

Н.А. Волкова ✉

А.Н. Ветох

Л.А. Волкова

Федеральный исследовательский
центр животноводства — ВИЖ
им. академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, Подольск,
Московская обл., Россия

✉ natavolkova@inbox.ru

Поступила в редакцию: 06.06.2025

Одобрена после рецензирования: 11.10.2025

Принята к публикации: 26.10.2025

© Волкова Н.А., Ветох А.Н., Волкова Л.А.

Natalia A. Volkova ✉

Anastasia N. Vetokh

Ludmila A. Volkova

L.K. Ernst Federal Research Center for
Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow
region, Russia

✉ natavolkova@inbox.ru

Received by the editorial office: 06.06.2025

Accepted in revised: 11.10.2025

Accepted for publication: 26.10.2025

© Volkova N.A., Vetokh A.N., Volkova L.A.

Идентификация SNP и генов-кандидатов, ассоциированных с массой первого яйца у кур-несушек на основе данных полногеномного генотипирования

РЕЗЮМЕ

Поиск генетических маркеров, детерминирующих формирование и степень проявления перспективных фенотипов селекционно значимых признаков у кур, является одной из приоритетных задач геномной селекции, направленной на повышение и реализацию их продуктивного потенциала.

Цели исследований — поиск и идентификация однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) и генов-кандидатов, ассоциированных с массой первого яйца у кур-несушек на основе данных полногеномного генотипирования.

Объектом исследований являлись куры F2 ресурсной популяции, полученной посредством межпородного скрещивания двух контрастных по яичной продуктивности пород — русской белой и корниш (n = 94). Особей оценивали по массе первого яйца в начале яйцекладки. Для полногеномного генотипирования кур F2 использовали ДНК-чип Illumina Chicken 60K SNP iSelect BeadChip. На основании полученных данных фенотипа и генотипа проводили полногеномные ассоциативные исследования. Выявлены 7 достоверно значимых SNP ($p < 1,06 \times 10^{-5}$), ассоциированных с массой первого яйца у кур F2 ресурсной популяции. В области данных SNP идентифицированы 26 генов, в том числе в позициях SNP — 3 гена (*MPP7*, *SNTG1*, *SEPTIN11*). Установлено, что генотипы GG по локусу Gga_rs15141739 (ген *SNTG1*) и AA по локусу GGaluga162050 детерминируют более высокую массу первого яйца у кур ($p < 0,01$).

Ключевые слова: куры, масса яйца, SNP, гены-кандидаты, GWAS

Для цитирования: Волкова Н.А., Ветох А.Н., Волкова Л.А. Идентификация SNP и генов-кандидатов, ассоциированных с массой первого яйца у кур-несушек на основе данных полногеномного генотипирования. *Аграрная наука*. 2025; 400 (11): 68–75. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-68-75>

Identification of SNPs and candidate genes associated with first egg weight in laying hens based on whole-genome genotyping data

ABSTRACT

The search for genetic markers and their identification that determine the formation and degree of manifestation of promising phenotypes for economically important traits in chickens is one of the priority tasks of genomic selection.

The research objectives are to search for and identify single nucleotide polymorphisms (SNPs) and candidate genes associated with the weight of the first egg in laying hens based on genome-wide genotyping data.

The object of the study was F2 hens of the resource population obtained by interbreeding two breeds with contrasting egg productivity — Russian White and Cornish (n = 94). F2 individuals were assessed by the weight of the first egg at the beginning of laying. For whole-genome genotyping of F2 hens, the Illumina Chicken 60K SNP iSelect BeadChip DNA chip was used. Based on the obtained phenotype and genotype data, whole-genome association studies were performed. Seven significant SNPs ($p < 1.06 \times 10^{-5}$) associated with the first egg weight in F2 resource population hens were identified. The 26 genes were identified in the SNP data area, including 3 genes in SNP positions (*MPP7*, *SNTG1*, *SEPTIN11*). It was established that genotypes GG at the Gga_rs15141739 locus (*SNTG1*) and AA at the GGaluga162050 locus cause a high weight of the first egg ($p < 0.01$).

Key words: chicken, egg weight, SNP, candidate genes, GWAS

For citation: Volkova N.A., Vetokh A.N., Volkova L.A. Identification of SNPs and candidate genes associated with first egg weight in laying hens based on whole-genome genotyping data. *Agrarian science*. 2025; 400 (11): 68–75 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-68-75>

Введение/Introduction

Птицеводство — одна из значимых отраслей аграрного сектора и вносит весомый вклад в обеспечение продовольственной безопасности страны [1–3]. Данная отрасль является уникальной с точки зрения обеспечения населения двумя высокобелковыми продуктами питания – диетическим мясом и яйцом [4, 5]. Устойчивое развитие и конкурентоспособность птицеводческой отрасли связаны прежде всего с использованием высокопродуктивных пород, линий и кроссов птицы [6, 7].

В условиях промышленного производства яиц важное значение приобретает целенаправленная селекция птицы по комплексу показателей, определяющих высокую яичную продуктивность [8, 9]. Одним из таких показателей является масса яйца. Как правило, на яйца с более высокой массой имеется высокий потребительский спрос [1, 10]. Кроме того, от массы товарных яиц зависит их категория, которая определяет стоимость реализации населению данной продукции, что в определенной мере определяет рентабельность производства [11, 12].

Масса инкубационного яйца влияет на интенсивность развития эмбрионов и вес вылупившихся цыплят. Было показано, что цыплята, выведенные из крупных яиц, характеризовались более высокой живой массой и скоростью роста по сравнению с цыплятами, полученными из более мелких яиц [13–15].

Определенный интерес для практики представляет показатель массы яйца в начале яйцекладки, в том числе масса первого яйца. Данный показатель характеризует общий потенциал яйцекладки и влияет на размер яиц, которые птица будет откладывать на протяжении всей своей жизни. Так, в исследовании Ni *et al.* (2023) были установлены высокие коэффициенты корреляции (0,72–1,00) между показателями массы яйца у кур в различные возрастные периоды, в том числе между последовательно учитываемыми возрастами [16].

Исходя из вышеизложенного, селекция птицы по данному показателю при создании линий и кроссов для промышленного ее использования является востребованной и актуальной.

Показатель массы яйца зависит от нескольких факторов, прежде всего таких как генотип [17, 18], кормление [19] и условия содержания [20], а также возраст несушек [21].

Генетические факторы определяют продуктивный потенциал птицы, в то время как средовые факторы обеспечивают его реализацию. Генетическая обусловленность показателя массы яйца у самок-несушек в различные периоды их продуктивного использования была установлена в ряде исследований [17, 22]. С использованием полногеномных исследований выявлены генетические маркеры, связанные с данным показателем у разных видов сельскохозяйственной птицы [17, 22, 23].

С учетом вышеизложенного для селекции и отбора птицы с высоким продуктивным потенциалом являются актуальными и востребованными для практики поиск и идентификация генетических маркеров, ассоциированных с показателями массы яйца, в том числе в начале яйцекладки.

Цели данного исследования — поиск достоверно значимых однонуклеотидных полиморфизмов (single nucleotide polymorphism, SNP) и идентификация генов-кандидатов, ассоциированных с массой первого яйца у кур.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования по поиску и идентификации генетических маркеров, ассоциированных с массой первого яйца у кур, проводили на базе ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста» в 2024–2025 гг. (пос. Дубровицы, г. о. Подольск, Московская обл., Россия).

Представленные в работе эксперименты на птице были одобрены и выполнялись в соответствии с этическими рекомендациями, утвержденными Комиссией по биоэтике ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (протокол от 15 января 2024 года № 1).

Объектом исследований служили куры-несушки F2 ресурсной популяции ($n = 94$). Данная популяция была получена посредством серии скрещиваний двух пород, контрастных по показателям яичной продуктивности, — русской белой (яичная порода) и корниш (мясная порода). На первом этапе были получены особи F1 при скрещивании самцов русской белой породы ($n = 4$) с самками породы корниш ($n = 20$). При дальнейших скрещиваниях особей F1 между собой получена птица F2, которая была использована в качестве модельной ресурсной популяции для молекулярно-генетических исследований. В зависимости от используемых для получения ресурсной популяции самцов исходной родительской породы (русской белой) особи F2 ресурсной популяции были разделены на 4 группы (F2_1, F2_2, F2_3, F2_4) для проведения сравнительного анализа полученных фенотипических данных.

Экспериментальную птицу во все периоды выращивания содержали в помещениях с приточной вентиляцией. Цыплята содержались в брудерах до возраста 3 недель, затем их переводили на напольное содержание.

Самок F2 перед началом яйцекладки рассаживали в индивидуальные клетки батарейного типа для индивидуального учета массы первого яйца. Взвешивание яиц проводили на лабораторных весах (Ohaus, США), СИЗ поверены не позднее суток после снесения.

Для получения ДНК была использована пульпа пера. Выделение ДНК проводили с применением коммерческого набора «ДНК Экстран-2» (ООО «НПФ Синтол», Россия) в соответствии с

протоколом, рекомендованным производителем. Чистоту выделенной ДНК оценивали на спектрофотометре NanoPhotometer N60 (Thermo Fisher Scientific, США), концентрацию — на флуориметре Qubit 2.0 (Invitrogen/Life Technologies, США).

Генотипирование кур проводили с использованием ДНК-чипа Illumina Chicken iSelect BeadChip, содержащим 60 тыс. SNP. Для каждого образца были выполнены контроль качества и фильтрация данных генотипирования с применением программного пакета PLINK 1.9¹.

Визуализацию полученных данных проводили в R-studio — интегрированной среде разработки для языка программирования R².

Поиск генов-кандидатов, локализованных в области идентифицированных SNP, проводили с привлечением геномного ресурса Gallus gallus (chicken)³. Для функциональной аннотации генов использовали базы данных GeneCards⁴ и программы DAVID⁵.

Статистическую обработку полученных экспериментальных данных осуществляли с использованием пакета для анализа данных в приложении Microsoft Excel. Вычисляли средние значения показателей (M), стандартные ошибки средних ($\pm$ SEM), минимальные (min) и максимальные (max) значения, коэффициенты вариации (CV, %).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Успешность поиска и идентификации генетических маркеров, ассоциированных с селекционно значимыми признаками у сельскохозяйственных животных и птицы, во многом определяется информативностью используемой для полногеномных ассоциативных исследований базы фенотипов по изучаемому признаку. Популяция особей, используемая для поиска полногеномных ассоциаций однонуклеотидных полиморфизмов, должна характеризоваться прежде всего высокой изменчивостью фенотипов по оцениваемому признаку.

Одним из подходов к формированию такой модельной высокоинформативной популяции является получение межпородных помесей или гибридов F2 с использованием пород, контрастных по интересующему исследователя селекционному признаку. Данный подход находит широкое применение в птицеводстве при проведении молекулярно-генетических исследований по поиску и идентификации генетических маркеров продуктивности и других селекционно значимых признаков у разных видов сельскохозяйственной птицы [23–25].

В настоящих исследованиях были использованы две породы кур — русская белая и корниш, различающиеся по показателям яичной

Таблица 1. Масса первого яйца у кур-несушек F2 ресурсной популяции в зависимости от происхождения

Table 1. The first egg weight in F2 laying hens of the resource population depending on the genotype

Группа	n	Среднее	Ошибка	CV, %
F2_1	8	30,25 ^{a, d}	1,42	13,31
F2_2	43	32,56 ^{b, c}	0,57	11,56
F2_3	22	30,02 ^{c, d, b, c}	1,17	18,33
F2_4	21	33,91 ^{a, d, c, d}	1,22	16,42
В среднем по популяции	94	32,07	0,50	15,04

Примечание: достоверность различий на уровне $p < 0,05$ между группами a — F2_1, b — F2_2, c — F2_3, d — F2_4; CV, % — коэффициент вариации.

продуктивности. Полученная в результате серии скрещиваний популяция кур F2 характеризовалась высокой изменчивостью по массе первого яйца.

В таблице 1 представлены результаты оценки кур-несушек F2 ресурсной популяции по массе первого яйца в зависимости от их происхождения.

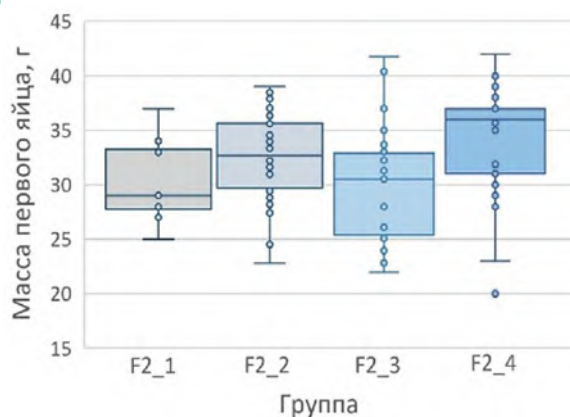
Средняя масса первого яйца у кур исследуемой популяции составила $32,07 \pm 0,50$ г. При этом отмечались различия по данному показателю в отдельных группах кур в зависимости от происхождения — самцов F1, используемых для получения особей F2 (группы F2_1 — F2_4).

Несушки групп F2_2 и F2_4 превосходили по массе первого яйца птицу групп F2_1 и F2_3 на 11–12% ($p < 0,05$, табл. 1, рис. 1).

Коэффициент вариации по массе первого яйца в среднем по всей исследуемой F2 ресурсной популяции составил 15,04%. Внутри групп F2 данный показатель варьировал от 11,56 до 18,31%, максимальные значения были установлены в группах F2_3 и F2_4.

Рис. 1. Распределение значений показателя масса первого яйца у кур F2 ресурсной популяции. Показаны медиана, распределение значений данных, минимальные и максимальные значения

Fig. 1. Value distribution of the first egg weight trait in F2 hens of the resource population. The median, boxes, minimum and maximum values are shown



¹ <http://zzz.bwh.harvard.edu/plink/>

² <https://gb.ru/blog/yazyk-programmirovaniya-r/>

³ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/>

⁴ <http://www.genecards.org/>

⁵ <https://david.ncifcrf.gov/>

Распределение полученных фенотипических данных по массе первого яйца у кур ресурсной популяции, как внутри групп F2, так и между группами F2, с указанием медианы, минимальных и максимальных значений изученного показателя наглядно представлено на рисунке 1.

Полученные фенотипические данные по массе яйца кур ресурсной популяции были использованы для проведения полногеномных ассоциативных исследований. В ходе проведенного GWAS-анализа на уровне установленного порога достоверности были выявлены 7 однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), ассоциированных с массой первого яйца у кур-несушек исследованной популяции. Данные SNP были локализованы на двух хромосомах — GGA2 и GGA4.

На хромосоме GGA2 были выявлены 6 достоверно значимых SNP, на хромосоме GGA4 — 1 SNP, что наглядно показано на рисунке 2.

Установленные достоверно значимые SNP были использованы для поиска генов-кандидатов, ассоциированных с массой первого яйца у несушек. В области выявленных SNP были идентифицированы 26 генов, имеющих описание в базе данных NCBI. При этом установлены 3 гена — *MPP7*, *SNTG1*, *SEPTIN11*, внутри которых были локализованы идентифицированные SNP. Данные гены были определены как приоритетные.

Перечень SNP и генов-кандидатов, ассоциированных с массой первого яйца у кур F2 ресурсной популяции, представлен в таблице 2.

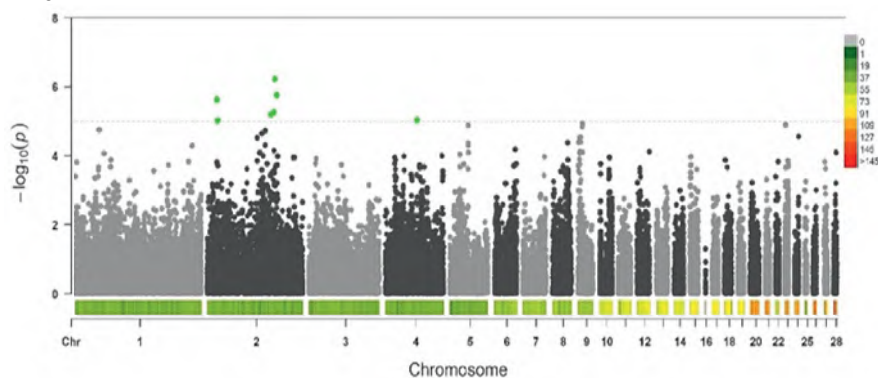
Функциональная аннотация выявленных в данном исследовании генов-кандидатов, ассоциированных с массой первого яйца у кур F2 ресурсной популяции, представлена в таблице 3.

Согласно данным таблицы 3, выявленные гены отвечают за биологические функции, связанные с морфогенезом и дифференцировкой клеток, регуляцией клеточного цикла и межклеточной адгезией, метаболизмом липидов.

Анализ открытых информационных источников показал, что из 26 установленных в данном исследовании генов-кандидатов, ассоциированных с массой первого яйца у кур-несушек, только для одного гена *SHROOM3* ранее в исследованиях других научных коллективов была показана его связь с массой яйца у кур. Так, Liao *et al.* (2016) на курах породы леггорн и аборигенных китайских курах породы дунсян

Рис. 2. Manhattan plot для показателя «масса первого яйца» у кур F2 ресурсной популяции: распределение SNP на хромосомах (ось X) в соответствии с предполагаемым вероятностным порогом достоверности $p < 1,06 \times 10^{-5}$ (пунктирная линия). Зеленым цветом выделены SNP, имеющие достоверно значимые ассоциации с массой первого яйца при $p < 1,06 \times 10^{-5}$

Fig. 2. Manhattan plot for the “first egg weight” trait in F2 hens resource population: X-axis — SNP distribution on chromosomes, the assumed probability threshold of significance $p < 1.06 \times 10^{-5}$ (dashed line). Significant associations (SNP) at $p < 1.06 \times 10^{-5}$ are highlighted in green



(Dongxiang) на основе данных полногеномного генотипирования была установлена мутация в гене *SHROOM3*, находящемся на хромосоме 4 (GGA4), в позиции 49285522 bp, оказывающая достоверное влияние (P -value 4.89×10^{-9}) на массу яйца. Это подтверждает полученные авторами данные о прямом влиянии гена *SHROOM3* на массу первого яйца у кур-несушек [26].

В работе Jin *et al.* (2015) была установлена достоверно значимая связь гена *GPR158* с живой массой кур породы китайская шелковая в возрасте 28 дней [27]. Масса яйца у кур несушек коррелирует с их живой массой [28], что можно рассматривать как косвенное подтверждение полученных авторами данных о влиянии гена *GPR158* на массу первого яйца у кур-несушек.

С целью подтверждения связи выявленных SNP и генов-кандидатов с показателем массы первого яйца у кур-несушек были изучены корреляции аллельных вариантов идентифицированных локусов с данным признаком.

На основании анализа распределения генотипов по аллельным вариантам 7 выявленных в данном исследовании локусов для дальнейших исследований были выбраны 2 SNP — GGalGA162050 и Gga_rs15141739 (ген *SNTG1*),

Таблица 2. SNP и гены-кандидаты, ассоциированные с массой первого яйца у кур F2 ресурсной популяции

Table 2. SNPs and candidate genes associated with first egg weight in F2 hens of the resource population

GGA	SNP	Позиция	p	Ген ($\pm 0,2$ Mb)
2	Gga_rs13539028	15453853	$2,41 \times 10^{-6}$	<i>BAMBI</i> , <i>WAC</i> , <i>MPP7</i> *, <i>ODAD2</i>
2	Gga_rs14144125	16427603	$9,67 \times 10^{-6}$	<i>GAD2</i> , <i>MYO3A</i> , <i>GPR158</i>
2	Gga_rs14224947	99622507	$6,42 \times 10^{-6}$	<i>LAMA1</i> , <i>ARHGAP28</i>
2	Gga_rs16090771	104361807	$5,48 \times 10^{-6}$	<i>TAF4B</i> , <i>KCTD1</i> , <i>AQP4</i> , <i>CHST9</i>
2	GGaluGA162050	105864711	$5,96 \times 10^{-7}$	<i>DSG1</i>
2	Gga_rs15141739	108960344	$1,76 \times 10^{-6}$	<i>SNTG1</i> *
4	Gga_rs14467180	49703583	$2,41 \times 10^{-6}$	<i>ERI1</i> , <i>PPP1R3B</i> , <i>CLDN23</i> , <i>PRAG1</i> , <i>MBOAT4</i> , <i>CL2</i> , <i>CCNI</i> , <i>SEPTIN11</i> *, <i>CG-16</i> , <i>SHROOM3</i> , <i>STBD1</i>

Примечание: GGA — хромосома; * гены в позиции SNP.

Таблица 3. Функциональная аннотация генов-кандидатов, ассоциированных с массой первого яйца у кур F2 ресурсной популяции

Table 3. Functional annotation of candidate genes associated with first egg weight in F2 hens of the resource population

Chr	Гены	Функциональная аннотация (http://www.genecards.org/)
2	<i>BAMBI</i>	Ингибирует сигнальные пути BMP и TGF- β , участвует в регуляции клеточной дифференцировки и морфогенеза.
	<i>WAC</i>	Участвует в регуляции транскрипции и репарации ДНК, влияет на клеточный цикл и пролиферацию.
	<i>MPP7</i>	Участвует в формировании и стабилизации клеточных соединений, влияет на межклеточную адгезию.
	<i>ODAD2</i>	Участвует в обеспечении движения ресничек и жгутиков.
	<i>GAD2</i>	Кодирует декарбоксилазу глутаминовой кислоты, преобразует глутамат в ГАМК, главный тормозной нейромедиатор, может играть роль в развитии синдрома мышечной скованности и способствует повышению болевой чувствительности у животных
	<i>MYO3A</i>	Участвует в движении микроворсинок и фоторецепторов, влияет на восприятие звука и зрения.
	<i>GPR158</i>	Участвует в регуляции нейропластичности (активности глициновых рецепторов), обеспечивает локализацию белка в плазматической мембране.
	<i>LAMA1</i>	Влияет на формирование внеклеточного матрикса и клеточную адгезию.
	<i>ARHGAP28</i>	Влияет на реорганизацию цитоскелета и клеточную подвижность, участвует в сосудистой регуляции, функционирует как опухолевый супрессор, сбалансированная экспрессия которого важна для контроля пролиферации бласты и регулируемого восстановления тканей.
	<i>TAF4B</i>	Участвует в инициации транскрипции, играет важную роль в репродуктивном здоровье (азооспермия, преждевременная недостаточность яичников), влияет на гаметогенез.
	<i>KCTD1</i>	Регулирует активность ионных каналов, гомеостаз тканей, влияет на передачу сигналов, способствует процессам дифференцировки в почках и эктодерме.
	<i>AQP4</i>	Регулирует водный баланс и осмотическое давление в клетках.
	<i>CHST9</i>	Участвует в сульфатировании углеводов, влияет на структуру гликопротеинов, играет важную роль в межклеточном взаимодействии, передаче сигналов и эмбриональном развитии.
	<i>DSG1</i>	Участвует в формировании десмосом, влияет на прочность эпидермиса, барьерную функцию и клеточную адгезию: скрепляет соседние клетки, координирует протеолитический оборот и передачу сигналов о дифференцировке, а его дисфункция приводит к целому ряду заболеваний кожи и слизистых оболочек.
4	<i>SNTG1</i>	Участвует в экзоцитозе и секреции нейромедиаторов, в организации мембраносвязанных сигнальных комплексов при развитии нервной системы.
	<i>ERI1</i>	Участвует в гомеостазе и деградации РНК, влияет на регуляцию экспрессии генов.
	<i>PPP1R3B</i>	Влияет на метаболизм гликогена и глюкозы в печени, скелетной мускулатуре и крови, может играть роль в гликемическом контроле.
	<i>CLDN23</i>	Формирует плотные контакты, влияет на барьерные функции эпителия.
	<i>PRAG1</i>	Регулирует реорганизацию актинового цитоскелета, играет важную роль в регулировании других киназ, стимулируя миграцию клеток, то есть влияет на морфологию и дифференцировку нейронов.
	<i>MBOAT4</i>	Участвует в синтезе эфирных липидов, влияет на липидный обмен.
	<i>CCNI</i>	Регулирует клеточный цикл и пролиферацию, способствует временной координации каждого митотического события.
	<i>SEPTIN11</i>	Участвует в цитокинезе и формировании цитоскелета, может влиять на метаболизм адипоцитов и связанные с ним метаболические состояния.
	<i>SHROOM3</i>	Участвует в изменении формы клеток, критически важен во время эмбриогенеза: влияет на закрытие нервной трубки и формирование тканей, является ключевым регулятором ремоделирования цитоскелета.
	<i>STBD1</i>	Связывается с крахмалом, участвует в пищеварении углеводов.

локализованные на хромосоме GGA2. Выбор данных SNP был обусловлен наличием в исследованной популяции достаточного для анализа количества особей с генотипами по всем трем аллельным вариантам локусов.

Масса первого яйца у кур F2 ресурсной популяции в зависимости от генотипа по локусам GGAluGA162050 и Gga_rs15141739 (ген *SNTG1*) представлена в таблице 4.

Частота генотипов AA, AG и GG по локусу GGAluGA162050 (2:105864711) в исследованной популяции кур составила, соответственно, 0,127, 0,340 и 0,532. По частоте генотипов AA, AG и GG в локусе Gga_rs15141739 (2:108960344) отмечалось следующее распределение особей: 0,272, 0,617 и 0,213, соответственно.

Таблица 4. Ассоциации аллельных вариантов локусов (SNP) с массой первого яйца кур F2 ресурсной популяции

Table 3. The association between allelic variants of loci (SNP) and the first egg weight in the resource population F2 hens

Генотип	GGAluGA162050 (2:105864711)		Gga_rs15141739 (2:108960344)	
	n	M $\pm$ m	n	M $\pm$ m
AA	12	28,23 $\pm$ 0,60 ^{ac}	16	34,33 $\pm$ 1,09 ^{a, c, a, b}
AG	32	29,16 $\pm$ 0,92 ^{b, c}	58	33,07 $\pm$ 0,55 ^{a, b}
GG	50	33,58 $\pm$ 0,47 ^{a, c, b, c}	20	28,38 $\pm$ 0,84 ^{a, c}

Примечание: достоверность различий на уровне $p < 0,001$ между генотипами a — AA, b — AG, c — GG.

Максимальную массу первого яйца отмечали у кур с генотипом GG по локусу GGalUGA162050 (2:105864711) и с генотипом AA по локусу Gga_rs15141739 (2:108960344). Показатель массы яйца в данных группах кур достигал, соответственно, $33,58 \pm 0,47$ и $34,33 \pm 1,09$ г.

Куры с генотипом GG по локусу GGalUGA162050 превосходили по массе яйца особей с генотипами AA и AG на 19% ($p < 0,001$) и 15% ($p < 0,001$) соответственно (рис. 3А).

По аллельным вариантам локуса Gga_rs15141739 отмечалась обратная тенденция. Аллель А в данном локусе коррелировал с более высокой массой первого яйца (рис. 3Б).

Различия по данному показателю между курами с генотипом AA и особями с генотипами AG и GG составили 17% и 14% соответственно ($p < 0,001$).

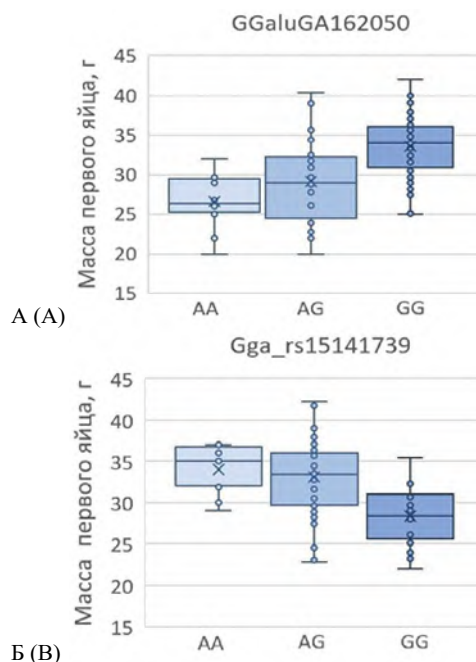
Выводы/Conclusions

В ходе проведенных исследований на специально созданной модельной ресурсной популяции выявлены 7 достоверно значимых SNP, ассоциированных с массой первого яйца у кур-несушек. В позициях данных SNP идентифицированы 3 гена — *MPP7*, *SEPTIN11*, *SNTG1*, локализованные на хромосомах GGA2 и GGA4.

Установлено влияние аллельных вариантов 2 выявленных локусов Gga_rs15141739 и GGalUGA162050 на показатель массы первого яйца у кур F2 ресурсной популяции. Подтверждена достоверно значимая связь ($p < 0,001$) генотипов GG по локусу Gga_rs15141739 (ген *SNTG1*) и AA по

Рис. 3. Распределение значений массы первого яйца у кур ресурсной популяции в зависимости от генотипа по локусам GGalUGA162050 (А) и Gga_rs15141739 (Б)

Рис. 3. Distribution of first egg mass values in the chicken resource population by genotype at loci GGalUGA162050 (А) and Gga_rs15141739 (Б)



локусу GGalUGA162050 с высокой массой первого яйца у кур исследованной популяции.

Идентифицированные в данном исследовании SNP и гены-кандидаты могут быть в дальнейшем исследованы и использованы в качестве генетических маркеров в геномной селекции кур, направленной на повышение массы яйца.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (тема № FGGN-2024-0015).

FUNDING

This research was supported financially by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (subject No. FGGN-2024-0015).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буюров А.В., Буюров В.С. Роль отрасли птицеводства в обеспечении продовольственной безопасности России. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020; (7): 84–95. <https://www.elibrary.ru/uuutfr>
2. Чернявская С.А., Лебедев С.А., Чумаченко Е.М. Анализ динамики развития птицеводства в регионах России и его роль в обеспечении продовольственной безопасности. *Журнал прикладных исследований*. 2025; (4): 66–74. <https://www.elibrary.ru/ucbfyn>
3. Козерод Ю.М., Воробьева Н.В. Особенности и тенденции развития яичного птицеводства России на современном этапе. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2024; 7(113): 188–194. <https://doi.org/10.33938/247-188>
4. Баюров Л.И., Гвоздева Ю.М. Состояние и перспективы развития птицеводства яичного направления. Современные проблемы в животноводстве: состояние, решения, перспективы. Сборник статей по материалам II Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию академика В.Г. Рядчикова. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина. 2024; 319–325. <https://www.elibrary.ru/pwamxo>

REFERENCES

1. Buyarov A.V., Buyarov V.S. The role of the poultry industry in ensuring food security in Russia. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2020; (7): 84–95 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/uuutfr>
2. Chernyavskaya S.A., Lebedev S.A., Chumachenko E.M. Analysis of the dynamics of poultry farming in the regions of Russia and its role in ensuring food security. *Journal of Applied Research*. 2025; (4): 66–74 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ucbfyn>
3. Kozerod Yu.M., Vorobyova N.V. Features and trends in the development of egg poultry farming in Russia at the present stage. *Economy, labor, management in agriculture*. 2024; 7(113): 188–194 (in Russian). <https://doi.org/10.33938/247-188>
4. Bayurov L.I., Gvozdeva Yu.M. State and prospects for the development of egg poultry farming. *Modern problems in animal husbandry: status, solutions, prospects. Collection of articles based on the materials of the II International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of Academician V.G. Ryadchikov*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. 2024; 319–325 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pwamxo>

5. Тюменцева В.С., Попов П.А., Бабунова В.С., Савинова Е.П., Осипова И.С. Бактериальная обсемененность товарного куриного яйца. *Аграрная наука*. 2025; (4): 63–68. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-63-68>
6. Гвоздева Ю.М. Экстерьерные и интерьерные маркеры потенциальной продуктивности птицы. *Современные векторы развития науки. Сборник статей по материалам Ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2023 год*. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина. 2024; 267–268. <https://www.elibrary.ru/brrpbe>
7. Буюров А.В., Воронцова Е.В. Производство яиц и мяса птицы: тренды, проблемы, перспективы развития. *Актуальные проблемы ветеринарии и интенсивного животноводства. Сборник трудов Международной научно-практической конференции*. Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2024; 29–36. <https://www.elibrary.ru/ibsttf>
8. Chomchuen K., Tuntiyasawadikul V., Chankitisakul V., Boonkum W. Genetic Evaluation of Body Weights and Egg Production Traits Using a Multi-Trait Animal Model and Selection Index in Thai Native Synthetic Chickens (Kaimook e-san2). *Animals*. 2022; 12(3): 335. <https://doi.org/10.3390/ani12030335>
9. Обожи́на Е.П., Чепуштанова О.В. Яичное направление сельскохозяйственных птиц. *Приоритетные направления развития аграрной науки и технологий. Сборник тезисов научно-практической конференции, посвященной 75-летию юбилею факультета биотехнологии и пищевой инженерии*. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2024; 290–291. <https://www.elibrary.ru/kxsonu>
10. Кавтарашвили А.Ш. Куриное яйцо. Часть 2. Факторы, влияющие на массу яиц. *Наше сельское хозяйство*. 2024; 16(336): 65–67. <https://www.elibrary.ru/fjzwxu>
11. Лосевская С.А., Ильин В.Г. Категории яиц, их характеристики и способы хранения. *Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 110-летию со дня рождения И.С. Кауричева. Материалы конференции*. Калуга: ИП Якунина В.А. 2024; 59–61. <https://www.elibrary.ru/cjpxjh>
12. Аржанкова Ю.В., Прирезова Е.А. Сравнительная оценка куриных яиц разных категорий. *Современное состояние и инновационные пути развития агропромышленного комплекса в РФ. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной Дню науки. Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия*. 2025; 9–15. <https://www.elibrary.ru/cjqrbf>
13. Nangsuay A., Ruangpanit Y., Meijerhof R., Attamangkune S. Yolk absorption and embryo development of small and large eggs originating from young and old breeder hens. *Poultry Science*. 2011; 90(11): 2648–2655. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01415>
14. Fathi M., Abou-Emera O., Al-Homidan I., Galal A., Rayan G. Effect of genotype and egg weight on hatchability properties and embryonic mortality pattern of native chicken populations. *Poultry Science*. 2022; 101(11): 102129. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102129>
15. Шаповалов С.О., Бурыков Н.П., Корнилова Е.В., Жевнеров А.В., Алтухов Т.Д., Аникина Д.С. Мониторинг качества инкубационного яйца мясных кроссов импортного и отечественного производства. *Аграрная наука*. 2024; (12): 89–97. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-89-97>
16. Ni A. *et al.* Genetic parameters, reciprocal cross differences, and age-related heterosis of egg-laying performance in chickens. *Genetics Selection Evolution*. 2023; 55: 87. <https://doi.org/10.1186/s12711-023-00862-7>
17. Fu M. *et al.* Genome-Wide Association Study of Egg Production Traits in Shuanglian Chickens Using Whole Genome Sequencing. *Genes*. 2023; 14(12): 2129. <https://doi.org/10.3390/genes14122129>
18. Lordelo M., Cid J., Cordovil C.M.D.S., Alves S.P., Bessa R.J.B., Carolino I. A comparison between the quality of eggs from indigenous chicken breeds and that from commercial layers. *Poultry Science*. 2020; 99(3): 1768–1776. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.023>
19. Grela E.R., Knaga S., Winiarska-Mieczan A., Zięba G. Effects of dietary alfalfa protein concentrate supplementation on performance, egg quality, and fatty acid composition of raw, freeze-dried, and hard-boiled eggs from Polbar laying hens. *Poultry Science*. 2020; 99: 2256–2265. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.030>
20. Ketta M., Tümová E. Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review. *Czech Journal of Animal Science*. 2016; 61(7): 299–309. <https://doi.org/10.17221/46/2015-CJAS>
5. Tyumentseva V.S., Popov P.A., Babunova V.S., Savinova E.P., Osipova I.S. Bacterial contamination of commercial chicken eggs. *Agrarian science*. 2025; (4): 63–68 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-63-68>
6. Gvozdeva Yu.M. Exterior and interior markers of potential poultry productivity. *Modern vectors of scientific development. Collection of articles based on the materials of the annual scientific and practical conference of teachers on the results of research for 2023*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. 2024; 267–268 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/brrpbe>
7. Buyarov A.V., Vorontsova E.V. Production of eggs and poultry meat: trends, problems, development prospects. *Actual problems of veterinary science and intensive animal husbandry: Collection of papers of the international scientific and practical conference*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2024; 29–36 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ibsttf>
8. Chomchuen K., Tuntiyasawadikul V., Chankitisakul V., Boonkum W. Genetic Evaluation of Body Weights and Egg Production Traits Using a Multi-Trait Animal Model and Selection Index in Thai Native Synthetic Chickens (Kaimook e-san2). *Animals*. 2022; 12(3): 335. <https://doi.org/10.3390/ani12030335>
9. Obozhina E.P., Chepushtanova O.V. Egg production of agricultural poultry. *Priority areas for the development of agricultural science and technology. Collection of abstracts of the scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Faculty of Biotechnology and Food Engineering*. Ekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2024; 290–291 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kxsonu>
10. Kavtarashvili A.Sh. Chicken egg. Part 2. Factors influencing egg weight. *Nashe sel'skoye khozyaystvo (Our agriculture)*. 2024; 16(336): 65–67 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/fjzwxu>
11. Losevskaya S.A., Ilyin V.G. Egg categories, their characteristics and storage methods. *Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference with international participation dedicated to the 110th anniversary of the birth of I.S. Kaurichev. Conference materials*. Kaluga: individual entrepreneur Yakunina V.A. 2024; 59–61 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/cjpxjh>
12. Arzhankova Yu.V., Prirezova E.A. Comparative assessment of chicken eggs of different categories. *Current state and innovative ways of development of the agro-industrial complex in the Russian Federation. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the Day of Science*. Velikiye Luki: Velikiye Luki State Agricultural Academy. 2025; 9–15 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/cjqrbf>
13. Nangsuay A., Ruangpanit Y., Meijerhof R., Attamangkune S. Yolk absorption and embryo development of small and large eggs originating from young and old breeder hens. *Poultry Science*. 2011; 90(11): 2648–2655. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01415>
14. Fathi M., Abou-Emera O., Al-Homidan I., Galal A., Rayan G. Effect of genotype and egg weight on hatchability properties and embryonic mortality pattern of native chicken populations. *Poultry Science*. 2022; 101(11): 102129. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102129>
15. Shapovalov S.O., Buryakov N.P., Kornilova E.V., Zhevnerov A.V., Altukhov T.D., Anikina D.S. Monitoring the quality of incubation eggs of meat crosses of imported and domestic production. *Agrarian science*. 2024; (12): 89–97 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-89-97>
16. Ni A. *et al.* Genetic parameters, reciprocal cross differences, and age-related heterosis of egg-laying performance in chickens. *Genetics Selection Evolution*. 2023; 55: 87. <https://doi.org/10.1186/s12711-023-00862-7>
17. Fu M. *et al.* Genome-Wide Association Study of Egg Production Traits in Shuanglian Chickens Using Whole Genome Sequencing. *Genes*. 2023; 14(12): 2129. <https://doi.org/10.3390/genes14122129>
18. Lordelo M., Cid J., Cordovil C.M.D.S., Alves S.P., Bessa R.J.B., Carolino I. A comparison between the quality of eggs from indigenous chicken breeds and that from commercial layers. *Poultry Science*. 2020; 99(3): 1768–1776. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.023>
19. Grela E.R., Knaga S., Winiarska-Mieczan A., Zięba G. Effects of dietary alfalfa protein concentrate supplementation on performance, egg quality, and fatty acid composition of raw, freeze-dried, and hard-boiled eggs from Polbar laying hens. *Poultry Science*. 2020; 99: 2256–2265. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.030>
20. Ketta M., Tümová E. Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review. *Czech Journal of Animal Science*. 2016; 61(7): 299–309. <https://doi.org/10.17221/46/2015-CJAS>

21. Rizzi C. A Study on Egg Production and Quality According to the Age of Four Italian Chicken Dual-Purpose Purebred Hens Reared Outdoors. *Animals*. 2023; 13(19): 3064. <https://doi.org/10.3390/ani13193064>
22. Gao J. *et al.* Genome-Wide Association Study of Egg-Laying Traits and Egg Quality in LingKun Chickens. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9: 877739. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.877739>
23. Haqani M.I. *et al.* Quantitative trait loci for growth-related traits in Japanese quail (*Coturnix japonica*) using restriction-site associated DNA sequencing. *Molecular Genetics and Genomics*. 2021; 296(5): 1147–1159. <https://doi.org/10.1007/s00438-021-01806-w>
24. Schreweis M.A., Hester P.Y., Settar P., Moody D.E. Identification of quantitative trait loci associated with egg quality, egg production, and body weight in an F2 resource population of chickens. *Animal Genetics*. 2006; 37(2): 106–112. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2005.01394.x>
25. Aslam M.L., Bastiaansen J.W.M., Crooijmans R.P.M.A., Vereijken A., Groenen M.A.M. Whole genome QTL mapping for growth, meat quality and breast meat yield traits in turkey. *BMC Genetics*. 2011; 12: 61. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-12-61>
26. Liao R. *et al.* Genome-wide association study reveals novel variants for growth and egg traits in Dongxiang blue-shelled and White Leghorn chickens. *Animal Genetics*. 2016; 47(5): 588–596. <https://doi.org/10.1111/age.12456>
27. Jin C.F., Chen Y.J., Yang Z.Q., Shi K., Chen C.K. A genome-wide association study of growth trait-related single nucleotide polymorphisms in Chinese Yancheng chickens. *Genetics and Molecular Research*. 2015; 14(4): 15783–15792.
28. Wolc A. *et al.* Genetic parameters of egg defects and egg quality in layer chickens. *Poultry Science*. 2012; 91(6): 1292–1298. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-02130>

ОБ АВТОРАХ

Наталья Александровна Волкова

доктор биологических наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории криобиологии
natavolkova@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7191-3550>

Анастасия Николаевна Ветох

научный сотрудник лаборатории криобиологии
anastezuya@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2865-5960>

Людмила Александровна Волкова

кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории микробиологии
ludavolkova@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9407-3686>

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, 60, Подольск, Московская обл., 142132, Россия

21. Rizzi C. A Study on Egg Production and Quality According to the Age of Four Italian Chicken Dual-Purpose Purebred Hens Reared Outdoors. *Animals*. 2023; 13(19): 3064. <https://doi.org/10.3390/ani13193064>
22. Gao J. *et al.* Genome-Wide Association Study of Egg-Laying Traits and Egg Quality in LingKun Chickens. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9: 877739. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.877739>
23. Haqani M.I. *et al.* Quantitative trait loci for growth-related traits in Japanese quail (*Coturnix japonica*) using restriction-site associated DNA sequencing. *Molecular Genetics and Genomics*. 2021; 296(5): 1147–1159. <https://doi.org/10.1007/s00438-021-01806-w>
24. Schreweis M.A., Hester P.Y., Settar P., Moody D.E. Identification of quantitative trait loci associated with egg quality, egg production, and body weight in an F2 resource population of chickens. *Animal Genetics*. 2006; 37(2): 106–112. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2005.01394.x>
25. Aslam M.L., Bastiaansen J.W.M., Crooijmans R.P.M.A., Vereijken A., Groenen M.A.M. Whole genome QTL mapping for growth, meat quality and breast meat yield traits in turkey. *BMC Genetics*. 2011; 12: 61. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-12-61>
26. Liao R. *et al.* Genome-wide association study reveals novel variants for growth and egg traits in Dongxiang blue-shelled and White Leghorn chickens. *Animal Genetics*. 2016; 47(5): 588–596. <https://doi.org/10.1111/age.12456>
27. Jin C.F., Chen Y.J., Yang Z.Q., Shi K., Chen C.K. A genome-wide association study of growth trait-related single nucleotide polymorphisms in Chinese Yancheng chickens. *Genetics and Molecular Research*. 2015; 14(4): 15783–15792.
28. Wolc A. *et al.* Genetic parameters of egg defects and egg quality in layer chickens. *Poultry Science*. 2012; 91(6): 1292–1298. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-02130>

ABOUT THE AUTHORS:

Natalia Alexandrovna Volkova

Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Head of the Cryobiology Laboratory
natavolkova@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7191-3550>

Anastasia Nikolaevna Vetokh

Researcher at the Cryobiology Laboratory
anastezuya@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2865-5960>

Ludmila Alexandrovna Volkova

Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Microbiology Laboratory
ludavolkova@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9407-3686>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia