

Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 80-94.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 3. P. 80-94.

РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА

Научная статья
УДК 636.5:591.465.24
doi: 10.33284/2658-3135-109-3-80

Анализ экспрессии гена *ISM1* у несушек с различным качеством скорлупы

Ольга Сергеевна Романенкова¹, Ольга Васильевна Костюнина², Ольга Викторовна Алейникова³

^{1,2,3}Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Дубровицы, Россия

¹eridpa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2682-6164>

²kostolan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8206-3221>

³68ovk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2583-0492>

Аннотация. Улучшение качества яичной скорлупы имеет критически важное значение для птицеводства и здоровья человека. Целью работы являлось изучение экспрессии гена *ISM1* в различных областях яйцевода как потенциального маркера, ассоциированного с качеством скорлупы яиц у кур. Выборка состояла из трех групп: молодые (27-28 недель, n=8), птицы с нарушением качества скорлупы (истончение и повышенная хрупкость, n=15), несушки позднего периода продуктивности без патологий скорлупы (n=25). Для проведения исследования была разработана тест-система на основе метода ПЦР-РВ, с помощью которой исследована дифференциальная экспрессия гена *ISM1* в двух отделах тканей репродуктивного тракта кур – скорлуповой железе и перешейке. Гены *GAPDH* и *ACTB* были выбраны в качестве контроля. Статистическая обработка проводилась с помощью инструментов RStudio с применением U-критерия Манна-Уитни. При сравнении групп, разделенных по стадии цикла, в скорлуповой железе наблюдалось статистически значимое повышение уровня относительной экспрессии гена *ISM1* ($p < 0,001$) у группы кур на стадии предовуляторной волны относительно группы в середине цикла. Также в образцах ткани скорлуповой железы уровень экспрессии *ISM1* статистически значимо повышался в группе кур с тонкой скорлупой ($p = 0,047$) при сравнении «поздний период продуктивности, середина цикла» и «тонкая скорлупа, середина цикла». Результаты работы подтверждают статус *ISM1* как потенциального гена-кандидата, ассоциированного с признаком прочности скорлупы яиц кур.

Ключевые слова: куры, яйцо, скорлупа, экспрессия, истимин-1, *ISM1*

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2024-2026 гг. ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста ФИЦ (№ FGGN -2024-0015).

Для цитирования: Романенкова О.С., Костюнина О.В., Алейникова О.В. Анализ экспрессии гена *ISM1* у несушек с различным качеством скорлупы // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 80-94. [Romanenkova OS, Kostyunina OV, Aleynikova OV. Analysis of *ISM1* gene expression in laying hens with different shell quality. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(3):80-94. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-80>

BREEDING, SELECTION, GENETICS

Original article

Analysis of *ISM1* gene expression in laying hens with different shell quality

Olga S Romanenkova¹, Olga V Kostyunina², Olga V Aleynikova³

¹Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Dubrovitsy, Russia

¹eridpa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2682-6164>

²kostolan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8206-3221>

³68ovk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2583-0492>

Abstract. Improving eggshell quality is critical for poultry production and human health. The aim of the study was to investigate *ISM1* gene expression in various regions of the oviduct as a potential marker associated with eggshell quality in hens. The sample consisted of three groups: young hens (27-28 weeks, n=8), birds with eggshell quality problems (thinning and increased fragility, n=15), and laying hens of the late period of productivity without eggshell pathologies (n=25). A test system based on the real-time PCR method was developed for the study which was used to investigate the differential expression of the *ISM1* gene in two sections of the chicken reproductive tract tissues - the shell gland and the isthmus. The *GAPDH* and *ACTB* genes were selected as a control. Statistical processing was performed using RStudio tools using the Mann-Whitney U-test. When comparing groups divided by cycle stage, a statistically significant increase in the relative expression level of the *ISM1* gene ($p<0.001$) was observed in the shell gland in the group of hens at the preovulatory wave stage relative to the group in the middle of the cycle. Furthermore, in shell gland tissue samples, *ISM1* expression levels were significantly increased in the thin-shelled chicken group ($p=0.047$) when comparing "late production, mid-cycle" and "thin shell, mid-cycle." These results confirm *ISM1*'s status as a potential candidate gene associated with the shell strength trait in chicken eggs.

Keywords: hens, egg, shell, expression, Isthmin-1, *ISM1*

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024-2026 L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (No. FGGN -2024-0015).

For citation: Romanenkova OS, Kostyunina OV, Aleynikova OV. Analysis of *ISM1* gene expression in laying hens with different shell quality. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(3):80-94. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-80>

Введение.

В контексте современных экономических условий РФ одной из центральных задач промышленного птицеводства становится получение наибольшего количества пищевого и инкубационного яйца при наименьших финансовых издержках. Сообщается, что за 2024 год объем производства яиц в России составил 46,5 млрд штук (Фисинин В.И., 2025). Яйца высоко востребованы на рынке, поскольку находят широкое применение в пищевой промышленности как сами по себе в качестве продукта питания, так и в качестве сырья для изготовления различных продовольственных товаров (Сидорова А.Л. и др., 2025). Производство пищевых яиц в необходимом огромном количестве невозможно без получения соответствующего же количества инкубационных яиц высокого качества, без чего невозможно эффективное функционирование всей технологической линии вплоть до изготовления готовой продукции (Бурмистрова О.М. и др., 2019). Для успешного рентабельного производства решающими факторами являются цены на корма, здоровье и продуктивность поголовья, длительность продуктивного использования птицы (Бушкарева А.С., 2017). Например, известным фактом является снижение яйценоскости у кур в возрасте 65-70 недель по завершению первого продуктивного периода жизни – интервал от первого снесенного яйца до наступления линьки (Лебедева И.Ю. и др., 2024). Рядом авторов было показано, что добавление в

рацион птицы различных минеральных и пробиотических добавок способствует увеличению яичной продуктивности и улучшения качества яиц (Холодилина Т.Н. и др., 2025; Нотова С.В. и др., 2023). Также в литературе имеются данные о снижении качества скорлупы яиц у возрастных несушек (Wistedt A et al., 2019; Xu J et al., 2025).

Качество скорлупы является существенным параметром для пищевого и инкубационного яйца. Это – комплексный показатель, куда включают массу, пигментацию, шероховатость, толщину, мраморность и прочность, которая имеет определяющее значение (Васильева Л.Т. и др., 2025; Горчаков В. и др., 2021). Непосредственно от прочности скорлупы зависит сохранение товарных качеств яиц и сокращение убытков от боя и насечки при их хранении и транспортировке (Околелова Т.М. и Енгашев С.В., 2020). На толщину скорлупы могут оказывать влияние такие факторы как: возраст, содержание кальция в рационе, температура, загазованность и запыленность, генетические факторы. Толщина скорлупы имеет различные показатели у разных линий, кроссов и пород кур (Aygun A et al., 2025; Sözcü A et al., 2021). Эффективность проведения селекционно-племенной работы, включающей в себя генетические исследования, в значительной степени определяет прогресс птицеводческой отрасли в целом. Поэтому изучение генетических механизмов формирования структуры яичной скорлупы продолжает оставаться актуальным. В числе генов, для которых рядом авторов была установлена взаимосвязь с процессом формирования скорлупы, можно выделить истимин-1 (Wu Y et al., 2022; Zhang Q et al., 2015; Li G et al., 2023).

Истимин-1 (ISM1) первоначально был идентифицирован как секретируемый белок массой 60 кДа, и описан как часть группы синэкспрессии FGF8, в которую также входят гены *SPRY* и *SEF*. Семейство белков ISM уникально для хордовых и характеризуется наличием двух консервативных доменов: TSR1, расположенного в центре, и AMOP – на С-конце (Osyrio L et al., 2019). Основные функции, описанные для домена TSR1, включают регуляцию межклеточных и клеточно-внеклеточных взаимодействий, клеточную направленность и ингибирование ангиогенеза. Домен AMOP – это новый внеклеточный домен, состоящий примерно из 160 аминокислот, который первоначально был обнаружен в некоторых вариантах сплайсинга MUC4.7 Он редко встречается в геноме и до сих пор описан только в 4 белках: MUC4, SUSP2, ISM1 и ISM2. Функция домена AMOP остается неизвестной, хотя предполагается, что он может играть роль в клеточной адгезии (Gao G et al., 2023). Два структурных домена *ISM1* высококонсервативны среди видов и обладают высокой степенью гомологии. *ISM1* динамически экспрессируется в различных тканях и в разных местах на разных стадиях роста, что указывает на тесную связь *ISM1* с ростом и развитием, а также функциями этих тканей и органов (Osyrio L et al., 2014). Однако, его точная биологическая функция в аспекте формирования яйца остается не ясна.

Цель работы.

Изучить экспрессию гена *ISM1* в различных областях яйцевода у несушек в качестве потенциального гена-кандидата, ассоциированного с качеством скорлупы яиц у кур.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Куры яичного кросса белый хайсекс в количестве 48 голов.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.) и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Птица содержалась в условиях физиологического двора ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста в отдельных клетках для индивидуального мониторинга яйценоскости. После убоя проводили вскрытие с последующим отбором образцов скорлуповой железы и пере-

шейка, которые незамедлительно помещали на долгосрочное хранение в ультранизкотемпературный морозильник при $t = -86^{\circ}\text{C}$ (Snijders Tilburg BV, Нидерланды), что обеспечивало сохранность и предотвращало деградацию РНК. Исследуемая выборка включала три группы кур: молодые (27-28 недель, $n=8$), птицы с нарушением формирования скорлупы (истончение и повышенная хрупкость, $n=15$), несушки позднего периода продуктивности без патологий скорлупы ($n=25$).

Выделение тотальной РНК проводилось с применением набора «РНК-Экстрен» (ООО «Синтол», Россия) в соответствии с протоколом производителя. Синтез односторонней кДНК осуществлялся при помощи набора ОТ-М-MuLV-RN (ООО «Биолабмикс», Россия) тщательно следуя указаниям производителя. Реакцию проводили в объеме 20 мкл. В пробирку добавляли следующие компоненты: тотальная РНК 2 мкг; по 2 мкл гексамерных случайных праймеров (10 мкМ); 10 мкл воды для ПЦР. Смесь прогревали 2 мин при $+70^{\circ}\text{C}$ и переносили образцы в лед. После чего добавляли 8 мкл предварительно подготовленной смеси: 4 мкл 5х буфера, 2 мкл смеси dNTPs, 2 мкл DTT (20 мМ), 2 мкл М-MuLV-ревертазы, и инкубировали – 1 час при $+37^{\circ}\text{C}$. После инактивации фермента при $+70^{\circ}\text{C}$ в течение 10 мин полученные кДНК хранили при -20°C до момента использования в ПЦР. Дизайн праймеров для амплификации участка гена *ISM1* проводился на основании информации базы NCBI при помощи компьютерной программы Primer3web v. 3.0 (Untergasser A et al., 2012). Были подобраны следующие последовательности:

ISM1-For tgggtgggtgggatggtcatg

ISM1-Rev ttctgactgccgcttcacaa

ISM1-Zond ROX-atgggtccctttagcgtca-BHQ2.

Для проведения ПЦР использовали прибор QuantStudio 5 Real Time PCR System в следующем режиме: начальная денатурация $+95^{\circ}\text{C}$ – 10 мин, 50 циклов амплификации: $+95^{\circ}\text{C}$ – 15 с, $+60^{\circ}\text{C}$ – 30 с, $+72^{\circ}\text{C}$ – 30 с.

В качестве референсных генов использовали *GAPDH* (глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа) и *ACTB* (в-актин). Реакцию проводили в конечном объеме 15 мкл реакционной смеси, содержащей 1хПЦР буфера (16.6 мМ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 67.7 мМ Трис- HCl , $\text{pH}=8.8$, 0.1 % (v/v) Tween 20, 1.5 мМ MgCl_2), 0.5 мМ MgCl_2 , 200мкМ дНТП, 0.1 мкл каждого из праймеров и зондов (10 пмоль) контрольных генов, 0.5 мкл праймеров и зонда (10 пмоль) целевого гена, 1 Ед SmartTaq-полимеразы и 1 мкл тестируемой кДНК.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы Центра коллективного пользования научным оборудованием «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста на базе лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных. Для проведения ПЦР использовали прибор QuantStudio 5 Real Time PCR System (Applied Biosystems by ThermoFisher Scientific).

Статистический анализ. Для расчета относительной экспрессии использовали метод $2^{-\Delta\Delta\text{Ct}}$ (Livak KJ et al., 2001). Нормализацию проводили по геометрическому среднему уровню экспрессии двух референсных генов (*GAPDH*, *ACTB*) для повышения надежности. Статистическую обработку данных выполняли в среде RStudio (v. 4.2.1) с использованием пакетов tidyverse (v. 2.0.0) для обработки и визуализации данных, ggpubr (v. 0.6.0) для построения графиков и rstatix (v. 0.7.2) для проведения непараметрической статистики. Проверку нормальности распределения данных относительной экспрессии в каждой группе осуществляли с помощью теста Шапиро-Уилка. Поскольку для некоторых групп распределение отличалось от нормального ($P \leq 0.05$), для сравнения независимых групп применяли U-критерий Манна-Уитни, являющийся непараметрическим аналогом t-критерия Стьюдента. Уровень значимости для всех тестов устанавливали на уровне $P \leq 0.05$.

Результаты исследования.

Была произведена апробация разработанной тест-системы для проведения дальнейшего исследования на экспериментальной выборке. На рисунке 1 представлены флуоресцентные кривые специфических продуктов амплификации генов *GAPDH*, *ACTB* и *ISM1* на образцах кДНК, полученных из различных тканей репродуктивного тракта кур.

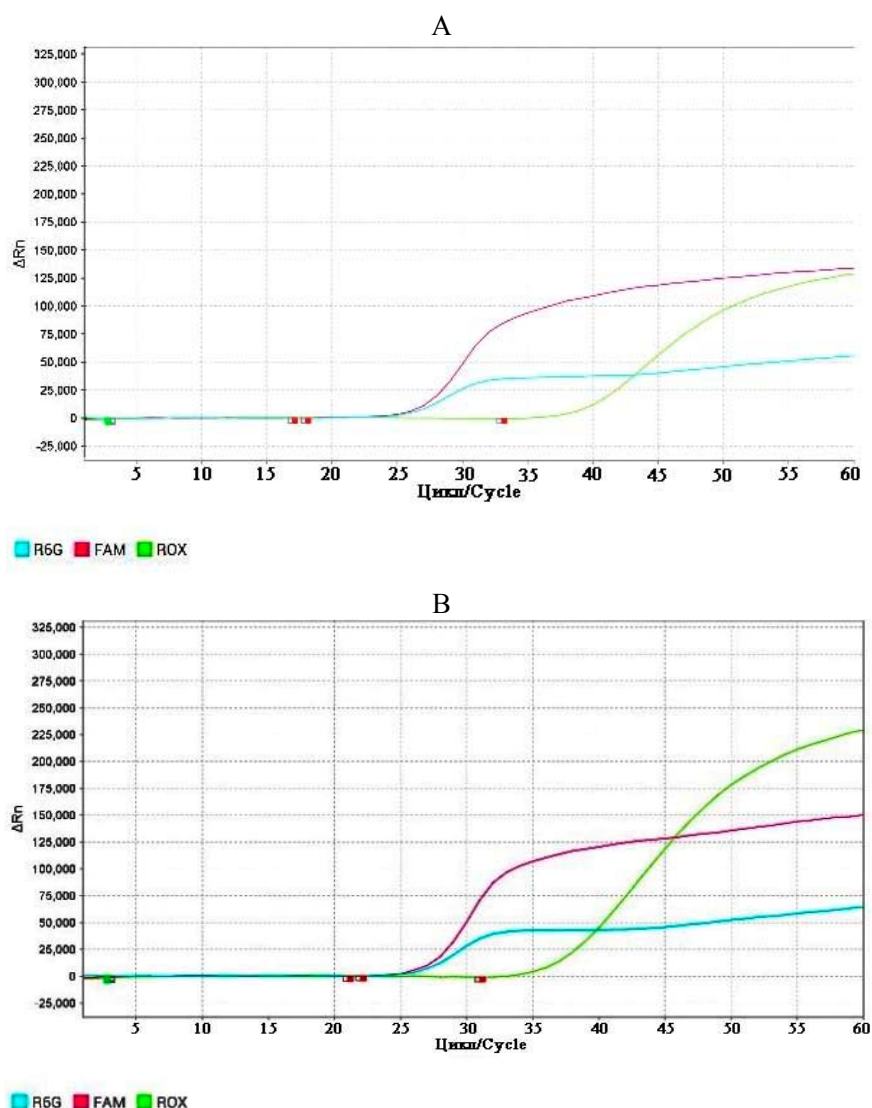


Рисунок 1. Флуоресцентные кривые генов *GAPDH*, *ACTB* и *ISM1* в скорлуповой железе (А) и перешейке (В)
Figure 1. Fluorescence curves of the *GAPDH*, *ACTB* and *ISM1* genes in the shell gland (A) and isthmus (B)

Подобранные праймеры стабильны и позволяют получать требуемый продукт в одинаковых температурно-временных режимах.

Сначала было проведено сравнение показателей относительной экспрессии $2^{-(\Delta\Delta Ct)}$ между группами кур с тонкой скорлупой и контрольной группы (совокупная группа, сформированная из молодых и кур позднего периода продуктивности с нормальной скорлупой) (рис. 2).

Как следует из полученных данных, уровень относительной экспрессии гена *ISM1* достоверно не различался между двумя сравниваемыми группами.

В целях оценки потенциальной роли возрастного фактора было проведено сравнение показателей $2^{-(\Delta\Delta Ct)}$ гена *ISM1* в группах молодых кур и кур позднего периода продуктивности (рис. 3).

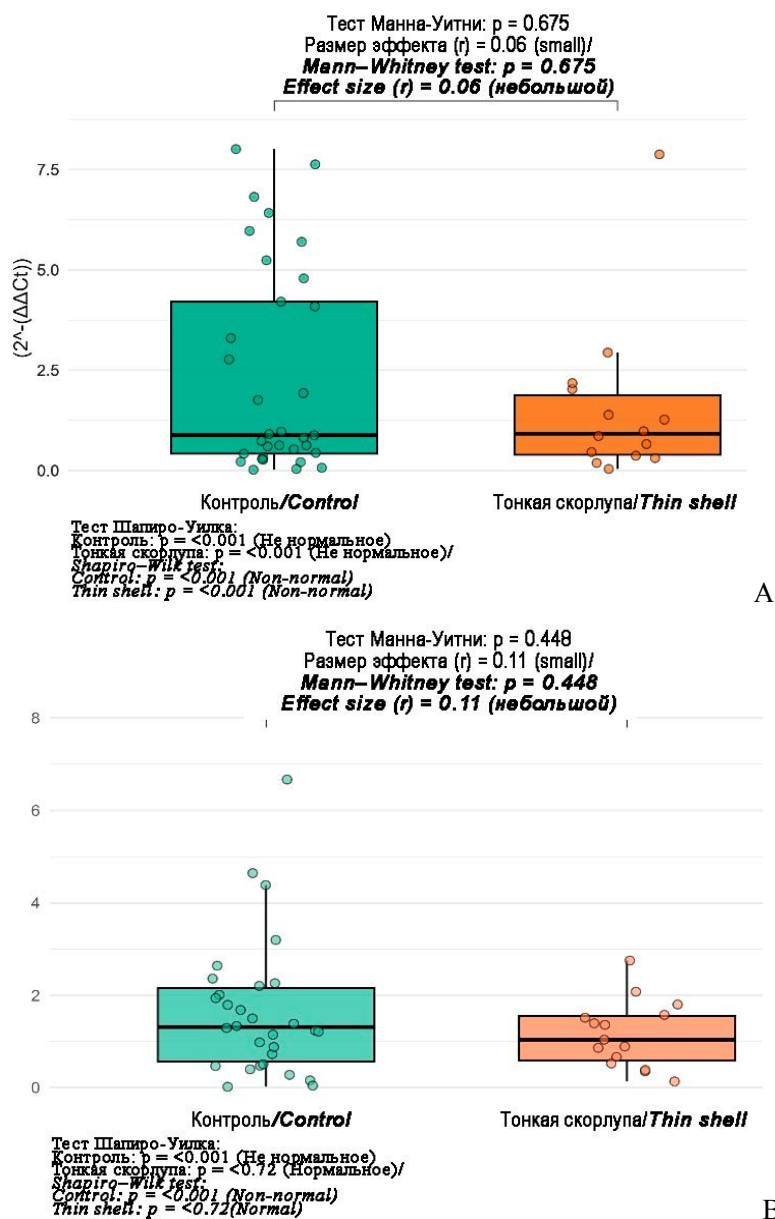


Рисунок 2. Уровни относительной экспрессии гена *ISM1* анализируемых групп «нормальная скорлупа (контроль) – тонкая скорлупа» в тканях скорлуповой железы (A) и перешейка (B)
 Figure 2. Relative expression levels of the *ISM1* gene in the analyzed groups “normal shell (control) – thin shell” in the tissues of the shell gland (A) and isthmus (B)

Наблюдаемые данные позволяют утверждать, что показатель возраста достоверно не влиял на уровень относительной экспрессии *ISM1* в тканях и скорлуповой железе, и перешейка.

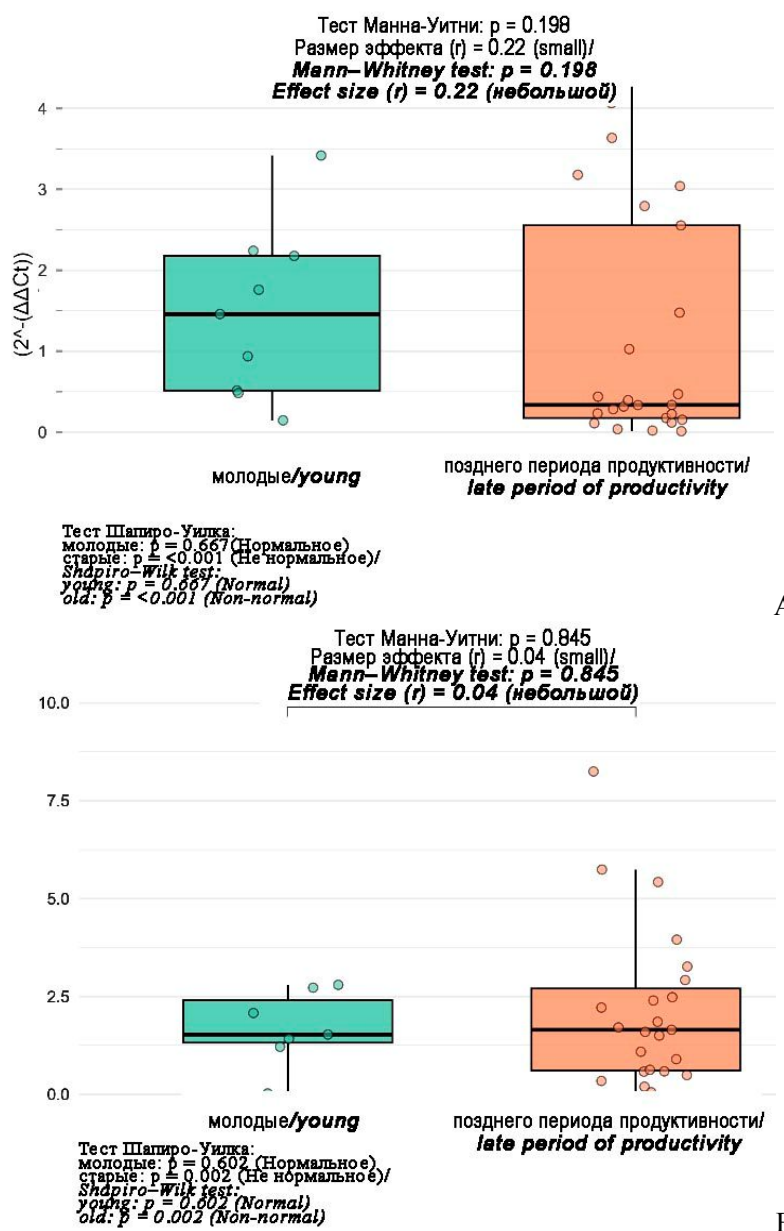


Рисунок 3. Уровни относительной экспрессии гена *ISM1* анализируемых групп «молодые – позднего периода продуктивности» в тканях скорлуповой железы (А) и перешейка (В)
Figure 3. Relative expression levels of the *ISM1* gene in the analyzed groups “young – late period of productivity” in the tissues of the shell gland (A) and isthmus (B)

Чтобы оценить вероятную роль стадии овуляторного цикла, было проведено сравнение уровней относительной экспрессии *ISM1* у групп кур, находящихся на разной стадии цикла, а именно – предовуляторная волна (период активной подготовки, когда скорлуповая железа готовится к секреции компонентов скорлупы) и середина цикла (через ~12-14 часов после овуляции, когда активное формирование яйца не происходит). На рисунке 4 представлены графические зависимости, характеризующие показатели $2^{-\Delta\Delta Ct}$ гена *ISM1* в группах кур разных стадий овуляторного цикла.

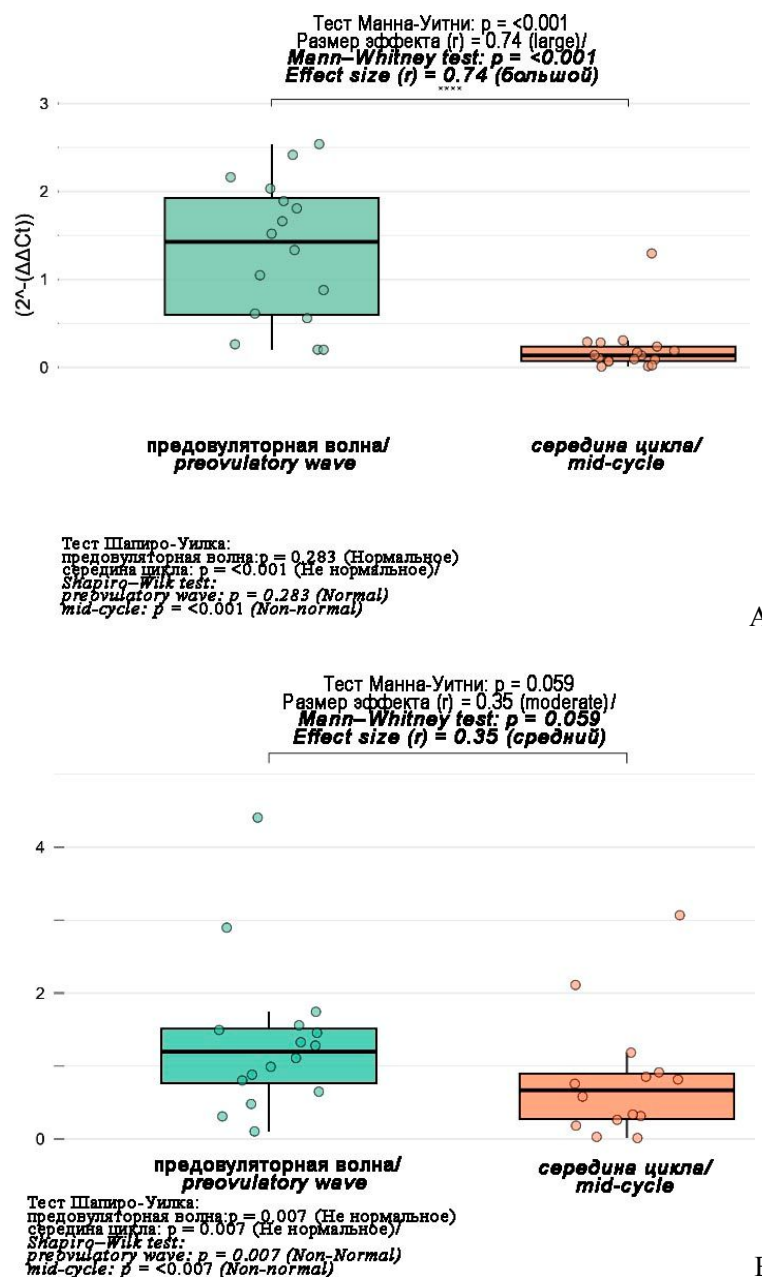


Рисунок 4. Уровни относительной экспрессии гена *ISM1* анализируемых групп «предовуляторная волна – середина цикла» в тканях скорлуповой железы (А) и перешейка (В)
 Figure 4. Relative expression levels of the *ISM1* gene in the analyzed groups “preovulatory wave – mid-cycle” in the tissues of the shell gland (A) and isthmus (B)

Анализ данных позволяет сделать вывод, что в группе кур, находившихся на стадии предовуляторной волны, наблюдалось статистически значимое повышение экспрессии гена *ISM1* в скорлуповой железе ($P \leq 0,001$) относительно группы кур в середине цикла. В образцах перешейка зафиксирована аналогичная тенденция, хотя показатель не достигал достоверных значений ($p=0,059$).

Для обеспечения независимости от влияния стадии овуляторного цикла, было проведено сравнение значений $2^{-(\Delta\Delta Ct)}$ между группой кур с тонкой скорлупой против контрольной группы кур в середине цикла (рис. 5).

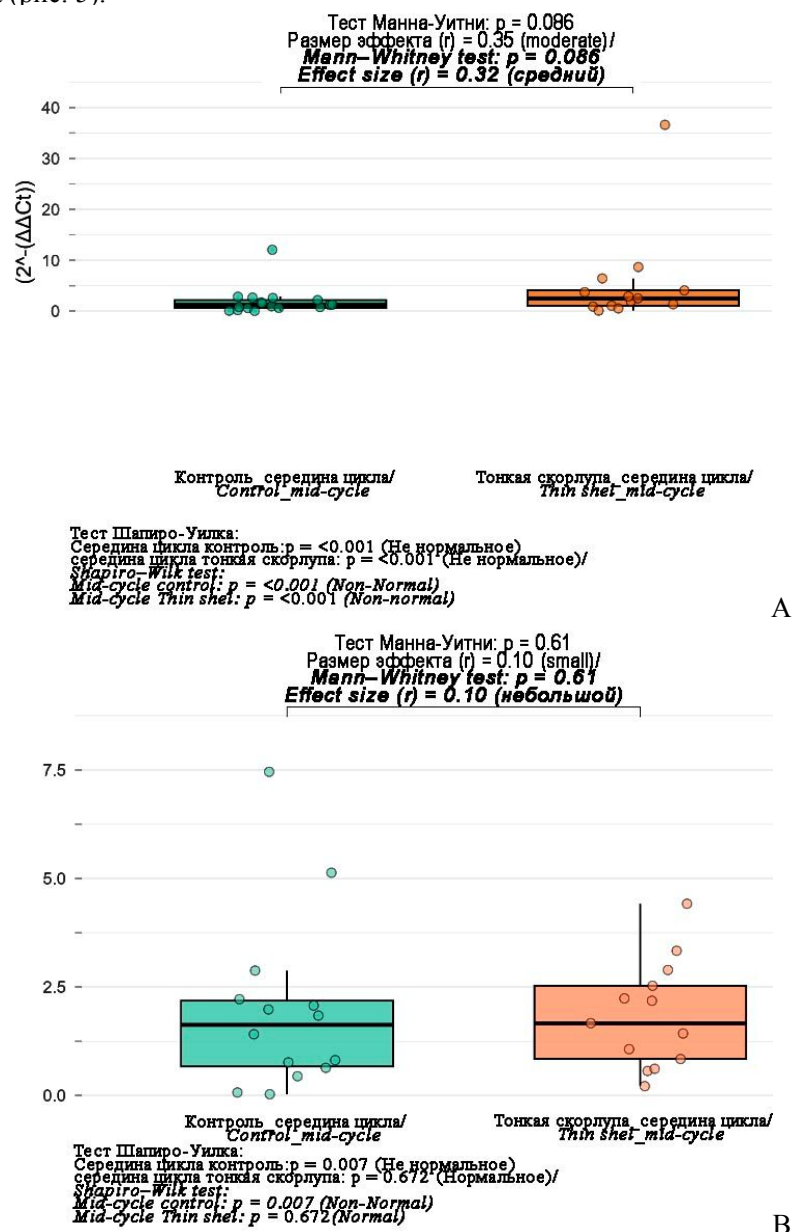


Рисунок 5. Уровни относительной экспрессии гена *ISM1* анализируемых групп «контроль, середина цикла – плохая скорлупа, середина цикла» в тканях скорлуповой железы (A) и перешейка (B)

Figure 5. Expression of the *ISM1* gene in normal (control) and ‘poor shell, mid-cycle’ groups in the tissues of the shell gland (A) and isthmus (B)

При сравнении в одинаковую стадию овуляторного цикла уровень экспрессии гена *ISM1* в контрольной группе и группе кур с плохой скорлупой статистически значимо не различался в тканях как скорлуповой железы, так и перешейка.

Для минимизации вероятного влияния показателей возраста и стадии овуляторного цикла был проведен сравнительный анализ по группам «поздний период продуктивности, середина цикла» и «тонкая скорлупа, середина цикла» (рис. 6).

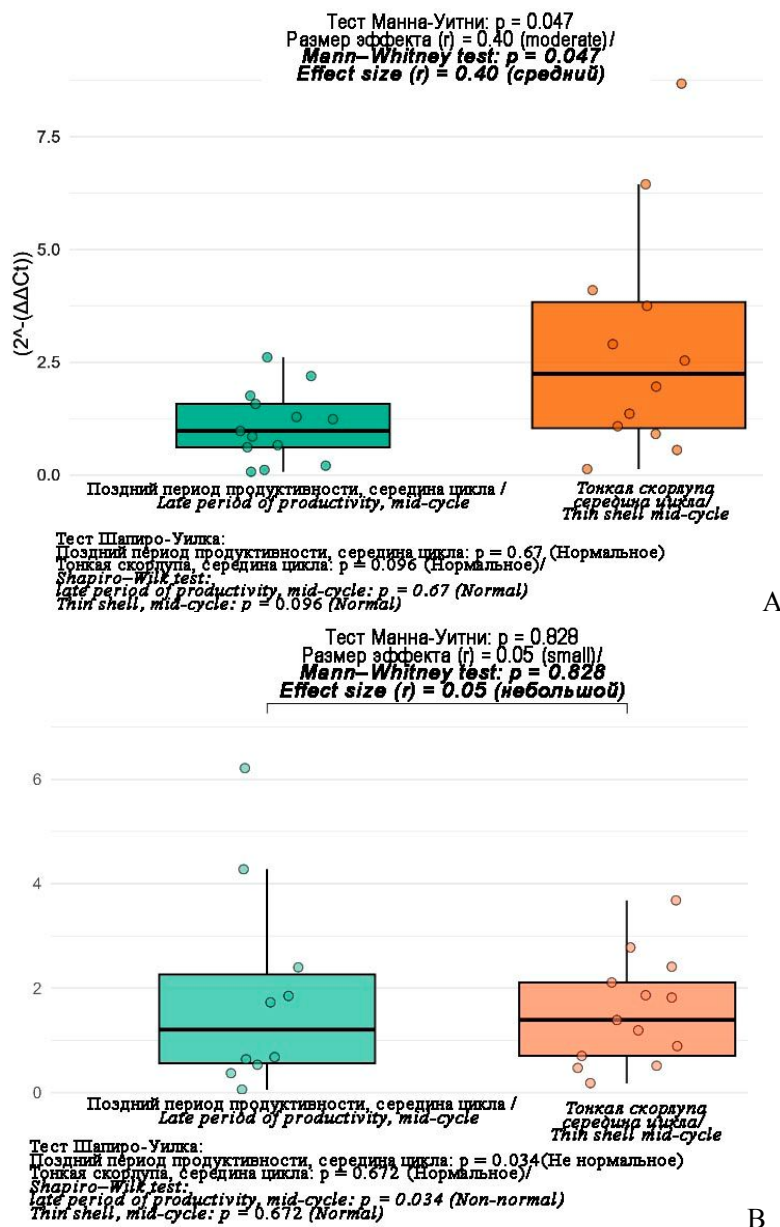


Рисунок 6. Уровни относительной экспрессии гена *ISM1* анализируемых групп «поздний период продуктивности, середина цикла – тонкая скорлупа, середина цикла» в тканях скорлуповой железы (А) и перешейка (В)

Figure 6. Relative expression levels of the *ISM1* gene in the analyzed groups “late period of productivity, mid-cycle – thin shell, mid-cycle” in the tissues of the shell gland (A) and isthmus (B)

В образцах перешейка показатель экспрессии *ISM1* достоверно не различался между сравниваемыми группами. Для образцов скорлуповой железы был обнаружен статистически значимый более высокий уровень экспрессии в группе кур с тонкой скорлупой ($p=0,047$).

Обсуждение полученных результатов.

Значительные экономические потери, вызванные ухудшением качества яичной скорлупы, особенно в поздний период яйцекладки, являются насущной проблемой для яичной промышленности. Поэтому понимание механизмов регуляции качества яичной скорлупы имеет большое экономическое и биологическое значение.

Недавние транскриптомные исследования (Wu Y et al., 2022; Li G et al., 2023), проведенные группами авторов методом высокопроизводительного секвенирования РНК для выявления генов-кандидатов, связанных с качеством скорлупы яйца, идентифицировали истимин-1 как потенциальный маркер, ассоциированный с качеством скорлупы. Однако в этих исследованиях не была учтена стадия цикла. В настоящей работе впервые проведен количественный анализ экспрессии гена *ISM1* в различных отделах яйцевода кур яичного кросса с учётом и стадии овуляторного цикла, и качества скорлупы.

Наши результаты, полученные методом количественной ПЦР в реальном времени (qPCR), подтверждают статус истимина-1 как гена-кандидата и делают существенное дополнение: экспрессия *ISM1* имеет подтвержденную и достоверную корреляцию с овуляторным циклом. Максимальные показатели $2^{-(\Delta\Delta Ct)}$ наблюдаются в период предовуляторной волны, когда происходит активная подготовка к секреции компонентов скорлупы. Это указывает на вовлеченность *ISM1* в физиологические процессы, непосредственно предшествующие кальцификации.

При анализе групп «поздний период продуктивности, середина цикла» и «тонкая скорлупа, середина цикла» в тканях скорлуповой железы аналогично наблюдалось повышение уровня экспрессии *ISM1* в группе кур с тонкой скорлупой. Белок *ISM1* содержит два консервативных домена — TSR1 (регуляция межклеточных взаимодействий, ингибирование ангиогенеза) и АМОР (предполагаемая клеточная адгезия). Исследования, проведенные на мышах и цыплятах, показали, что *ISM1* регулирует сигнальный путь NODAL и участвует в морфогенезе органов, включая асимметричное развитие (Osório L et al., 2014, 2019). Повышение экспрессии *ISM1* у несушек с тонкой скорлупой может быть связано с тем, что при нарушении формирования скорлупы вследствие возрастных изменений или дефицита кальция, яйцевод пытается мобилизовать дополнительные ресурсы, в том числе усиливая экспрессию генов, связанных с органогенезом и репарацией тканей. Обнаруженная нами ассоциация позволяет предложить *ISM1* в качестве дополнительного молекулярного маркера для селекции на прочность скорлупы, особенно в поздний период продуктивности, когда качество яиц закономерно снижается.

Заключение.

В рамках выполненного исследования были проведены работы по изучению экспрессии гена *ISM1*, ассоциированного с качеством скорлупы яиц: проведен анализ литературных источников, разработана тест-система на основе метода qPCR и выполнена ее апробация. В результате были выявлены достоверные различия в уровнях экспрессии этого гена в зависимости от стадии овуляторного цикла, а также от показателя толщины скорлупы. Обнаруженная нами ассоциация позволяет предложить *ISM1* в качестве дополнительного молекулярного маркера для селекции на прочность скорлупы, особенно в поздний период продуктивности, когда качество яиц закономерно снижается. Полученные результаты вносят вклад в понимание механизма, лежащий в основе формирования ультраструктуры яичной скорлупы, что может способствовать будущим исследованиям по улучшению ее качества на разных периодах яйцекладки.

Список источников

1. Бурмистрова О.М., Бурмистров Е.А., Наумова Н.Л. Товарные свойства и качество пищевых куриных яиц // Аграрный вестник Урала. 2019. № 9(188). С. 19-29. [Burmistrova OM, Burmistrov EA, Naumova NL. Product properties and quality of food chicken eggs. Agrarian Bulletin of the Urals. 2019;9(188):19-29. (In Russ.)]. doi: 10.32417/article_5dadfe3b0c2c43.85705164

2. Бушкарева А.С. Влияние плотности посадки на сохранность и продуктивность кур-несушек промышленного стада // Вестник АПК Верхневолжья. 2017. № 1(37). С. 29-32. [Bushkareva AS. Influence of the density of placement on the preservation and productivity of laying hens of stud herds. Agroindustrial Complex of Upper Volga Region Herald. 2017;1(37):29-32. (In Russ.)].
3. Васильева Л.Т., Бычаев А.Г., Вайковски М.Д. Пигментация скорлупы и ее качество у яиц кур кросса хайсекс браун // Известия Дагестанского ГАУ. 2025. № 3(27). С. 55-60. [Vasilyeva LT, Bychayev AG, Vaikovski MD. Shell pigmentation and its quality in eggs of cross hisex brown chicks. Daghestan GAU Proceedings. 2025;3(27):55-60. (In Russ.)]. doi: 10.52671/26867591_2025_3_55
4. Влияние цитрата кальция на производительность и качество яиц кур-несушек в раннепродуктивный период / Т.Н. Холодилина, А.С. Мустафина, Т.А. Климова, Е.В. Яушева, К.А. Казаев // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 2. С. 129-142. [Kholodilina TN, Mustafina AS, Klimova TA, Yausheva EV, Kazaev KA. Effect of calcium citrate on egg quality and quantity of laying hens in early laying period. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(2):129-142. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-108-2-129
5. Горчаков В., Горчакова О., Ромашко А. Повышаем прочность скорлупы яйца // Животноводство России. 2021. № S3. С. 27-29. [Gorchakov V, Gorchakova O, Romashko A. Increasing strength of egg shell. Zhivotnovodstvo Rossii. 2021;S3:27-29. (In Russ.)]. doi: 10.25701/ZZR.2021.16.89.015
6. Лебедева И.Ю., Митяшова О.С., Монтвила Е.К. Показатели обмена веществ у кур разного возраста и при разном репродуктивном состоянии // Генетика и разведение животных. 2024. № 4. С. 5-13. [Lebedeva IYu, Mityashova OS, Montvila EK. Metabolic indicators in hens of different ages and at different reproductive states. Genetics and Breeding of Animals. 2024;4:5-13. (In Russ.)]. doi: 10.31043/2410-2733-2024-4-5-13
7. Нотова С.В., Казакова Т.В., Маршинская О.В. Изучение эффективности применения пробиотиков в сочетании с биokoординационными соединениями на показатели яичной продуктивности птиц // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 1. С. 156-166. [Notova SV, Kazakova TV, Marshinskaya OV. The efficiency of probiotics in combination with biocoordination compounds on egg-production of birds. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(1):156-166. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-156
8. Околелова Т.М., Енгашев С.В. Факторы, влияющие на качество скорлупы яиц // Птицеводство. 2020. № 11. С. 57-65. [Okolelova TM, Engashev SV. Factors affecting eggshell quality. Ptitsevodstvo. 2020;11:57-65. (In Russ.)]. doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-11-57-65
9. Состояние птицеводства в Российской Федерации и Красноярском крае / А.Л. Сидорова, Л.Е. Тюрина, С.Г. Смолин, Е.Г. Турицына // Вестник КрасГАУ. 2025. № 6(219). С. 203-215. [Sidorova AL, Tyurina LE, Smolin SG, Turitsyna EG. The state of poultry farming in the Russian Federation and the Krasnoyarsk region. Bulletin of KSAU. 2025;6(219):203-215. (In Russ.)]. doi: 10.36718/1819-4036-2025-6-203-215
10. Фисинин В.И. Динамика и перспективы развития мирового и отечественного птицеводства. Результаты работы яичного и мясного птицеводства России в 2024 году // Птицеводство. 2025. № 3. С. 4-10. [Fisinin VI. Dynamics and prospects of the development of the world's and Russian poultry production. Poultry egg and meat production in Russian Federation in 2024. Ptitsevodstvo. 2025;3:4-10. (In Russ.)].
11. Aygun A, Nariñç D, Arısoy H. Comparison of performance, egg quality, and egg cost of different laying genotypes in free-range system from 21 to 44 weeks of age. Animals (Basel). 2025;15(1):86. doi: 10.3390/ani15010086
12. Gao G, Li X, Jiang Z, Osorio L, Tang YL, Yu X, Jin G, Zhou Z. Isthmin-1 (ISM1) modulates renal branching morphogenesis and mesenchyme condensation during early kidney development. Nat Commun. 2023;14(1):2378. doi: 10.1038/s41467-023-37992-x
13. Li G, Yang X, Li J, Zhang B. Genome-wide analysis of lncRNA and mRNA expression in the uterus of laying hens during aging. Genes (Basel). 2023;14(3):639. doi: 10.3390/genes14030639

14. Livak KJ, Schmittgen TD. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(-Delta Delta C(T)) method. *Methods*. 2001;25(4):402-408. doi: 10.1006/meth.2001.1262
15. Osyrio L, Wu X, Wang L, Jiang Z, Neideck C, Sheng G, Zhou Z. ISM1 regulates NODAL signaling and asymmetric organ morphogenesis during development. *J Cell Biol*. 2019;218(7):2388-2402. doi: 10.1083/jcb.201801081
16. Osyrio L, Wu X, Zhou Z. Distinct spatiotemporal expression of ISM1 during mouse and chick development. *Cell Cycle*. 2014;13(10):1571-82. doi: 10.4161/cc.28494
17. Sözcü A, İpek A, Oguz Z, Gunnarsson S, Riber AB. Comparison of performance, egg quality, and yolk fatty acid profile in two Turkish genotypes (Atak-S and Atabey) in a free-range system. *Animals (Basel)*. 2021;11(5):1458. doi: 10.3390/ani11051458
18. Untergasser A, Cutcutache I, Koressaar T, Ye J, Faircloth BC, Remm M, Rozen SG. Primer3 – new capabilities and interfaces. *Nucleic Acids Research*. 2012;40(15):e115. doi: 10.1093/nar/gks596
19. Wistedt A, Ridderstråle Y, Wall H, Holm L. Age-related changes in the shell gland and duodenum in relation to shell quality and bone strength in commercial laying hen hybrids. *Acta Vet Scand*. 2019;61(1):14. doi: 10.1186/s13028-019-0449-1
20. Wu Y, Sun Y, Zhang H, Xiao H, Pan A, Shen J, Pu Y, Liang Z, Du J, Pi J. Multiomic analysis revealed the regulatory role of the KRT14 gene in eggshell quality. *Front Genet*. 2022;13:927670. doi: 10.3389/fgene.2022.927670
21. Xu J, Li X, Liu X, Wu X, Fan Y, Yao Y, Zhang R, Wang D, Chen Y, Hao E, Sun Y, Chen J, Chen H, Shi L. Improved eggshell quality in aged hens through circadian gut microbiota and metabolite changes induced by a 28-h ahemeral light cycle. *Animals (Basel)*. 2025;15(21):3086. doi: 10.3390/ani15213086
22. Zhang Q, Zhu F, Liu L, Zheng CW, Wang de H, Hou ZC, Ning ZH. Integrating transcriptome and genome re-sequencing data to identify key genes and mutations affecting chicken eggshell qualities. *PLoS One*. 2015;10(5):e0125890. doi: 10.1371/journal.pone.0125890

References

1. Burmistrova OM, Burmistrov EA, Naumova NL. Product properties and quality of food chicken eggs. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019;9(188):19-29. doi: 10.32417/article_5dadfe3b0c2c43.85705164
2. Bushkareva AS. Influence of the density of placement on the preservation and productivity of laying hens of stud herds. *Agroindustrial Complex of Upper Volga Region Herald*. 2017;1(37):29-32.
3. Vasilyeva LT, Bychayev AG, Vaikovski MD. Shell pigmentation and its quality in eggs of cross hisex brown chicks. *Daghestan SAU Proceedings*. 2025;3(27):55-60. doi: 10.52671/26867591_2025_3_55
4. Kholodilina TN, Mustafina AS, Klimova TA, Yausheva EV, Kazaev KA. Effect of calcium citrate on egg quality and quantity of laying hens in early laying period. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(2):129-142. doi: 10.33284/2658-3135-108-2-129
5. Gorchakov V, Gorchakova O, Romashko A. Increasing strength of egg shell. *Animal Husbandry of Russia*. 2021;S3:27-29. doi: 10.25701/ZZR.2021.16.89.015
6. Lebedeva IYu, Mityashova OS, Montvila EK. Metabolic indicators in hens of different ages and at different reproductive states. *Genetics and Breeding of Animals*. 2024;4:5-13. doi: 10.31043/2410-2733-2024-4-5-13
7. Notova SV, Kazakova TV, Marshinskaya OV. The efficiency of probiotics in combination with biocoordination compounds on egg-production of birds. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(1):156-166. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-156

8. Okolelova TM, Engashev SV. Factors affecting eggshell quality. *Poultry Farming*. 2020;11:57-65. doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-11-57-65
9. Sidorova AL, Tyurina LE, Smolin SG, Turitsyna EG. The state of poultry farming in the Russian Federation and the Krasnoyarsk region. *Bulletin of KSAU*. 2025;6(219):203-215. doi: 10.36718/1819-4036-2025-6-203-215
10. Fisinin V.I. Dynamics and prospects of the development of the world's and Russian poultry production. *Poultry egg and meat production in Russian Federation in 2024. Poultry Farming*. 2025;3:4-10.
11. Aygun A, Nariñ D, Arısoy H. Comparison of performance, egg quality, and egg cost of different laying genotypes in free-range system from 21 to 44 weeks of age. *Animals (Basel)*. 2025;15(1):86. doi: 10.3390/ani15010086
12. Gao G, Li X, Jiang Z, Osorio L, Tang YL, Yu X, Jin G, Zhou Z. Isthmin-1 (ISM1) modulates renal branching morphogenesis and mesenchyme condensation during early kidney development. *Nat Commun*. 2023;14(1):2378. doi: 10.1038/s41467-023-37992-x
13. Li G, Yang X, Li J, Zhang B. Genome-wide analysis of lncRNA and mRNA expression in the uterus of laying hens during aging. *Genes (Basel)*. 2023;14(3):639. doi: 10.3390/genes14030639
14. Livak KJ, Schmittgen TD. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(-Delta Delta C(T)) method. *Methods*. 2001;25(4):402-408. doi: 10.1006/meth.2001.1262
15. Osyrio L, Wu X, Wang L, Jiang Z, Neideck C, Sheng G, Zhou Z. ISM1 regulates NODAL signaling and asymmetric organ morphogenesis during development. *J Cell Biol*. 2019;218(7):2388-2402. doi: 10.1083/jcb.201801081
16. Osyrio L, Wu X, Zhou Z. Distinct spatiotemporal expression of ISM1 during mouse and chick development. *Cell Cycle*. 2014;13(10):1571-82. doi: 10.4161/cc.28494
17. Sözcü A, İpek A, Oguz Z, Gunnarsson S, Riber AB. Comparison of performance, egg quality, and yolk fatty acid profile in two Turkish genotypes (Atak-S and Atabey) in a free-range system. *Animals (Basel)*. 2021;11(5):1458. doi: 10.3390/ani11051458
18. Untergasser A, Cutcutache I, Koressaar T, Ye J, Faircloth BC, Remm M, Rozen SG. Primer3 – new capabilities and interfaces. *Nucleic Acids Research*. 2012;40(15):e115. doi: 10.1093/nar/gks596
19. Wistedt A, Ridderstråle Y, Wall H, Holm L. Age-related changes in the shell gland and duodenum in relation to shell quality and bone strength in commercial laying hen hybrids. *Acta Vet Scand*. 2019;61(1):14. doi: 10.1186/s13028-019-0449-1
20. Wu Y, Sun Y, Zhang H, Xiao H, Pan A, Shen J, Pu Y, Liang Z, Du J, Pi J. Multiomic analysis revealed the regulatory role of the KRT14 gene in eggshell quality. *Front Genet*. 2022;13:927670. doi: 10.3389/fgene.2022.927670
21. Xu J, Li X, Liu X, Wu X, Fan Y, Yao Y, Zhang R, Wang D, Chen Y, Hao E, Sun Y, Chen J, Chen H, Shi L. Improved eggshell quality in aged hens through circadian gut microbiota and metabolite changes induced by a 28-h ahemeral light cycle. *Animals (Basel)*. 2025;15(21):3086. doi: 10.3390/ani15213086
22. Zhang Q, Zhu F, Liu L, Zheng CW, Wang de H, Hou ZC, Ning ZH. Integrating transcriptome and genome re-sequencing data to identify key genes and mutations affecting chicken eggshell qualities. *PLoS One*. 2015;10(5):e0125890. doi: 10.1371/journal.pone.0125890

Информация об авторах:

Ольга Сергеевна Романенкова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +7(4967)651102.

Ольга Васильевна Костюнина, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: +7(4967) 651102.

Ольга Викторовна Алейникова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биологических проблем репродукции животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, +7(4967) 651102.

Information about the authors:

Olga S Romanenkova, Cand. Sci. (Biology), researcher, Laboratory of Molecular Genetics of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, cell: +7(4967)651102.

Olga V Kostyunina, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Laboratory of Molecular Genetics of Farm Animals, Laboratory of Molecular Genetics of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, tel.: +7(4967)651102.

Olga V Aleynikova, Cand. Sci. (Biology), researcher, Laboratory of biological problems of animal reproduction, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy village, Podolsk City district, Moscow region, 142132, cell: +7(4967)651102.

Статья поступила в редакцию 20.03.2026; одобрена после рецензирования 02.06.2026; принята к публикации 14.09.2026.

The article was submitted 20.03.2026; approved after reviewing 02.06.2026; accepted for publication 14.09.2026.