

ISSN 1817-7204(Print)

ISSN 1817-7239(Online)

УДК 636.52/.58.082.13(470)

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-477-487>

Поступила в редакцию 19.05.2021

Received 19.05.2021

**А. В. Макарова, А. Б. Вахрамеев, Н. В. Дементьева, З. Л. Федорова**

*Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Россия*

## СОЗДАНИЕ АУТОСЕКСНЫХ ПОРОД КУР ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ПТИЦЕВОДСТВА

**Аннотация:** В последнее время в мире все больше увеличивается спрос на органическую продукцию. Органическое птицеводство требует дополнительных затрат за счет экстенсивного способа содержания птицы, низкой плотности посадки, наличия выгула и других условий производства органической продукции, поэтому создание специализированных пород сегодня особенно актуально. В статье приводится опыт создания аутосексной популяции Ленинградская золотисто-серая (ЛЗС) в биоресурсной коллекции «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» ВНИИГРЖ – филиал ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста. Точность сексирования суточных цыплят достигает 98 %. Для создания аутосексной породы кур использовались породы и популяции биоресурсной коллекции, имеющие в генотипе маркерные гены окраски оперения, сцепленные с полом. Для получения статуса породы было проведено полногеномное исследование популяции ЛЗС. Оценка уровня гомозиготности генома показала соответствие среднему уровню, характерному для консолидированных групп. Исследование генетической изменчивости характеризует популяцию ЛЗС как многочисленную. Коэффициент инбридинга у кур ЛЗС находится на безопасном уровне и является следствием интенсивной селекции. В результате создана и апробирована аутосексная популяция ЛЗС, соответствующая условиям для получения статуса породы и позволяющая наилучшим образом удовлетворять повышенным требованиям органического птицеводства. Обоснована целесообразность использования аутосексных пород для органического птицеводства за счет экономии кормов и площадей для выращивания. Принципы создания аутосексной породы из генетического материала генофондных стад могут быть применены в других селекционных программах. **Благодарности:** Работа выполнена по теме государственного задания НИР «Изучение биологических механизмов формирования продуктивных и адаптационных признаков домашних кур (*Gallus gallus domesticus*) с использованием физиолого-биохимических, цитологических, генетических и вирусологических методов исследований с целью создания новых селекционных форм» (0445-2021-0012).

**Ключевые слова:** куры, порода, популяция, аутосексность, генетическое разнообразие, органическое птицеводство, генофонд, биоресурсная коллекция, селекция, геном, гомозиготность, половой диморфизм

**Для цитирования:** Создание аутосексных пород кур для органического птицеводства / А. В. Макарова, А. Б. Вахрамеев, Н. В. Дементьева, З. Л. Федорова // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, №4. – С. 477–487. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-477-487>

**Aleksandra V. Makarova, Anatoly B. Vakhrameev, Natalia V. Dementieva, Zoya L. Fedorova**

*Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding –  
Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Russia*

## CREATION OF AUTOSEX CHICKEN BREEDS FOR ORGANIC POULTRY FARMING

**Abstract:** Recently, the demand for organic products has been increasing in the world. Organic poultry farming requires additional costs due to the extensive method of poultry housing, low planting density, availability of paddocks and other requirements for production of organic products. Therefore, creation of specialized breeds is especially relevant today. The paper presents the experience of creating an autosex population of the Leningrad Golden-Gray (LZS) in the bioresource collection “Genetic collection of rare and endangered breeds of chickens” RRIFAGB - Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry. The accuracy of separation by sex of day-old chickens reaches 98%. To create autosex chicken breed, we used breeds and populations of the bioresource collection that have marker genes of plumage color linked to the gender in the genotype. To obtain the breed status, a genome-wide study of the LZS population was conducted. Assessment of the genome homozygosity level showed compliance with the average level characteristic of consolidated groups. The study of genetic variability characterizes the population of LZS as numerous. The inbreeding coefficient of LZS chickens is at a safe level and is a consequence of intensive selection. As a result, an autosex population of LZS was created and tested, which meets the conditions for obtaining the status of a breed and allows to meet the increased requirements of organic poultry farming in the best way. The expediency of using autosex breeds for organic poultry farming has been

substantiated by saving feed and growing areas. The principles of creating an autosex breed from the genetic material of gene pool herds can be applied in other breeding programs. **Acknowledgments.** The research was carried out on the subject of the state task 0445-2021-0012 “Study of biological mechanisms of formation of productive and adaptive traits of domestic chickens (*Gallus gallus domesticus*) using physiological, biochemical, cytological, genetic and virological research methods in order to create new breeding forms.

**Keywords:** chicken, breed, population, autosex, genetic diversity, organic poultry farming, gene pool, bioresource collection, selection, genome, homozygosity, sexual dimorphism

**For citation:** Makarova A.V., Vakhrameev A.B., Dementieva N.V., Fedorova Z.L. Creation of autosex chicken breeds for organic poultry farming. *Vestsi Natsyonal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no 4, pp. 477-487 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-477-487>

**Введение.** В последнее время в мире все больше обращают внимание не только на количество, но и на качество и безопасность продуктов питания. Увеличивается спрос на органическую продукцию, в том числе птицеводческую. В России с 1 января 2020 г. вступил в силу Федеральный закон об органической продукции<sup>1</sup>. Согласно правилам производства, переработки, маркировки и реализации продукции органического производства<sup>2</sup>, выбор животных должен учитывать пригодность пород и видов для разведения в условиях данной местности и органической системы производства. Птица локальных пород обладает необходимыми качествами для целей органического птицеводства. Она отличается крепким костяком, устойчивостью к заболеваниям, высоким потенциалом хозяйственно полезных признаков, который может быть реализован в скрещиваниях и селекционными методами [1].

Поскольку главной целью органического сельского хозяйства является снижение негативного воздействия производства на животных, людей и окружающую среду, вводятся ограничения на использование синтетических соединений (например, антибиотиков, гормонов, пестицидов, гербицидов) в сельскохозяйственной продукции [2–9]. Генетическое разнообразие породной птицы повышает ее адаптационную способность к изменению внешних условий и появлению новых болезней [10]. Генофондные породы кур имеют высокую сохранность поголовья при минимальном использовании ветеринарных препаратов. Как показывают исследования, снижение гетерогенности в популяциях кур ведет к проявлению многочисленных мутаций, связанных с нарушениями эмбрионального развития [11]. Инбридинг и потеря генетического разнообразия снижают способность популяций справляться с болезнями и патогенами [12–14].

Свобода передвижения – важная составляющая часть органического животноводства. Кур-несушек содержат свободно на подстилке или на решетчатом полу при невысокой плотности посадки. Основное отличие от промышленного производства заключается в том, что в органическом птицеводстве курам должен предоставляться выгул в теплое время года [15]. В связи с этим органическое производство требует дополнительных затрат, поэтому для увеличения его рентабельности часто используются породы комбинированного направления продуктивности и раздельное выращивание кур и петухов. Кур выращивают для получения яиц, а петухи предназначаются для откорма. Решение данной задачи требует наличия специализированных пород кур, у которых уже в суточном возрасте цыплят можно разделить по полу. Это аутосексные породы и линии кур – носители маркерных генов, сцепленных с полом.

Аутосексность цыплят промышленных кроссов основана на наличии или отсутствии маркерного доминантного гена, сцепленного с полом, и применяется только в одном поколении [16–18]. Аутосексность в породе основана на половом диморфизме окраски суточных цыплят с разным количеством доминантных аллелей полосатой окраски оперения и передается во всех последующих поколениях [19, 20].

Сцепленная с полом полосатая окраска оперения определяется локусом «В» (Barring) [21]. Полосатость Плимутроков – это классический пример сцепленного с полом наследования [22].

<sup>1</sup> Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] : Федер. закон, 3 авг. 2018 г., № 280-ФЗ // Рос. газ. 2018. 6 авг. URL: <https://rg.ru/2018/08/06/fz280-dok.html> (дата обращения: 18.04.2021).

<sup>2</sup> Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации [Электронный ресурс]: ГОСТ 33980-2016. М.: Стандартинформ, 2016. С. 6–11.

Известно, что у Плимутроков петухи светлее кур, так как у них белые полосы шире [23]. Это связано с эффектом количества аллелей «В» у гомозиготных петухов (В/В) и гемизиготных кур (В/–) [24].

Первая аутосексная порода – Камбары – получена путем скрещивания полосатых Плимутроков с породой Кампин профессором Р. Пэннеттом в 1930 г. Аналогичный результат получен при введении гена полосатости «В» в генотип  $b/b e^+/e^+$  банковских кур [25], из чего следует, что эффект осветления пуха суточных петушков является результатом действия двух аллелей «В» у гомозиготного пола [26].

В результате исследований Dorshorst и Ashwell (2009) ген «В» картирован в области дистального плеча Z – хромосомы [27]. Schwochow Thalmann с соавторами (2017) установили, что ген полосатого рисунка оперения у кур, сцепленный с полом, образуют не два, а четыре функционально разных аллеля: BN, B1, B2 и B0, последний характеризуется экстремальным разбавлением меланина. Ген «В» осветляет не только окраску оперения, но и ослабляет пигмент плюсен и клюва [28].

Гены MC1R и TYR являются молекулярно-генетической основой для формирования окраски оперения у кур. Другие гены служат модификаторами и влияют на их экспрессию. Под действием генов-модификаторов окраска эмбрионального пуха цыплят может показывать высокую изменчивость. Это осложняет разделение цыплят по полу в породе [29].

В работе Yang с соавт. (2017) с помощью чипа Affymetrix 600K HD были найдены 13 значимых SNP в десяти генах. Выявлены наиболее вероятные, влияющие на синтез эумеланина гены кандидаты SHN и NUAК. Основываясь на более ранних исследованиях, авторы предположили, что гены киназы NUAК1 и сигнальный ген SHN могут влиять на развитие клеток меланобластов во время эмбрионального периода, что также играет роль в пигментации оперения [30].

В настоящее время большая часть аутосексных пород исчезла, но некоторые используются и сегодня, например, Калифорнийская серая. Эта порода была создана в США и используется для скрещивания с породой Белый леггорн [31]. Польская аутосексная порода Полбар, выведенная для научных целей, дала начало очень хорошей коммерческой породе кур<sup>3</sup>. Некоторые другие породы также имеют аутосексную окраску, как один из вариантов окрасок оперения в данной породе. Например, в Итальянской породе 22 различные окраски оперения, в том числе аутосексная [32].

При выбраковке суточных петушков в аутосексной породе за счет сэкономленных ресурсов можно вырастить дополнительное количество кур для получения яиц. При использовании аутосексной птицы кроме экономии ресурсов применяется раздельное выращивание и откорм петухов мясо-яичной породы. При раздельном выращивании курочки лучше развиваются и раньше начинают яйцекладку, петушки быстрее набирают живую массу. Раздельное выращивание птиц мясного направления продуктивности ведет к повышению их мясных качеств [33, 34].

Цель исследования – создание аутосексной популяции кур для органического птицеводства и оценка ее генетического разнообразия методом полногеномного анализа.

**Материалы и методы исследования.** Исследования проводили на птице из биоресурсной коллекции «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» ВНИИГРЖ – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста (г. Санкт-Петербург–Пушкин) (БРК) в 2019–2021 гг. Птица содержалась в групповых секциях и индивидуальных клетках. В групповых секциях осуществлялось свободное спаривание при половом соотношении 1:8, а в клетках применялось искусственное осеменение.

Материалом для оценки генетического разнообразия послужила ДНК, выделенная из крови кур (*Gallus gallus*) популяций ЛЗС, Пушкинская, Нью-Гемпшир, Итальянская куропатчатая, SNP-анализ включал скрининг 95 образцов ДНК с помощью микрочипа Illumina Chicken 60K SNP iSelect BeadChip («Illumina», США). Контроль качества генотипированных SNP-локусов проводили с помощью программы PLINK 1.9 [35, 36]. Дополнительно для анализа отбирали образцы ДНК с качеством генотипирования по SNP-локусам более 95 %, их оценивали с помощью программы GenomeStudio («Illumina», США). Для устранения влияния пола на оценку были ис-

<sup>3</sup> California Gray. URL: <https://www.feathersite.com/Poultry/CGA/CalGray/BRKCalGray.html> (accessed 15 June 2020).

ключены SNP-маркеры, находящиеся на половых хромосомах. На основе данных генотипирования с помощью программы PLINK 1.9 рассчитывали ряд генетических параметров, связанных со структурой популяции: средние показатели неравновесного сцепления между SNPs-маркерами (LD), гетерозиготность ( $H_0$ ), инбридинг  $F$ , а также анализ  $F_{\text{РОН}}$  [37, 38].

Расчет неравновесия по сцеплению (LD) проводили по следующей формуле:

$$r^2 = \frac{(f_{11}f_{22} - f_{12}f_{21})^2}{f_{A_1}f_{A_2}f_{B_1}f_{B_2}}$$

Здесь  $A$  и  $B$  – два локуса, включающих по два аллеля  $A_1, A_2, B_1, B_2$ ;  $f_{11}, f_{12}, f_{21}$  и  $f_{22}$  – частота гаплотипов  $A_1B_1, A_1B_2, A_2B_1$  и  $A_2B_2$  соответственно;  $f_{A_1}, f_{A_2}, f_{B_1}$  и  $f_{B_2}$  – частоты  $A_1, A_2, B_1$  и  $B_2$  соответственно.

Расчет показателей гетерозиготности ( $H$ ) проводили по такой формуле:

$$H_0 = (N(NM) - O(HOM))/N(NM),$$

где  $N(NM)$  – число учтенных генотипов;  $O(HOM)$  – наблюдаемое число гомозигот.

Расчет показателей инбридинга ( $F$ ):

$$F = (O(HOM) - E(HOM)) / (N(NM) - E(HOM))$$

$E(HOM)$  – ожидаемое число гомозигот.

**Результаты и их обсуждение. Создание популяции кур ЛЗС.** ЛЗС – популяция яично-мясного типа продуктивности создана в БРК на основе скрещивания экспериментальной популяции ППЛ (синтетическая полосато-пестрая популяция, одна из исходных форм Пушкинской породы) с Бурыми леггорнами (Итальянская куропатчатая) и вводного скрещивания с породой Нью-Гемпшир (табл. 1).

Таблица 1. Этапы создания аутосексной популяции опытная ЛЗС, ВНИИГРЖ, 1988–2021 гг.

Table 1. Stages for creating an autosex population Experimental LZS, RRIFAGB, 1988-2021

Этап	Поколение	Родительские формы ♂ × ♀
I. Исходное скрещивание	$P_0$	Бурый леггорн × популяция PPL* ( $b/b s/s e^+/e^+$ ) × ( $B/- S/- E/E$ )
	$F_1$	( $B/b + b/-$ ) ( $S/s + s/-$ ) $E/e^+$
II. Скрещивание гибридов между собой и отбор золотисто-полосатых птиц	$P_1$	( $B/b S/s E/e^+$ ) × ( $b/- s/- E/e^+$ )
	$F_n$ $n = 5$	( $B/B + B/-$ ) ( $s/s + s/-$ ) $e^+/e^+$
III. Вводное скрещивание с породой нью-гемпшир	$P_1$	ЛЗС Нью-Гемпшир ( $B/B s/s e^+/e^+$ ) × ( $b/- s/- e^{wh}/e^{wh}$ )
	$F_2$	( $B/b + B/-$ ) ( $s/s + s/-$ ) $e^+/e^{wh}$
IV. Ряд возвратных скрещиваний и отбор	$P_n$	( $B/B s/s e^+/e^+$ ) × ( $B/- s/- e^+/e^{wh}$ )
	$F_{n+1}$ $n = 5$	( $B/B + B/-$ ) ( $s/s + s/-$ ) $e^+/e^+$
V. Разведение гомозиготных особей «в себе»	$P_n$	( $B/B s/s e^+/e^+$ ) × ( $B/- s/- e^+/e^+$ )
	$F_{n+1}$ $n = 20$	( $B/B + B/-$ ) ( $s/s + s/-$ ) $e^+/e^+$

Условные обозначения: (ППЛ) – синтетическая популяция, полученная на основе скрещивания породы Белый леггорн линии «С» кросса 288 и экспериментальной популяции черно-пестрый Австралорп;  $B$  (barring) – полосатая окраска оперения, сцепленная с полом;  $S$  и  $s$  – серебристая и золотистая окраска оперения;  $e^+$  (wild-type) – дикая (куропатчатая) окраска оперения;  $e^{wh}$  – пшеничная окраска.



На первом этапе петухов породы Бурый леггорн скрестили с курами популяции Полосатопестрых леггорнов (ППЛ). Все куры от этого скрещивания были черными за счет наличия гена сплошной черной окраски ( $E$ ), а петушки – полосатые за счет аллеля полосатой окраски ( $B$ ).

На втором этапе гибридов скрещивали между собой и из потомства отбирали только золотисто-полосатых ( $B, s$ ) птиц, их использовали для дальнейшего разведения. Петухов отбирали гомозиготных по доминантному гену ( $B$ ).

На третьем этапе, для повышения продуктивных характеристик породы и улучшения экстерьера, проведено вводное скрещивание с курами породы Нью-Гемпшир. Полученные сочетания кур спаривались с петухами второго этапа селекции.

Возвратное скрещивание четвертого этапа селекции проводили в течение пяти поколений и кроме использования петухов второго этапа включало «разведение в себе» части полученного племенного материала. Целью возвратного скрещивания была элиминация аллеля  $e^{wh}$  (пшеничная окраска оперения), полученного от Нью-Гемпширов.

На последнем этапе гомозиготные особи разводились в себе до получения однородной популяции.

В настоящее время численность популяции ЛЗС в БРК составляет около 1000 гол. Живая масса кур – 1,8–2,2 кг, петухов – 2,6–2,8 кг (рис. 1).

Птица опытной популяции обладает широким комплексом хозяйственно полезных признаков: высокая масса и качество яиц, хорошие воспроизводительные качества, высокая сохранность поголовья, устойчивость к заболеваниям, крепкий костяк, хорошая обмускуленность, привлекательная окраска оперения и др., что делает ее пригодной для органического птицеводства. Кроме того, она имеет в своем генотипе аллели полосатой ( $B$ ) и золотистой ( $s^+$ ) окраски оперения, сцепленные с полом в сочетании с аллелем дикой (куропатчатой) окраски оперения  $e^+$  (wild-type), что позволяет разделять цыплят по полу с точностью 98 % (рис. 2).

Для проверки гомогенности и консолидированности полученной популяции ЛЗС, ее способности передавать все свои качества потомкам проведена оценка генетического разнообразия самой популяции и исходных пород.

**Оценка генетического разнообразия экспериментальной популяции ЛЗС методом полногеномного анализа.** Степень генетического разнообразия имеет огромное значение для сохранения генетических ресурсов и идентификации пород. С помощью SNP-чиповой технологии был проведен анализ уровня генетического разнообразия в опытной популяции ЛЗС и сравнение с породами-родоначальниками.

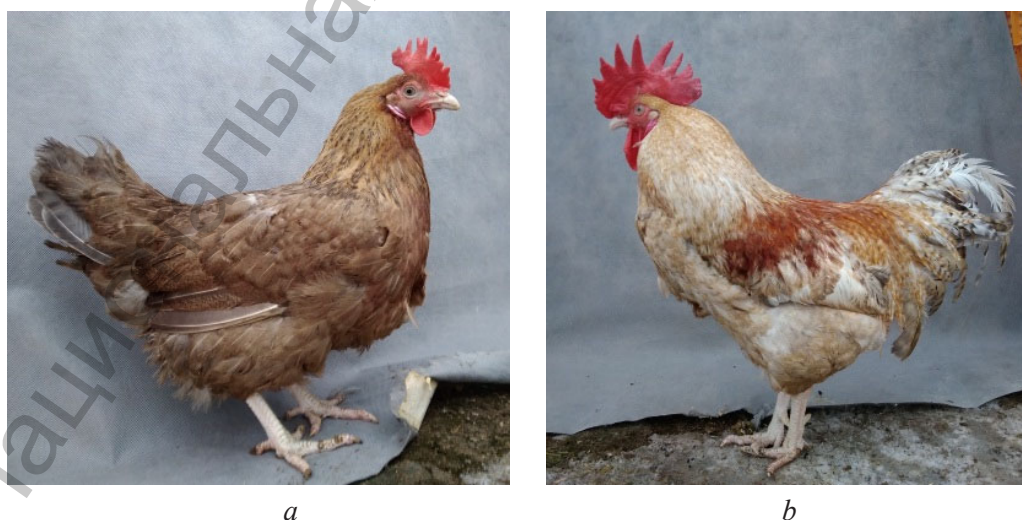


Рис. 1. Курица (а) и петух (b) экспериментальной популяции опытная ЛЗС, ВНИИГРЖ, 2020 г.

Fig. 1. Female (a) and male (b) poultry of the experimental LZS population, RRIFAGB, 2020

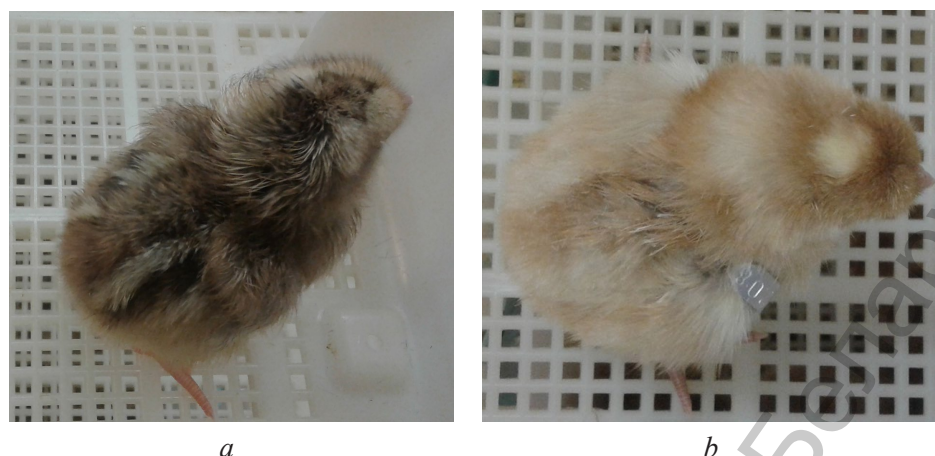


Рис. 2. Окраска пуха цыплят популяции опытная ЛЗС: *a* – курочка, *b* – петушок, ВНИИГРЖ, 2020 г.

Fig. 2. Color of embryonic fluff of chickens of the experimental LZS population: *a* – female, *b* – male, RRIFAGB, 2020

Генетическое разнообразие зависит от численности популяции и является важным популяционным показателем. Но для оценки состояния популяции нужно знать не общее число особей в ней, а лишь то, кто участвовал в процессе воспроизводства. Обычно не все особи принимают участие в размножении и вносят различный вклад в генофонд следующего поколения, поэтому размер популяции, который значим для происходящих в ней изменений, отличается от общего поголовья и называется эффективной численностью « $N_e$ ». В «идеальной» популяции все особи вносят равноценный вклад в общий генофонд следующего поколения, поэтому эффективная численность « $N_e$ » равна общей численности « $N$ » популяции. Однако на практике « $N_e$ » меньше « $N$ » из-за колебаний количеств потомков в семьях, численности поколений, соотношения самок и самцов, влияния инбридинга. В большой степени эффективную численность снижает отбор: чем он более жесткий, тем меньше численность. Статистические методы расчета « $N_e$ » дают математическое ожидание уровня эффективной численности популяции. Фактическое значение этого показателя можно выявить методом полногеномного анализа.

В нашем исследовании наибольшую эффективную численность, по данным полногеномного анализа, имела популяция Нью-Гемпшир, которая сходна по фенотипу с некоторыми породами БРК (Полтавская глинистая, Кучинская юбилейная и т.д.), которые при групповом содержании могли частично перемешиваться (табл. 2).

Таблица 2. Эффективная численность некоторых популяций в ряде поколений предков, ВНИИГРЖ, 2019–2021 гг.

Table 2. The effective size of some populations in a number of ancestral generations, RRIFAGB, 2019–2021

Порода, популяция	Эффективная численность популяций ( $N_e$ )					
	Поколений назад					
	25	50	100	200	400	800
ЛЗС	39	78	156	312	624	1248
Нью-Гемпшир	68	136	272	543	1087	2174
Итальянская куропатчатая (Бурый леггорн)	21	44	68	151	280	738
Пушкинская (ЩП)	37	54	116	151	293	740

В табл. 2 приведены данные эффективной численности пород и популяций БРК ВНИИГРЖ от 25 до 800 предшествующих поколений. Заметим, что данные характеризуют не породу или популяцию в целом, а только ту ее часть, которая разводится в БРК ВНИИГРЖ. Возможно, поэтому эффективная численность одной из самых распространенных древних пород мира – Итальянской куропатчатой – относительно невысокая, всего 21 гол. 25 поколений назад и 738 гол. 800 поколений. Эффективная численность популяций в течение поколений может колебаться различным образом. Так, в Пушкинской и Итальянской куропатчатой породах в восьмисотом

поколении предков эффективная численность практически одинакова, что можно отметить и для поколений 50, 200, 400. Но в поколениях 25 и 100 эффективная численность популяций предков современных Пушкинских значительно (почти в два раза) превышала соответствующие показатели стад предков Итальянской куропатчатой породы БРК ВНИИГРЖ. В то же время можно увидеть обратную динамику изменения эффективной численности по отношению к Пушкинской породе по сравнению с популяцией ЛЗС. Почти равная эффективная численность Пушкинской породы и опытной популяции ЛЗС в 25-м поколении предков (37 и 39 гол. соответственно) в дальнейшем устойчиво изменяется в сторону увеличения эффективной численности предков популяции ЛЗС. В поколениях 200 и 400 эта численность у предков популяции ЛЗС более чем в два раза превышает аналогичный показатель предков Пушкинской породы. Мы полагаем, что популяция ЛЗС хоть и отличается невысокой эффективной численностью как 25, так и 800 поколений назад, на определенном этапе разведения популяция испытывала значительное селекционное давление отбора из широкого изначального генофонда исходных форм. Это характерно для этапа консолидации породы.

Значительно большая по сравнению с другими исследованными группами эффективная численность породы Нью-Гемпшир может считаться проявлением широкого использования этой породы как в промышленном, так и в породном любительском птицеводстве, а также большего количества исходных форм. Таким образом, можно заключить, что метод полногеномного анализа способен показать фактическое значение эффективной численности популяции.

Уровень гетерозиготности «Н» (табл. 3) в популяции ЛЗС незначительно отличается от показателей исходных пород. При сравнении с породами Пушкинская и Нью-Гемпшир гетерозиготность популяции ЛЗС даже несколько ниже. Гетерозиготность древней и фенотипически особенной Итальянской куропатчатой породы заметно ниже опытной популяции ЛЗС.

Расчеты уровня протяженности гомозиготных районов ROH позволяют охарактеризовать внутривидовой инбридинг. Уровень гомозиготности генома у кур ЛЗС отмечен в наших исследованиях на среднем уровне, характерном для консолидированных групп, соответствующих требованиям для регистрации породы.

Таблица 3. Результаты расчетов инбридинга, гетерозиготности, уровня LD и ROH, ВНИИГРЖ, 2019–2021 гг.

Table 3. Results of calculations of inbreeding, heterozygosity, LD and ROH levels, RRIFAGB, 2019–2021

Порода	n	F	H	LD	ROH
ЛЗС	20	0,0198±0,0083	0,348±0,006	0,246±0,0005	0,120±0,009
Пушкинская	20	0,010±0,004	0,357±0,004	0,232±0,001	0,112±0,009
Нью-Гемпшир	19	0,007±0,004	0,366±0,003	0,156±0,0003	0,022±0,004
Итальянская куропатчатая	19	0,0140±0,0063	0,335±0,0073	0,288±0,0006	0,167±0,011

Популяция кур ЛЗС достаточно многочисленна, о чем свидетельствует расчет показателей неравновесного сцепления «LD» (Linkage disequilibrium). Этот показатель отражает неслучайную ассоциацию аллелей в различных локусах изучаемой популяции. Нарушение равновесия по сцеплению происходит вследствие интенсивности селекционного отбора, мутационных процессов и генетического дрейфа (система закрепления самцов и самок в воспроизводстве, наличие или отсутствие родственных связей у спариваемых особей). Поэтому показатель «LD» может служить надежной оценкой степени популяционно-генетических процессов в популяции. У популяции опытная ЛЗС показатель LD находится на уровне популяций со значительной численностью.

Коэффициент инбридинга «F» у кур ЛЗС несколько выше, чем у исходных пород (0,0198), но находится на безопасном уровне и является следствием интенсивной племенной работы с этой популяцией.

**Экономическая эффективность создания аутосексных пород кур.** В аутосексной популяции можно производить выбраковку в суточном возрасте, в других популяциях – не ранее 4–12 недель. На выращивание одного петуха мясо-яичной породы до 12 недель требуется 5,5 кг комбикорма, или 2,4 доллара (по ценам 2020 г.). Экономия затрат на корма при выбраковке 2/3 суточных пе-



тушков составляет 29,0–36,6 % по сравнению с другими породами. Также экономится 20–43 % площадей для выращивания птицы. Эта экономия позволяет на одинаковой площади выращивать дополнительно до 60 % кур. При выращивании молодняка разделение по полу повышает сохранность и однородность стада, обеспечивает обособленное кормление петушков и курочек, тем самым снижая себестоимость ремонтного молодняка.

**Заключение.** В результате создана популяция с высокой точностью сексирования цыплят. Оценка гомозиготности популяции показала, что уровень гомозиготности генома кур находится на среднем уровне, характерном для консолидированных групп. В то же время популяция обладает достаточным генетическим разнообразием для устойчивости к заболеваниям и адаптации к изменяющимся условиям. Показатель LD, отражающий эффективность работающих петухов в группе, в популяции ЛЗС находится на уровне популяций со значительной численностью.

Данная популяция имеет высокую массу и качество яиц, хорошую обмускуленность, высокую жизнеспособность и сохранность поголовья, адаптирована к местным условиям, а разделение по полу цыплят в суточном возрасте позволяет снизить затраты кормов на 29–36,6 % и затраты площадей для выращивания – на 20–43 % по сравнению с другими породами. Все вышеизложенные качества этой популяции позволяют рекомендовать ее для использования в органическом птицеводстве.

Принципы создания аутосексной породы из генетического материала генофондных стад могут быть применены в других селекционных программах.

Подана заявка №84082/7852687 на допуск к использованию породы кур Ленинградская золотисто-серая с датой приоритета 23-07-2021.

**Благодарности.** Работа выполнена по теме государственного задания НИР. «Изучение биологических механизмов формирования продуктивных и адаптационных признаков домашних кур (*Gallus gallus domesticus*) с использованием физиолого-биохимических, цитологических, генетических и вирусологических методов исследований с целью создания новых селекционных форм» (0445-2021-0012).

#### Список использованных источников

1. Chicken resource population as the source of study genetic improvement of indigenous breeds / N. Dementeva [et al.] // J. of Animal Science. – 2018. – Vol. 96, suppl. 3. – P. 513. <https://doi.org/10.1093/jas/sky404.1122>
2. Harper, G. C. Consumer perception of organic food production and farm animal welfare / G. C. Harper, A. Makatouni // Brit. Food J. – 2002. – Vol. 104, N 3/4/5. – P. 287–299. <https://doi.org/10.1108/00070700210425723>
3. Lund, V. Research on animal health and welfare in organic farming – a literature review / V. Lund, B. Algers // Livestock Production Science. – 2003. – Vol. 80, N 1–2. – P. 55–68. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00321-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00321-4)
4. Fanatico, A. Organic poultry production in the United States [Electronic resource] / A. Fanatico ; ATTRA. – US, 2008. – Mode of access: [www.attra.ncat.org/attra-pub/pPDF/organicpoultry.pdf](http://www.attra.ncat.org/attra-pub/pPDF/organicpoultry.pdf). – Date of access: 20.04.2021.
5. Kijlstra, A. Animal health in organic livestock production systems: a review / A. Kijlstra, I. A. J. M. Eijck // NJAS - Wageningen J. of Life Sciences. – 2006. – Vol. 54, N 1. – P. 77–94. [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(06\)80005-9](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(06)80005-9)
6. Lund, V. Natural living – a precondition for animal welfare in organic farming / V. Lund // Livestock Science. – 2006. – Vol. 100, N 2–3. – P. 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.08.005>
7. Antimicrobial susceptibility of foodborne pathogens in organic or natural production systems: an overview / M. E. Jacob [et al.] // Foodborne Pathogens and Disease. – 2008. – Vol. 5, N 6. – P. 721–730. <https://doi.org/10.1089/fpd.2008.0095>
8. Fanatico, A. C. Organic poultry production in the United States: broilers / A. C. Fanatico, C. M. Owens, J. L. Emmert // J. of Appl. Poultry Research. – 2009. – Vol. 18, N 2. – P. 355–366. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00123>
9. Reducing foodborne pathogens in organic poultry: challenges and opportunities / K. Arsi [et al.] // Food safety in poultry meat production / ed.: K. Venkitanarayanan, S. Thakur, S. C. Ricke. – Cham, 2019. – P. 25–46. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-05011-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-05011-5_2)
10. Оценка генетического разнообразия в породах и экспериментальных популяциях кур с помощью ДНК-фингерпринтинга / В. И. Тыщенко [и др.] // С.-х. биология. – 2007. – Т. 42, №4. – С. 29–33.
11. Chromosomal mapping and candidate gene discovery of chicken developmental mutants and genome-wide variation analysis of MHC congenics / E. Robb [et al.] // J. of Heredity. – 2011. – Vol. 102, N 2. – P. 141–156. <https://doi.org/10.1093/jhered/esq122>
12. Does inbreeding and loss of genetic diversity decrease disease resistance? / D. Spielman [et al.] // Conservation Genetics. – 2004. – Vol. 5, N 4. – P. 439–448. <https://doi.org/10.1023/B:COGE.0000041030.76598.cd>
13. Population adaptive index: a new method to help measure intraspecific genetic diversity and prioritize populations for conservation / A. Bonin [et al.] // Conservation Biology. – 2007. – Vol. 21, N 3. – P. 697–708. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00685.x>
14. Radwan, J. Does reduced MHC diversity decrease viability of vertebrate populations? / J. Radwan, A. Biedrzycka, W. Babik // Biol. Conservation. – 2010. – Vol. 143, N 3. – P. 537–544. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.07.026>



15. Berg, C. Health and welfare in organic poultry production / C. Berg // *Acta Veterinaria Scandinavica. Supplementum.* – 2001. – N 95. – P. 37–45. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-43-S1-S37>
16. Gawron, M.F. The use of blue-splashed white down in color sexing crosses / M.F. Gawron, J.R. Smyth // *Poultry Science.* – 1980. – Vol. 59, N 11. – P. 2369–2372. <https://doi.org/10.3382/ps.0592369>
17. Association of the slow feathering (K) and an endogenous viral (ev21) gene on the Z chromosome of chickens / L.D. Bacon [et al.] // *Poultry Science.* – 1988. – Vol. 67, N 2. – P. 191–197. <https://doi.org/10.3382/ps.0670191>
18. Endogenous viral gene *ev21* is not responsible for the expression of late feathering in chickens / A. Takenouchi [et al.] // *Poultry Science.* – 2018. – Vol. 97, N 2. – P. 403–411. <https://doi.org/10.3382/ps/pex345>
19. *Poultry breeding and genetics* / ed. R. D. Crawford. – Amsterdam : Elsevier, 1990. – 1123 p.
20. Jerome, F.N. Auto-sex linkage in Barred Plymouth Rock / F.N. Jerome // *Poultry Science.* – 1939. – Vol. 18, N 6. – P. 437–440. <https://doi.org/10.3382/ps.0180437>
21. Sex-linked barring in chickens is controlled by the CDKN2A / B tumour suppressor locus / A. R. Hällström [et al.] // *Pigment Cell a. Melanoma Research.* – 2010. – Vol. 23, N 4. – P. 521–530. <https://doi.org/10.1111/j.1755-148X.2010.00700.x>
22. Fowl model for vitiligo: genetic regulation on the fate of the melanocytes / R.R. Bowers [et al.] // *Pigment Cell Research.* – 1992. – Suppl. 2. – P. 242–248. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0749.1990.tb00379.x>
23. Gluckman, T.-L. The dual function of barred plumage in birds: camouflage and communication / T.-L. Gluckman, G. C. Cardoso // *J. of Evolutionary Biology.* – 2010. – Vol. 23, N 11. – P. 2501–2506. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2010.02109.x>
24. Topology of feather melanocyte progenitor niche allows complex pigment patterns to emerge / S.J. Lin [et al.] // *Science.* – 2013. – Vol. 340, N 6139. – P. 1442–1445. <https://doi.org/10.1126/science.1230374>
25. Fisher, R. The design of experiments / R. Fisher. – Edinburgh : Oliver a. Boyd, 1935. – 252 p.
26. Campo, J.L. Use of the sex-linked barring (B) gene for chick sexing on an eumelanotic columbian background / J.L. Campo // *Poultry Science.* – 1991. – Vol. 70, N 7. – P. 1469–1473. <https://doi.org/10.3382/ps.0701469>
27. Dorshorst, B. Genetic mapping of the sex-linked barring gene in the chicken / B. Dorshorst, C. Ashwell // *Poultry Science.* – 2009. – Vol. 88, N 9. – P. 1811–1817. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00134>
28. The evolution of Sex-linked barring alleles in chickens involves both regulatory and coding changes in CDKN2A / D. Schwochow Thalmann [et al.] // *PLoS Genetics.* – 2017. – Vol. 13, N 4. – P. e1006665. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1006665>
29. Genome-wide association analysis identifies potential regulatory genes for eumelanin pigmentation in chicken plumage / L. Yang [et al.] // *Animal Genetics.* – 2017. – Vol. 48, N 5. – P. 611–614. <https://doi.org/10.1111/age.12573>
30. Молекулярно-генетические основы формирования окраски оперения кур / А. В. Макарова [и др.] // *Вавилов. журн. генетики и селекции.* – 2019. – Т. 23, № 3. – С. 343–354. <https://doi.org/10.18699/VJ19.499>
31. Effect of caponization on performance and quality characteristics of long bones in Polbar chickens / S. Muszyński [et al.] // *Poultry Science.* – 2017. – Vol. 96, N 2. – P. 491–500. <https://doi.org/10.3382/ps/pew301>
32. Schmidt, H. Taschenatlas Hühner und Zwerghühner: 182 Rassen für Garten, Haus, Hof und Ausstellung / H. Schmidt, R. Proll. – Stuttgart : Ulmer, 2005. – 191 S.
33. Straight-run vs. sex separate rearing for two broiler genetic lines Part 2: Economic analysis and processing advantages / M.J. Da Costa [et al.] // *Poultry Science.* – 2017. – Vol. 96, N 7. – P. 2127–2136. <https://doi.org/10.3382/ps/pew498>
34. Interactive effects of dietary vitamin K3 and *Bacillus subtilis* PB6 on the growth performance and tibia quality of broiler chickens with sex separate rearing / S. Guo [et al.] // *Animal.* – 2020. – Vol. 14, N 8. – P. 1610–1618. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000178>
35. PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses / S. Purcell [et al.] // *The Amer. J. of Human Genetics.* – 2007. – Vol. 81, N 3. – P. 559–575. <https://doi.org/10.1086/519795>
36. Genetic assessment of inbred chicken lines indicates genomic signatures of resistance to Marek's disease / L. Xu [et al.] // *J. of Animal Science a. Biotechnology.* – 2018. – Vol. 9, N 1. – Art. 65. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0281-x>
37. Population genetic analyses of seven Chinese indigenous chicken breeds in a context of global breeds / L. Chen [et al.] // *Animal Genetics.* – 2019. – Vol. 50, N 1. – P. 82–86. <https://doi.org/10.1111/age.12732>
38. Identification of selection signatures involved in performance traits in a paternal broiler line / O.A. C. Almeida [et al.] // *BMC Genomics.* – 2019. – Vol. 20, N 1. – Art. 449. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5811-1>

## References

1. Dementiva N., Kudinov A., Mitrofanova O., Mishina A., Smaragdov M., Yakovlev A. Chicken resource population as the source of study genetic improvement of indigenous breeds. *Journal of Animal Science*, 2018, vol. 96, suppl. 3, pp. 513. <https://doi.org/10.1093/jas/sky404.1122>
2. Harper G. C., Makatouni A. Consumer perception of organic food production and farm animal welfare. *British Food Journal*, 2002, vol. 104, no. 3/4/5, pp. 287-299. <https://doi.org/10.1108/00070700210425723>
3. Lund V., Algers B. Research on animal health and welfare in organic farming – a literature review. *Livestock Production Science*, 2003, vol. 80, no. 1-2, pp. 55-68. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00321-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00321-4)
4. Fanatico A. *Organic poultry production in the United States*. US, 2008. Available at: [www.attra.ncat.org/attra-pub/pPDF/organicpoultry.pdf](http://www.attra.ncat.org/attra-pub/pPDF/organicpoultry.pdf) (accessed 20.04.2021).
5. Kijlstra A., Eijck I.A. J. M. Animal health in organic livestock production systems: a review. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 2006, vol. 54, no. 1, pp. 77-94. [https://doi.org/10.1016/s1573-5214\(06\)80005-9](https://doi.org/10.1016/s1573-5214(06)80005-9)
6. Lund V. Natural living - a precondition for animal welfare in organic farming. *Livestock Science*, 2006, vol. 100, no. 2–3, pp. 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.08.005>

7. Jacob M. E., Fox J. T., Reinstein S. L., Nagaraja T.G. Antimicrobial susceptibility of foodborne pathogens in organic or natural production systems: an overview. *Foodborne Pathogens and Disease*, 2008, Vol. 5, no 6, pp. 721-730. <https://doi.org/10.1089/fpd.2008.0095>
8. Fanatico A. C., Owens C. M., Emmert J.L. Organic poultry production in the United States: broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 2009, vol. 18, no. 2, pp. 355-366. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00123>
9. Arsi K., Donoghue D. J., Venkitanarayanan K., Donoghue A.M. Reducing foodborne pathogens in organic poultry: challenges and opportunities. *Food safety in poultry meat production*, Cham, 2019, pp. 25-46. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-05011-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-05011-5_2)
10. Tyshchenko V. I., Mitrofanova O. V., Dement'eva N. V., Terletskii V. P., Yakovlev A. F. Estimation of genetic variability in the breeds and hen experimental populations by DNA-fingerprinting. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2007, vol. 42, no. 4, pp. 29-33 (in Russian).
11. Robb E. A., Gitter C. L., Cheng H. H., Delany M.E. Chromosomal mapping and candidate gene discovery of chicken developmental mutants and genome-wide variation analysis of MHC congenics. *Journal of Heredity*. 2011, vol. 102, no. 2, pp. 141-156. <http://doi.org/10.1093/jhered/esq122>
12. Spielman D., Brook B. W., Briscoe D. A., Frankham R. Does inbreeding and loss of genetic diversity decrease disease resistance? *Conservation Genetics*, 2004, vol. 5, no. 4, pp. 439-448. <https://doi.org/10.1023/B:COGE.0000041030.76598.cd>
13. Bonin A., Nicole F., Pompanon F., Miaud C., Taberlet P. Population adaptive index: a new method to help measure intraspecific genetic diversity and prioritize populations for conservation. *Conservation Biology*, 2007, vol. 21, no. 3, pp. 697-708. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00685.x>
14. Radwan J., Biedrzycka A., Babik W. Does reduced MHC diversity decrease viability of vertebrate populations? *Biological Conservation*, 2010, vol. 143, no. 3, pp. 537-544. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.07.026>
15. Berg C. Health and welfare in organic poultry production. *Acta Veterinaria Scandinavica. Supplementum*, 2001, no. 95, pp. 37-45. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-43-S1-S37>
16. Gawron M. F., Smyth J.R. The use of blue-splashed white down in color sexing crosses. *Poultry Science*, 1980, vol. 59, no. 11, pp. 2369-2372. <https://doi.org/10.3382/ps.0592369>
17. Bacon L. D., Smith E., Crittenden L. B., Havenstein G. B. Association of the slow feathering (K) and an endogenous viral (ev21) gene on the Z chromosome of chickens. *Poultry Science*, 1988, vol. 67, no. 2, pp. 191-197. <https://doi.org/10.3382/ps.0670191>
18. Takenouchi A., Toshishige M., Ito N., Tsudzuki M. Endogenous viral gene *ev21* is not responsible for the expression of late feathering in chickens. *Poultry Science*, 2018, vol. 97, no. 2, pp. 403-411. <https://doi.org/10.3382/ps/pex345>
19. Crawford R. D. (ed.). *Poultry breeding and genetics*. Amsterdam, Elsevier, 1990. 1123 p.
20. Jerome F.N. Auto-sex linkage in Barred Plymouth Rock. *Poultry Science*, 1939, vol. 18, no. 6, pp. 437-440. <https://doi.org/10.3382/ps.0180437>
21. Hellström A. R., Gunnarsson U., Kerje S., Andersson L., Sundström E., Bed'Hom B., Tixier-Boichard M., Honaker C. F., Siegel P. B., Sahlqvist A.-S., Kämpe O., Jensen P. Sex-linked barring in chickens is controlled by the CDKN2A /B tumour suppressor locus. *Pigment Cell and Melanoma Research*, 2010, vol. 23, no. 4, pp. 521-530. <https://doi.org/10.1111/j.1755-148X.2010.00700.x>
22. Bowers R. R., Harmon J., Prescott S., Asano J., Wynne S. Fowl model for vitiligo: genetic regulation on the fate of the melanocytes. *Pigment Cell Research*, 1992, suppl. 2, pp. 242-248. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0749.1990.tb00379.x>
23. Gluckman T.-L., Cardoso G. C. The dual function of barred plumage in birds: camouflage and communication. *Journal of Evolutionary Biology*, 2010, vol. 23, no. 11, pp. 2501-2506. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2010.02109.x>
24. Lin S. J., Foley J., Jiang T. X., Yeh C. Y., Wu P., Foley A., Yen C. M., Huang Y. C., Cheng H. C., Chen C. F., Reeder B., Jee S. H., Widelit R. B., Chuong C.M. Topology of feather melanocyte progenitor niche allows complex pigment patterns to emerge. *Science*, 2013, vol. 340, no. 6139, pp. 1442-1445. <https://doi.org/10.1126/science.1230374>
25. Fisher R. *The design of experiments*. Edinburgh, Oliver and Boyd, 1935. 252 p.
26. Campo J.L. Use of the sex-linked barring (B) gene for chick sexing on an eumelanotic columbian background. *Poultry Science*, 1991, vol. 70, no. 7, pp. 1469-1473. <https://doi.org/10.3382/ps.0701469>
27. Dorshorst B., Ashwell C. Genetic mapping of the sex-linked barring gene in the chicken. *Poultry Science*, 2009, vol. 88, no. 9, pp. 1811-1817. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00134>
28. Schwochow Thalmann D., Ring H., Sundström E., Cao X., Larsson M., Kerje S., Höglund A., Fogelholm J., Wright D., Jemth P., Hallböök F., Bed'Hom B., Dorshorst B., Tixier-Boichard M., Andersson L. The evolution of Sex-linked barring alleles in chickens involves both regulatory and coding changes in CDKN2A. *PLoS Genetics*, 2017, vol. 13, no. 4, p. e1006665. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1006665>
29. Yang L., Du X., Wei S., Gu L., Li N., Gong Y., Li S. Genome-wide association analysis identifies potential regulatory genes for eumelanin pigmentation in chicken plumage. *Animal Genetics*, 2017, vol. 48, no. 5, pp. 611-614. <https://doi.org/10.1111/age.12573>
30. Makarova A. V., Mitrofanova O. V., Vakhrameev A. B., Dementeva N. V. Molecular-genetic bases of plumage coloring in chicken. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 343-354 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/VJ19.499>
31. Muszyński S., Kwiecień M., Tomaszewska E., Świetlicka I., Dobrowolski P., Kasperek K., Jeżewska-Witkowska G. Effect of caponization on performance and quality characteristics of long bones in Polbar chickens. *Poultry Science*, 2017, vol. 96, no. 2, pp. 491-500. <https://doi.org/10.3382/ps/pew301>
32. Schmidt H., Proll R. *Taschenatlas Hühner und Zwerghühner: 182 Rassen für Garten, Haus, Hof und Ausstellung* [Pocket atlas of chickens and bantams: 182 breeds for garden, house, yard and exhibition]. Stuttgart, Ulmer, 2005. 191 p. (in German).

33. Da Costa M. J., Colson G., Frost T. J., Halley J., Pesti G. M. Straight-run vs. sex separate rearing for two broiler genetic lines Part 2: Economic analysis and processing advantages. *Poultry Science*, 2017, vol. 96, no. 7, pp. 2127-2136. <https://doi.org/10.3382/ps/pew498>
34. Guo S., Xv J., Li Y., Bi Y., Hou Y., Ding B. Interactive effects of dietary vitamin K3 and *Bacillus subtilis* PB6 on the growth performance and tibia quality of broiler chickens with sex separate rearing. *Animal*, 2020, vol. 14, no. 8, pp. 1610-1618. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000178>
35. Purcell S., Neale B., Todd-Brown K., Thomas L., Ferreira M. A. R., Bender D., Maller J., Sklar P., De Bakker P. I. W., Daly M. J., Sham P. C. PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. *The American Society of Human Genetics*, 2007, vol. 81, no. 3, pp. 559-575. <https://doi.org/10.1086/519795>
36. Xu L., He Y., Ding Y., Liu G. E., Zhang H., Cheng H. H., Robert L., Taylor J., Song J. Genetic assessment of inbred chicken lines indicates genomic signatures of resistance to Marek's disease. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2018, vol. 9, no. 1, art. 65. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0281-x>
37. Chen L., Wang X., Cheng D., Chen K., Fan Y., Wu G., You J., Liu S., Mao H., Ren J. Population genetic analyses of seven Chinese indigenous chicken breeds in a context of global breeds. *Animal Genetics*, 2019, vol. 50, no. 1, pp. 82-86. <https://doi.org/10.1111/age.12732>
38. Almeida O. A. C., Moreira G. C. M., Rezende F. M., Boschiero C., Peixoto J. O., Ibelli A. M. G., Ledur M. C., Novais F. J., Coutinho L. L. Identification of selection signatures involved in performance traits in a paternal broiler line. *BMC Genomics*, 2019, vol. 20, no. 1, art. 449. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5811-1>

### Сведения об авторах

*Макарова Александра Владимировна* – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных птиц, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ) (Московское шоссе, 55а, 196601 С.-Петербург – Пушкин, Россия). E-mail: [admiralmak@mail.ru](mailto:admiralmak@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0002-3281-4581>

*Вахрамеев Анатолий Борисович* – старший научный сотрудник отдела генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных птиц, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ) (Московское шоссе, 55а, 196601 С.-Петербург – Пушкин, Россия). E-mail: [ab\\_poultry@mail.ru](mailto:ab_poultry@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0001-5166-979x>

*Деметьева Наталия Викторовна* – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ) (Московское шоссе, 55а, 196601 С.-Петербург – Пушкин, Россия). E-mail: [dementevan@mail.ru](mailto:dementevan@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0003-0210-9344>,

*Федорова Зоя Леонидовна* – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных птиц, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ) (Московское шоссе, 55а, 196601 С.-Петербург – Пушкин, Россия). E-mail: [zoya-fspb@mail.ru](mailto:zoya-fspb@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0001-7927-2401>

### Information about the authors

*Aleksandra V. Makarova* - Ph.D. (Agricultural). Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding - Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (55a, Moscovskoe shosse, 196601 St. Petersburg - Pushkin, Russian Federation). E-mail: [admiralmak@mail.ru](mailto:admiralmak@mail.ru). <http://orcid.org/0000-0002-3281-4581>

*Anatoly B. Vakhrameev* - Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding - Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (55a, Moscovskoe shosse, 196601 St. Petersburg - Pushkin, Russian Federation). E-mail: [ab\\_poultry@mail.ru](mailto:ab_poultry@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0001-5166-979x>

*Natalia V. Dementieva* - Ph.D. (Biology). Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding - Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (55a, Moscovskoe shosse, 196601 St. Petersburg - Pushkin, Russian Federation). E-mail: [dementevan@mail.ru](mailto:dementevan@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0003-0210-9344>

*Zoya L. Fedorova* - Ph.D. (Agricultural). Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding - Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (55a, Moscovskoe shosse, 196601 St. Petersburg - Pushkin, Russian Federation). E-mail: [zoya-fspb@mail.ru](mailto:zoya-fspb@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0001-7927-2401>