

Научная статья

УДК 636.051:575.174.4

## Исследование генов, ассоциированных с молочной продуктивностью чёрно-пёстрого скота

Оксана Евгеньевна Лиходеевская, Ольга Васильевна Горелик,  
Георгий Александрович Лиходеевский

Уральский государственный аграрный университет

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследований по генотипированию коров чёрно-пёстрой породы на биочипах GGP Bovine 150K по генам, ассоциированным с молочной продуктивностью. Фермент диацилглицерин-О-ацилтрансфераза 1 (DGAT1) повышает количество жира и белка, но снижает удои. Лептин (LEP) имеет влияние на рост и массу тела. Ген рецептора гормона роста (GHR) приводит к увеличению молочной продуктивности и увеличению выхода казеинов и лактозы, но снижает общий выход молочного жира и белка. Два важных белковых компонента молока  $\kappa$ -казеин и  $\beta$ -лактоглобулин кодируются соответственно генами CSN\_AB, CSN\_CE и LGB. Достоверная разница была выявлена для гена CSN\_AB по удою за 305 дней первой лактации и массовой доле жира за 305 дней третьей лактации, DGAT1 – по удою за 305 дней третьей лактации, по массовой доле белка за 305 дней первой лактации – в генах CSN\_CE и LEP. Наивысшие показатели продуктивности по первой и третьей лактациям за 305 дней наблюдались в группе животных с генотипом BB в генах GHR, CSN\_AB, LEP, LGB и AB – в гене DGAT1. Наивысшие показатели жиромолочности по первой и третьей лактациям проявились в группе животных с генотипом BB в гене GHR, в генотипе AB в генах CSN\_AB, CSN\_CE, LEP. Не было выявлено закономерности в фенотипическом проявлении генотипа по белкомолочности, что диктует необходимость продолжения исследований для пополнения базы генотипов и фенотипов.

**Ключевые слова:** гены продуктивности, генотип, молочная продуктивность, маточное поголовье.

**Для цитирования:** Лиходеевская О.Е., Горелик О.В., Лиходеевский Г.А. Исследование генов, ассоциированных с молочной продуктивностью чёрно-пёстрого скота // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (87). С. 279–284.

Original article

## Research of genes associated with dairy productivity of black-potted cattle

Oksana E. Lihodeevskaya, Olga V. Gorelik, Georgiy A. Lihodeevsky  
Ural State Agrarian University

**Abstract.** The paper shows the results of studies on the genotyping of black-and-white cows using GGP Bovine 150K biochips for genes associated with milk production. The enzyme diacylglycerol-O-acyltransferase 1 (DGAT1) increases the amount of fat and protein, but reduces milk yield. Leptin (LEP) has an effect on height and body weight. The growth hormone receptor (GHR) gene increases milk production and increases the yield of casein and lactose, but decreases the total yield of milk fat and protein. The two important protein components of milk,  $\kappa$ -casein and  $\beta$ -lactoglobulin, are encoded by the CSN\_AB, CSN\_CE and LGB genes, respectively. A significant difference between genotypes of CSN\_AB gene was found in milk yield in 305 days of first lactation and fat mass fraction in 305 days of third lactation. DGAT1 influenced on milk yield in 305 days of third lactation. CSN\_CE and LEP influenced on mass fraction of protein in 305 days of first lactation. The highest productivity indices for the first and third lactations for 305 days were observed in the group of animals with the BB genotype in the GHR, CSN\_AB, LEP, LGB, and AB genes in the DGAT1 gene. The highest indices of milk fat content in the first and third lactation were observed in the group of animals with the BB genotype in the GHR gene, in the AB genotype in the CSN\_AB, CSN\_CE, LEP genes. No regularity was revealed in the phenotypic manifestation of the genotype for protein-milk content, which dictates the need to continue research to replenish the base of genotypes and phenotypes.

**Keywords:** productivity genes, genotype, milk productivity, broodstock.

**For citation:** Lihodeevskaya O.E., Gorelik O.V., Lihodeevsky G.A. Research of genes associated with dairy productivity of black-potted cattle. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 87(1): 279–284. (In Russ.).

Генетические исследования популяции крупного рогатого скота молочного направления продуктивности широко проводятся во всём мире, и если на начальном этапе генотипированию подвергались только быки-производители с целью выявления нежелательных мутаций и генов, ассоциированных с продуктивностью, то на сегодняшний день эти исследования стали актуальны и для маточного поголовья. В качестве генов, ассоциированных с продуктивными качествами крупного рогатого скота, рассматривают гены, влияющие на показатели удоя, жирности и белковомолочности.

Достоверно установлено влияние некоторых из них: фермент диацилглицерин-О-ацилтрансфераза 1 (DGAT1) связан с составом молока и удоём, повышая количество жира и белка, но при этом снижая удой [1, 2]. Лептин (LEP) имеет широкое влияние на метаболизм, потребление и усвоение пищи, рост и массу тела [3–5]. Ген рецептора гормона роста (GHR) также влияет на рост и метаболизм [6, 7], при этом в гене рецептора гормона роста была идентифицирована мутация, которая приводит к увеличению молочной продуктивности и увеличению выхода казеинов и лактозы, но снижает общий выход молочного жира и белка [8]. Два важных белковых компонента молока  $\kappa$ -казеин и  $\beta$ -лактоглобулин кодируются соответственно генами CSN\_AB, CSN\_CE и LGB. Они являются определяющими при оценке молочной продуктивности [9]. Вариант BB гена  $\beta$ -лактоглобулин связан с более низкой концентрацией его белкового продукта [10], что делает его желательным, поскольку  $\beta$ -лактоглобулин – основной аллерген молока [11]. Вариант B  $\kappa$ -казеина ассоциирован с более высокой долей белка в молоке по сравнению с A-аллелем [10].

В работах отечественных исследователей показано, что по удою за лактацию коровы с генотипом бета-лактоглобулина AB имели преимущество над сверстницами с генотипами AA и BB на 295 кг и 178 кг молока, по содержанию жира в молоке – на 0,09 и 0,05 %, по белку в молоке – на 0,05 и 0,09 % [12]. Н.Ю. Сафина в своих исследованиях отмечает, что голштинские первотёлки с генотипом LEP<sup>TT</sup> имели более высокие удои – 7532,6 кг, суммарный выход молочного жира и белка – 550,6 кг по сравнению со сверстницами других генотипов [13]. При изучении влияния на молочную продуктивность CSN3 было установлено, что первотёлки с генотипом CSN3<sup>BB</sup> каппа-казеина имели наиболее высокий удой (8231 кг), жирномолочность (4,24 %) и выход питательных веществ за период лактации (603,3 кг). Самый низкий удой получен от гетерозиготных животных с генотипом CSN3<sup>AB</sup> – 7387 кг, они статистически значимо уступали по этому показателю сверстницам с гомозиготными генотипами CSN3<sup>AA</sup> и CSN3<sup>BB</sup> [14]. Коровы с генотипом AA гена DGAT1 имели более высокие удои (AA к АК + 278 кг; AA к КК + 519 кг). Для коров с генотипом КК характерен высокий показатель процентного содержания жира (КК к AA + 0,20; КК к АК + 0,11) [15].

**Материал и методы.** Исследования проводили в четырёх племенных организациях Свердловской области (два племенных завода, два племенных репродуктора). Сельскохозяйственные организации были подобраны по принципу аналогов в технологии содержания и машинного доения, но при этом группы отобранных животных (48 гол. с максимальным количеством лактаций, рождённые в 2007–2013 гг.) должны были показать достоверную разницу по большинству

показателей продуктивности. Учитывали удой за первую и третью лактации в килограммах, массовую долю жира за первую и третью лактации в процентах, массовую долю белка за первую и третью лактации в процентах из базы ИАС «СЕЛЭКС-Молочный скот».

Генотипирование проводили на биочипах GGP Bovine 150K, разработанных Illumina совместно с Neogen, в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» на базе Государственного Всероссийского научно-исследовательского института животноводства имени академика Л.К. Эрнста.

Полученные данные анализировали с помощью пакета для языка R stats [16]. Визуализировали полученные результаты в среде R с помощью пакетов graphics и ggplot2 [17] и Excel.

**Результаты исследования.** В исследуемую группу в количестве 192 гол. из четырёх племенных организаций были отобраны животные с максимальным количеством лактаций.

При анализе полученных данных достоверной разницы влияния генотипа на продуктивные качества не было получено для большинства генов (табл. 1). Достоверная разница была выявлена для гена CSN\_AB по удою за 305 дней первой лактации и массовой доле жира за 305 дней третьей лактации, DGAT1 по удою за 305 дней третьей лактации; по массовой доле белка за 305 дней первой лактации в генах CSN\_CE и LEP.

При описании генотипов взяты условные обозначения двух гомозигот (AA, BB) и гетерозиготы (AB). По рисунку 1 видно, что наибольшее влияние на удой было оказано генами GHR, CSN\_AB, LEP, LGB. Положительное влияние рецептора гормона роста проявилось в генотипе BB, показав положительную разницу с генотипом AA + 346 кг по первой лактации и + 690 кг по третьей лактации; с генотипом AB + 867,1 кг и + 667,9 соответственно. В каппаказеине генотип BB показал положительную разницу с генотипом AA +1464,7 кг и AB +

#### 1. Взаимосвязь генотипа с молочной продуктивностью крупного рогатого скота чёрно-пёстрой породы

Ген	Генотип	Удой за 305 дней		МДБ за 305 дней		МДЖ за 305 дней	
		1-й лактации, кг	3-й лактации, кг	1-й лактации, %	3-й лактации, %	3-й лактации, %	3-й лактации, %
		$X \pm Sx$	$X \pm Sx$	$X \pm Sx$	$X \pm Sx$	$X \pm Sx$	$X \pm Sx$
GHR	AA	6686,5 ± 1867,5	8074,4 ± 1661,8	3,18 ± 0,15	3,12 ± 0,13	4,03 ± 0,3	3,93 ± 0,26
	AB	6165,4 ± 1560,3	8096,5 ± 1805,5	3,13 ± 0,13	3,12 ± 0,12	3,96 ± 0,25	3,97 ± 0,20
	BB	7032,5 ± 1414,4	8764,4 ± 1518,6	3,15 ± 0,14	3,11 ± 0,12	4,14 ± 0,27	4,00 ± 0,18
CSN_AB	AA	6223,6 ± 1641,3	8047,1 ± 1716,4	3,13 ± 0,14	3,11 ± 0,12	3,96 ± 0,28	3,94 ± 0,23
	AB	7069,4 ± 1561,1	8552,5 ± 1547,1	3,19 ± 0,13	3,16 ± 0,13	4,14 ± 0,23	4,04 ± 0,22
	BB	7688,3 ± 1605,9	8794,8 ± 1784,7	3,20 ± 0,14	3,12 ± 0,15	4,03 ± 0,21	3,98 ± 0,18
CSN_CE	AA	6457,8 ± 1669,6	8213,2 ± 1725,7	3,13 ± 0,14	3,12 ± 0,13	4,01 ± 0,27	3,95 ± 0,22
	AB	6669,8 ± 1504,9	8142,4 ± 1432,8	3,22 ± 0,13	3,13 ± 0,08	4,11 ± 0,28	3,97 ± 0,27
	BB	8946	9111	3,25	3,06	4,10	3,81
LEP	AA	6356,7 ± 1661,4	7951,9 ± 1784,8	3,12 ± 0,13	3,14 ± 0,12	4,00 ± 0,25	3,95 ± 0,23
	AB	6541,1 ± 1572,4	8269,6 ± 1559,4	3,16 ± 0,14	3,12 ± 0,12	4,06 ± 0,28	3,97 ± 0,21
	BB	7284,4 ± 1905,8	8708,5 ± 1857,9	3,11 ± 0,15	3,11 ± 0,14	3,97 ± 0,3	3,91 ± 0,23
DGAT1	AA	6464,5 ± 1619	7958,5 ± 1575,8	3,16 ± 0,14	3,10 ± 0,12	4,03 ± 0,28	3,95 ± 0,24
	AB	6511,2 ± 1734,6	8647,5 ± 1812,7	3,15 ± 0,14	3,13 ± 0,13	4,00 ± 0,27	3,96 ± 0,22
	BB	6281,1 ± 1492,2	8486,4 ± 1390,9	3,12 ± 0,14	3,13 ± 0,10	4,11 ± 0,25	3,95 ± 0,17
LGB	AA	6256,3 ± 1795,7	8051,3 ± 1616,9	3,15 ± 0,10	3,12 ± 0,13	4,05 ± 0,27	3,95 ± 0,19
	AB	6484,2 ± 1633,4	8257,5 ± 1680,7	3,15 ± 0,14	3,12 ± 0,13	4,02 ± 0,28	3,95 ± 0,22
	BB	6867,1 ± 1566,2	8287,1 ± 1860,9	3,16 ± 0,18	3,16 ± 0,13	3,98 ± 0,25	4,00 ± 0,22

Примечание: \* p-values < 0,05.

618,9 кг по первой лактации, + 747,7 кг и + 242,3 кг по третьей лактации соответственно, при этом генотип АВ оказался эффективнее АА на + 845,8 кг по первой лактации и + 505,4 кг по третьей. Аналогичные результаты получены по гену лептина – генотип ВВ + 927,7 кг к генотипу АА по первой лактации и + 756,6 по третьей; к генотипу АВ +743,3 кг и + 438,9 кг соответственно по лактациям; генотип АВ превысил показатель генотипа АА на + 184,4 кг и 300,0 кг по лактациям.

По гену лактоглобулина генотип ВВ превысил показатель АА на 610,8 кг и 235,8 кг; АВ – на 382,9 и 29,6; генотип АВ превышал показатели

АА на 227,9 и 206,2 кг по лактациям соответственно. Неоднозначный результат получился по гену DGAT1, где по третьей лактации выявлена достоверная разница для генотипа ВВ, а по первой приоритет наблюдался за АА и АВ.

Наибольший эффект по показателю жирномолочности наблюдался в генотипах гена GHR – увеличение на 0,11 % по первой лактации и на 0,07 % по третьей генотипа ВВ по сравнению с генотипом АА; 0,18 и 0,03 – с генотипом АВ соответственно (рис. 2). В гене CSN\_AB 0,07 % по первой и 0,04 по третьей лактациям в сравнении ВВ с АА; 0,18 % и 0,06 % генотипа АВ по сравнению с АА.

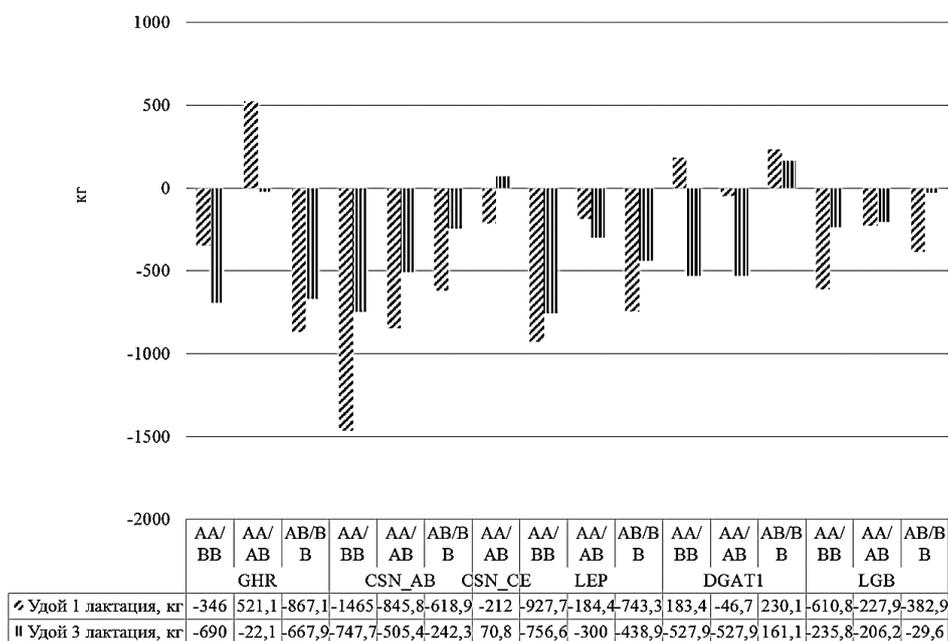


Рис. 1 – Разница в показателе удоя в группах животных с разными генотипами.

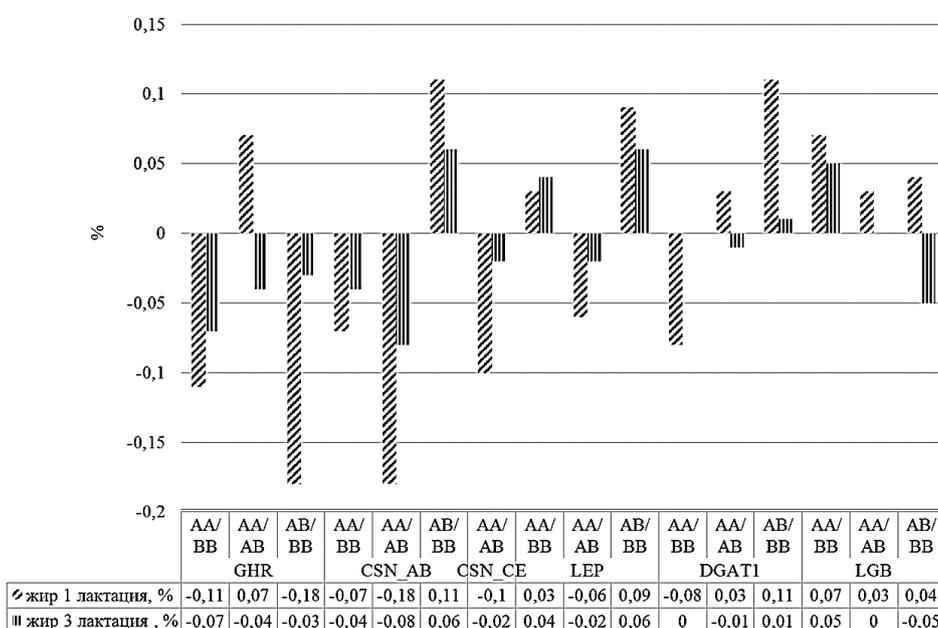


Рис. 2 – Разница в показателе молочного жира в группах животных с разными генотипами.

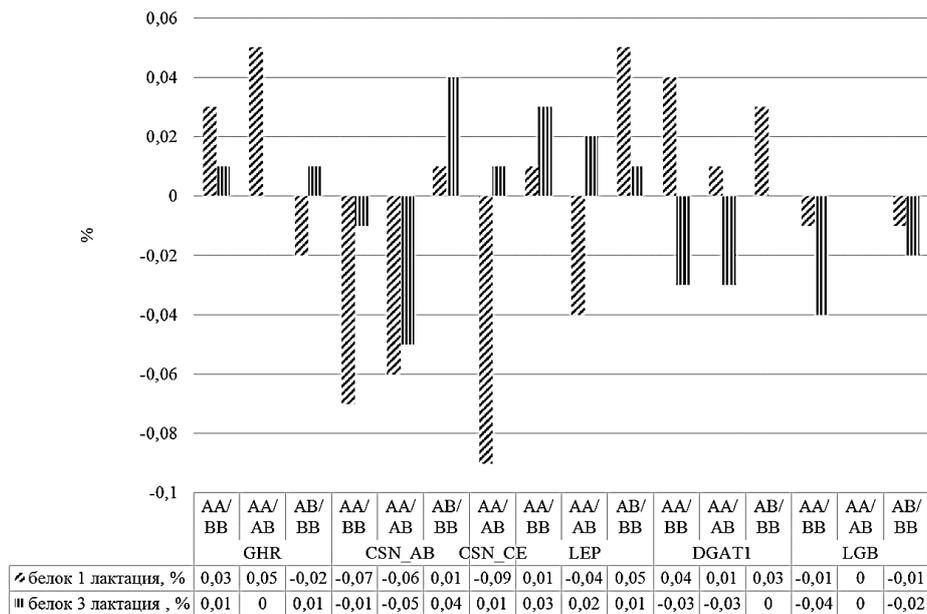


Рис. 3 – Разница в показателях молочного белка в группах животных с разными генотипами

Разница по влиянию генотипов на белково-молочность хорошо видна на рисунке 3. Наибольший эффект показан в гетерозиготе гена CSN\_CE и превышал гомозиготу AA на 0,09 % по первой лактации. В гене CSN\_AB гетерозигота превышала на 0,06 и 0,05 % гомозиготу AA по первой и третьей лактациям соответственно, а гомозигота BB на 0,07 % превышала AA по первой лактации. В гене GHR разница наблюдалась во влиянии генотипа в первую лактацию – AA больше BB на 0,03 % и AB – на 0,05 %. В гене DGAT – AA и AB на 0,04 % и 0,03 % превышали BB.

По результатам проведённых исследований можно сделать следующие **выводы**.

1. Наивысшие показатели продуктивности по первой и третьей лактациям за 305 дней наблюдались в группах животных с генотипом BB в генах GHR (77032,5 и 8764,4 кг), CSN\_AB (7688,3 и 8794,8 кг), LEP (7284,4 и 8708,5 кг), LGB (6867,1 и 8287,1 кг) и AB в гене DGAT1 (6511,2 и 8647,5 кг).

2. Наивысшие показатели по жирномолочности по первой и третьей лактациям проявились в группе животных с генотипом BB в гене GHR (4,14 и 4,00 %), в генотипе AB – в генах CSN\_AB (4,14 и 4,04 %), CSN\_CE (4,11 и 3,97 %), LEP (4,06 и 3,97 %).

3. В связи с тем что не было выявлено закономерности в фенотипическом проявлении генотипа по белково-молочности, необходимо продолжение начатых исследований для пополнения базы генотипов и фенотипов.

#### Литература

1. Association of a lysine-232/alanine polymorphism in a bovine gene encoding acyl-CoA: diacylglycerol acyltransferase (DGAT1) with variation at a quantitative trait locus for milk fat content / A. Winter et al. // *Proceed-*

ings of the National Academy of Sciences. 2002. Т. 99. С. 9300–9305.

2. 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 / B. Grisart et al. // *Genome research*, 2002. Т. 12. С. 222–231.

3. Polymorphisms in the bovine leptin promoter associated with serum leptin concentration, growth, feed intake, feeding behavior, and measures of carcass merit / J.D. Nkrumah [et al.] // *J Anim Sci*. 2005. № 83.

4. Association of single nucleotide polymorphisms in the leptin gene with body weight and backfat growth curve parameters for beef cattle / J. Lusk // *J Anim Sci*. 2007. № 85. P. 1865–1872.

5. Impact of single nucleotide polymorphisms in leptin, leptin receptor, growth hormone receptor, and diacylglycerol acyltransferase (DGAT1) gene loci on milk production, feed, and body energy traits of UK dairy cows / G. Banos et al. // *J Dairy Sci*, 2008. № 91.

6. Polymorphisms and haplotypes in the bovine neuropeptide Y, growth hormone receptor, ghrelin, insulin-like growth factor 2, and uncoupling proteins 2 and 3 genes and their associations with measures of growth, performance, feed efficiency, and carcass merit in beef cattle / E.L. Sherman, J.D. Nkrumah, B.M. Murdoch et al. // *J. Anim. Sci*, 2008. № 86. P. 1–16.

7. Polymorphism of the GHR gene in cattle and relationships with meat production and quality Anim / Di L. Stasio, G. Destefanis, A. Brugiapaglia et al. // *Genet*. 2005. № 36. P. 138–140.

8. Molecular dissection of a quantitative trait locus: a phenylalanine-to-tyrosine substitution in the transmembrane domain of the bovine growth hormone receptor is associated with a major effect on milk yield and composition / Blott S. et al. // *Genetics*. 2003. Т. 163. С. 253–266.

9. Aberrant low expression level of bovine beta-lactoglobulin is associated with a C to A transversion in the BLG promoter region / M.H. Braunschweig, T. Leeb // *J Dairy Sci*, 2006. Т. 89. P. 4414–4419

10. Effects of milk protein variants on the protein composition of bovine milk / J.M. Heck, A. Schennink, H.J. van

Valenberg, et al. // Journal of dairy science, 2009. № 92(3).

11. The natural history of milk allergy in an observational cohort / Wood R.A. et al. // The Journal of allergy and clinical immunology, 2013. № 131 (3). P. 805–812.

12. Погорельский И.А. Полиморфизм гена бета-лактоглобулина (BLG) в стаде крупного рогатого скота чёрно-пёстрой породы и взаимосвязь его генотипов с показателями молочной продуктивности / И.А. Погорельский, М.В. Позовникова // Генетика и разведение животных. №1. 2014. С. 45–48.

13. Сафина Н.Ю. ДНК-тестирование аллельного полиморфизма генов-маркеров хозяйственно полезных признаков крупного рогатого скота: дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2019. 136 с.

14. Ткаченко И.В., Гридина С.Л. Влияние полиморф-

ных вариантов генов каппа-казеина и гормона роста на молочную продуктивность первотёлочек уральского типа // Известия ТСХА. 2018. № 5.

15. Позовникова М.В. Молочная продуктивность коров с различными генотипами гена DGAT1 // Эффективное животноводство. 2018. №7 (146).

16. R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria [Электронный ресурс]. URL: <https://www.R-project.org/>.

17. H. Wickham 2016 *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* (New York: Springer-Verlag)

**Оксана Евгеньевна Лиходеевская**, кандидат

биологических наук, доцент. ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет». Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42, [lixodeevskaya@mail.ru](mailto:lixodeevskaya@mail.ru)

**Ольга Васильевна Горелик**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет». Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42, [olgao205en@yandex.ru](mailto:olgao205en@yandex.ru)

**Георгий Александрович Лиходеевский**, соисследователь. ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет». Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42, [georglihodey@gmail.com](mailto:georglihodey@gmail.com)

**Oksana E. Lihodeevskaya**, Candidate of Biology, Associate Professor. Urals State Agrarian University. 42, K. Liebknecht Str., Ekaterinburg, 620075, Russia, [lixodeevskaya@mail.ru](mailto:lixodeevskaya@mail.ru)

**Olga V. Gorelik**, Doctor of Agriculture, Professor. Urals State Agrarian University. 42, K. Liebknecht Str., Ekaterinburg, 620075, Russia, [olgao205en@yandex.ru](mailto:olgao205en@yandex.ru)

**Georgiy A. Lihodeevsky**, research worker. Urals State Agrarian University. 42, K. Liebknecht Str., Ekaterinburg, 620075, Russia, [georglihodey@gmail.com](mailto:georglihodey@gmail.com)