10.3390/vetsci10040250>
10. Kovalyuk N. V., Kuzminova E. V., Semenenko M. P., Abramov A. A., Yakusheva L. I. The relationship between snp-polymorphisms of the leptin gene and the development of fatty liver disease in dairy cows. *E3S Web of Conferences*. 2021;254(11):09019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125409019>
11. Khaudov A. D., Kurashev Zh. Kh., Slonov T. L., Zhekamukhov M. Kh. Polymorphism of dairy productivity genes GH and DGAT1 in a population of holstein cattle of dutch breeding. *Selskokhozyaystvenny zhurnal*. 2024;(4(17)):160–170. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/016.4.17.2024>
12. Bashchenko M. I., Boiko O. V., Honchar O. F., Sotnichenko Y. M., Lesyk Y. V., Iskra R. Y., Gutyj B. V. Peculiarities of growth and further productivity of purebred and crossbred cows. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2023;14(1):118–124. DOI: <https://doi.org/10.15421/022318>
13. Gorelik A. S., Gorelik O. V., Rebezov M. B., Kharlap S. Yu. Dynamics of milk productivity of holstein cows depending on age in lactations. *Vestnik Oshskogo gosudarstvennogo universiteta. Selskoye khozyaystvo: agronomiya, veterinariya i zootekhnika* = Journal of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary and zootechnics. 2025;(1(10)):146–157. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.52754/16948696_2025_1\(10\)_20](https://doi.org/10.52754/16948696_2025_1(10)_20)
14. Gadzhiev Z. K., Surzhikova E. S., Evlagina D. D., Kovaleva G. P., Lapina M. N. Evaluation of first-calf cows of the black-and-white breed using DNA markers associated with economically useful traits. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Proceedings of Gorskoy State Agrarian University. 2024;61-3:29–36. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.54258/20701047_2024_61_3_29
15. Mikhaliuk A., Tanana L., Kuzmina T. 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 razvedeniye zhivotnikh* = Genetics and breeding of animals. 2023;(1):74–83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2023-1-74-83>

16. Shchegolev P. O., Sabetova K. D., Chaitsky A. A., Dudikhin A. S. Association of the growth hormone gene with the productive traits of cattle (review). *Vestnik APK Verkhnevolzhya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2023;(2(62)):61–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.62.2.010>
17. Sabetova K. D., Lemyakin A. D., Chaitsky A. A., Shchegolev P. O., Badanina L. S., Metlyayev N. Yu., Dudikhin A. S., Kochueva N. A. The role of lepr 25c polymorphism in the predisposition of cows to ketosis. *Mezhdunarodny vestnik veterinarii* = International Bulletin of Veterinary Medicine. 2024;(1):415–426. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2024.1.415>
18. Kozhevnikova I. S., Khudyakova N. A., Kalmikova M. S., Kashin A. S. Associating leptin gene polymorphism (site R25C) with economically useful traits. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2025;(1):59–62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208225010138>
19. Khudyakova N.A., Kozhevnikova I.S., Stupina A.O., Klassen I.A., Kashin A.S. Dynamics of the development of live weight in cows of the Kholmogory breed according to the polymorphism of the leptin gene. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(1):158–165. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.1.158-165>
20. Kharchenko A. V., Feyzullayev F. R. Polymorphism of the leptin gene in holstein cows. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya* = Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology. 2024;(8):126–130. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202408014>
21. Paramonova M. A., Valitov F. R., Ganieva I. N., Kononenko T. V. Association of leptin gene polymorphism with economically beneficial features of black and white cattle. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2023;(1(99)):277–283. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-99-1-277-283>
22. Rusakova E. A., Kosyan D. B. Relationship of LEP/A80V gene polymorphism with hematological parameters and characteristic of nonspecific immunity of cattle. *Byulleten Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN*. 2019;(4):4. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42503537>
23. Dubovskova M. P., Surzhikova E. S., Evlagina D. D. Polymorphism characteristics of GH, TG5, LEP genes in cattle of the hereford breed. *Selskokhozyaystvenny zhurnal*. 2024;(4(17)):36–44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/004.4.17.2024>

Вклад авторов: Ярышкин А. А., Шаталина О. С. – концепция и план исследования, анализ данных, подготовка рукописи; Зырянова А. А. – подготовка рукописи.

Сведения об авторах

✉ **Ярышкин Андрей Александрович**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, д. 112а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620142, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9215-5952>, e-mail: x2580x@yandex.ru

Шаталина Ольга Сергеевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского д. 112а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620142, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9796-7677>

Зырянова Анастасия Андреевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, д. 112а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620142, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1435-8210>

Author contributions: Yaryshkin A. A., Shatalina O. S. – research concept and plan, data analysis, manuscript preparation; Zyryanova A. A. – manuscript preparation.

Information about the authors

✉ **Andrey A. Yaryshkin**, PhD in Biology, Senior Researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky str., Ekaterinburg, Russian Federation, 620142, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9215-5952>, e-mail: x2580x@yandex.ru

Olga S. Shatalina, PhD in Biology, Senior Researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky str., Ekaterinburg, Russian Federation, 620142, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9796-7677>

Anastasia A. Zyryanova, Junior Researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky str., Ekaterinburg, Russian Federation, 620142, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1435-8210>

✉ – Для контактов / Corresponding author