

Научная статья
 УДК 636.082: 575.113.2
 doi:10.35694/YARCX.2025.72.4.012

АССОЦИАТИВНЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ГЕНОВ DGAT1 И LEP С МОЛОЧНОЙ И МЯСНОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ КОРОВ (ОБЗОР)

П. О. Щеголев¹, А. А. Чаицкий², К. Д. Чаицкая³, В. А. Дуркина⁴

^{1, 2, 3, 4}Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия

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

Реферат. Проблема обеспечения населения России говядиной собственного производства, несмотря на достижения зоотехнической науки и практики, не теряет своей актуальности. Решить её путём выращивания и откорма скота специализированных мясных пород, мясо которых обладает высокими вкусовыми и питательными качествами, как в Костромской области, так и в стране в целом, пока не удастся. Это связано как с небольшой численностью хозяйств, занимающихся разведением мясных пород, так и со слабой доступностью соответствующего импортного племенного материала. Сложившаяся практика выращивания и откорма свёрхремонтного молодняка молочных и молочно-мясных пород позволяет покрыть значительную часть потребности в говядине, однако это менее эффективно, чем откорм мясного скота. Одним из возможных способов решения этой проблемы представляется использование в селекции молочного скота ДНК-маркеров, связанных одновременно как с мясной, так и молочной продуктивностью. К числу наиболее изученных локусов, удовлетворяющих данным условиям, относятся гены MSTN, CAPN, CAST, RORC, DGAT1, LEP и GH. Ввиду плейотропного действия этих генов, их можно применять в селекционной работе в качестве маркеров молочной и мясной продуктивности коров, что в свою очередь будет способствовать совершенствованию мясных характеристик разводимых животных и повышению доступности качественных мясных продуктов для населения в целом. В данной статье приводится обзор литературных данных о гене лептина (LEP) и диацилглицерол-О-ацилтрансферазы (DGAT1). Рассматриваются актуальные данные о строении, биологической функции, основных полиморфных локусах и их влиянии на продуктивные качества животных, а также приводятся сведения о частотах встречаемости генотипов и аллелей в различных популяциях крупного рогатого скота.

Ключевые слова: ген, лептин, диацилглицерол-О-ацилтрансфераза, мясная продуктивность, молочная продуктивность, коровы

ASSOCIATIVE RELATIONSHIPS OF DGAT1 AND LEP GENES WITH DAIRY AND MEAT PRODUCTIVITY IN COWS (REVIEW)

P. O. Schiogolev¹, A. A. Chaittskiy², K. D. Chaickaya³, V. A. Durkina⁴

^{1, 2, 3, 4}Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

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

Abstract. The problem of providing the Russian population with domestically produced beef despite the achievements of animal science and practice remains relevant. Solving it by raising and fattening of cattle of specialized beef breeds, whose meat has excellent taste and nutritional qualities, both in the Kostroma region and in the country as a whole, has not yet been successful. This is due to both the small number of farms engaged in breeding beef breeds and the limited availability of appropriate imported breeding material. The current practice of raising and fattening excess replacement young stock of dairy and dairy-beef breeds covers a significant part of the requirement of beef, although it is less efficient than fattening beef cattle. One possible way to solve this problem is to use DNA markers associated with both meat and dairy productivity in dairy cattle breeding. Among the most studied loci that meet these conditions are the genes MSTN, CAPN, CAST, RORC, DGAT1, LEP, and GH. Due to the pleiotropic effect of these genes, they can be used in breeding work as markers of dairy and meat productivity in cows, which in turn will contribute to improving the meat characteristics of the bred animals and increasing the availability of quality meat products for the general population. This article provides a literature data review of the leptin (LEP) gene and diacylglycerol-O-acyltransferase (DGAT1). Relevant data on the structure, biological function, major polymorphic loci, and their impact on the productive qualities of animal are examined, as well as information on the frequencies of genotypes and alleles in various cattle populations are provided.

Keywords: gene, leptin, diacylglycerol-O-acyltransferase, meat productivity, dairy productivity, cattle

Введение. В настоящее время основной задачей агропромышленного комплекса, в том числе отрасли животноводства, является обеспечение населения страны биологически полноценными продуктами питания, в частности, мяса. Известно, что в Российской Федерации в современных условиях острым является вопрос обеспечения населения страны говядиной собственного производства [1]. В результате проводимой селекционно-племенной работы в породах крупного рогатого скота в последние годы произошли существенные изменения хозяйственно полезных и продуктивных качеств животных. Известно, что говядина, полученная от животных специализированных мясных пород, обладает высокими вкусовыми и питательными качествами. Её принято относить к наиболее ценным продуктам питания человека. Обусловлено это тем, что скот специализированных мясных пород обладает своеобразным генетически обусловленным типом обмена веществ, определяющим его высококачественную мясную продуктивность [2]. Однако в Костромской области и в стране в целом существует дефицит мясного сырья и мясопродуктов таких животных ввиду небольшой численности хозяйств, занимающихся разведением крупного рогатого скота мясного направления продуктивности. Также основной породный состав их – это импортные животные, племенной материал для разведения которых в данной политической ситуации может быть малодоступен [3]. Стоит отметить и низкую экономическую доступность для населения страны говядины высокого качества, полученной от КРС мясных пород. В результате основу поголовья, идущего на производство говядины (до 90%), составляет свёрхремонтный молодняк молочных и комбинированных пород скота [3]. Свёрхремонтные помесные тёлки при грамотной организации разведения могут являться дополнительным резервом высококачественной говядины [4]. В связи с этим необходимо провести комплекс мер по интенсификации отрасли, которые должны способствовать более полной реализации генетического потенциала мясной продуктивности животных. При этом особое внимание следует уделять разведению отечественных пород крупного рогатого скота, районированных в том или ином регионе страны. Для решения этой задачи необходимо рационально использовать генетические ресурсы скотоводства. Выявление однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) в генах, связанных с мясной продуктивностью, позволило выявить гены-маркеры мясной продуктивности крупного рогатого скота и установить их связь с такими характеристиками мяса, как выход мышечной массы (ген MSTN), нежность и цвет мяса (гены CAPN, CAST), «мраморность» (гены RORC, DGAT1, LEP, GH), pH и водоудерживающая способность (ген SCD) [5]. Скрининг по этим генам будет способствовать ведению направленной селекционно-племенной работы для формирования высокопродуктивного племенного стада на основе особей, в геноме которых находятся аллели генов, позволяющие получать высокие показатели как молочной, так и мясной продуктивности (не снижая основной вид продуктивности), и, следовательно, большей доступности для населения социально значимых продуктов питания

животного происхождения. В связи с этим сравнительное изучение хозяйственно-биологических особенностей и мясных качеств крупного рогатого скота различного направления продуктивности является актуальным.

Несмотря на то, что в настоящее время известен широкий спектр ДНК-маркеров мясных качеств, исследования ассоциации данных маркеров с признаками молочной продуктивности крупного рогатого скота представлены мало и в основном лишь для некоторых генов (LEP, DGAT1, GH и ряд других).

Цель исследования: изучить, обобщить и систематизировать данные открытых источников научной литературы для научно-практического обоснования применения генетических маркеров мясной продуктивности в молочном скотоводстве.

Систематизированные нами литературные данные по 9 различным генам-маркерам (LEP, DGAT1, TG, RORC, SCD, MSTN, GH, CAPN1, CAST) в разрезе их применимости при комбинированной селекции скота по признакам мясной и молочной продуктивности приводятся в обобщённом виде впервые.

Материал и методы исследования. Для выполнения работы использовались базы данных электронных библиотек eLibrary (<https://elibrary.ru/>), КиберЛенинка (<https://cyberleninka.ru/>), PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) и ResearchGate (<https://www.researchgate.net/>). В ходе работы были изучены данные 326 литературных источников, из которых 29 включены в текст публикации.

Результаты исследования.

Ген диацилглицерол-0-ацилтрансферазы 1 (DGAT1)

Ген DGAT1 кодирует фермент диацилглицеролацилтрансферазу, который состоит из 489 аминокислот, является микросомальным энзимом и катализирует заключительную стадию синтеза триглицеридов, используя в качестве субстрата 1,2-диацилглицерол и ацил-КоА [6].

У крупного рогатого скота ген, кодирующий DGAT1, состоит из 17 экзонов и картирован в центромерном участке 14 хромосомы*. В настоящее время выявлено и систематизировано 8766 однонуклеотидных полиморфизмов, в том числе 1116 полиморфизмов, непосредственно влияющих на первичную структуру производного белка (замена аминокислот в цепи, сдвиг рамки чтения, остановка трансляции, различные варианты сплайсинга)**. Наиболее известна динуклеотидная замена в положении 10433 и 10434 (GC → AA) в 8 экзоне, которая приводит к неконсервативной замене аланина (аллель A) на лизин (аллель K) в позиции 232 зрелого белка DGAT1 (K232A полиморфизм) [7].

В работах большего числа авторов было описано, ген DGAT1 обладает множественным плейо-

* DGAT1 diacylglycerol O-acyltransferase 1 [*Bos taurus* (domestic cattle)] – Gene – NCBI. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/282609/> (date of access: 13.10.2025).

** Gene: DGAT1 (ENSBTAG00000026356) – Variant table – *Bos taurus* – Ensembl genome browser 114. URL: https://www.ensembl.org/Bos_taurus/Gene/Variation_Gene/Table?db=core;g=ENSBTAG00000026356;r=14:603035-612781 (date of access: 22.07.2025).

тропным эффектом. В частности, было установлено, что данный ген играет важную роль в ряде физиологических процессов, протекающих в организме животных, например, таких как биосинтез липидов, метаболизм триглицеридов, адсорбция жиров в кишечнике, связывание липопротеидов, формирование жировой ткани в период лактации, энергетический баланс тела, метаболические функции крови [8].

В результате ряда исследований выяснилось, что полиморфизм гена DGAT1 может оказывать влияние на морфофункциональное состояние молочной железы коровы. Так, нарушение синтеза DGAT1 приводит к нарушению синтеза жирных кислот в жировой ткани, скелетных мышцах, молочной железе, вплоть до полного отсутствия лактации [9].

Актуальные частоты встречаемости генотипов и аллелей гена DGAT1 представлены в таблице 1.

При обобщении литературных данных о частотах встречаемости генотипов и аллелей гена DGAT1 в разных популяциях крупного рогатого скота (табл. 1) прослеживается тенденция к преобладанию доли носителей аллеля К в популяциях мясного скота и животных аборигенных пород. В то же время в большей части популяций молочных пород, таких как голштинская, чёрно-пёстрая и ярославская, более представленным оказался аллельный вариант А.

В исследованиях большого числа авторов было отмечено, что ген DGAT1 связан со многими хозяйственно ценными признаками крупного рогатого скота, например, с ростом и развитием, молочной и мясной продуктивностью, воспроизводительной способностью коров [15].

Одним из важнейших признаков роста и развития животного является живая масса и её динамика в различные возрастные периоды. Наиболее крупный скот отличается хорошим здоровьем и крепкой конституцией, лучшим потреблением и накоплением питательных веществ в организме, вместе с этим живая масса также отлично коррелирует с показателями молочной продуктивности коров. По данным исследований Л. Р. Загидуллина с соавторами, проводимых на коровах чёрно-пёстрой и холмогорской пород, можно сделать вывод, что у животных с генотипом КК наблюдается тенденция к увеличению живой массы [16].

«Мраморность» мяса – это важный качественный признак, характеризующий степень внутримышечного

жироотложения (интрамышечного жира, IMF), которое придаёт мясу нежность, сочность и насыщенный вкус. В исследовании Grisart et al. (2002) впервые была установлена ассоциативная связь полиморфизма K232A (rs109234250) с увеличением содержания внутримышечного жира в тушах бычков на 1,2% ($P < 0,05$) и толщины подкожного жира на 1,5 мм ($P < 0,05$) [17].

Как показали результаты ряда исследований, полиморфизм гена DGAT1, наряду с признаками мясной продуктивности, оказывает влияние и на молочную продуктивность, прежде всего, посредством катализа синтеза триглицеридов, являющихся основным компонентом молочного жира. Одной из важных характеристик молочного скотоводства является количество молока и молочного жира и белка, которые зависят от способности молочной железы усваивать жир [18].

В научных работах отечественных и зарубежных учёных было установлено, что наибольшее содержание жира в молоке крупного рогатого скота и преобладание насыщенных жирных кислот над ненасыщенными связано с наличием аллеля К в генотипе животных. Вместе с этим было отмечено, что молоко таких животных отличалось низким содержанием соматических клеток [15].

В исследовании В. Grisart и соавторов (2002) было установлено, что гомозиготные по аллелю A232 особи показывали значительно меньший ($P < 0,01$) уровень молочной продуктивности – на 1100 кг за 305 дней лактации – по сравнению с гомозиготами КК. Этот эффект авторы объясняют метаболическим перераспределением ресурсов, влекущих за собой повышение активности A232-изоформы DGAT1 на 30,2% ($P < 0,001$), что усиливает липогенез и приводит к перенаправлению ацетил-КоА и NADPH от синтеза лактозы (через путь глюконеогенеза) к образованию триглицеридов. Подтверждением служат данные о снижении концентрации лактозы в молоке АА-животных на 0,15% ($P < 0,05$) и одновременном увеличении жирности молока на 0,41% ($P < 0,001$), выхода жира на 0,41% ($P < 0,001$) [17]. В то же время в работе Л. Р. Загидуллина с соавторами в исследовании на коровах чёрно-пёстрой породы установлено, что наивысшими показателями отличались первотёлки и высокопродуктивные коровы с генотипами АК и АА. При этом первотёлки с генотипом АК превосходили сверстниц с генотипом КК по удою на 377,5 кг молока ($P < 0,05$), а также выходу молочного жира и белка – на 9 и 10 кг ($P < 0,05$) соответственно. Однако высокопродуктивные

Таблица 1 – Частота генотипов и аллелей гена DGAT1 у различных пород крупного рогатого скота

Порода	Генотип			Аллель		Литературный источник
	АА	АК	КК	А	К	
Чёрно-пёстрая	51,4	42,9	5,7	0,729	0,271	Сабетова и др., 2023 [10]
Голштинская	9,5	87,3	3,2	0,532	0,468	Зиннатова, 2021 [11]
Костромская	54,9	40,7	4,4	0,753	0,247	Сабетова и др., 2023 [10]
Ярославская	48,1	40,7	11,2	0,685	0,315	Сабетова и др., 2023 [10]
Симментальская	0,0	75,0	25,0	0,370	0,630	Бексеитов и др., 2020 [12]
Калмыцкая	17,3	39,3	43,4	0,369	0,631	Третьякова, Каюмов, 2024 [13]
Чёрный японский скот	58,8	35,5	5,7	0,766	0,234	Kawaguchi et al., 2020 [14]

Ассоциативные взаимосвязи генов DGAT1 и LEP с молочной и мясной продуктивностью коров (обзор)

животные с генотипом AA превосходили особей с генотипом KK по удою на 219,2 кг молока, хотя по выходу молочного жира и белка достоверных различий обнаружено не было [16].

При этом, согласно исследованию Р. Р. Шайдуллина и А. С. Ганиева (2024), генотип AA по гену DGAT1 ассоциируется не только с повышенным удоем (на 5–7%), но и увеличенным выходом молочного жира (на 8–10%) и белка (на 6–9%), по сравнению с гетерозиготными животными [19].

Влияние полиморфизма DGAT1 также проявляется в изменении жирнокислотного профиля молочного жира: аллель А чаще ассоциируется с повышенным содержанием насыщенных коротко- и среднецепочечных жирных кислот, аллель К – с более высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот, хотя данные по этому вопросу противоречивы и зависят от породы скота [20].

В молочном скотоводстве получение молока связано не только с уровнем молочной продуктивности коров, но и с их воспроизводительной способностью, которая является основным биологическим фактором, прямо влияющим на регуляцию численности поголовья. Эффективность селекционно-племенной работы, продуктивное долголетие животных и качество получаемой продукции также зависят от уровня и состояния воспроизводства стада. В соответствии с этим необходимо вести селекцию не только по увеличению продуктивности, но вместе с этим сохранять и воспроизводительные качества коров на достаточно высоком уровне.

Из литературных данных известно, что полиморфные варианты гена DGAT1 могут быть ассоциированы и с воспроизводительной функцией коров. Так, в исследованиях J. Tomka с соавторами установлено, что с более коротким сервис-периодом, межотельным периодом и наименьшим числом осеменений до плодотворного связан генотип KK, а большее число осеменений отмечено у особей-носительниц аллеля А [9].

Таким образом, многочисленные публикации свидетельствуют о влиянии полиморфизма гена DGAT1 на показатели как мясной, так и молочной продуктивности коров, состав молока и воспроизводительные способности. Поэтому данный локус крайне интересен в качестве ДНК-маркера для осуществления селекции скота различных направлений продуктивности.

Ген лептина (LEP)

Лептин представляет собой гормон, синтезирующийся в клетках жировой ткани – адипоцитах и участвующий в регуляции энергетического обмена. Экспрессия гормона производится под контролем гипоталамо-гипофизарной системы [21].

Биологическая активность лептина определяется взаимодействием с лептиновыми рецепторами (LepR), среди которых выделяют связанные с мембранами и растворимые формы. Последние, конкурентно связывая лептин, регулируют его концентрацию и эффект воздействия. В исследованиях J. Zhang и P. J. Scarpace (2009), J. Kratzsch и соавт. (2012) показано, что уровень растворимых рецепторов лептина снижается в процессе онтогенеза, достигая минимума к половой зрелости. У крупного рогатого скота аналогичный механизм может обуславли-

вать возрастную динамику влияния LEP-полиморфизмов: в ранний период доминирует эффект стимуляции роста, тогда как у взрослых животных лептин преимущественно влияет на репродукцию и иммунитет [22].

Вместе с этим гормон лептин регулирует эндокринные процессы и может участвовать в регуляции секреции пролактина. Поскольку лактация сопровождается повышенным потреблением корма, изменением метаболизма и использованием энергетических ресурсов из жировой ткани, взаимодействие между гормонами, регулирующими развитие молочной железы и выработку молока, а также теми, которые влияют на энергетический гомеостаз и метаболизм жиров, имеют большое значение в дальнейшем изучении. Не менее интересным является связь лептина с репродуктивной системой. Лептин непосредственно влияет на синтез стероидных гормонов в яичниках, положительно коррелирует с секрецией лютеинизирующего гормона и временем первой овуляции после отёла [23].

У крупного рогатого скота ген лептина локализован в 4-й хромосоме и состоит из промоторной области, 3 экзонов, 2 интронов и нетранслируемой области. Ген лептина высокополиморфен – на сегодняшний день в нём задокументировано 1448 полиморфизмов, в том числе 48 мутаций, непосредственно влияющих на первичную структуру синтезируемого белка (миссенс-мутации, смещение рамки чтения, терминирующие кодоны, различные варианты альтернативного сплайсинга)***. Из однонуклеотидных полиморфизмов гена лептина в настоящее время наибольший интерес для изучения представляют R25C (rs29004488), Y7F (rs29004487), расположенные во втором экзоне, и A80V (rs29004508), расположенный в третьем экзоне.

Частоты встречаемости генотипов и аллелей гена LEP у скота отечественных и зарубежных пород по основным локусам – R25C, Y7F и A80V – представлены в таблице 2.

Гормон лептина вовлечён в регуляцию пищевого поведения и вырабатывается клетками жировой ткани – адипоцитами, которые играют важную роль в метаболизме, в частности, в накоплении жира в организме. Это обуславливает влияние гена, кодирующего выработку данного гормона, на мясную продуктивность животных. Многими учёными обнаружены ассоциативные связи гена лептина с основными показателями мясной продуктивности, такими как живая масса, среднесуточный прирост, абсолютный прирост и т.д. [24; 28].

В работе Э. Р. Гайнутдиновой и соавторов (2021) было выявлено, что телята голштинской породы с генотипом TT гена лептина превосходили сверстников с генотипом CC и TC по живой массе во все возрастные периоды с рождения до 18 месяцев ($P < 0,001$). Также у данных животных наблюдались наибольшие значения абсолютного и относительного прироста живой массы к концу периода наблюдений, по сравнению с TC,

*** Gene: LEP (ENSBTAG00000014911) – Variant table – *Bos taurus* – Ensembl genome browser 114. URL: https://www.ensembl.org/Bos_taurus/Gene/Variation_Gene/Table?db=core;g=ENSBTAG00000014911;r=4:92436612-92453657;t=ENSBTAT00000019853 (date of access: 24.07.2025).

Таблица 2 – Частоты генотипов и аллелей гена LEP по различным локусам у разных пород крупного рогатого скота

Порода	Генотип			Аллель		Литературный источник
	RR	RC	CC	R	C	
<i>По локусу R25C</i>						
Симментальская	42,0	48,0	10,0	0,660	0,340	Бексеитов и др., 2020 [12]
Голштинская	32,5	49,1	18,4	0,570	0,430	Гайнутдинова и др., 2021 [24]
Абердин-ангусская	25,0	42,5	32,5	0,463	0,537	Герасимов и др., 2020 [25]
Казахская белоголовая	24,8	53,9	21,3	0,517	0,483	Гончаренко и др., 2020 [21]
Костромская	42,4	48,5	9,1	0,667	0,333	Чаицкая и др., 2024 [26]
Чёрно-пёстрая	47,5	43,4	18,0	0,648	0,352	Чаицкая и др., 2024 [26]
Ярославская	70,2	27,7	2,1	0,840	0,160	Чаицкая и др., 2024 [26]
<i>По локусу Y7F</i>						
Костромская	3,0	0,0	97,0	0,030	0,970	Чаицкая и др., 2024 [26]
Чёрно-пёстрая	9,8	1,6	88,6	0,107	0,893	Чаицкая и др., 2024 [26]
Ярославская	6,4	2,1	91,5	0,074	0,926	Чаицкая и др., 2024 [26]
<i>По локусу A80V</i>						
Геррефордская	73,8	19,0	7,2	0,910	0,090	Дубовскова, Герасимов, 2020 [27]
Абердин-ангусская	30,0	51,3	18,7	0,556	0,444	Герасимов и др., 2020 [25]
Костромская	42,4	41,5	16,1	0,682	0,318	Чаицкая и др., 2024 [26]
Чёрно-пёстрая	54,1	41,0	4,9	0,746	0,254	Чаицкая и др., 2024 [26]
Ярославская	44,7	44,7	10,6	0,670	0,330	Чаицкая и др., 2024 [26]

на 16,5 кг (11,8%; $3 < 0,05$), а с CC – на 16,0 кг (11,5%; $3 < 0,05$) [24].

Многими авторами отмечается влияние полиморфизма гена лептина на мясные качества крупного рогатого скота. Так, М. П. Дубовскова и А. Н. Герасимов (2020) отмечают, что геррефорды с генотипом AA по локусу LEP80V отличаются лучшей общей оценкой мясных форм, развитием мышц, груди, холки, спины и поясницы [27]. Кроме того, Т. А. Седых с коллегами (2020) установили достоверную ассоциативную связь полиморфизма LEP с массой внутреннего жира-сырца и выходом жира в тушах у бычков геррефордской породы [2].

Показатели молочной продуктивности во многом определяются состоянием энергетического обмена организма коровы, поэтому также подвержены влиянию полиморфизма гена лептина. Так, по сведениям Э. Р. Гайнутдиновой с соавторами (2021), анализ молочной продуктивности коров-первотёлок голштинской породы с разными генотипами полиморфизма A80V по гену лептина, показал, что наибольшими удоями за лактацию характеризуются животные с генотипом CC – 8381,3 кг. Преобладание по содержанию массовой доли жира наблюдалось у коров с генотипом TT – 4,06%. По массовой доле белка преимущество было у особей с генотипом TC – 3,41 [24].

Интересные результаты были получены К. Д. Чаицкой и соавторами (2024) при изучении влияния различных полиморфизмов гена лептина на молочную продуктивность коров костромской, ярославской и чёрно-пёстрой пород. Авторы отмечают, что в данных условиях проявилось значимое влияние только одного полиморфизма – LEP80V, причём повышенным удоём обладали гомозиготные носители аллеля A (8856 кг), а

наибольшей жирностью молока – гетерозиготные животные (4,05%) [26].

Имеются данные о возможном влиянии полиморфизмов гена лептина на предрасположенность крупного рогатого скота к ряду заболеваний обмена веществ, в частности к кетозу. Так, Л. И. Якушевой с соавторами (2019) установлено, что быки-производители с генотипом CC по локусу LEP R25C отличаются более низким средним индексом устойчивости дочерей к кетозу, что может указывать на данный генотип как на маркер генетической предрасположенности к данному заболеванию [29].

Таким образом, вовлечённость гена лептина в формирование молочной и мясной продуктивности, а также в осуществлении обмена веществ и воспроизводительных функций подтверждена множеством современных исследований. При этом эффект того или иного генотипа по данному локусу не всегда прогнозируем, что обуславливает практическое использование данного гена в комплексе с другими ДНК-маркерами.

Выводы. Рассмотренные в данной статье гены DGAT1 и LEP, согласно имеющимся литературным данным, оказывают воздействие на признаки как мясной, так и молочной продуктивности крупного рогатого скота. Полиморфизм K232A в области гена DGAT1 (rs109234250) оказывает влияние на интенсивность роста живой массы, телосложение животных, отложение внутримышечного жира, «мраморность» мяса, удой, жирно- и белковомолочность коров, а также на ряд репродуктивных показателей (длительность межотельного и сервис-периода, количество осеменений на одно оплодотворение). Комплексное действие на продуктивные признаки отмечается и для полиморфизмов в области гена LEP: мутация A80V (rs29004508) влияет

на скорость роста живой массы, развитие мясных форм, мышц, груди, холки, спины и поясницы животных, содержание жира-сырца в туше и удой молока у коров, а замена R25C (rs29004488) ассоциирована с показателями абсолютного и относительного прироста живой массы молодняка, удоем и жирномолочностью коров, а также, по некоторым данным, устойчивостью коров к заболеванию кетозом. Поэтому изучение комплексно-

го действия указанных локусов на продуктивные признаки скота является целесообразным как с теоретической, так и с практической точки зрения.

В следующей части обзора будут рассмотрены гены тиреоглобулина (TG), орфанного рецептора С ретиновой кислоты (RORC) и стеарол-КоА-десатуразы (SCD1) и их влияние на признаки мясной и молочной продуктивности крупного рогатого скота.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Позднякова В. Ф., Сафронов С. Л., Гусева Т. Ю., Иванова О. Е. Современные технологии в мясном скотоводстве. Санкт-Петербург : ООО «РПК «АМИГО-ПРИНТ», 2024. 181 с. ISBN 978-5-605-16550-7. EDN HEDZMF.
2. Седых Т. А., Калашникова Л. А., Гизатуллин Р. С., Косилов В. И. Влияние полиморфизма гена лептина на продуктивность мясного скота // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 5. С. 54–58. DOI 10.31857/S2500262720050130. EDN AUIFDF.
3. Боголюбова Л. П., Никитина С. В., Матвеева Е. А., Тяпугин Е. Е. Породный состав в племенном мясном скотоводстве России // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 1. С. 10–12. DOI 10.33943/MMS.2021.29.45.002. EDN CQZSBF.
4. Торшков А. А., Седых Т. А., Ребезов М. Б. [и др.] Влияние генотипа телок на качество естественно-анатомических частей полутуши // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 5 (97). С. 287–291. DOI 10.37670/2073-0853-2022-97-5-287-291. EDN NYUYFP.
5. Шевхужев А. Ф., Криворучко А. Ю., Погодаев В. А. [и др.] Полиморфизм генов, ассоциированных с качеством мяса у крупного рогатого скота (обзор) // Сельскохозяйственный журнал. 2022. № 4 (15). С. 128–135. DOI 10.25930/2687-1254/014.4.15.2022. EDN MKNSXG.
6. Thaller G., Kühn C., Winter A. [et al.] DGAT1, a new positional and functional candidate gene for intramuscular fat deposition in cattle // *Animal Genetics*. 2003. Vol. 34, Is. 5. P. 354–357. DOI 10.1046/j.1365-2052.2003.01011.x.
7. Grisart B., Farnir F., Karim L. [et al.] Genetic and functional confirmation of the causality of the DGAT1 K232A quantitative trait nucleotide in affecting milk yield and composition // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2004. Vol. 101, № 8. P. 2398–2403. DOI 10.1073/pnas.0308518100.
8. Xu Q., Fan Y., Mauck J. [et al.] Role of diacylglycerol O-acyltransferase 1 (DGAT1) in lipolysis and autophagy of adipose tissue from ketotic dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2024. Vol. 107, № 7. P. 5150–5161. DOI 10.3168/jds.2023-24471.
9. Szyda J., Komisarek J., Antkowiak I. Modelling effects of candidate genes on complex traits as variables over time // *Animal Genetics*. 2014. Vol. 45, Is. 3. P. 322–328. DOI 10.1111/age.12144.
10. Сабетова К. Д., Чаицкий А. А., Щеголев П. О. [и др.] Характеристика популяций молочного скота разной кровности по гену DGAT1 // Современная наука: актуальные вопросы и достижения в эпоху трансформационных процессов : сб. статей по материалам 74-й Всеросс. (нац.) науч.-практ. конф., Караваево, 26 января 2023 года. Караваево : Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. С. 94–102. EDN AOHBJK.
11. Зиннатов Ф. Ф. Молекулярная генодиагностика быков-производителей по хозяйственно-ценным признакам // Ученые Записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 247, № 3. С. 75–79. DOI 10.31588/2413-4201-1883-247-3-75-79. EDN JOZIBG.
12. Бексеитов Т. К., Абельдинов Р. Б., Кайниденов Н. Н. Полиморфизм генов-кандидатов липидного обмена у симменталов казахстанской селекции // Биологические науки Казахстана. 2020. № 2. С. 18–26. EDN FROZCM.
13. Третьякова Р. Ф., Каюмов Ф. Г. Влияние полиморфизма гена DGAT1 на продуктивность мясного скота калмыцкой породы // Молочное и мясное скотоводство. 2024. № 3. С. 16–19. DOI 10.33943/MMS.2024.55.52.004. EDN AWJBKU.
14. Kawaguchi F., Tsuchimura M., Oyama K. [et al.] Effect of DNA markers on the fertility traits of Japanese Black cattle for improving beef quantity and quality // *Archives Animal Breeding*. 2020. Vol. 63, Is. 1. P. 9–17. DOI 10.5194/aab-63-9-2020.
15. Загидуллин Л. Р., Шайдуллин Р. Р., Ахметов Т. М., Тюлькин С. В. Полиморфизм генов каппа-казеина и диацилглицерол О-ацилтрансферазы у черно-пестрого скота // Молочнохозяйственный вестник. 2020. № 1 (37). С. 24–34. EDN TUJEVN.
16. Загидуллин Л. Р., Шайдуллин Р. Р., Ахметов Т. М. [и др.] Индекс молочности коров с разным генотипом // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 247, № 3. С. 65–69. DOI 10.31588/2413-4201-1883-247-3-65-69. EDN MAKXPR.
17. Grisart B., Coppieters W., Farnir F. [et al.] Positional Candidate Cloning of a QTL in Dairy Cattle: Identification of a Missense Mutation in the Bovine *DGAT1* Gene with Major Effect on Milk Yield and Composition // *Genome Research*. 2002. Vol. 12 (2). P. 222–231. DOI 10.1101/gr.224202.
18. Faraj S. H., Yheia A. Y., Seger D. K. DGAT1 gene polymorphism and its relationships with cattle milk yield and chemical composition // *Periodico Tche Quimica*. 2020. Vol. 17, № 35. P. 174–180. DOI 10.52571/PTQ.v17.n35.2020.16_FARAJ_pgs_174_180.pdf.
19. Шайдуллин Р. Р., Ганиев А. С. Доля влияния различных факторов на уровень молочной продуктивности коров с разными генотипами CSN3 и DGAT1 // *Агробиотехнологии и цифровое земледелие*. 2024. № 3 (11). С. 67–72. DOI 10.12737/2782-490X-2024-67-72. EDN KDZUKY.
20. Зарипов О. Г., Отрадных П. И., Лашнева И. А., Сермягин А. А. Влияние факторов среды и полиморфизма гена DGAT1 на изменчивость признаков молочной продуктивности и профиль жирных кислот молока голштинизированных черно-пестрых коров // *Journal of Agriculture and Environment*. 2024. № 1 (41). С. 11. DOI <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.8>.
21. Гончаренко Г. М., Гришина Н. Б., Хорошилова Т. С. [и др.] Генетическая структура казахской белоголовой породы крупного рогатого скота по генам молочных белков и гормонов и их связь с энергией роста молодняка // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34, № 5. С. 61–64. DOI 10.24411/0235-2451-2020-10512. EDN NVPVUP.
22. Kratzsch J., Lammert A., Bottner A. [et al.] Circulating soluble leptin receptor and free leptin index during childhood, puberty, and adolescence // *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2002. Vol. 87, Is. 10. P. 4587–4594. DOI 10.1210/jc.2002-020001.
23. Kadokawa H., Blache D., Martin G. B. Plasma leptin concentrations correlate with luteinizing hormone secretion in early postpartum Holstein cows // *Journal Dairy Science*. 2006. Vol. 89, Is. 8. P. 3020–3027. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(06)72575-9.

24. Гайнутдинова Э. Р., Сафина Н. Ю., Шакиров Ш. К., Варламова М. И. Влияние полиморфизма гена лептина (LEP) на молочную и мясную продуктивность коров-перволеток голштинской породы // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 245, № 1. С. 24–28. DOI 10.31588/2413-4201-1883-245-1-24-28. EDN ZRWONH.
25. Герасимов Н. П., Колпаков В. И., Косян Д. Б. [и др.] Оценка взаимосвязи послеубойных качеств животных крупного рогатого скота с наличием полиморфизмов LEP 528C/T и LEP 73C/T // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103, № 3. С. 114–126. DOI 10.33284/2658-3135-103-3-114. EDN YBCNEG.
26. Чаицкая К. Д., Лемякин А. Д., Тяжченко А. Н. [и др.] Ассоциация аллельных вариантов гена лептина с показателями молочной продуктивности коров костромской, ярославской и черно-пестрой пород в Костромской области // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59, № 6. С. 1091–1107. DOI 10.15389/agrobiology.2024.6.1091rus. EDN TPSLDW.
27. Дубовскова М. П., Герасимов Н. П. Генетическая структура и ассоциация полиморфизма генов гормона роста (L127V) и лептина (A80V) с продуктивностью в северо-кавказской популяции геррефордской породы // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103, № 3. С. 91–101. DOI 10.33284/2658-3135-103-3-91. EDN ZNLSRY.
28. Коновалова Е. Н., Селионова М. И., Гладырь Е. А. [и др.] ДНК-анализ полиморфизма генов миостатина, лептина и кальпаина 1 у российской популяции крупного рогатого скота абердин-ангусской породы // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 4. С. 622–637. DOI 10.15389/agrobiology.2023.4.622rus. EDN KVFATF.
29. Якушева Л. И., Абрамов А. А., Ковалюк Н. В., Сацук В. Ф. Связь полиморфизмов R25C и A80V гена лептина быков-производителей с оценкой их дочерей на предрасположенность к возникновению кетоза // Сборник научных трудов КНЦЗВ. 2019. Т. 8, № 3. С. 24–27.

References

- Pozdnyakova V. F., Safronov S. L., Guseva T. Yu., Ivanova O. E. *Sovremennye tekhnologii v myasnom skotovodstve*. Sankt-Peterburg : OOO «RPK «AMIGO-PRINT», 2024. 181 s. ISBN 978-5-605-16550-7. EDN HEDZMF.
- Sedykh T. A., Kalashnikova L. A., Gizatullin R. S., Kosilov V. I. *Vliyaniye polimorfizma gena leptina na produktivnost' myasnogo skota* // Rossijskaya sel'skhozaystvennaya nauka. 2020. № 5. S. 54–58. DOI 10.31857/S2500262720050130. EDN AUJFDF.
- Bogolyubova L. P., Nikitina S. V., Matveeva E. A., Tyapugin E. E. *Porodnyj sostav v plemennom myasnom skotovodstve Rossii* // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2021. № 1. S. 10–12. DOI 10.33943/MMS.2021.29.45.002. EDN CQZSBF.
- Torshkov A. A., Sedykh T. A., Rebezov M. B. [i dr.] *Vliyaniye genotipa tyolok na kachestvo estestvenno-anatomicheskikh chastej polutushi* // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 5 (97). S. 287–291. DOI 10.37670/2073-0853-2022-97-5-287-291. EDN HYIYFP.
- Shevkhuzev A. F., Krivoruchko A. Yu., Pogodaev V. A. [i dr.] *Polimorfizm genov, associirovannyh s kachestvom myasa u krupnogo rogatogo skota (obzor)* // Sel'skhozaystvennyj zhurnal. 2022. № 4 (15). S. 128–135. DOI 10.25930/2687-1254/014.4.15.2022. EDN MKNSXG.
- Thaller G., Kühn C., Winter A. [et al.] *DGAT1, a new positional and functional candidate gene for intramuscular fat deposition in cattle* // *Animal Genetics*. 2003. Vol. 34, Is. 5. P. 354–357. DOI 10.1046/j.1365-2052.2003.01011.x.
- Grisart B., Farnir F., Karim L. [et al.] *Genetic and functional confirmation of the causality of the DGAT1 K232A quantitative trait nucleotide in affecting milk yield and composition* // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2004. Vol. 101, № 8. P. 2398–2403. DOI 10.1073/pnas.0308518100.
- Xu Q., Fan Y., Mauck J. [et al.] *Role of diacylglycerol O-acyltransferase 1 (DGAT1) in lipolysis and autophagy of adipose tissue from ketotic dairy cows* // *Journal of Dairy Science*. 2024. Vol. 107, № 7. P. 5150–5161. DOI 10.3168/jds.2023-24471.
- Szyda J., Komisarek J., Antkowiak I. *Modelling effects of candidate genes on complex traits as variables over time* // *Animal Genetics*. 2014. Vol. 45, Is. 3. P. 322–328. DOI 10.1111/age.12144.
- Sabetova K. D., Chaitskij A. A., Shchegolev P. O. [i dr.] *Harakteristika populyacij molochnogo skota raznoj krovnosti po genu DGAT1* // *Sovremennaya nauka: aktual'nye voprosy i dostizheniya v epohu transformacionnyh processov : sb. statej po materialam 74-j Vseross. (nac.) nauch.-prakt. konf., Karavaevo, 26 yanvarya 2023 goda*. Karavaevo : Kostromskaya gosudarstvennaya sel'skhozaystvennaya akademiya, 2023. S. 94–102. EDN AOHBKJ.
- Zinnatov F. F. *Molekulyarnaya genodiagnostika bykov-proizvoditelej po hozyajstvenno-cennym priznakam* // *Uchenye Zapiski Kazanskoy gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N. E. Bauman*. 2021. Т. 247, № 3. S. 75–79. DOI 10.31588/2413-4201-1883-247-3-75-79. EDN JOZIBG.
- Bekseitov T. K., Abel'dinov R. B., Kajnidenov N. N. *Polimorfizm genov-kandidatov lipidnogo obmena u simmentalov kazahstanskoy selekcii* // *Biologicheskie nauki Kazahstana*. 2020. № 2. S. 18–26. EDN FROZCM.
- Tret'yakova R. F., Kayumov F. G. *Vliyaniye polimorfizma gena DGAT1 na produktivnost' myasnogo skota kalmyckoj porody* // *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2024. № 3. S. 16–19. DOI 10.33943/MMS.2024.55.52.004. EDN AWJBKU.
- Kawaguchi F., Tsuchimura M., Oyama K. [et al.] *Effect of DNA markers on the fertility traits of Japanese Black cattle for improving beef quantity and quality* // *Archives Animal Breeding*. 2020. Vol. 63, Is. 1. P. 9–17. DOI 10.5194/aab-63-9-2020.
- Zagidullin L. R., Shajdullin R. R., Akhmetov T. M., Tyul'kin S. V. *Polimorfizm genov kappa-kazeina i diacylglycerol O-acyltransferazy u cherno-pestrogo skota* // *Molochnohozyajstvennyj vestnik*. 2020. № 1 (37). S. 24–34. EDN TUJEVN.
- Zagidullin L. R., Shajdullin R. R., Akhmetov T. M. [i dr.] *Indeks molochnosti korov s raznym genotipom* // *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N. E. Bauman*. 2021. Т. 247, № 3. S. 65–69. DOI 10.31588/2413-4201-1883-247-3-65-69. EDN MAKXPR.
- Grisart B., Coppieters W., Farnir F. [et al.] *Positional Candidate Cloning of a QTL in Dairy Cattle: Identification of a Missense Mutation in the Bovine DGAT1 Gene with Major Effect on Milk Yield and Composition* // *Genome Research*. 2002. Vol. 12 (2). P. 222–231. DOI 10.1101/gr.224202.
- Faraj S. H., Yheia A. Y., Seger D. K. *DGAT1 gene polymorphism and its relationships with cattle milk yield and chemical composition* // *Periodico Tche Quimica*. 2020. Vol. 17, № 35. P. 174–180. DOI 10.52571/PTQ.v17.n35.2020.16_FARAJ_pgs_174_180.pdf.
- Shajdullin R. R., Ganiev A. S. *Dolya vliyaniya razlichnyh faktorov na uroven' molochnoj produktivnosti korov s raznymi genotipami CSN3 i DGAT1* // *Agrobiotekhnologii i cifrovoe zemledelie*. 2024. № 3 (11). S. 67–72. DOI 10.12737/2782-490X-2024-67-72. EDN KDZUKY.
- Zaripov O. G., Otradnov P. I., Lashneva I. A., Sermiyagin A. A. *Vliyaniye faktorov sredy i polimorfizma gena DGAT1 na izmenchivost' priznakov molochnoj produktivnosti i profil' zhirnyh kislot moloka golshtinizirovannyh cherno-pestryh korov* // *Journal of Agriculture and Environment*. 2024. № 1 (41). S. 11. DOI <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.8>.

21. Goncharenko G. M., Grishina N. B., Khoroshilova T. S. [i dr.] Geneticheskaya struktura kazahskoj belogolovoj porody krupnogo rogatogo skota po genam molochnyh belkov i gormonov i ih svyaz' s energiej rosta molodnyaka // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 5. S. 61–64. DOI 10.24411/0235-2451-2020-10512. EDN NVPVUP.

22. Kratzsch J., Lammert A., Bottner A. [et al.] Circulating soluble leptin receptor and free leptin index during childhood, puberty, and adolescence // The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2002. Vol. 87, Is. 10. P. 4587–4594. DOI 10.1210/jc.2002-020001.

23. Kadokawa H., Blache D., Martin G. B. Plasma leptin concentrations correlate with luteinizing hormone secretion in early postpartum Holstein cows // Journal Dairy Science. 2006. Vol. 89, Is. 8. P. 3020–3027. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(06)72575-9.

24. Gajnutdinova E. R., Safina N. Yu., Shakirov Sh. K., Varlamova M. I. Vliyanie polimorfizma gena leptina (LEP) na molochnyu i myasnuyu produktivnost' korov-pervotelok golshhtinskoj porody // Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N. E. Baumana. 2021. T. 245, № 1. S. 24–28. DOI 10.31588/2413-4201-1883-245-1-24-28. EDN ZRWOHH.

25. Gerasimov N. P., Kolpakov V. I., Kosyan D. B. [i dr.] Ocenka vzaimosvyazi posleubojnyh kachestv zhivotnyh krupnogo rogatogo skota s nalichiem polimorfizmov LEP 528S/T i LEP 73S/T // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2020. T. 103, № 3. S. 114–126. DOI 10.33284/2658-3135-103-3-114. EDN YBCNEG.

26. Chaickaya K. D., Lemyakin A. D., Tyazhchenko A. N. [i dr.] Associaciya allel'nyh variantov gena leptina s pokazatelyami molochnoj produktivnosti korov kostromskoj, yaroslavskoj i cherno-pestroj porod v Kostromskoj oblasti // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2024. T. 59, № 6. S. 1091–1107. DOI 10.15389/agrobiologiya.2024.6.1091rus. EDN TPPLDW.

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

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

29. Yakusheva L. I., Abramov A. A., Kovalyuk N. V., Satsuk V. F. Svyaz' polimorfizmov R25C i A80V gena leptina bykov-proizvoditelej s ocenкой ih docherej na predraspolzhennost' k vozniknoveniyu ketoza // Sbornik nauchnyh trudov KNCZV. 2019. T. 8, № 3. S. 24–27.

Информация об авторах

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

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

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

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

Information about the authors

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

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

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

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.