

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1098-1111>

УДК 636.082.251:636.082.12

Ограничения использования генеалогических линий голштинского скота в качестве генетического фактора

© 2025. Г. А. Лиходеевский✉, П. С. Богатова, О. Е. Лиходеевская
ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет»,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

В современном молочном скотоводстве генеалогические линии традиционно используются для прогнозирования продуктивности, однако их эффективность остается спорной. В данной работе на основе анализа 38 научных публикаций (2012–2024 гг.) и оригинальных данных по 762 коровам голштинской породы из Свердловской области (Россия) изучена связь между линейной принадлежностью наиболее распространенных линий Вис Бэк Айдиал (ВБА), Рефлекшен Соверинг (РС) и показателями молочной продуктивности (удой за 305 дней первой лактации, массовая доля жира и белка в молоке). Анализ научных источников показал, что лишь в 8 из 38 исследований отмечены достоверные различия, при этом результаты разницы в показателях продуктивности между линиями не были однозначными. Статистический анализ оригинальных данных (тест Шапиро-Уилка, U-критерий Манна-Уитни) выявил ненормальное распределение и ограниченную значимость различий между линиями в показателях продуктивности. Чистоты линий быков, семя которых используется в регионе, утрачена уже к третьему поколению. Генетический анализ позволил восстановить генеалогические связи и продемонстрировал смешение линий в маточном поголовье, а именно 40 % родственных связей оказались межлинейными. Оценка генетической дифференциации (F_{st}) показала отсутствие различий между линиями ВБА и РС, в то время как генеалогические сообщества внутри популяции имели более выраженную генетическую обособленность. Результаты свидетельствуют, что генеалогические линии не могут служить надежным инструментом прогнозирования продуктивности из-за недостаточной статистической значимости, высокой степени смешения и отсутствия генетической уникальности. На основании проведенных исследований рекомендуем переход к методам геномной селекции, учитывающим индивидуальные генетические маркеры, а не линейную принадлежность.

Ключевые слова: молочная продуктивность, смешение линий, генетическая дифференциация, селекция, ДНК-биочип

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ) грант № 23-26-00260 (<https://rscf.ru/project/23-26-00260/>).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лиходеевский Г. А., Богатова П. С., Лиходеевская О. Е. Ограничения использования генеалогических линий голштинского скота в качестве генетического фактора. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1098–1111. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1098-1111>

Поступила: 27.03.2025

Принята к публикации: 15.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Limitations on the use of genealogical lines in Holstein cattle as a genetic factor

© 2025. Georgiy A. Lihodeevskiy✉, Polina S. Bogatova, Oksana E. Lihodeevskaya
Ural State Agricultural University, Ekaterinburg, Russian Federation

In modern dairy farming, genealogical lines are traditionally used to predict productivity, but their effectiveness remains controversial. In this work, based on the analysis of 38 scientific publications (2012–2024) and original data from 762 Holstein cows in the Sverdlovsk region (Russia), there has been studied the relationship between lineage affiliation of the most common Wis Burke Ideal (WBI) and Reflection Sovereign (RS) lines and milk productivity indicators (milk yield over 305 days of the first lactation, fat and protein percentage in the milk). Analysis of scientific sources showed that only eight out of thirty-eight studies were noted by statistically significant differences, while the results concerning differences in productivity indicators among different lines were not conclusive. Statistical analysis of the original data (Shapiro-Wilk test, Mann-Whitney U-test) revealed non-normal distribution and limited significance of differences between lines in terms of productivity indicators. Line purity of bulls whose semen is used in the region has been lost by the third generation already. Genetic analysis made it possible to reconstruct genealogical connections and demonstrated interline mixing in breeding stock, specifically, 40 % of kinship relationships turned out to be inter-lineage. Evaluation of genetic differentiation (F_{ST}) indicated no difference between WBI and RS lines, whereas genealogical communities within the population exhibited greater genetic distinctiveness. The results prove that genealogical lines cannot serve as reliable tools for predicting productivity due to insufficient statistical significance, high degree of mixing, and lack of genetic uniqueness. According to the research results, it is recommended to take the transition to genomic selection methods that consider individual genetic markers rather than lineage affiliation.

Keywords: *milk productivity, mixing of lines, genetic differentiation, breeding, DNA microarray*

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Scientific Foundation (RSF) grant No. 23-26-00260 (<https://rscf.ru/project/23-26-00260/>).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Lihodeevskiy G. A., Bogatova P. S., Lihodeevskaya O. E. Limitations on the use of genealogical lines in Holstein cattle as a genetic factor. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(5):1098–1111. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1098-1111>

Received: 27.03.2025

Accepted for publication: 15.10.2025

Published online: 31.10.2025

Современное животноводство, в частности разведение молочного крупного рогатого скота, основывается на генетических данных. Широкое распространение получили технологии ДНК-биочипов и секвенирования, которые позволяют не только выявлять новые локусы хозяйственно полезных признаков, но и могут быть использованы в качестве тестирования поголовья на наличие ранее описанных локусов количественных признаков (QTL), маркеров и мутаций. Связывая фенотипические данные, такие как показатели удою, жирно- и белково-молочность, набор массы, продолжительность лактации, фертильность, устойчивость к заболеваниям, климатическим факторам с результатами генотипирования мы получаем мощный предиктивный инструмент. В ходе развития сельского хозяйства селекционеры использовали различные характеристики родительских форм с целью предсказания характеристики потомков. До сих пор в научных работах для оценки генетического потенциала крупного рогатого скота применяются генеалогические данные, в частности линейная принадлежность. Когда-то это был полезный инструмент, позволяющий разделять особей внутри одной породы, например, по показателям продуктивности, каркасным характеристикам и т. д.

Для краткого обзора в нашей работе рассмотрены результаты исследований с 2012 по 2024 год, в которых изучались различия в показателях продуктивности голштинизированного чёрно-пёстрого и/или голштинского скота, а именно удои, массовая доля жира (МДЖ) и массовая доля белка (МДБ) за первую лактацию с поправкой на 305 дней (табл. 1). В стадах различных регионов России и Казахстана преобладают потомки линий Вис Бек Айдиал (ВБА) и Рефлекшен Соверинг (РС); линии Монтвик Чифтейн (МЧ) и Пабст Говернер (ПГ) составляют меньшинство или вовсе отсутствуют. На линии ВБА и РС приходится большинство особей в стадах от 58,1 до 100 %.

Ни в одной из работ в явном виде не указывается, была ли проведена проверка нормальности распределения изучаемых показателей продуктивности. Из 38 публикаций статистически достоверная разница между линиями отмечена в 8 работах. По удою за 305 дней первой лактации в 21 случае преобладают коровы линии ВБА, в 15 – линии РС, при том, что статистически значимая разница отмечена в 3 и 2 случаях соответственно. Показатели массовой доли жира и белка, аналогично, имеют весьма слабую зависимость от линии. Так, в 18 источниках показатели МДЖ у линии Вис Бек Айдиал превышают показатели линии Рефлекшен Соверинг и в 16 источниках, наоборот. Массовая доля белка отличается в большую сторону у потомков линии ВБА в 12 случаях, в 8 – у потомков линии Рефлекшен Соверинг. В трёх работах [10, 11, 17], где представлена продуктивность в зависимости от линии, у группы матерей и их дочерей высокими показателями могли отличаться, например, матери линии ВБА, а их дочери, наоборот, уступали группе дочерей линии РС. Также не прослеживается однозначное преимущество одной линии над другой по регионам – в Свердловской области чаще оказываются более продуктивными коровы линии РС, в Республике Марий Эл – линии ВБА, однако в Орловской области, Красноярском крае или Костанайской области нет преобладания какой-либо линии.

Мы полагаем, что использование генеалогических линий голштинского скота для оценки продуктивности дочерей имеет ряд недостатков, ограничений и не имеет прогностической силы.

Цель исследований – изучить связь между линейной принадлежностью наиболее распространённых линий голштинской породы крупного рогатого скота и показателями молочной продуктивности; обосновать причины, по которым генеалогические линии не могут служить надёжным инструментом прогнозирования продуктивности.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов сравнения генеалогических линий голштинского скота по показателям продуктивности за 305 дней первой лактации /
Table 1 – Summary table of comparison results for Holstein genealogical lines according to productivity indicators over 305 days of the first lactation

Линия / Line	Удой, кг / Yield, kg	МДЖ, % / FР, %	МДБ, % / РР, %	Число голов / Number of heads	Страна, Округ / Country and Federal districts	Регион / Region	Источник / Literature
1	2	3	4	5	6	7	8
ВБА/РС / WBI/RS	8015±109,83/7579±108,00*	3,83±0,02/3,85±0,01	3,20±0,01/3,20±0,01	43/98	РФ, Южный / Russian Federation, Southern	Волгоградская область / Volgograd Oblast	1
ВБА/РС / WBI/RS	7676,5±214,73/10,6±264	3,65±0,01/3,69±0,03	3,21±0,01/3,22±0,015	34/41			2
ВБА/РС / WBI/RS	5866,7±84,6/5585,5±169,4	4,02±0,08/4,03±0,08	3,10±0,03/3,11±0,07	20/20	Курская область / Kursk Oblast	Курская область / Kursk Oblast	3
ВБА/РС / WBI/RS	8184±85,17/7238±95,00	4,13±0,02/4,23±0,027	3,15±0,009/3,21±0,009	331/258			4
ВБА/РС / WBI/RS	8354±1287/8246±1296	4,29±0,42/4,31±0,42	3,38±0,25/3,35±0,24	520/466	Московская область / Moscow Oblast	Московская область / Moscow Oblast	5
ВБА/РС / WBI/RS	6574,8±324,63/6811,69±204,06	4,36±0,09/4,20±0,06	3,41±0,03/3,29±0,03*	15/36			6
ВБА/РС / WBI/RS	7442/7061*	4,45/3,99*	3,37/3,12	-"	РФ, Центральный / Russian Federation, Central	Орловская область / Orlov Oblast	7
ВБА/РС / WBI/RS	8390±154/8332±158	3,98±0,10/3,94±0,01	3,28±0,004/3,28±0,002	93/66			8
ВБА/РС / WBI/RS	9072,3/8358,2	3,95±0,02/3,96±0,02	3,28±0,004/3,28±0,003	20/20			9
ВБА/РС / WBI/RS	8171±56/8172±59	3,93±0,02/3,84±0,02	3,34±0,01/3,30±0,01	425/351			10
ВБА/РС / WBI/RS	8514±49/8621±64	3,81±0,02/3,81±0,02	3,23±0,01/3,24±0,01	425/351			11
ВБА/РС / WBI/RS	7140/7028	3,77/3,78	3,19/3,23	168/286	Рязанская область / Ryazan Oblast	Рязанская область / Ryazan Oblast	12
ВБА/РС / WBI/RS	7064/7525	3,89/3,86	3,19/3,23	168/286			13
ВБА/РС / WBI/RS	6274±24/6520±31	3,94±0,00/3,90±0,01	3,35±0,01/3,33±0,01	211/200	Ярославская область / Yaroslavl Oblast	Ярославская область / Yaroslavl Oblast	14
ВБА/РС / WBI/RS	9911±234/9759±37	3,82±0,01/3,81±0,01	3,31±0,01/3,31±0,01	1922/1470			15
ВБА/РС / WBI/RS	8389,6±49/8274,3±47,5	3,87±0,01/3,84±0,01	3,31±0,01/3,31±0,01	3638/3811	Вологодская область / Vologda Oblast	Вологодская область / Vologda Oblast	16
ВБА/РС / WBI/RS	10253,1±130,5/10046,4±98,1	3,64±0,02/3,54±0,02	3,40±0,02/3,37±0,02	102/263			17
ВБА/РС / WBI/RS	7969,1±164,7/7741,2±126,6	3,79±0,03/3,96±0,03	3,15±0,01/3,15±0,02	69/71	Ленинградская область / Leningrad Oblast	Ленинградская область / Leningrad Oblast	18
ВБА/РС / WBI/RS	8762,44±86,56/8615,00±173,29	4,04±0,02/4,01±0,03	3,22±0,01/3,27±0,02	218/51			19
ВБА/РС / WBI/RS	8262,38±52,08/8446,78±118,89	3,80±0,02/3,84±0,04	3,39±0,11/3,32±0,02	218/51	РФ, Северо-Кавказский / Russian Federation, North Caucasian	Кабардино-Балкарская Республика / Kabardino-Balkarian Republic	20
ВБА/РС / WBI/RS	8627±195/8495±191	3,72±0,02/3,76±0,02	3,17±0,01/3,20±0,01*	50/42			19
ВБА/РС / WBI/RS	6737±20/6691±26	3,82±0,00/3,81±0,00	3,16±0,00/3,16±0,00	2695/1789	РФ, Приволжский / Russian Federation, Volga	Республика Марий Эл / Mari El Republic	20
ВБА/РС / WBI/RS	7260±21/7170±26*	3,81±0,00/3,82±0,002*	3,16±0,00/3,17±0,001	1839/1180			20

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
ВБА/РС / WBI/RS	7086±65/6691±54	3,82±0,009/3,78±0,007	3,18±0,005/3,17±0,004	386/695	РФ, Приволжский / Russian Federation, Volga	Республика Татарстан / Republic of Tatarstan	21
ВБА/РС / WBI/RS	7353±162/7413±139	3,71±0,01/3,73±0,01	-	-		Нижегородская область / Nizhny Novgorod Oblast	22
ВБА/РС / WBI/RS	4874±76,7/5198±76,8	3,92±0,03/3,92±0,03	-	165/132		Самарская область / Samara Oblast	23
ВБА/РС / WBI/RS	5702±108/5444±123	4,03±0,019/3,90±0,024*	-	66/50		Ульяновская область / Ulyanovsk Oblast	24
ВБА/РС / WBI/RS	8528,5±234,10/8379,2±187,28	3,96±0,028/4,08±0,035	3,17±0,01/3,19±0,01	187/243		Удмуртская Республика / Udmurt Republic	25
ВБА/РС / WBI/RS	6160,8±75,32/6479,2±70,92	4,04±0,014/4,05±0,013	3,11±0,005/3,11±0,004	226/214	РФ, Уральский / Russian Federation, Ural	Тюменская область / Tyumen Oblast	26
ВБА/РС / WBI/RS	3887±486,5/4127±367,9	3,73±0,08/4,12±0,03	3,33±0,02/3,34±0,03	36/35		Свердловская область / Sverdlovsk Oblast	27
ВБА/РС / WBI/RS	5887±486,5/6127±367,9	3,73±0,08/4,12±0,03	-	36/35			28
ВБА/РС / WBI/RS	9854±352,12/10244±627,52	3,81±0,03/3,70±0,02	3,14±0,01/3,04±0,01	-			29
ВБА/РС / WBI/RS	6725/6240	3,98/4,07	-	15/15		Челябинская область / Chelyabinsk Oblast	30
ВБА/РС / WBI/RS	5858,5±14,8/6004,4±21,1	3,75±0,03/3,74±0,02	2,86±0,01/2,84±0,01	50/50	РФ, Сибирский / Russian Federation, Siberian	Красноярский край / Krasnoyarsk Krai	31
ВБА/РС / WBI/RS	4560,3±95,3/4583,3±110,6	3,73±0,026/3,71±0,033	3,05±0,023/3,03±0,016	-			32
ВБА/РС / WBI/RS	6578,60±207,11/6178,82±150,16	3,85±0,02/3,86±0,02	2,95±0,03/3,00±0,02	15/15			33
ВБА/РС / WBI/RS	6070±192/6732±195*	3,85±0,03*/3,74±0,02*	3,07±0,01/3,07±0,01	50/50		Кемеровская область / Kemerovo Oblast	34
ВБА/РС / WBI/RS	4960±99/5186±81	3,78±0,01/3,77±0,01	-	130/227		Новосибирская область / Novosibirsk Oblast	35
ВБА/РС / WBI/RS	7652±256,1/8340±190,3*	3,95±0,04/3,86±0,02	3,28±0,01/3,26±0,01	25/25	Республика Казахстан / Republic of Kazakhstan	Костанайская область / Kostanay Region	36
ВБА/РС / WBI/RS	5288±92/5632±165	3,7±0,04/3,6±0,08	2,9±0,03/2,8±0,06	30/30			37
ВБА/РС / WBI/RS	7751,78±548,59/7587,38±242,74	3,44±0,08/3,35±0,05	3,29±0,09/3,13±0,04	-			38

Примечания: ВБА – Вис Бэк Айдиал; РС – Рефлексин Соверинг. * авторы отмечают значимость различий по результатам проверки статистическими тестами.

Данные представлены как среднее±стандартная ошибка, реже среднее±стандартное отклонение.

Notes: WBI – Wis Burke Ideal; RS – Reflection Sovereign. * the authors note the significance of the differences, based on the results of verification by statistical tests.

The data are presented as the average±standard error, less often the average±standard deviation.

Для достижения поставленной цели были определены следующие *задачи*: анализ отечественных научных работ, посвященных взаимосвязи генеалогических линий с показателями продуктивности; оценка зависимости показателей продуктивности от генеалогических линий у молочного скота в Свердловской области; анализ чистоты исследуемых генеалогических линий быков-производителей.

Научная новизна – использование данных генотипирования ранее не применялось для восстановления сложных (вертикальных и горизонтальных) генеалогических связей внутри популяции молочного скота Свердловской области и оценки межлинейных скрещиваний.

Материал и методы. Данные по генотипам крупного рогатого скота взяты из закрытой базы генетических данных Уральского государственного аграрного университета, насчитывающей 41441 однонуклеотидный полиморфизм для 762 образцов маточного поголовья 2008–2022 гг. рождения из 6 сельскохозяйственных организаций Свердловской области. Информация об удое, массовой доле жира и белка за 305 дней первой лактации, кличке, инвентарном номере и генеалогической линии отца из базы данных СЕЛЭКС была запрошена в сельскохозяйственных организациях Свердловской области и предоставлена шестью из них. Генеалогические линии отцов были восстановлены с помощью ресурса <https://быки.рф/>¹.

Анализ данных проводили в среде программирования R. Для оценки достоверных различий показателей продуктивности в зависимости от линейной принадлежности, в первую очередь, проверяли нормальность распределения данных по тесту Шапиро-Уилка – функция `shapiro.test`. Достоверность различий между линиями оценивали с помощью непараметрического теста U-критерий Манна-Уитни в модификации Краскела-Уоллиса для сравнения более чем двух групп – `kruskal.test`.

Родственные связи между особями маточного поголовья восстанавливали по данным генотипирования с помощью программного обеспечения KING [39]. Визуализация сети родственных связей и выявление кластеров внутри сети (алгоритм предложен Blondel et al., 2008 [40]) проведены в программном обеспечении Gephi [41].

Результаты и их обсуждение. Всего для анализа было доступно 762 образца с полными данными по удою, массовой доле жира, белка и их линейной принадлежности из 6 сельскохозяйственных организаций. В первую очередь стоит отметить, что данные распределены ненормальным образом (рис. 1), проверка с помощью теста Шапиро-Уилка в общем по поголовью и внутри линейных групп показывает значимое отклонение от нормального распределения удоя, МДЖ и МДБ. Для определения достоверности различий между группами был использован U-критерий Манна-Уитни.

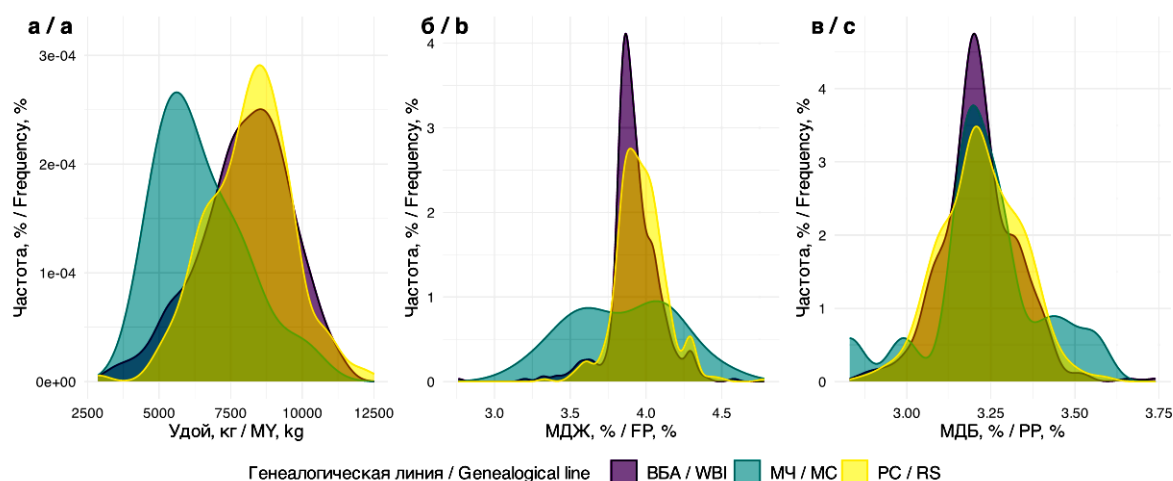


Рис. 1. Распределение показателей продуктивности за 305 дней первой лактации между линиями голштинского скота: В5А – Вис Бэк Айдиал, РС – Рефлекшен Соверинг, М4 – Монтвик Чифтейн; а – удой, б – массовая доля жира, в – массовая доля белка /

Fig. 1. Distribution of productivity indicators for 305 days of the first lactation between the Holstein lines: WBI – Wis Burke Ideal, RS – Reflection Sovereign and MC – Montvic Chieftain lines; а – yield, б – fat percentage, с – protein percentage

¹Быки России: каталог быков. [Электронный ресурс].

URL: <https://быки.рф/bulls/list> (дата обращения: 01.03.2025)

В выборку вошли особи с 2008 по 2022 год рождения и были проведены оценки зависимости продуктивности от линейной принадлежности как в общем, так и с разбиением на поколенческие группы: 2008–2011 гг., 2012–2014 гг., 2015–2017 гг., 2018–2020 гг. и 2021–2022 гг. (табл. 2). Из-за малого числа наблюдений в выборке из анализа были удалены особи линии Монтвик Чифтейн и достоверность различий оценивали между линейными группами Вис Бэк Айдиал и Рефлекшен Соверинг. В группе особей с 2008 по 2022 г. статисти-

чески значимые различия обнаружены для показателя МДЖ – 3,92 и 3,97 % ВБА и РС соответственно. При сравнении групп достоверные различия выявлены в поколениях 2018–2020 гг. по МДЖ и в поколениях 2015–2017 гг. и 2021–2022 гг. по удою, по обоим показателям преимущество имеет линия РС. Отсутствует преобладание одной линии над другой из поколения в поколение. Показатели удоя между линиями ВБА и РС в трёх поколенческих группах не различаются, а МДЖ незначимо преобладает то в одной линии, то в другой.

Таблица 2 – Показатели молочной продуктивности линий голштинского скота за 305 дней первой лактации /
Table 2 – Indicators of milk productivity of the Holstein lines for 305 days of the first lactation

Линия / Line	N	Удой, кг / Yield, kg $\bar{X} \pm sd$	МДЖ, % / FP, % $\bar{X} \pm sd$	МДБ, % / PP, % $\bar{X} \pm sd$
2008–2022 гг.				
ВБА / WBI	383	7992,8±1602,45	3,92±0,172***	3,22±0,114
РС / RS	364	8151,8±1476,88	3,97±0,164***	3,22±0,120
МЧ / MC	15	6443,1±1510,28	3,84±0,346	3,23±0,177
2008–2011 гг.				
ВБА / WBI	25	5577,7±1507,99	3,88±0,295	3,08±0,157
РС / RS	14	5600,3±1520,76	4,02±0,168	3,03±0,096
МЧ / MC	4	6285±1883,31	3,61±0,119	3,08±0,203
2012–2014 гг.				
ВБА / WBI	61	6974,8±1752,90	3,96±0,302	3,19±0,117
РС / RS	74	7283,2±1427,12	4,05±0,241	3,18±0,113
МЧ / MC	9	6098,2±969,05	3,91±0,398	3,31±0,140
2015–2017 гг.				
ВБА / WBI	20	8028,2±1098,11*	3,98±0,101	3,20±0,138
РС / RS	32	8975,7±1405,68*	3,96±0,110	3,21±0,089
МЧ / MC	1	9989	4,16	3,17
2018–2020 гг.				
ВБА / WBI	271	8471,3±1269,85	3,91±0,110***	3,23±0,095
РС / RS	209	8573,5±1208,36	3,95±0,111***	3,23±0,107
МЧ / MC	1	6634	3,85	3,18
2021–2022 гг.				
ВБА / WBI	6	6674±658,79*	3,96±0,158	3,39±0,075
РС / RS	35	7737,8±1031,83*	3,90±0,198	3,34±0,104
МЧ / MC	0	-	-	-

* Показаны достоверные различия между линиями при $p < 0,05$; ***– $p < 0,001$; ВБА – Вис Бэк Айдиал, МЧ – Монтвик Чифтейн, РС – Рефлекшен Соверинг /

* Significant differences between the lines are shown $p < 0,05$; ***– $p < 0,001$; WBI is Wis Burke Ideal, MC is Montvic Chieftain, RS is Reflection Sovereign.

Чистотой линейности быков-производителей на сегодняшний день также вызывает сомнения. Бык и корова относятся к линии отца, даже в том случае, если их мать принадлежит другой линии. За время, прошедшее с момента рождения основателей линий, прошло более 80 лет, за этот период происходило множество скрещиваний особей разных линий между собой.

В наших данных всего было выявлено 136 отцов; восстановить линейную принадлежность предков до 4-го колена удалось для 102 особей. У 41 быка-производителя отец и мать принадлежат общей линии и лишь у 1 быка – предки предков находятся внутри общей линии. Чистотой линейности быков утрачивается к третьему поколению.

Использование генетических данных позволило восстановить сложную генеалогическую структуру, включающую вертикальные и горизонтальные связи, внутри исследованной группы животных (рис. 2). С помощью программного обеспечения KING выявлено 20344 генеалогические связи: 25 – Родитель-Потомок; 857 – первой степени родства, включающей сибсов; 19462 – второй степени родства, в которую входят полусибсы, бабушки-внуки. Всего

в сети было определено 11948 внутрилинейных и 8396 межлинейных связей, на уровне Родитель-Потомок внутрилинейных связей – 11 (3 ВБА-ВБА и 8 РС-РС), межлинейных связей – 14 ВБА-РС. Более 40 % родственных связей объединяют друг с другом особей разных линий (рис. 3). Число связей между группами ВБА и РС чуть больше, чем внутри группы ВБА и почти в два раза больше, чем внутри РС.

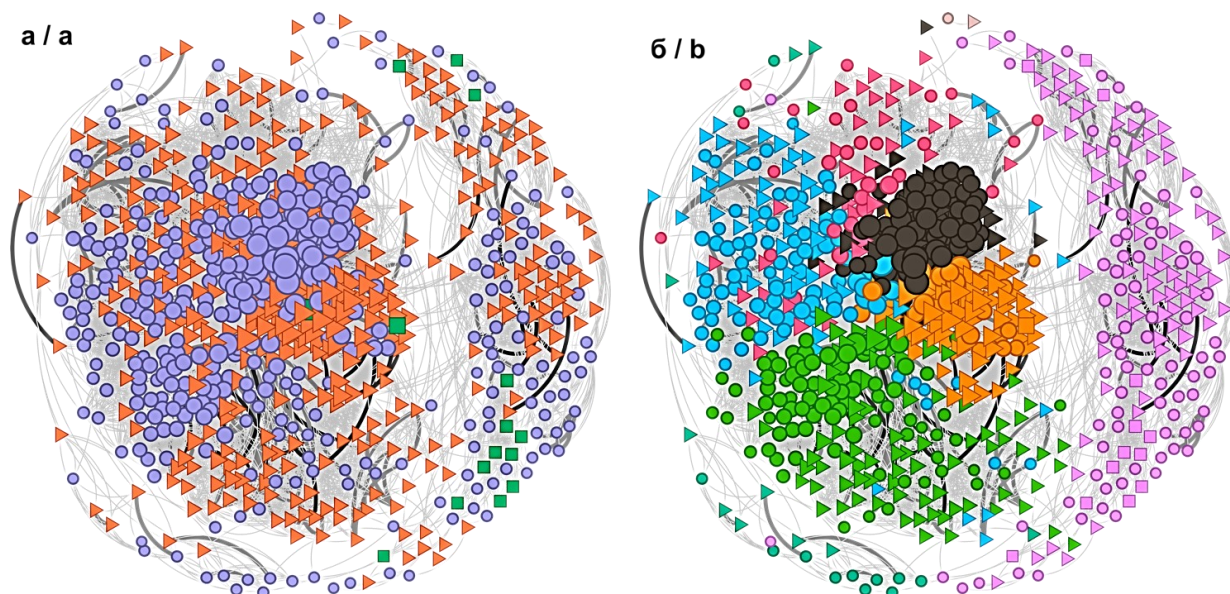


Рис. 2. Сеть, отображающая родственные связи между исследованными особями маточного поголовья крупного рогатого скота Свердловской области. Каждая точка обозначает особь, форма – принадлежность линии: круг – линия Вис Бэк Айдиал; треугольник – Рефлекшен Соверинг; квадрат – Монтвик Чифтейн. Родственные связи между особями обозначены кривыми линиями, цвет и толщина линии показывает степень родства: темно-серые толстые – Родитель-Потомок; серые – Первая степень; тонкие светло-серые – Вторая степень; а – цвет точки соответствует генеалогической линии: сиреневый – Вис Бэк Айдиал; оранжевый – Рефлекшен Соверинг; зеленый – Монтвик Чифтейн; б – цвета точек соответствуют выявленному сообществу /

Fig. 2. Network showing the kinship relationships between the studied individuals of the cattle breeding stock of the Sverdlovsk region. Each dot denotes an individual, and the shape is a line belonging to it: a circle is a Wis Burke Ideal; a triangle is a Reflection Sovereign; a square is a Montvic Chieftain. The relationships between individuals are indicated by curved lines, the color of the line and the thickness show the degree of kinship: dark gray thick lines – Parent-Offspring; gray lines – First relationship degree; thin light gray – Second relationship degree; а – the color of the dot corresponds to the genealogical line: lilac is the line of the Wis Burke Ideal; orange is Reflection Sovereign; green is Montvic Chieftain; б – the colors of the dots correspond to the identified community

Оценка модулярности показала наличие внутри сети 8 сообществ (рис. 2, б), а само значение модулярности для исследуемой сети равно 0,466. Большинство биологических, социальных и технологических сетей имеют модулярность в диапазоне 0,3–0,7, а значения, близкие к 0,5, указывают на сильно выраженную модульную структуру [42, 43, 44]. В контексте рассматриваемого маточного поголовья сообщества могут соответствовать отдельным близкородственным группам. При этом группы

напрямую не соответствуют отдельным хозяйствам, а напротив, внутри одного сообщества могут встречаться особи из разных хозяйств и, наоборот, в одном хозяйстве может встречаться несколько сообществ (табл. 3).

В выявленных сообществах число потомков линий ВБА и РС находится в соотношении 1:1, но значимо от равного разделения по линиям отличаются только два с преобладанием особей одной или другой линии, оценка значимости различий проведена методом хи-квадрат (табл. 4).

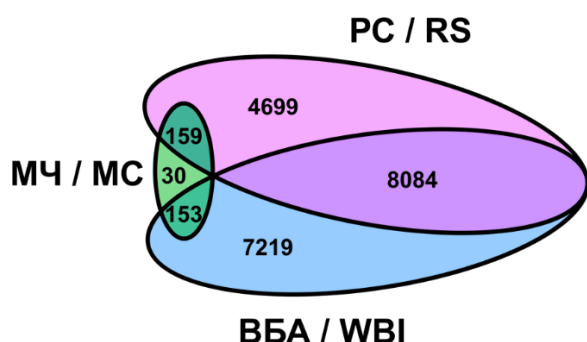


Рис. 3. Диаграмма Венна с числом связей в сети внутри и между генеалогическими линиями голштинского скота: ВБА – Вис Бэк Айдиал; МЧ – Монтвик Чифтейн; РС – Рефлекшен Соверинг /

Fig. 3. Venn diagram with the number of relationships in the network within and between Holstein genealogical lines: WBI is Wis Burke Ideal; MC is Montvic Chieftain; RS is Reflection Sovereign

Таблица 3 – Число особей в выявленных сообществах крупного рогатого скота, принадлежащих различным хозяйственным организациям /

Table 3 – The number of individuals in the identified communities of dairy cattle belonging to different farms

Сообщество / Community	Хозяйство / Farm					
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	2	0	0
2	1	1	2	18	0	0
3	45	28	32	23	46	0
4	0	50	0	0	80	35
5	0	72	0	0	13	2
6	0	101	0	0	0	5
7	0	62	0	0	1	0
8	0	136	0	0	6	1

Таблица 4 – Число особей различных генеалогических линий голштинского скота в выявленных сообществах /

Table 4 – The number of individuals of different Holstein genealogical lines in the identified communities

Сообщество / Community	Линия / Line		
	ВБА / WBI	МЧ / MC	РС / RS
1	1	0	1
2	12	0	10
3	80	13	81
4	85	0	80
5*	23	2	62
6*	73	0	33
7	28	0	35
8	81	0	62

* Показаны достоверные различия между наблюдаемыми и ожидаемым распределением представителей линий внутри сообществ при $p < 0,05$ /

* Significant differences between the observed and expected distribution of line representatives within communities are demonstrated at $p < 0.05$

Мы также провели расчёт генетической дифференциации (F_{ST}) между группами особей, принадлежащих разным линиям и разным сообществам (рис. 4). Генетических различий между маточным поголовьем линий Вис Бэк Айдиал и Рефлекшен Соверинг не выявлено, а различия с особями линии Монтвик Чифтейн легко объяснить малым размером последней группы. Генетическая дифференциация между особями разных выявленных сообществ для некоторых сравниваемых пар значительно

выше, чем между линиями. Высокие значения F_{ST} для сообществ 1 и 2 можно объяснить малым размером в первом случае и преимущественно возрастными особями во втором (табл. 5).

В сообществах с 4-го по 8-ой, которые более всего сбалансированы по числу образцов вообще и с разбиением по поколениям в частности, наименьшее значение F_{ST} , равное 0,02, отмечено для пар 4–7, 4–8 и 7–8, а наибольшее 0,07 – для пары 5–6.

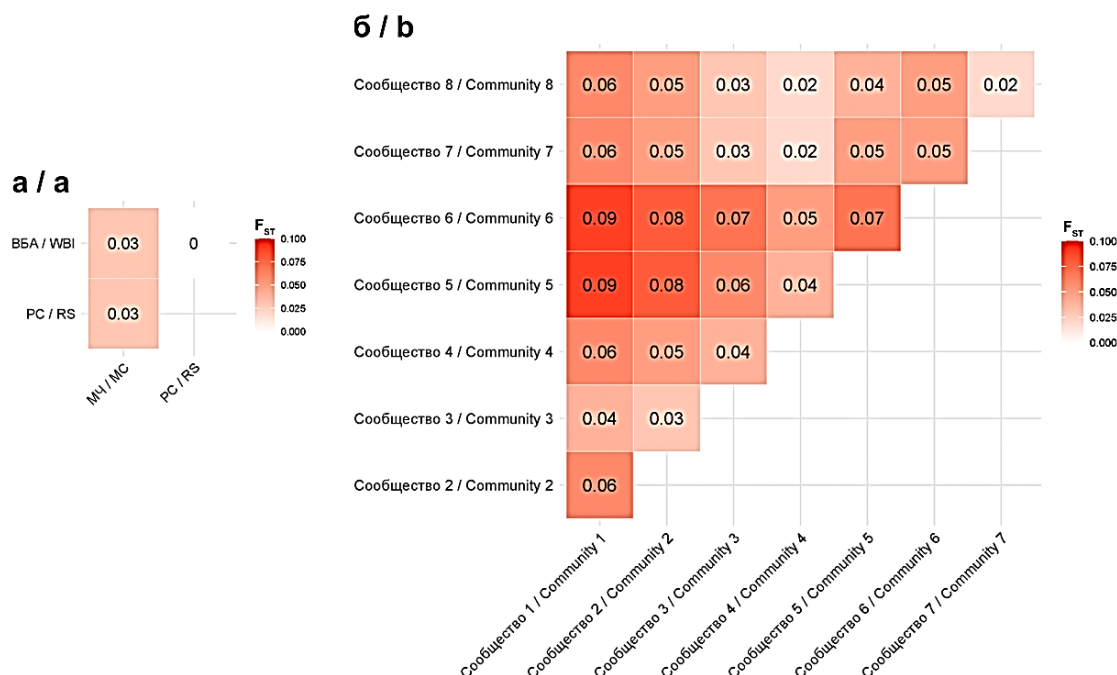


Рис. 4. Результат оценки генетической дифференциации (F_{ST}): а – для групп маточного поголовья крупного рогатого скота в зависимости от линейной принадлежности; б – в зависимости от выявленных сообществ /

Fig. 4. The result of the F_{ST} assessment: а – for groups of cattle breeding stock, depending on the linear affiliation; б – depending on the identified communities

Таблица 5 – Число особей в выявленных сообществах, принадлежащих различным поколениям маточного поголовья крупного рогатого скота /
Table 5 – Number of individuals in identified communities belonging to different generations of cattle breeding stock

Сообщество / Community	Поколенческая группа / Generational group				
	2007–2011 гг.	2012–2014 гг.	2015–2017 гг.	2018–2020 гг.	2021–2022 гг.
1	0	2	0	0	0
2	0	21	1	0	0
3	43	120	11	0	0
4	0	0	24	106	35
5	0	0	2	80	5
6	0	1	3	102	0
7	0	0	2	61	0
8	0	0	10	132	1

Заклучение. В результате анализа научных источников установлено, что наиболее распространённые генеалогические линии голштинского скота Вис Бэк Айдиал и Рефлекшен Соверинг преобладают одна над другой с равной вероятностью, а достоверность различий в показателях продуктивности дойных коров подтверждена статистическими тестами в 8 из 38 работ. Во многих работах не объясняются причины использования параметри-

ческого t-теста Стьюдента, в то время как данный тест обладает наибольшей мощностью при оценке данных, распределённых в соответствии с нормальным законом; в противном случае его применение может привести к некорректным выводам.

В наших данных показатели продуктивности распределены ненормальным образом, следовательно, для сравнения линий между собой был использован непараметрический

U-критерий Манна-Уитни. Достоверную разницу получили для показателей удою в двух поколенческих группах, массовой доли жира в одной поколенческой группе и в общем по поголовью. В то же время разница между линиями отсутствовала по удою в трёх из пяти и по МДЖ в четырёх из пяти поколений маточного поголовья.

Чистота генеалогических линий отсутствует уже к третьему поколению предков. В исследованном поголовье у 41 быка Отец и Мать принадлежали общей линии, и только у одного быка предки предков были внутри общей линии. В группе быков-производителей выявлено активное межлинейное скрещивание,

что неизбежно ведёт к размыванию различий между линиями.

Данные генотипирования возможно использовать для восстановления родственных генеалогических связей. В сети родственных отношений возможно выделение сообществ, которые не в полной мере согласуются с линейной принадлежностью. Оценка F_{ST} демонстрирует, что между особями линий ВСА и РС генетические различия отсутствуют; высокие показатели F_{ST} между сообществами, полученными в ходе оценки модулярности сети родственных связей поголовья, могут свидетельствовать в пользу существования в популяции отдельных близкородственных групп.

Список литературы

1. Ранделин А. В., Кайдулина А. А., Бармина Т. Н., Суркова С. А. Молочная продуктивность коров датской селекции разной линейной принадлежности. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2018;2(50):241–244. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36600009> EDN: YQTCFF
2. Коханов М. А., Злепкин В. А., Коханов А. П., Фролова Н. М., Воронцова Е. С., Фролов Р. В., Коробкин Т. А. Использование внутрилинейного подбора в стадах голштинского скота. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2023;(3):267–275. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-03-27> EDN: FYDQIC
3. Самбуров Н. В., Астахова Н. И., Лебедько Е. Я. Сравнительная характеристика голштинских коров разной линейной принадлежности. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(4):111–114. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35017271> EDN: XPAROX
4. Усова Т. П., Чесноков Д. В. Молочная продуктивность коров в зависимости от линейной принадлежности. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021;(2):101–105. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46151213> EDN: NKKUTZ
5. Зибров А. М., Кривикова А. Н., Лепёхина Т. В. Молочная продуктивность и физико-химический состав молока у коров голштинской породы разных линий за ряд лактаций. Международный научно-исследовательский журнал. 2022;(6-5(120)):58–62. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.120.6.103> EDN: DUGSVW
6. Черемуха Е. Г., Вахрамова О. Г., Бузина О. В. Влияние линейной принадлежности на долголетие и молочную продуктивность коров. Вестник КрасГАУ. 2022;(10):109–116. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-109-116> EDN: YBTCZI
7. Мкртчян Г. В., Богданова Т. В., Бакай Ф. Р. Использование голштинской породы для улучшения популяции черно-пестрого скота в Московской области. Международный научно-исследовательский журнал. 2021;(11-1(113)):148–154. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.113.11.028> EDN: FNIQDU
8. Харитонов А. С. Продуктивные особенности коров разных линий. Вестник аграрной науки. 2020;(5):177–182. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.5.177> EDN: NCILVZ
9. Харитонов А. С. Продуктивные и воспроизводительные особенности коров разных линий. Вестник аграрной науки. 2022;(3):177–183. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.3.177> EDN: WFZCAT
10. Шендаков А. И. Генеалогическая структура и продуктивность стада голштинского скота в ЗАО «Славянское» Орловской области. Вестник аграрной науки. 2023;(1):49–55. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.1.49> EDN: IVGNRH
11. Шендаков А. И. Голштинские линии в селекции чёрно-пёстрой породы молочного скота. Биология в сельском хозяйстве. 2021;(3):6–9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46592400> EDN: DOFBRJ
12. Федосеева Н. А., Усов В. П., Шепинев Д. А. Сравнительная характеристика линий голштинского происхождения коров черно-пестрой породы по молочной продуктивности. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020;(1):151–155. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42652512> EDN: XIFMTB
13. Фураева Н. С., Зверева Е. А., Воробьёва С. С., Финогеев В. П., Подгорнова Н. Г. Влияние генетических факторов на молочную продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинской породы в ООО «Красный маяк». Вестник АПК Верхневолжья. 2023;(4(64)):74–83. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.64.4.010> EDN: CZRPGV
14. Хромова О. Л., Абрамова Н. И., Селимян М. О., Зенкова Н. В. Перспективные генеалогические ветви в основных линиях популяции голштинизированного черно-пестрого скота Вологодской области. Молочнохозяйственный вестник. 2024;(2):98–112. DOI: https://doi.org/10.52231/2225-4269_2024_2_98 EDN: BJQFQV

15. Путинцева С. В., Сафронов С. Л. Сравнительный анализ молочной продуктивности коров-первотелок голштинской породы разного происхождения. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023;(2):87–94. DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2023-2-87-94> EDN: BWYXRN
16. Беляева К. А., Берелет Т. Ю., Лескинен Л. М. Молочная продуктивность коров-первотелок разных линий. Мат-лы 77-й междунаrodn. научн. конф. молодых ученых и студентов СПбГУВМ, посвящ. 80-летию прорыва блокады Ленинграда. СПб: Санкт-Петербургский ГУВМ, 2023. С. 19–21. DOI: <https://doi.org/10.52419/3006-2023-3>
17. Гриценко С. А., Хакназаров А. А., Ребезов М. Б. Продуктивные качества коров голштинской породы различных поколений, возраста в лактациях и линейной принадлежности. Аграрная наука. 2023;(3):74–79. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-74-79> EDN: ZVEMSL
18. Абдулхаликов Р. З., Тарчоков Т. Т., Айсанов З. М., Тлейншева М. Г., Хасанова З. С. Продуктивные особенности голштинских коров при внутрилинейном подборе, и реципрокном кроссе линий. Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022;3(37):45–57. DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2022-3-37-45-57> EDN: VDIQEU
19. Титова С. В., Забиякин В. А. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров черно-пестрой породы разной линейной принадлежности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):434–442. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.434-442> EDN: DRBPBX
20. Титова С. В. Сравнительная оценка коров разной линейной принадлежности по их продуктивности и воспроизводительным качествам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):889–898. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.889-898> EDN: UOFDFU
21. Шайдуллин Р. Р., Харисова Ч. А., Ахметов Т. М., Тенлибаева А. С. Молочная продуктивность коров, происходящих из перспективных ветвей голштинской породы. Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2023;(2):52–56. DOI: <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-52-56> EDN: ZJRYJS
22. Катков А. В., Сафронов С. Л., Басонов О. А. Сравнительная характеристика продуктивных качеств коров черно-пестрой породы разных регионов России. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017;(47):85–91. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29757895> EDN: ZBEZOF
23. Грашин В. А., Грашин А. А. Совершенствование племенных и продуктивных качеств животных Самарского типа чёрно-пёстрой породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012;(2(34)):106–109. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17738142> EDN: NLJASB
24. Малышев И. А., Катмаков П. С., Бушов А. В. Продуктивные качества потомков быков-производителей разных линий. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023;(1(61)):135–142. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-1-135-142> EDN: QHLMAY
25. Любимов А. И., Мартынова Е. Н., Ачкасова Е. В., Азимова Г. В., Ястребова Е. А. Молочная продуктивность коров разных ветвей основных линий голштинской породы. Пермский аграрный вестник. 2021;2(34):69–76. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_34_69 EDN: BCSSIA
26. Никифорова А. О. Влияние линейной принадлежности коров на долголетие и продуктивные способности. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024;(4(80)):133–141. DOI: https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_4_133-141 EDN: ZLWHKW
27. Лоретц О. Г., Горелик О. В. Влияние генотипа на молочную продуктивность. Аграрный вестник Урала. 2015;(10(140)):29–34. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24852852> EDN: UXWFTF
28. Горелик О. В., Федосеева Н. А., Кныш И. В. Молочная продуктивность коров голштинских линий черно-пестрого скота. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019;(56):99–105. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41172129> EDN: AEPFHW
29. Файзуллин П. В., Горелик О. В. Молочная продуктивность коров чёрно-пёстрой породы в зависимости от линейной принадлежности. Биология в сельском хозяйстве. 2021;(4(33)):13–16. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47327050> EDN: HQGHQR
30. Лоретц О. Г., Ражина Е. В., Смирнова Е. С. Продуктивные особенности коров голштинской породы разных генетических линий. Аграрный вестник Урала. 2024;24(6):779–791. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-779-791> EDN: IPSKIO
31. Вильвер Д. С. Взаимосвязь хозяйственно-полезных признаков коров различных генотипов. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(4):41–43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23374011> EDN: TRMVKF
32. Овчинникова Л. Ю., Нохрин П. С., Нохрина К. К. Влияние происхождения на интенсивность раздоя и молочную продуктивность коров. Вестник биотехнологии. 2023;(2(33)):5. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vuvmps> EDN: VUVMPs
33. Ефимова Л. В., Кулакова Т. В., Иванова О. В., Иванов Е. А. Взаимосвязь между признаками линейной оценки экстерьера и молочной продуктивностью коров. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2017;(3):115–124. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053310> EDN: ZHRBPJ
34. Лефлер Т. Ф., Садыко С. Г. Сравнительная оценка молочной продуктивности коров разных линий. Вестник КрасГАУ. 2019;(5):138–142. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39263575> EDN: HPKEAY
35. Химич Н. Г., Нестеренко Н. Н., Кочнева М. Л. Продуктивность коров приобского типа черно-пестрой породы в зависимости от линейной принадлежности. Достижения науки и техники АПК. 2012;(3):46–48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17667413> EDN: OWQAGV

36. Лоскутникова В. В. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров разных лактаций в зависимости от линейной принадлежности. Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. 2021;(1):135–138. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46467232> EDN: SMVLOG
37. Яковчик Н. С., Досумова А. Ж., Кубекова Б. Ж. Основы селекции коров голштинской породы разных генотипов. Агропанорама. 2021;(3):14–16. DOI: <https://doi.org/10.56619/2078-7138-2021-145-3-14-16> EDN: UOBIUQ
38. Mussayeva G. K., Meldebekov A. M., Meldebekova N. A., Shaykamal G. I., Buralkhiyev B. A., Rametov N. M., Zhumanov K. Dairy productivity of Holstein cows of different genetic lines in the conditions of Kostanay region of Kazakhstan. Pakistan Journal of Zoology. 2023;55(3):1257–1265.
DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20210818080851>
39. Manichaikul A., Mychaleckyj J. C., Rich S. S., Daly K., Sale M., Chen W. M. Robust relationship inference in genome-wide association studies. Bioinformatics. 2010;26(22):2867–2873.
DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq559>
40. Blondel V. D., Guillaume J. L., Lambiotte R., Lefebvre E. Fast unfolding of communities in large networks. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment. 2008;(10):P1000.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
41. Bastian M., Heymann S., Jacomy M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. Third International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. 2009;3(1):361–362.
DOI: <https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>
42. Newman M. E. Modularity and community structure in networks. PNAS. 2006;103(23):8577–8582.
DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0601602103>
43. Lancichinetti A., Fortunato S. Community detection algorithms: a comparative analysis. Physical Review E. 2009;80(2):056117. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.80.056117>
44. Fortunato S. Community detection in graphs. Physics Reports. 2010;486(3-5):75–174.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2009.11.002>

References

1. Randelin A. V., Kaydulina A. A., Barmina T. N., Surkova S. A. Milk productivity of danish cows selections of different linear belonging. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie*. 2018;2(50):241–244. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36600009>
2. Kokhanov M. A., Zlepkin V. A., Kokhanov A. P., Frolova N. M., Vorontsova E. S., Frolov R. V., Korobkin T. A. The use of in-line selection in herds of holstein cattle. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie*. 2023;(3):267–275. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-03-27>
3. Samburov N. V., Astakhova N. I., Lebedko E. Ya. Comparative characteristics of the holstein cows different linear accessories. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2018;(4):111–114. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35017271>
4. Usova T. P., Chesnokov D. V. Productivity of cows depending on linear accessories. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;(2):101–105. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46151213>
5. Zibrov A. M., Krovikova A. N., Lepekhina T. V. Lactation performance and physico-chemical composition of milk in cows of holstein breed of different breed lines for a number of lactations. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2022;(6-5(120)):58–62. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.120.6.103>
6. Cheremukha E. G., Vakhramova O. G., Buzina O. V. Linear affiliation influence on longevity and dairy productivity of cows. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2022;(10):109–116. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-109-116>
7. Mkrtchyan G. V., Bogdanova T. V., Bakay F. R. The use of the holstein breed to improve the population of the black pied cattle in Moscow oblast. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2021;(11-1(113)):148–154. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.113.11.028>
8. Kharitonova A. S. Productive features of cows of different lines. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2020;(5):177–182. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.5.177>
9. Kharitonova A. S. Productive and reproductive features of cows of different lines. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2022;(3):177–183. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.3.177>
10. Shendakov A. I. Genealogical structure and herd productivity of holstein cattle in CJSC "Slavyanskoe" of the Orel region. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2023;(1):49–55. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.1.49>
11. Shendakov A. I. Holstein lines in the selection of black-and-white dairy cattle. *Biologiya v sel'skom khozyaystve* = Biology in agriculture. 2021;(3):6–9. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46592400>
12. Fedoseeva N. A., Usov V. P., Shepinev D. A. Comparative characteristics of lines of holstein origin of black-and-white cows by milk productivity. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;(1):151–155. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42652512>
13. Furaeva N. S., Zvereva E. A., Vorob'eva S. S., Finogeev V. P., Podgornova N. G. The influence of genetic factors on milk producing ability and reproductive qualities of holstein cows in OOO "Krasny mayak". *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2023;(4(64)):74–83. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.64.4.010>

14. Khromova O. L., Abramova N. I., Selimyan M. O., Zenkova N. V. Promising genealogical branches in the main lines of the holsteinized black-and-white cattle population in the Vologda region. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2024;(2):98–112. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52231/2225-4269_2024_2_98
15. Putintseva S. V., Safronov S. L. Comparative analysis of milk productivity of holstein heifers of different origins. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2023;(2):87–94. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2023-2-87-94>
16. Belyaeva K. A., Berelet T. Yu., Leskinen L. M. Milk productivity of first-calf heifers of different lines. Proceedings of the 77th International Scientific Conference of Young Scientists and Students of SPbSUVU dedicated to the 80th anniversary of the breakthrough of the Siege of Leningrad. Saint Petersburg: *Sankt-Peterburgskiy GUVU*, 2023. pp. 19–21. DOI: <https://doi.org/10.52419/3006-2023-3>
17. Gritsenko S. A., Khaknazarov A. A., Rebezov M. B. Productive qualities of Holstein cows of different generations, age in lactations and linear affiliation. *Agrarnaya nauka* = *Agrarian science*. 2023;(3):74–79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-74-79>
18. Abdulkhalikov R. Z., Tarchokov T. T., Aysanov Z. M., Tleynsheva M. G., Khasanova Z. S. Productive features of holstein cows with intra-linear selection and reciprocal cross of lines. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V. M. Kokova*. 2022;3(37):45–57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2022-3-37-45-57>
19. Titova S. V., Zabiyaikin V. A. Milk productivity and reproductive abilities of black-and-white cows of different lines. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(4):434–442. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.434-442>
20. Titova S. V. Comparative evaluation of cows of different lineages according to their productivity and reproductive qualities. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(5):889–898. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.889-898>
21. Shaydullin R. R., Kharisova Ch. A., Akhmetov T. M., Tenlibaeva A. S. Dairy productivity of cows originating from perspective branches of the holsteinian breed. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2023;(2):52–56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-52-56>
22. Katkov A. V., Safronov S. L., Basonov O. A. Comparative characteristics of productive qualities of black-and-white cows from different regions of Russia. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2017;(47):85–91. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29757895>
23. Grashin V. A., Grashin A. A. Improvement of pedigree and productive properties of Samara type black-spotted cattle in the process of their breeding. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2012;(2(34)):106–109. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17738142>
24. Malyshev I. A., Katmakov P. S., Bushov A. V. Productive qualities of descendants of servicing bulls of different lines. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2023;(1(61)):135–142. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-1-135-142>
25. Lyubimov A. I., Martynova E. N., Achkasova E. V., Azimova G. V., Yastrebova E. A. Dairy productivity of cows of different branches of the main lines of the holstein breed. *Permskiy agrarnyy vestnik* = *Perm Agrarian Journal*. 2021;2(34):69–76. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_34_69
26. Nikiforova A. O. Influence of the lineage of cows on longevity and productive abilities. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2024;(4(80)):133–141. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_4_133-141
27. Loretts O. G., Gorelik O. V. Influence of the genotype on lactic efficiency. *Agrarnyy vestnik Urala* = *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2015;(10(140)):29–34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24852852>
28. Gorelik O. V., Fedoseeva N. A., Knysh I. V. Dairy productivity of cows of Holstein lines of black-and-white cattle. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019;(56):99–105. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41172129>
29. Fayzullin P. V., Gorelik O. V. Milk productivity of black-and-white cows depending on the linear affiliation. *Biologiya v sel'skom khozyaystve* = *Biology in agriculture*. 2021;(4(33)):13–16. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47327050>
30. Loretts O. G., Razhina E. V., Smirnova E. S. Productive features of holstein cows of different genetic lines. *Agrarnyy vestnik Urala* = *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024;24(6):779–791. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-779-791>
31. Vilver D. S. Interrelation of economic traits of cows with different genotypes. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2015;29(4):41–43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23374011>
32. Ovchinnikova L. Yu., Nokhrin P. S., Nokhrina K. K. Effect of origin on the intensity of stripping and milk productivity of cows. *Vestnik biotekhnologii* = *Bulletin of biotechnology*. 2023;(2(33)):5. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vuvmps>
33. Efimova L. V., Kulakova T. V., Ivanova O. V., Ivanov E. A. Relation between linear assessment of exterior and cows' milk productivity. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2017;(3):115–124. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053310>

34. Lefler T. F., Sadyko S. G. Comparative assessment of dairy efficiency of cows of different lines. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2019;(5):138–142. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39263575>
35. Khimich N. G., Nesterenko N. N., Kochneva M. L. Productivity of priobsky type of black-and-white cattle of different lines. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2012;(3):46–48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17667413>
36. Loskutnikova V. V. Milk production and reproductive qualities of cows of different lactations depending on the linear affiliation. *Vestnik molodezhnoy nauki Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;(1):135–138. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46467232>
37. Yakovchik N. S., Dosumova A. Zh., Kubekova B. Zh. Basics of breeding of Holstein cows of different genotypes. *Agropanorama*. 2021;(3):14–16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.56619/2078-7138-2021-145-3-14-16>
38. Mussayeva G. K., Meldebekov A. M., Meldebekova N. A., Shaykamal G. I., Buralkhiyev B. A., Rametov N. M., Zhumanov K. Dairy productivity of Holstein cows of different genetic lines in the conditions of Kostanay region of Kazakhstan. *Pakistan Journal of Zoology*. 2023;55(3):1257–1265. DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20210818080851>
39. Manichaikul A., Mychaleckyj J. C., Rich S. S., Daly K., Sale M., Chen W. M. Robust relationship inference in genome-wide association studies. *Bioinformatics*. 2010;26(22):2867–2873. DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq559>
40. Blondel V. D., Guillaume J. L., Lambiotte R., Lefebvre E. Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*. 2008;(10):P1000. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
41. Bastian M., Heymann S., Jacomy M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *Third International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*. 2009;3(1):361–362. DOI: <https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>
42. Newman M. E. Modularity and community structure in networks. *PNAS*. 2006;103(23):8577–8582. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0601602103>
43. Lancichinetti A., Fortunato S. Community detection algorithms: a comparative analysis. *Physical Review E*. 2009;80(2):056117. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.80.056117>
44. Fortunato S. Community detection in graphs. *Physics Reports*. 2010;486(3-5):75–174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2009.11.002>

Сведения об авторах

✉ **Лиходеевский Георгий Александрович**, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярных и биологических исследований, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», ул. Карла Либкнехта, д. 42, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-2166>, e-mail: georglihodey@gmail.com

Богатова Полина Сергеевна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярных и биологических исследований, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», ул. Карла Либкнехта, д. 42, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6584-2394>

Лиходеевская Оксана Евгеньевна, кандидат биол. наук, доцент, зав. лабораторией молекулярных и биологических исследований, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», ул. Карла Либкнехта, д. 42, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5976-6030>

Information about the authors

✉ **Georgiy A. Lihodeevskiy**, postgraduate, junior researcher, The Laboratory of Molecular and Biological Research, Ural State Agricultural University, Karl Liebknecht Street, 42, Yekaterinburg, Russian Federation, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-2166>, e-mail: georglihodey@gmail.com

Polina S. Bogatova, postgraduate, junior researcher, The Laboratory of Molecular and Biological Research, Ural State Agricultural University, Karl Liebknecht Street, 42, Yekaterinburg, Russian Federation, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6584-2394>

Oksana E. Lihodeevskaya, PhD in Biological Science, associate professor, Head of the Laboratory of Molecular and Biological Research, Ural State Agricultural University, Karl Liebknecht Street, 42, Yekaterinburg, Russian Federation, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5976-6030>

✉ – Для контактов / Corresponding author