

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.386-394>

УДК 636.22/28:636.082

Оценка влияния родственного спаривания на молочную продуктивность голштинских коров

© 2022. О. В. Руденко ✉

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Инбридинг на сегодняшний день является неотъемлемой частью племенной работы. Однако его действие на хозяйственно полезные качества животных весьма неоднозначное. Исследования проводили в ООО «ПЗ «Пушкинское» Большеболдинского района Нижегородской области. Данные получены из первичного зоотехнического учёта и базы данных ИАС «СЕЛЭКС» – Молочный скот (n = 950). Животные разделены на 4 группы в зависимости от степени инбридинга. Максимальный удой имели коровы с близкой степенью инбридинга (9877,9 кг), минимальный – с умеренной степенью (9338,11 кг). Увеличение степени инбридинга оказало отрицательное влияние на показатель содержания жира в молоке, что привело к его снижению с 3,85 % в группе с аутбредными животными до 3,64 % в группе с близкой степенью инбридинга. Значимых различий по содержанию белка в молоке между группами нет. Коэффициент устойчивости лактации уменьшается по мере увеличения степени инбридинга. Коэффициент изменчивости удою у животных с близкой степенью инбридинга ниже остальных групп (10,53 %), по жирномолочности во всех группах коэффициент колеблется около 5,0 %, а по содержанию белка в молоке 1,3-2,2 %. Отдалённый и умеренный инбридинг имеет слабую положительную связь с удоём ($r = +0,015$ и $+0,028$), близкий ведёт к его снижению ($r = -0,098$). Внутри групп, имеющих инбредные связи, повышение степени инбридинга приводит к очень слабому увеличению жирномолочности ($r = +0,016-0,129$) и коэффициенту устойчивости лактации ($r = +0,063-0,164$), влияние степени инбридинга на содержание белка в молоке не однозначно. Связь между удоём и жирномолочностью у аутбредных животных слабая положительная ($r = +0,26$), у коров с умеренной и отдалённой степенями инбридинга слабая отрицательная ($r = +0,057-0,121$), в группе с близкой степенью она становится тесной отрицательной ($r = -0,677$).

Ключевые слова: крупный рогатый скот, инбридинг, удой, жирномолочность, вариация, корреляционные отношения

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0003).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Руденко О. В. Оценка влияния родственного спаривания на молочную продуктивность голштинских коров. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):386-394.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.386-394>

Поступила: 07.03.2022

Принята к публикации: 27.04.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Evaluation of the inbreeding effect on the milk productivity of Holstein cows

© 2022. Oksana V. Rudenko ✉

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Inbreeding is an integral part of breeding work today. However, its effect on the economically valuable traits of animals is not identical. The research was carried out in LLC "Breeding plant «Pushkinskoe» Bolsheboldinsky district of the Nizhny Novgorod region. The data have been obtained from the primary zootechnical records and database «SELEX» – Dairy cattle (n = 950). The animals were divided into 4 groups depending on the degree of inbreeding. Cows with the close degree of inbreeding had the maximum milk yield (9877.9 kg), those with the mild degree had minimal milk yield (9338.11 kg). An increase in the degree of inbreeding had a negative effect on the fat content in milk, which led to its decrease from 3.85 % in the group with outbred animals to 3.64 % in the group with the close degree of inbreeding. There were no significant differences in the protein content in milk between the groups. The lactation stability coefficient decreases as the degree of inbreeding increases. The variability coefficient of milk yield in animals with the close degree of inbreeding is lower than the other groups (10.53 %), the coefficient varies within 5 % according to the fat content in all groups and in terms of protein content in milk within 1.3-2.2 %. Distant and mild inbreeding has a weak positive relationship with milk yield ($r = +0.015$ and $+0.028$), close inbreeding leads to its decrease ($r = -0.098$). Inside the groups, having inbred connections, an increase in the inbreeding degree leads to a very slight increase in fat content ($r = +0.016-0.129$) and the lactation stability coefficient ($r = +0.063-0.164$), the influence of the degree of inbreeding on the protein content in milk is not identical. The relationship

between milk yield and fat content in outbred animals is weakly positive ($r = +0.26$), in cows with mild and distant degree of inbreeding is weakly negative ($r = +0.057-0.121$), in the group with a close degree it becomes closely negative ($r = - 0.677$).

Keywords: cattle, inbreeding, milk yield, milk fat content, variation, correlation relations

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0003).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author declared no conflict of interest.

For citations: Rudenko O. V. Evaluation of the inbreeding effect on the milk productivity of Holstein cows. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):386-394. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.386-394>

Received: 07.03.2022

Accepted for publication: 27.04.2022

Published online: 23.06.2022

Инбридинг – одна из проблем современного скотоводства по причине того, что многие выдающиеся быки-производители являются родственниками. Данная ситуация усугубляется широким распространением в практике скотоводства искусственного осеменения [1]. Поэтому инбридинг на сегодняшний день является неотъемлемой частью современного разведения животных. Однако использовать его рекомендовано только племенным предприятиям строго индивидуально при необходимости закрепления каких-либо ценных свойств [2]. При таком использовании его можно рассматривать как целесообразное селекционное мероприятие, позволяющее создать однотипных животных, в которых закрепляются необходимые хозяйственно полезные признаки, унаследованные от ценного предка [3]. Это один из основных зоотехнических приёмов получения выдающихся быков-производителей, препотентных по племенной ценности [4]. При этом многими авторами доказано, что систематическое применение инбридинга может привести к инбредной депрессии, которая снижает жизнеспособность, продуктивность и воспроизводительные функции животных. [5, 6]. Например, по данным Н. Р. Доекес [7], увеличение гомозиготности по всему геному на 1 % было связано со снижением удоя молока за 305 дней лактации примерно на 99 кг. В исследованиях В. О. Макапьюла и др. [8] также установлены вредные последствия близкого и тесного инбридинга.

Традиционно расчёт коэффициента инбридинга осуществляют с использованием родословных записей. Однако современная молекулярная генетика позволяет идентифицировать в геноме животных протяжённые гомозиготные районы (ROH), свидетельствующие о наличии родственных спариваний в родословной [9, 10, 11]. Использование подхода ROH, по мнению М. Forutan и др. [12], также позволило оценить влияние структуры

популяции и отбора на распределение пробегов аутозиготности по всему геному. М. Г. Смаградов, А. А. Кудинов [13] предлагают использовать для этой цели анализ однонуклеотидного полиморфизма в ДНК (SNP), они утверждают, что этот метод более точен, так как он опирается на реальные геномные данные, а не на вероятностные расчёты из родословных. Кроме того, геномная информация позволяет дополнять оценки родства или инбридинга в масштабах всего генома для характеристики отношений для конкретных областей генома [14].

Цель исследований – изучить влияние различных степеней инбридинга на молочную продуктивность голштинских коров, а также на селекционно-генетические параметры стада.

Научная новизна – впервые проведена комплексная оценка влияния разных степеней инбридинга на продуктивные показатели и основные селекционно-генетические параметры исследуемых групп коров голштинской породы в условиях хозяйств Нижегородской области.

Материал и методы. Исследования проведены на базе ООО «ПЗ «Пушкинское» Большеболдинского района Нижегородской области, объект – коровы голштинской породы 950 голов. Данные получены из журналов первичного зоотехнического учёта и базы данных ИАС «СЕЛЭКС» – Молочный скот. Коэффициент инбридинга рассчитан по формуле Райта-Кисловского, степень инбридинга определяли по Пушу.

Животные были разделены на четыре группы по степени инбридинга:

1 – аутбредные (коэффициент инбридинга 0 %) – 478 голов;

2 – отдаленный (коэффициент инбридинга от 0,2 до 1,55 %) – 264 головы;

3 – умеренный (коэффициент инбридинга от 1,56 до 12,5 %) – 193 головы;

4 – близкий (коэффициент инбридинга от 12,6 до 24,9 %) – 15 голов.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Microsoft Excel-365. Влияние степени инбридинга на показатели молочной продуктивности коров определяли однофакторным дисперсионным анализом. Статистическую значимость разницы между показателями групп определяли по критерию Ньюмана-Кейлса для множественного сравнения, достоверность коэффициента корреляции – по критерию Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. На молочную продуктивность коров оказывает влияние множество факторов, такие как наследственность, порода, физиологическое состояние, стадия лактации, возраст, содержание и кормление, технология доения. Принято считать, что молочная продуктивность коров зависит на 60 % от полноценности кормления, на 20 %

– от условий содержания и на 20 % – от племенной работы, проводимой в хозяйстве.

По результатам оценки животных по молочной продуктивности можно отметить некоторые небольшие различия между группами (табл. 1). Незначительное превосходство по показателю «удой» прослеживается в пользу коров с близкой степенью инбридинга – 9877,9 кг, группа аутбридинга имеет почти такой же результат 9797,3 кг, что меньше на 80,6 кг. Самый низкий удой в группе с умеренной степенью инбридинга – 9338,1 кг. Дисперсионным анализом установлено очень незначительное, но статистически значимое влияние фактора «степень инбридинга» на удой за 305 дней первой лактации $\eta^2_x = 2,18\%$ ($p < 0,05$). Статистически значимую разницу установили только между группами аутбридинга и с умеренной степенью ($p < 0,01$).

Таблица 1 – Показатели молочной продуктивности коров за 1 лактацию, $X \pm m$ / Table 1 – Indicators of milk productivity of cows for the 1st lactation, $X \pm m$

Степень инбридинга / Degree of inbreeding	Удой, кг / Milk yield, kg	Массовая доля жира в молоке, % / Mass fraction of fat in milk, %	Молочный жир, кг / Milk fat, kg	Массовая доля белка в молоке, % / Mass fraction of protein in milk, %	Коэффициент устойчивости лактации, % / Lactation stability coefficient, %	Скорость молокоотдачи, кг/мин / Milk flow rate, kg/min
Аутбридинг / Outbreeding	9797,33±138,63	3,85±0,02 ^b	377,31±5,91	3,21±0,01	92,79±1,33	2,23±0,001
Отдаленный / Distant	9542,81±84,75	3,81±0,01 ^b	363,55±3,36	3,21±0,01	94,12±0,72	2,26±0,001 ^a
Умеренный / Mild	9338,11±108,06 ^a	3,84±0,02 ^b	358,86±4,40	3,22±0,01	93,78±0,85	2,25±0,014
Близкий / Close	9877,9±329,05	3,64±0,06	358,28±9,22	3,22±0,02	91,25±3,18	2,26±0,011

Примечание: различия статистически значимы по отношению: к группе аутбредных животных при ^a $p < 0,05$; к группе животных с близким инбридингом при ^b $p < 0,01$ /

Note: the differences are statistically significant in relation to the group of outbred animals at ^a $p < 0.05$; in relation to the group animals with close inbreeding at ^b $p < 0.01$

Увеличение степени инбридинга оказало отрицательное влияние на показатель содержания жира в молоке, что привело к его снижению с 3,85% в группе с аутбредными животными до 3,64 % в группе с близкой степенью инбридинга. Все инбредные животные уступали аутбредным по содержанию жира от 0,01 до 0,21 % за первую лактацию. Влияние фактора подтверждается дисперсионным анализом, которым установлена сила влияния $\eta^2_x = 3,39\%$ ($p < 0,01$). Группа с близкой степенью инбридинга статистически значимо отли-

чалась от других ($p < 0,01$), остальные группы не имели значимых различий между собой.

Группы животных с аутбридингом и отдаленной степенью инбридинга имеют фактическое превосходство по количеству молочного жира в сравнении с группами с близкой и умеренной степенями инбридинга примерно на 11,9 кг, но эта разница между ними незначительная и влияние фактора не установлено.

Во всех группах практически одинаковый показатель по содержанию белка в молоке, разница всего на 0,01 % — это незначительно

и варьирует в пределах среднеарифметической ошибки и не является статистически значимым.

Можно отметить, что коэффициент устойчивости лактации уменьшается по мере увеличения степени инбридинга, максимальный показатель зафиксирован в группе с отдаленной степенью инбридинга – 94,12 %, минимальный – в группе с близкой степенью (91,25 %), таким образом, разница между крайними группами составила 2,87 %. Данная разница невелика, и проведенным однофакторным дисперсионным анализом влияние степени инбридинга на коэффициент устойчивости лактации не установлено.

Хотя разница по скорости молокоотдачи между группами небольшая 0,01-0,03 кг/мин, но сила влияния степени инбридинга на этот показатель подтверждается дисперсионным анализом $\eta^2_x = 1,87\%$ ($p < 0,05$). Статистически значимо различаются группы аутбридинга и с отдаленной степенью инбридинга ($p < 0,05$), между остальными группами значимой разницы не установлено.

Таким образом, коровы, полученные с применением инбридинга, незначительно превосходят своих аутбредных сверстниц только по удою и скорости молокоотдачи, при этом наблюдается ухудшение жирномолочности коров.

Коэффициенты изменчивости селекционных признаков имеют большое практическое значение при составлении племенных и генетических планов работы с животными [15]. В наших исследованиях коэффициент изменчивости удоя у инбредных животных выше (кроме группы с близкой степенью инбридинга), чем у аутбредных, о чём свидетельствуют величины коэффициента вариации. В группе с близкой степенью инбридинга самый маленький коэффициент – 10,53 %, что на 1,05 % меньше, чем в группе аутбредных животных, и на 1,77 % – с умеренным инбридингом (табл. 2). Сокращение разнообразия мы связываем с малочисленностью группы близкого инбридинга, всего 15 голов.

Таблица 2 – Коэффициент изменчивости показателей молочной продуктивности коров за 1 лактацию, % / Table 2 – Variability coefficient of indicators of milk productivity of cows for the 1st lactation, %

<i>Степень инбридинга / Degree of inbreeding</i>	<i>Удой / Milk yield</i>	<i>Массовая доля жира в молоке / Mass fraction of fat in milk</i>	<i>Молочный жир / Milk fat</i>	<i>Массовая доля белка в молоке / Mass fraction of protein in milk</i>	<i>Коэффициент устойчивости лактации / Lactation stability coefficient</i>	<i>Скорость молокоотдачи / Milk flow rate</i>
Аутбридинг / Outbreeding	11,58	5,01	12,81	1,33	12,13	1,44
Отдаленный / Distant	11,68	5,09	12,16	2,20	10,78	3,10
Умеренный / Mild	12,30	4,80	13,04	2,25	10,53	2,90
Близкий / Close	10,53	5,09	8,14	1,98	12,07	1,93

Полученные результаты также указывают, что животные во всех группах практически однотипны по содержанию жира в молоке, о чем свидетельствуют коэффициенты вариации около 5,0 % с небольшими отклонениями. Незначительная вариабельность жирности молока объясняется более высокой генетической детерминацией, консервативностью наследственности этого признака.

По показателю «молочный жир» за первую лактацию в группе с близкой степенью инбридинга находятся более похожие друг на друга животные, коэффициент вариации в этой группе равен 8,14 %, что в среднем на 4,53 % меньше, чем в других группах.

Резкое сокращение вариабельности данного признака, как и для удоя, можно считать небольшим поголовье в этой группе.

В ходе исследований установлено, что у аутбредных коров коэффициент вариации по содержанию белка в молоке составляет 1,33 %, что ниже на 0,65; 0,87 и 0,92 %, чем в группах с отдаленным, умеренным и близким инбридингом соответственно. Также коэффициент изменчивости у аутбредных животных меньше, чем у инбредных по скорости молокоотдачи на 0,49; 1,46 и 1,66 %. Ещё Ч. Дарвин, а затем Д. А. Кисловский отмечали, что при повторении ряда близких родственных спариваний

однородная группа разделяется на отдельные различия со специфическими особенностями. В нашем исследовании даже при однократном близком инбридинге наблюдается тенденция к увеличению фенотипической изменчивости внутри групп инбредного потомства.

Проведенные исследования показали, что более низкий коэффициент изменчивости коэффициента устойчивости лактации выявлен у групп с умеренной и отдаленной степенью инбридинга, равный 10,53 и 10,78 % соответственно, в группе с аутбредными животными самый высокий – 12,13 %. Таким образом, применение инбридинга привело к формированию более однородных животных по данному показателю.

Полученные коэффициенты изменчивости указывают на возможность дальнейшей

племенной работы в направлении повышения как удоя коров, так и качественных показателей молока.

Отдалённая степень инбридинга практически не влияет на показатели молочной продуктивности коров. Была выявлена только слабая положительная связь на коэффициент устойчивости лактации $r = +0,113$, но этот коэффициент корреляции не является статистически значимым. При умеренном инбридинге наблюдается слабое влияние на молочную продуктивность и качественные показатели молока, в этой группе определены статистически значимые коэффициенты слабой отрицательной корреляции на скорость молокоотдачи $r = -0,153$ ($p < 0,05$) и слабой положительной на коэффициент устойчивости лактации $r = +0,164$ ($p < 0,05$) (табл. 3).

Таблица 3 – Связь степени инбридинга с показателями молочной продуктивности коров за 305 дней первой лактации /

Table 3 – The correlation of inbreeding degree with indicators of milk productivity of cows 305 days before the first lactation

Показатель молочной продуктивности / Indicator of milk productivity	Степень инбридинга / Degree of inbreeding		
	отдаленный / distant	умеренный / mild	близкий / close
Удой, кг / Milk yield, kg	0,015	0,028	-0,093
Массовая доля жира в молоке, % / Mass fraction of fat in milk, %	0,016	0,033	0,129
Молочный жир, кг / Milk fat, kg	-0,017	-0,021	-0,240
Массовая доля белка в молоке, % / Mass fraction of protein in milk, %	0,033	-0,016	0,171
Коэффициент устойчивости лактации, % / Lactation stability coefficient, %	0,113	0,164*	0,063
Скорость молокоотдачи, кг/мин / Milk flow rate, kg/min	-0,071	-0,153*	0,011

Примечание: Коэффициент корреляции статистически значим при $*p < 0,05$ /
Note: The correlation coefficient is statistically significant at $*p < 0,05$

С увеличением степени инбридинга наблюдается повышение влияния её на показатели молочной продуктивности за 305 дней первой лактации коров. Близкий инбридинг положительно, но достаточно слабо влияет на содержание жира и белка в молоке. При этом он отрицательно влияет на удои коров и соответственно на молочный жир.

В таблице 4 приведены коэффициенты корреляции между показателями молочной продуктивности коров в зависимости от степени инбридинга. Установлено заметное отрицательное влияние удоя на жирность молока в группе с близкой степенью инбридинга $r = -0,677$ ($p < 0,001$), также между этими показателями наблюдается статистически значимая

связь в группе с отдаленной степенью инбридинга $r = -0,121$ ($p < 0,05$), в группе с аутбредными животными наблюдается незначительная положительная связь $r = +0,026$.

Между удоем и содержанием молочного жира в молоке прослеживается весьма высокая связь, но с увеличением степени инбридинга она немного снижается с $r = +0,918$ ($p < 0,001$) до $r = +0,902$ ($p < 0,001$). Между удоем и содержанием белка в молоке прослеживается обратная связь. Наивысшая тесная положительная связь принадлежит группе с близкой степенью инбридинга $r = +0,649$ ($p < 0,01$) и постепенно связь становится отрицательной умеренной $r = -0,342$ ($p < 0,01$) в группе с аутбридингом.

Таблица 4 – Взаимосвязь между показателями молочной продуктивности коров за 305 дней первой лактации в зависимости от степени инбридинга /
Table 4 – Correlation between dairy productivity indicators of cows 305 days before the first lactation, depending on the inbreeding degree

Показатель молочной продуктивности / Indicator of milk productivity	Степень инбридинга / Degree of inbreeding			
	аутбридинг / outbreeding	отдаленный / distant	умеренный / mild	близкий / close
Удой, кг – Массовая доля жира в молоке, % / Milk yield, kg – Mass fraction of fat in milk, %	0,026	-0,121*	-0,057	-0,677**
Удой, кг – Молочный жир, кг / Milk yield, kg – Milk fat, kg	0,918***	0,908***	0,931***	0,902***
Удой, кг – Массовая доля белка в молоке, % / Milk yield, kg – Mass fraction of protein in milk, %	-0,342**	-0,329***	-0,266***	0,649**
Удой, кг – Коэффициент устойчивости лактации, % / Milk yield, kg – Lactation stability coefficient, %	0,352***	0,179**	0,177*	0,361
Удой, кг – Скорость молокоотдачи, кг/мин / Milk yield, kg – Milk flow rate, kg/min	-0,083	0,127*	0,062	-0,444
Массовая доля жира в молоке, % – Молочный жир, кг / Mass fraction of fat in milk, % – Milk fat, kg	0,420***	0,303***	0,309***	-0,294
Массовая доля жира в молоке, % – Массовая доля белка в молоке, % / Mass fraction of fat in milk, % – Mass fraction of protein in milk, %	-0,034	0,065	0,190**	-0,208
Массовая доля жира в молоке, % – Коэффициент устойчивости лактации, % / Mass fraction of fat in milk, % – Lactation stability coefficient, %	-0,203	-0,141*	0,096	-0,347
Массовая доля жира в молоке, % – Скорость молокоотдачи, кг/мин / Mass fraction of fat in milk, % – Milk flow rate, kg/min	-0,117	-0,171**	-0,088	0,360
Молочный жир, кг – Массовая доля белка в молоке, % / Milk fat, kg – Mass fraction of protein in milk, %	-0,324**	-0,293***	-0,190**	0,730**
Молочный жир, кг – Коэффициент устойчивости лактации, % / Milk fat, kg – Lactation stability coefficient, %	-0,245*	-0,234***	-0,169*	-0,622*
Молочный жир, кг – Скорость молокоотдачи, кг/мин / Milk fat, kg – Milk flow rate, kg/min	-0,355***	0,046	0,042	-0,267
Массовая доля белка в молоке, % – Коэффициент устойчивости лактации, % / Mass fraction of protein in milk, % – Lactation stability coefficient, %	-0,153	-0,028	-0,013	0,532*
Массовая доля белка в молоке, % – Скорость молокоотдачи, кг/мин / Mass fraction of protein in milk, % – Milk flow rate, kg/min	0,124	0,185**	0,262***	-0,174
Коэффициент устойчивости лактации, % – Скорость молокоотдачи, кг/мин / Lactation stability coefficient, % – Milk flow rate, kg/min	-0,003	-0,037	-0,047	0,265

Примечание: коэффициент корреляции статистически значим при * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ /
 Note: The correlation coefficient is statistically significant at * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

Наличие отрицательных значений коэффициента корреляции между удоем и массовой долей белка свидетельствует о том, что в будущем проблема содержания белка в молоке должна решаться в основном за счёт использования коров с удачным сочетанием высокого удоя и содержания белка, а также использования племенных быков, матери которых имеют высокие показатели содержания белка.

Между удоем и коэффициентом устойчивости первой лактации статистически значимые

связи наблюдаются при аутбредном и инбредном подборе с отдалённой и умеренной степенью. Положительная умеренная связь прослеживается в группе с аутбредными животными $r = +0,352$ ($p < 0,001$), с увеличением степени инбридинга связь уменьшается до $r = +0,179$ ($p < 0,01$) в группе с отдаленной и $r = +0,177$ ($p < 0,05$) с умеренной степенью.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что повышение удоя отрицательно влияет на скорость молокоотдачи в группах

с аутбридингом ($r = -0,083$) и близкой степенью инбридинга ($r = -0,444$), но эти коэффициенты статистически незначимы. В группах с умеренной и отдаленной степенями инбридинга наблюдается слабая положительная связь $r = +0,062$ (статистически незначимая) и $r = +0,127$ ($p < 0,05$) соответственно.

Положительная и статистически значимая ($p < 0,001$) корреляция между массовой долей жира и молочного жира в молоке выявлена во всех группах, кроме группы с близкой степенью инбридинга. Но следует заметить, что с увеличением степени инбридинга связь между этими показателями уменьшалась, а в группе с близкой степенью инбридинга вообще стала отрицательной и статистически незначимой. Оптимальная степень инбридинга для проявления наивысшей положительной связи между жирностью молока и содержанием белка в молоке, а также коэффициентом устойчивости у коров является умеренная степень. Коровы с близкой степенью инбридинга имеют среднюю положительную связь показателей жирности молока со скоростью молокоотдачи $r = +0,360$, в остальных группах она слабая отрицательная.

По ряду причин внимание селекционеров привлекает не менее ценный компонент молока – белок. Для успешного разведения животных по этим показателям необходимо изучить индивидуальную изменчивость и наследуемость белка и жира в молоке коров с учётом их принадлежности к линиям и отдельным семействам при выявлении лучших производителей и коров стада. В нашем случае содержание молочного жира в молоке положительно влияет на содержание белка в молоке только в группе с близкой степенью инбридинга, причем между этими показателями высокая статистически значимая связь $r = +0,730$ ($p < 0,01$). В остальных группах с уменьшением степени инбридинга наблюдается рост отрицательной статистически значимой связи.

Содержание молочного жира имеет слабую отрицательную статистически значимую связь с коэффициентом устойчивости лактации в трёх группах: с аутбридингом ($r = -0,245$ ($p < 0,05$)), отдалённой ($-0,234$ ($p < 0,001$)) и умеренной ($-0,169$ ($p < 0,05$)) степенями инбридинга. Наблюдается резкий скачок коэффициента корреляции в группе с близкой степенью инбридинга $r = -0,622$ ($p < 0,05$), это означает, что в этой группе содержание молочного жира тесно и отрицательно связано с коэффициентом устойчивости лактации, связь статистически

значима. Положительно связаны содержание молочного жира в молоке и скорость молокоотдачи при отдаленном и умеренном инбридинге ($r = +0,046$ и $+0,042$ соответственно), но эти связи статистически незначимы. В группах с близкой степенью инбридинга и аутбридингом проявляется отрицательная связь между этими показателями.

Связь между содержанием белка в молоке и коэффициентом устойчивости лактации с увеличением степени инбридинга из отрицательной постепенной становится положительной. Рост коэффициента корреляции наблюдается в группе с аутбредными животными с $r = -0,153$ до $r = +0,532$ ($p < 0,05$) в группе с близкой степенью инбридинга. Это значит, что в последней группе повышение устойчивости лактации приводит к росту содержания белка в молоке. Между содержанием белка в молоке и скоростью молокоотдачи во всех группах прослеживается положительная связь, кроме группы с близкой степенью инбридинга, в которой между показателями отрицательная связь $r = -0,174$. Слабая положительная статистически значимая связь характерна для групп с отдалённой и умеренной степенями инбридинга. В группе с аутбредными животными между показателями слабая положительная связь $r = +0,124$, но статистически незначимая.

В группе с близкой степенью инбридинга между коэффициентом устойчивости лактации и скоростью молокоотдачи наблюдается слабая положительная статистически незначимая связь $r = +0,265$, во всех остальных группах – незначительная отрицательная статистически незначимая связь.

Заключение. В результате исследований установлено, что коровы, полученные с применением инбридинга, незначительно превосходят своих аутбредных сверстниц по удою и скорости молокоотдачи. Максимальный удой имели коровы с близкой степенью инбридинга (на 80,6 кг), но по жирномолочности уступали аутбредным животным (на 0,21 %), по содержанию белка в молоке различий между группами нет.

Применение близкой степени инбридинга привело к сокращению разнообразия удою на 1,05 %, молочного жира на 4,67 % при одновременном расширении изменчивости по содержанию белка в молоке на 0,65 % и скорости молокоотдачи на 0,49 %.

Во всех группах, за исключением группы аутбридинга, наблюдалась отрица-

тельная связь между удоем и жирномолочностью ($r = -0,057-0,677$); между удоем и содержанием белка в молоке связь отрицательная, кроме группы с близкой степенью инбридинга ($r = +0,649$); между удоем и коэффициентом устойчивости лактации слабая положительная ($r = +0,177-0,361$); между содержанием жира и белка в молоке слабая, в группах с аутбридингом и близким инбри-

дингом – отрицательная, в группах с отдаленным и умеренном инбридингом – положительная.

Так как положительный эффект применения инбридинга установлен лишь в группе с близкой степенью и только в отношении удоя при одновременном снижении массовой доли жира в молоке, рекомендуем использовать эту степень в исключительных случаях и на выдающихся предках.

Список литературы

1. Шендаков А. И., Шендакова Т. А., Колобанова В. Н. Мониторинг распространения инбридинга в стадах молочного скота Орловской области. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(6):88-94. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36346283>
2. Грачев В. С., Живоглазова Е. В. Эффективность использования инбридинга при различных методах разведения айрширского скота. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015;(38):39-45. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24832353>
3. Свяженина М. А. Влияние инбридинга на продуктивные качества скота голштинской породы. Современные направления развития науки в животноводстве и ветеринарной медицине: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Тюмень: ФГБОУ ВО "Государственный аграрный университет Северного Зауралья", 2019. С. 46-50. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38183857>
4. Зырянова С. В., Лапина М. Ю. Инбридинг, его влияние на хозяйственно-ценные признаки крупного рогатого скота ярославской породы. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2019;(4-1 (34)):37-44. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41583492>
5. Недашковский И. С., Сермягин А. А., Богданова Т. В., Ермилов А. Н., Янчуков И. Н., Зиновьева Н. А. Оценка влияния уровня инбридинга на молочную продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинизированной популяции черно-пестрой породы. Молочное и мясное скотоводство. 2018;(7):17-22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36613447>
6. Doekes H. P., Veerkamp R. F., Bijma P., de Jong G., Hiemstra S. J., Windig J. J. Inbreeding depression due to recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein-Friesian dairy cattle. Genet. Sel. Evol. 2019;51:54. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-019-0497-z>
7. Doekes H. P., Bijma P., Veerkamp R. F., de Jong G., Wientjes Y. C. J., Windig J. J. Inbreeding depression across the genome of Dutch Holstein Friesian dairy cattle. Genet. Sel. Evol. 2020;52(1):64. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-020-00583-1>
8. Mankanjuola B. O., Maltecca C., Miglior F., Schenkel F. C., Baes C. F. Effect of recent and ancient inbreeding on production and fertility traits in Canadian Holsteins. BMC Genomics. 2020;21:605. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-020-07031-w>
9. Pryce J. E., Haile-Mariam M., Goddard M. E., Hayes B. J. Identification of genomic regions associated with inbreeding depression in Holstein and Jersey dairy cattle. Genet. Sel. Evol. 2014;46(1):71. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-014-0071-7>
10. Doekes H. P., Bijma P., Windig J. J. How Depressing Is Inbreeding? A Meta-Analysis of 30 Years of Research on the Effects of Inbreeding in Livestock. Genes (Basel). 2021;12(6):926. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/genes12060926>
11. Sumreddee P., Hay E. H., Toghiani S., Roberts A., Aggrey S. E., Rekaya R. Grid search approach to discriminate between old and recent inbreeding using phenotypic, pedigree and genomic information. BMC Genomics. 2021;22:538. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-021-07872-z>
12. Forutan M., Mahyari S. A., Baes C., Melzer N., Schenkel F. S., Sargolzaei M. Inbreeding and runs of homozygosity before and after genomic selection in North American Holstein cattle. BMC Genomics. 2018;19:98. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-018-4453-z>
13. Смарагдов М. Г., Кудинов А. А. Полногеномная оценка инбридинга у молочного скота. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(6):51-53. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10612>
14. Howard J. T., Pryce J. E., Baes C., Maltecca C. Invited review: Inbreeding in the genomics era: Inbreeding, inbreeding depression, and management of genomic variability. J. Dairy Sci. 2017;100(8):6009-6024. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12787>
15. Донник И. М., Мымрин В. С., Лоретц О. Г., Лиходеевская О. Е., Барашкин М. И. Влияние инбридинга на молочную продуктивность, качество молока и воспроизводительную способность коров. Аграрный вестник Урала. 2013;(5(111)):15-19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20264754>

References

1. Shendakov A. I., Shendakova T. A., Kolobanova V. N. Monitoring the spread of inbreeding in dairy herds in the Orel region. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2018;(6):88-94. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36346283>
2. Grachev V. S., Zhivoglazova E. V. The effectiveness of inbreeding in various methods of breeding ayrshire cattle. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2015;(38):39-45. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24832353>

3. Svyazhenina M. A. Influence of inbreeding on productive qualities of cattle holstein breed. Modern trends in the development of science in animal husbandry and veterinary medicine: Proceedings of the International scientific and practical Conference. Tyumen': *Gosudarstvennyy agrarnyy universitet Severnogo Zaural'ya*, 2019. pp. 46-50. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38183857>

4. Zyryanova S. V., Lapina M. Yu. Inbreeding, its influence on the economically valuable characteristics of yarovslavl breed. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Don State Agrarian University. 2019;(4-1 (34)):37-44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41583492>

5. Nedashkovskiy I. S., Sermyagin A. A., Bogdanova T. V., Ermilov A. N., Yanchukov I. N., Zinov'eva N. A. Evaluation of inbreeding effect for milk production and fertility traits black-and-white cattle improved by holstein breed. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2018;(7):17-22. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36613447>

6. Doekes H. P., Veerkamp R. F., Bijma P., de Jong G., Hiemstra S. J., Windig J. J. Inbreeding depression due to recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein–Friesian dairy cattle. *Genet. Sel. Evol.* 2019;51:54. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-019-0497-z>

7. Doekes H. P., Bijma P., Veerkamp R. F., de Jong G., Wientjes Y. C. J., Windig J. J. Inbreeding depression across the genome of Dutch Holstein Friesian dairy cattle. *Genet. Sel. Evol.* 2020;52(1):64. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-020-00583-1>

8. Makanjuola B. O., Maltecca C., Miglior F., Schenkel F. C., Baes C. F. Effect of recent and ancient inbreeding on production and fertility traits in Canadian Holsteins. *BMC Genomics.* 2020;21:605. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-020-07031-w>

9. Pryce J. E., Haile-Mariam M., Goddard M. E., Hayes B. J. Identification of genomic regions associated with inbreeding depression in Holstein and Jersey dairy cattle. *Genet. Sel. Evol.* 2014;46(1):71. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-014-0071-7>

10. Doekes H. P., Bijma P., Windig J. J. How Depressing Is Inbreeding? A Meta-Analysis of 30 Years of Research on the Effects of Inbreeding in Livestock. *Genes (Basel).* 2021;12(6):926. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/genes12060926>

11. Sumreddee P., Hay E. H., Toghiani S., Roberts A., Aggrey S. E., Rekaya R. Grid search approach to discriminate between old and recent inbreeding using phenotypic, pedigree and genomic information. *BMC Genomics.* 2021;22:538. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-021-07872-z>

12. Forutan M., Mahyari S. A., Baes C., Melzer N., Schenkel F. S., Sargolzaei M. Inbreeding and runs of homozygosity before and after genomic selection in North American Holstein cattle. *BMC Genomics.* 2018;19:98. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-018-4453-z>

13. Smaragdov M. G., Kudinov A. A. Full genome inbreeding assessment of dairy cattle. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(6):51-53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10612>

14. Howard J. T., Pryce J. E., Baes C., Maltecca C. Invited review: Inbreeding in the genomics era: Inbreeding, inbreeding depression, and management of genomic variability. *J. Dairy Sci.* 2017;100(8):6009-6024. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12787>

15. Donnik I. M., Mymrin V. S., Loretts O. G., Likhodeevskaya O. E., Barashkin M. I. The influence of inbreeding on milk producing ability, milk quality and reproductive ability of cows. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2013;(5(111)):15-19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20264754>

Сведения об авторах

✉ **Руденко Оксана Васильевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Нижегородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 38, с. п. Селекционной станции, Кстовский район, Нижегородская область, Российская Федерация, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8355-1048>, e-mail: oks-rud76@mail.ru

Information about the author

✉ **Oksana V. Rudenko**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Nizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, v. Selektionnaya stantsiya, 38, Kstovo district, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8355-1048>, e-mail: oks-rud76@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author