

Научная статья

УДК 636.234.1.03

DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-49-61

Селекционно-генетические параметры коров голштинской породы в зависимости от полиморфизма гена каппа-казеина (CSN3)

Орест Антипович Басонов^{✉1}, Дарья Валерьевна Борисанова²,
Анна Сергеевна Кулаткова³

Нижегородский государственный агротехнологический университет имени Л. Я. Флорентьева,
проспект Гагарина, Нижний Новгород, Россия, 603107

¹bassonov.64@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7916-4774>

²borisanova96@yandex.ru

³ann.sk@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5972-1932>

Аннотация. В статье представлены результаты исследования взаимосвязи полиморфизма гена каппа-казеина (CSN3) с селекционно-генетическими параметрами голштинской породы крупного рогатого скота. Приведены расчеты дисперсионного анализа (ANOVA), корреляционной зависимости и основные селекционно-генетические индексы. Популяция голштинских коров находится в равновесии Харди – Вайнберга. В линии Вис Бэк Айдиал среди всех генераций взаимосвязи признаков наблюдается положительная корреляционная связь. У животных с генотипом CSN3^{AE} наблюдается сильная положительная корреляция в генерациях дочь–мать и дочь–мать матери. В линии Рефлекшн Соверинг для коров с генотипом CSN3^{BE} выявлена корреляция высокой степени ($r=0,83$). У коров с генотипом CSN3^{AA}, CSN3^{AB} и CSN3^{BB} наблюдается умеренная положительная корреляция, которая не является статистически значимой в рамках ANOVA. Корреляция между удоем дочерей и матерей у коров с генотипом CSN3^{AE} слабая отрицательная ($r=-0,07$). Сочетание определенных аллелей гена каппа-казеина в комбинации с высокой продуктивностью матерей дает максимальную молочную продуктивность коров, генотип оказывает статистически значимое влияние на продуктивность. Для прогнозирования продуктивности дочерей необходимо учитывать продуктивность матерей, а для генотипов CSN3^{AA}, CSN3^{AB} и CSN3^{BE} (линии Рефлекшн Соверинг) стоит учитывать также продуктивность матерей матерей. При этом удой матерей отцов в данной линии также оказывает высокую долю влияния (на уровне 33%). Наибольший селекционный дифференциал (SD) получен у животных с генотипом CSN3^{AA} (линия Вис Бэк Айдиал) (568,7 кг), что указывает на наличие резервов для улучшения молочной продуктивности.

Ключевые слова: голштинская порода, каппа-казеин, молочная продуктивность, селекционно-генетические параметры, дисперсионный анализ, эффект селекции

Для цитирования: Басонов О. А., Борисанова Д. В., Кулаткова А. С. Селекционно-генетические параметры коров голштинской породы в зависимости от полиморфизма гена каппа-казеина (CSN3) // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2026. № 2(52). С. 49–61. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-49-61

Original article

Selection and genetic parameters of Holstein cows depending on the polymorphism of the kappa casein gene (CSN3)

Orest A. Basonov^{✉1}, Daria V. Borisanova², Anna S. Kulatkova³

Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University, 97 Gagarin Avenue, Nizhny
Novgorod, Russia, 603107

¹bassonov.64@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7916-4774>

²borisanova96@yandex.ru

³ann.sk@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5972-1932>

Abstract. The article presents the results of a study of the relationship between the polymorphism of the kappa casein (CSN3) gene and the breeding and genetic parameters of the Holstein cattle breed. Calculations of the analysis of variance (ANOVA), correlation dependence and the main breeding and genetic indexes are given. The population of Holstein cows is in the Hardy – Weinberg equilibrium. In the Vis Back-Ideal line, a positive correlation is observed among all the generations of the relationship of features. In animals with the CSN3^{AE} genotype, there is a strong positive correlation in the daughter-mother and daughter-mother generations. A high degree of correlation was found in the Reflection Mastering line for cows with the CSN3^{BE} genotype ($r=0.83$). Cows with the CSN3^{AA}, CSN3^{AB}, and CSN3^{BB} genotypes have a moderate positive correlation; it is not statistically significant within the framework of ANOVA. The correlation between the milk yield of daughters and mothers in cows with the CSN3^{AE} genotype is weak and negative ($r=-0.07$). The combination of certain alleles of the kappa-casein gene in combination with high maternal productivity results in maximum dairy productivity of cows, the genotype has a statistically significant effect on productivity. To predict the productivity of daughters, it is necessary to take into account the productivity of mothers, and for genotypes CSN3^{AA}, CSN3^{AB} and CSN3^{BE} (Reflection Mastering lines), it is also necessary to take into account the productivity of mothers of mothers. At the same time, the milk yield of mothers and fathers in this line also has a high share of influence (at the level of 33%). The highest breeding differential (SD) was obtained in animals with the CSN3^{AA} genotype (Vis Back Ideal line) and amounts to 568.7 kg, which indicates the presence of reserves for improving milk productivity.

Keywords: Holstein breed, kappa-casein, milk productivity, selection and genetic parameters, analysis of variance, selection effect

For citation: Basonov O.A., Borisanova D.V., Kulatkova A.S. Selection and genetic parameters of Holstein cows depending on the polymorphism of the kappa casein gene (CSN3). *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2026;2(52):49–61. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-49-61

Введение. Селекционная работа играет важную роль в совершенствовании животных и обеспечивает до половины прироста молочной продуктивности коров [1, 2]. Современные подходы в биотехнологии позволяют расшифровать генетический код животных, т. к. он уникален и его можно сопрягать с молочной продуктивностью и технологическими свойствами молока. Селекционно-генетические параметры используются при составлении селекционных программ, направленных на улучшение продуктивных и племенных качеств коров [3–8]. Совершенствование селекционно-генетических параметров голштинской породы с использованием ДНК-маркеров – это современный подход к повышению эффективности селекции, который позволяет ускорить и стабилизировать управление селекционными процессами. ДНК-маркеры – нуклеотидные последовательности, отличающиеся полиморфизмом. Они хорошо сцеплены с генами, отвечающими за изучаемые признаки. Их применение дает возможность выявлять генетически превосходящих животных в раннем возрасте и целенаправленно отбирать особей с желатель-

ными характеристиками. Ген каппа-казеин (CSN3) – один из ключевых генетических маркеров молочной продуктивности крупного рогатого скота. Полиморфизм CSN3 влияет на качественные и технологические свойства молока. Выявление оптимальных генотипов CSN3 позволит повысить эффективность селекции [9, 10].

Цель исследования – установить взаимосвязь полиморфизма гена каппа-казеина (CSN3) с селекционно-генетическими параметрами коров голштинской породы.

Для достижения цели были определены следующие задачи:

- идентифицировать частоты аллелей и генотипов CSN3 в исследуемой популяции и дать оценку генетической структуре и параметрам генетического разнообразия;
- определить молочную продуктивность коров за 305 дней первой лактации;
- установить закономерности изменчивости и взаимосвязи племенных и продуктивных качеств;
- оценить связь генотипов с показателями молочной продуктивности.

Материалы, методы и объекты исследования. Научно-хозяйственная часть исследования проводилась в условиях племенного репродуктора ООО «Бармино» Лысковского района Нижегородской области и на кафедре частной зоотехнии и разведения сельскохозяйственных животных ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева».

Исследования по генотипированию и определению аллельных вариантов гена каппа-казеина проводились в молекулярно-генетической лаборатории геномного центра ООО «Мираторг-Генетика» методом цифровой ПЦР (dPCR). Материалом для молекулярного ДНК-тестирования служила венозная кровь. Прогенотипирована 181 голова коров голштинской породы по локусам каппа-казеина.

Для оценки молочной продуктивности учитывали данные за 305 дней первой лактации. Определение содержания жира и белка в молоке осуществляли на инфракрасном анализаторе. Данные первичного зоотехнического и племенного учета получены из ИАС «Селэкс»-Молочный скот» (ООО «РЦ Плинор», Россия). На основании результатов генотипирования были сформированы опытные группы.

Для определения взаимосвязи между признаками (удой, жир, белок) проводили корреляционный анализ по методу Пирсона, а для оценки влияния переменных – регрессионный анализ. При расчете генетических параметров

вычисляли частоту встречаемости генотипов, аллелей гена каппа-казеина и проводили проверку равновесия Харди – Вайнберга (χ^2 -тест).

Оценку статистически значимых различий средних значений между генотипами по каппа-казеину и молочной продуктивности проводили с помощью дисперсионного анализа (ANOVA).

С помощью расчета коэффициента наследуемости (h^2) определяли долю фенотипической изменчивости, обусловленной генетическими факторами. Для определения разницы между средним значением признака у отобранных животных и средним значением в популяции рассчитывали селекционный дифференциал (SD).

Для оценки результативности отбора и дальнейшего планирования селекционных мероприятий рассчитывали эффект селекции (E).

Статистическую обработку данных выполняли в программном обеспечении R 4.3.1 (пакет stats) и Microsoft Excel по методике Н.А. Плохинского [11].

Животные находились в одинаковых условиях содержания. Кормление осуществлялось по рационам, сбалансированным согласно нормам ВИЖ для дойного стада.

Результаты исследования. По полиморфизму каппа-казеина (CSN3) выявили 10 генотипов в разрезе генеалогических линий (Рефлексн Соверинг и Вис Бэк Айдиал). Результаты проведенных исследований по установлению полиморфизма гена каппа-казеина (CSN3) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Распределение генотипов и их частот в разрезе генеалогических линий
Table 1. Distribution of genotypes and their frequencies across genealogical lines

Показатель	CSN3 ^{AA}	CSN3 ^{AB}	CSN3 ^{BB}	CSN3 ^{AE}	CSN3 ^{BE}
Линия Вис Бэк Айдиал 1013415					
Частота генотипа, %	23	34	20	11	12
Линия Рефлексн Соверинг 198998					
Частота генотипа, %	33	32	9	21	5

Анализ данных таблицы 1 показывает, что наибольшее количество животных линии Вис Бэк Айдиал по гену каппа-казеина оказались гетерозиготными по генотипу CSN3^{AB} (34%), наименьшее – по генотипу CSN3^{AE} (11%). В линии Рефлексн Соверинг наибольшее коли-

чество животных оказались гомозиготными по генотипу CSN3^{AA} (33%), что в 6 раз больше, чем у животных с генотипом CSN3^{BE}.

Данные по распределению частот аллелей каппа-казеина и проверка равновесия Харди – Вайнберга приведены в таблице 2.

Анализ табличных данных (табл. 2) показал, что животные-носители аллеля А являются преобладающими в генеалогических линиях, что составляет 45,2% в линии Вис Бэк Айдиал и 59,8% в линии Рефлекшн Соверинг. Аллель Е встречается с наименьшей частотой. При расчете генетических параметров проводили проверку равновесия Харди – Вайнберга (χ^2 -тест).

В разрезе генеалогических линий значение критерия Харди – Вайнберга не превышает критического, что подтверждает генетическое равновесие в популяции.

Для сравнения средних значений продуктивных признаков между группами животных с разными генотипами применили дисперсионный анализ (ANOVA). Расчеты представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 2. Распределение частот аллелей каппа-казеина и оценка равновесия
Table 2. Distribution of kappa-casein allele frequencies and equilibrium assessment

Аллель	А	В	Е
Линия Вис Бэк Айдиал 1013415			
Число копий	76	79	19
Частота аллеля, %	45,2	43,5	11,3
Критерий χ^2	0,36		
$\chi_{крит}^2$	5,99		
Линия Рефлекшн Соверинг 198998			
Число копий	106	48	22
Частота аллеля, %	59,8	27,6	12,6
Критерий χ^2	0,78		
$\chi_{крит}^2$	5,99		

Таблица 3. Влияние удоя матерей на продуктивность дочерей линии Вис Бэк Айдиал в разрезе генотипов по каппа-казеину (CSN3)

Table 3. The influence of mothers' milk yield on the productivity of daughters of the Vis Back Ideal line in terms of kappa-casein genotypes (CSN3)

Показатель	CSN3 ^{AA}	CSN3 ^{AB}	CSN3 ^{BB}	CSN3 ^{AE}	CSN3 ^{BE}
Общая дисперсия (C_y)	159522678	155711392	61453741	23077698	47904020
Факториальная дисперсия (C_v)	44422616	29705415	4636118	912150	7188005
Случайная дисперсия (C_z)	115100062	126005977	56817622	22165547	40716015
MS_{fact}	44422616	29705415	4636118	912150	7188005
MS_{error}	3197224	2250107	1775551	1385347	2262001
F-критерий	13,9	13,2	2,61	0,66	3,18
Критическое значение F ($\alpha=0,05$)	4,11	4,01	4,14	4,49	4,41
Влияние фактора	Достоверно ($p<0,05$)	Достоверно ($p<0,05$)	Не достоверно	Не достоверно	Не достоверно
Коэффициент корреляции Пирсона (r)	0,35	0,31	0,58	0,76	0,29
r^2	0,20	0,17	0,13	0,11	0,16

Примечание. Гипотеза Н₀: среднее значение удоя дочерей не зависит от удоя матерей (различия случайны). Гипотеза Н₁: существует значимая зависимость между удоом матерей и удоом дочерей (средние значения удоя дочерей различаются в группах с разным удоом матерей).

По данным таблицы 3, в линии Вис Бэк Айдиал у коров с генотипом CSN3^{AA} влияние удоя матерей на удои дочерей является статистически значимым ($F=13,9$, $p<0,05$). По корреляционной зависимости наблюдается умеренная положительная связь ($r=0,35$). Для коров с генотипом CSN3^{AB} статистически достоверно ($p<0,05$), что дает основание утвер-

ждать о том, что продуктивность матерей влияет на продуктивность их дочерей при умеренной положительной корреляционной связи ($r=0,31$). Статистически значимой зависимости между продуктивностью матерей и продуктивностью их дочерей для генотипа CSN3^{BB} не выявлено ($p>0,05$). F-критерий (2,61) не превышает критическое значение

(4,14), при этом наблюдается умеренная положительная корреляция ($r=0,58$). Около 13% вариации удоя дочерей зависит от удоя матерей, а остальные 87% обусловлены другими факторами. Для животных с генотипом CSN3^{AE} продуктивность матерей статистически не влияет на продуктивность их дочерей ($F=0,66$; $p>0,05$), при этом наблюдается сильная положительная корреляция ($r=0,76$), и около 11% вариации удоя дочерей объясняется удоём матерей. У коров с генотипом CSN3^{BE} статистически значимой зависимости

между продуктивностью матерей и продуктивностью их дочерей не выявлено ($p>0,05$). F-критерий (3,18) не превышает критическое значение (4,41) при слабой положительной корреляции ($r=0,29$). Около 16% вариации удоя дочерей можно объяснить удоём матерей, а остальные 84% обусловлены влиянием других факторов.

Сила влияния продуктивности матерей на удоё дочерей линии В. Б. Айдиал отражена на рисунке 1.

Таблица 4. Влияние удоя матерей на продуктивность дочерей линии Рефлекшн Соверинг в разрезе генотипов по каппа-казеину (CSN3)

Table 4. The influence of mothers' milk yield on the productivity of daughters of the Reflection Sovereign line in terms of kappa-casein genotypes (CSN3)

Показатель	CSN3 ^{AA}	CSN3 ^{AB}	CSN3 ^{BB}	CSN3 ^{AE}	CSN3 ^{BE}
Общая дисперсия (C_y)	2162777260	165374853	49903419	101143970	8684882
Факториальная дисперсия (C_v)	85295739	26123384	12155682	20292022	2980461
Случайная дисперсия (C_z)	130981521	139251469	37747737	80851949	5704421
MS _{fact}	85295739	26123384	12155682	20292021	2980461
MS _{error}	2338956	2578730	2696267	2377998	950737
F-критерий	36,46	10,13	4,51	8,53	3,13
Критическое значение F ($\alpha=0,05$)	4,01	4,02	4,60	4,13	5,99
Влияние фактора	Не достоверно	Достоверно ($p<0,05$)	Не достоверно	Достоверно ($p<0,05$)	Не достоверно
Коэффициент корреляции Пирсона (r)	0,52	0,36	0,57	-0,07	0,83
r ²	0,19	0,17	0,18	0,17	0,11

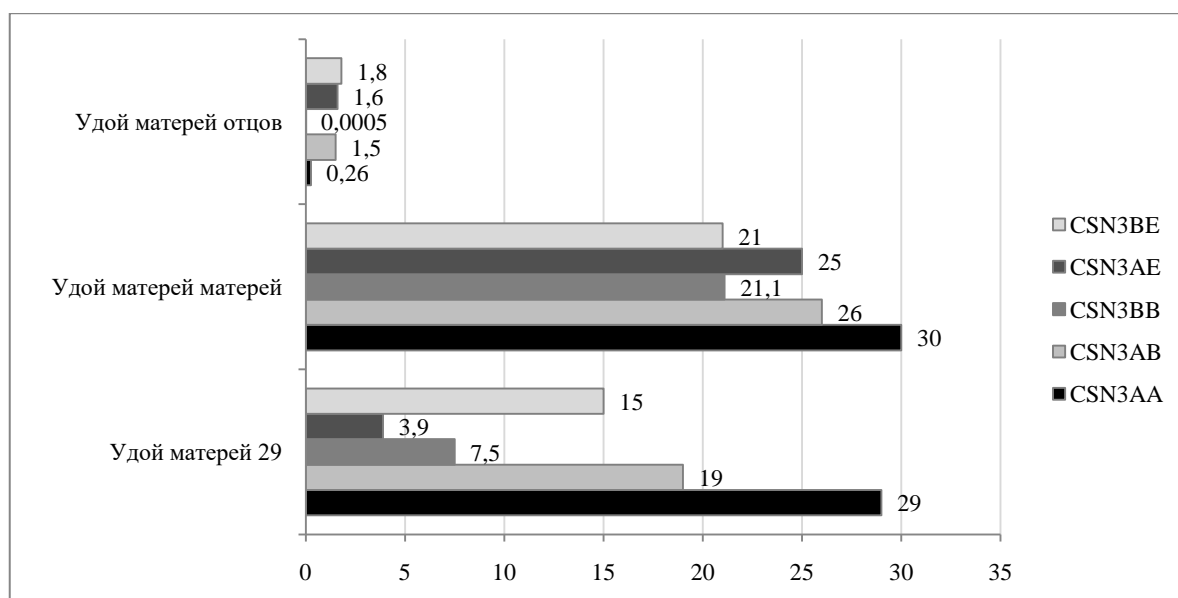


Рисунок 1. Сила влияния продуктивности матерей на продуктивность дочерей линии Вис Бэк Айдиал, %
Figure 1. The influence of mothers' productivity on the productivity of daughters of the Vis Back Ideal line, %

Выявлено, что наибольшую долю влияния на молочную продуктивность дочерей оказывает уровень удоя матерей и матерей матерей. По фактору влияния удоя матерей наибольшее влияние получено у коров с генотипом CSN3^{AA} (29%), что на 25,1 п.п. превышает показатели генотипа CSN3^{AE} (3,9%). По фактору влияния удоя матерей матерей наибольшей долей отличились животные с генотипом CSN3^{AA} (30%), а наименьшей – у коров с генотипом CSN3^{BE} и CSN3^{BB} (21%). Влияние продуктивности матерей отцов оказалось значительно ниже, чем влияние других факторов, поэтому молочная продуктивность матерей отцов линии Вис Бэк Айдиал не является надежным фактором для прогнозирования продуктивности дочерей.

Данные таблицы 4 указывают на то, что у коров с генотипом CSN3^{AA} продуктивность матерей статистически не влияет на продуктивность их дочерей ($F=36,46$, $p>0,05$), наблюдается умеренная положительная корреляция ($r=0,52$), при этом около 19% вариации удоя дочерей объясняется удоём матерей. Продуктивность матерей у животных с генотипом CSN3^{AB} влияет на удои их дочерей. Данные статистически достоверны ($p<0,05$).

F-критерий (10,13) превышает критическое значение (4,02), наблюдается умеренная положительная корреляция ($r=0,36$), причем около 17% вариации удоя дочерей объясняется удоём матерей. У коров с генотипом CSN3^{BB} отсутствует статистически значимая зависимость между продуктивностью матерей и продуктивностью их дочерей ($p>0,05$). F-критерий (4,51) не превышает критическое значение (4,6), причем наблюдается положительная корреляция ($r=0,57$), которая не является статистически значимой в рамках ANOVA. Влияние удоя матерей у коров с генотипом CSN3^{AE} является статистически значимым ($p<0,05$). F-критерий (8,53) превышает критическое значение (4,13). Наблюдается слабая отрицательная корреляция ($r=-0,07$), которая не является статистически значимой. Для коров с генотипом CSN3^{BE} значимой зависимости не выявлено ($p>0,05$). Высокая корреляция ($r=0,83$) не подтверждает статистическую значимость из-за малого объёма выборки.

Сила влияния продуктивности матерей на продуктивность дочерей линии Рефлекшн Соверинг отражена на рисунке 2.

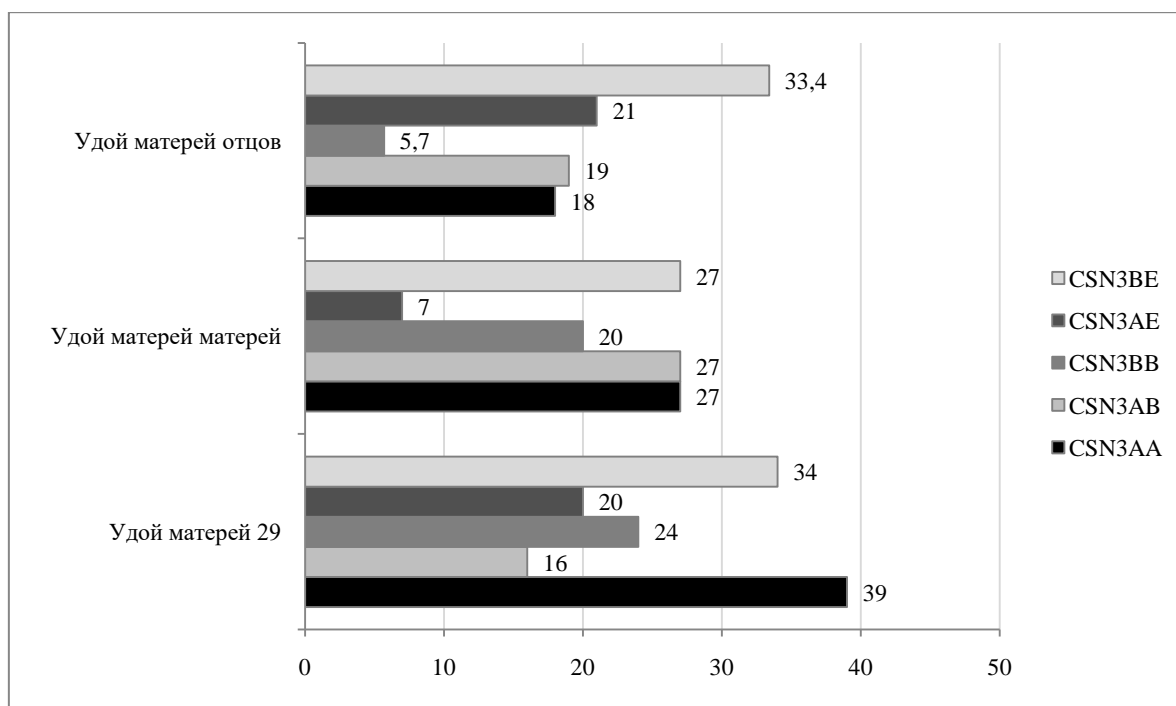


Рисунок 2. Сила влияния продуктивности матерей на продуктивность дочерей линии Рефлекшн Соверинг, %

Figure 2. The influence of mothers' productivity on the productivity of daughters of the Reflection Sovereign line, %

По данным рисунка 2, наибольшая доля влияния установлена у генотипа CSN3^{AA} (39%) по молочной продуктивности матерей, наименьшая доля при этом оказалась у животных с генотипом CSN3^{AB} (16%). По влиянию продуктивности матерей матерей установлено, что наибольшая доля влияния выявлена у коров с генотипом CSN3^{AA}, CSN3^{AB} и CSN3^{BE} (на уровне 27%). При этом стоит отметить, что в данной генеалогической линии удой матерей отцов также имеет влияние на

молочную продуктивность коров дочерей в высокой степени. Наибольшая доля у генотипа CSN3^{BE} (33,4%), что на 27,7 п.п. превышает показатель доли влияния у генотипа CSN3^{BB}.

С целью оценки генетической преемственности продуктивности по материнской линии проведён корреляционный анализ между удоями дочерей и их женских предков в разрезе генеалогических линий. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5. Корреляция между удоем дочерей и женских предков коров разных генеалогических линий
Table 5. Correlation between milk yield of daughters and female ancestors of cows of different genealogical lines

Генерация	Генотип				
	CSN3 ^{AA}	CSN3 ^{AB}	CSN3 ^{BB}	CSN3 ^{AE}	CSN3 ^{BE}
Линия Вис Бэк Айдиал					
Дочь–мать	0,35	0,31	0,58	0,76	0,29
Дочь–мать отца	0,15	0,25	0,48	0,22	0,15
Дочь–мать матери	0,28	0,08	0,22	0,57	0,23
Линия Рефлекшн Соверинг					
Дочь–мать	0,52	0,36	0,57	-0,07	0,83
Дочь–мать отца	0,39	-0,01	0,20	-0,37	0,87
Дочь–мать матери	0,27	0,03	0,70	-0,09	0,08

По данным таблицы 5, в линии Вис Бэк Айдиал среди всех генераций взаимосвязи признаков наблюдается положительная корреляционная связь. У животных с генотипом CSN3^{AE} наблюдается сильная положительная корреляция в генерациях «дочь–мать» и «дочь–мать матери» (0,76 и 0,57 соответственно). По взаимосвязи молочной продуктивности матерей быков на продуктивность дочерей выявлена слабая положительная корреляция, поэтому молочная продуктивность матерей отцов линии Вис Бэк Айдиал не является надежным фактором для продуктивности коров.

В линии Рефлекшн Соверинг для коров с генотипом CSN3^{BE} выявлена высокая корреляция ($r=0,83$), но она не подтверждает статистическую значимость из-за малого объёма выборки. У коров с генотипом CSN3^{AA}, CSN3^{AB} и CSN3^{BB} наблюдается умеренная положительная корреляция, которая не является статистически значимой в рамках

ANOVA. Между удоем дочерей и матерей у коров с генотипом CSN3^{AE} существует слабая отрицательная корреляция ($r=-0,07$).

Кроме того, сильная взаимосвязь выявлена в генерации «дочь–мать матери» у животных с генотипом CSN3^{BB} (0,7). Важно помнить, что несмотря на то, что коэффициент корреляции может указывать на наличие связи, он часто не является доказательством причинно-следственной зависимости. Для более глубокого понимания взаимосвязей между признаками необходимо проводить дополнительные исследования, включая эксперименты и долгосрочные наблюдения. Кроме того, на силу связи оказывает влияние породный и наследственный фактор, а также условия, в которых может быть реализован генетический потенциал животного [13]. Дисперсионный анализ позволяет оценить влияние удоя женских предков по отцовской линии на продуктивность дочерей (табл. 6).

Таблица 6. Влияние удоя матерей отцов на продуктивность коров линии Вис Бэк Айдиал в разрезе генотипов по каппа-казеину (CSN3)

Table 6. The influence of mothers' and fathers' milk yield on the productivity of cows of the Vis Back Ideal line in terms of kappa-casein genotypes (CSN3)

Показатель	Генотип				
	CSN3 ^{AA}	CSN3 ^{AB}	CSN3 ^{BB}	CSN3 ^{AE}	CSN3 ^{BE}
Общая дисперсия (C_y)	142184333	119702588	56709456	26911984	30108069
Факториальная дисперсия (C_v)	373032	1748013	294	445883	530077
Случайная дисперсия (C_z)	141811301	117954575	56709162	26466102	29577992
MS _{fact}	373032	1748013	294	445883	530077
MS _{error}	3939203	2106332	1772161	1654131	1643222
F-критерий	0,09	0,82	0,001	0,27	0,32
Критическое значение F ($\alpha=0,05$)	4,11	4,01	4,14	4,49	4,41
Влияние фактора	Не достоверно	Не достоверно	Не достоверно	Не достоверно	Не достоверно
Коэффициент корреляции Пирсона (r)	0,15	0,25	0,48	0,22	0,15
r ²	0,17	0,13	0,12	0,12	0,12

Из данных таблицы 6 следует, что статистически значимой зависимости между продуктивностью матерей отцов и продуктивностью их дочерей не выявлено ($p>0,05$). F-критерий у всех генотипов каппа-казеина не превышает критического значения. Выявлена слабая положительная корреляционная связь, причем сила влияния молочной продуктивности матерей быков на продуктив-

ность дочерей не превышает 17%, поэтому молочная продуктивность матерей отцов линии Вис Бэк Айдиал не является надежным фактором прогноза продуктивности коров.

В таблице 7 представлены результаты расчета дисперсионного анализа (ANOVA) по влиянию молочной продуктивности матерей отцов на продуктивность дочерей быков линии Рефлекшн Соверинг.

Таблица 7. Влияние удоя матерей отцов на продуктивность коров линии Рефлекшн Соверинг в разрезе генотипов по каппа-казеину (CSN3)

Table 7. The influence of mothers' and fathers' milk yield on the productivity of Reflection Sovereign line cows by kappa-casein genotype (CSN3)

Показатель	Генотип				
	CSN3 ^{AA}	CSN3 ^{AB}	CSN3 ^{BB}	CSN3 ^{AE}	CSN3 ^{BE}
Общая дисперсия (C_y)	157277530	182900113	27876866	114057935	19938420
Факториальная дисперсия (C_v)	28282966	34143759	1595800	24132656	6661250
Случайная дисперсия (C_z)	128994565	148756353	26281065	89925279	13277170
MS _{fact}	28282966	34143759	1595801	24132656	6661250
MS _{error}	2303474	2754747	1877219	2644861	2212862
F-критерий	12,27	12,3	0,85	9,12	3,01
Критическое значение F ($\alpha = 0,05$)	4,01	4,02	4,60	4,13	5,98
Влияние фактора	Достоверно ($p<0,05$)	Достоверно ($p<0,05$)	Не достоверно	Достоверно ($p<0,05$)	Не достоверно
Коэффициент корреляции Пирсона (r)	0,39	-0,01	0,20	-0,37	0,87
r ²	0,14	0,16	0,12	0,15	0,15

Анализ данных таблицы 7 подтверждает, что для коров с генотипом CSN3^{AA} выявлена статистически значимая зависимость между продуктивностью матерей отцов и продуктивностью их дочерей ($p < 0,05$). F-критерий превышает критическое значение. Умеренная положительная корреляционная связь ($r = 0,39$) подтверждает влияние удоя матерей отцов на удой дочерей (14% вариации).

Выявлена статистически значимая зависимость между продуктивностью матерей отцов и удоём их дочерей у генотипа CSN3^{AB} ($p < 0,05$) при слабой отрицательной корреляции ($-0,01$). Коэффициент вариации составляет 0,14. Статистически значимой зависимости

у дочерей с генотипами CSN3^{BB} и CSN3^{BE} не выявлено. У животных генотипа CSN3^{AE} установлена взаимосвязь молочной продуктивности матерей отцов на продуктивность дочерей ($p < 0,05$). Получена слабая отрицательная корреляционная связь ($-0,37$).

Для оценки влияния трех независимых факторов (генотип, продуктивность матерей и продуктивность матерей отцов) на молочную продуктивность коров провели трехфакторный дисперсионный анализ с целью выявить значимость каждого фактора в общей изменчивости признака и влияние взаимодействий между факторами (табл. 8).

Таблица 8. Результаты трехфакторного дисперсионного анализа по продуктивности коров линии Вис Бэк Айдиал

Table 8. Results of three-way analysis of variance for productivity of cows of the Vis Back Ideal line

Фактор	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат	F-критерий	Влияние фактора
Генотип	21875678	5	4375136	4,79	0,001
Удой матери	15678905	1	15678905	17,12	<0,001
Удой матери отца	8976543	1	8976543	9,78	0,002
Генотип × Удой матери	4567890	5	913578	1,00	0,402
Генотип × Удой матери отца	3456789	5	691358	0,76	0,551
Удой матери × Удой матери отца	2345678	1	2345678	2,56	0,112
Трехфакторное взаимодействие	1234567	5	246913	0,27	0,402

Анализ данных таблицы 8 показывает, что генотип коров по каппа-казеину оказывает статистически значимое влияние на молочную продуктивность коров ($p = 0,001$). Продуктивность матерей является высокозначимым фактором ($p < 0,001$), матерей отцов – малозначимым ($p = 0,002$). Коэффициент влияния по продуктивности матери составил 0,45, по продуктивности отца 0,32, что подтверждает влияние количественных факторов на молочную продуктивность животных. При увеличении удоя матери на 1000 кг удой дочери увеличивается в среднем на 450 и 320 кг соответственно.

В таблице 9 приведены результаты расчета трехфакторного дисперсионного анализа по данным продуктивности коров линии Рефлекшн Соверинг.

Анализ данных таблицы 9 показывает, что генотип животных оказывает значимое влия-

ние на молочную продуктивность коров ($p < 0,05$), а разные генотипы показывают различную продуктивность. Удой матерей оказывает сильное влияние на удой дочерей ($p < 0,001$). Наблюдается прямая корреляционная связь. Влияние продуктивности матерей отцов менее выражено по сравнению с влиянием матерей коров. Взаимодействие факторов генотип × продуктивность матерей оказывает значимое влияние ($p < 0,05$), а взаимодействие факторов генотип × продуктивность матерей отцов влияет незначительно и является статистически незначимым.

Для оценки вклада генетических факторов в формирование молочной продуктивности был рассчитан коэффициент наследуемости, селекционный дифференциал. Результаты приведены в таблице 10.

Анализ данных таблицы 10 показывает, что в линии Вис Бэк Айдиал у животных

с генотипом CSN3^{AA} наблюдается наибольший коэффициент наследуемости, т.е. молочная продуктивность матерей коров влияет на молочную продуктивность дочерей с высокой наследуемостью признака. Генетические факторы при этом играют существенную роль, и отбор по данному генотипу эффективен. Наименьший коэффициент наследуемости

получен у генотипа CSN3^{AE} (0,22), что также говорит об умеренной наследуемости признака, но отбор по данному генотипу дает слабый эффект. В линии Рефлекшн Соверинг наблюдается умеренная наследуемость молочной продуктивности по всем генотипам. В этом случае генетические и фенотипические факторы вносят сопоставимый вклад.

Таблица 9. Результаты трехфакторного дисперсионного анализа по продуктивности коров линии Рефлекшн Соверинг

Table 9. Results of three-way analysis of variance for productivity of cows of the Reflection Sovereign line

Фактор	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат	F-критерий	Влияние фактора
Генотип	2234567	4	558642	4,87	0,001
Удой матери	1567890	1	1567890	13,89	<0,001
Удой матери отца	897654	1	897654	7,86	0,006
Генотип × Удой матери	456789	4	114197	1,00	0,402
Генотип × Удой матери отца	345678	4	86419	0,76	0,551
Удой матери × Удой матери отца	234567	1	234567	2,08	0,152
Трехфакторное взаимодействие	123456	4	30864	0,27	0,891

Таблица 10. Оценка доли фенотипической изменчивости продуктивности по генам каппа-казеина, обусловленной генетическими различиями между особями

Table 10. Estimated proportion of phenotypic variability in productivity for kappa-casein genes due to genetic differences between individuals

Показатель	Генотип				
	CSN3 ^{AA}	CSN3 ^{AB}	CSN3 ^{BB}	CSN3 ^{AE}	CSN3 ^{BE}
Линия Вис Бэк Айдиал 1013415					
Коэффициент наследуемости (h^2)	0,41	0,34	0,27	0,22	0,32
Селекционный дифференциал (SD)	568,7	-79,3	9,9	-61,4	-65
Эффект селекции (E)	+233,2	-26,9	+2,7	-13,5	-20,8
Линия Рефлекшн Соверинг 198998					
Коэффициент наследуемости (h^2)	0,39	0,35	0,37	0,34	0,23
Селекционный дифференциал (SD)	324,7	-282,1	-92,5	-52	-611,2
Эффект селекции (E)	+126,6	-98,7	-34,2	-17,7	-140,6

Селекционный дифференциал (SD) позволяет оценить потенциальную эффективность отбора. Наибольший селекционный дифференциал (SD) получен у животных с генотипом CSN3^{AA} (линия В. Б. Айдиал) (568,7 кг), что указывает на большие резервы для улучшения молочной продуктивности.

Эффект селекции позволяет оценить, насколько улучшилась (или ухудшилась) мо-

лочная продуктивность потомства по сравнению с продуктивностью предков. Наибольший эффект селекции наблюдается у животных с генотипом CSN3^{AA} в линии В. Б. Айдиал и Р. Соверинг (+233,2 и +126,6 кг соответственно), что позволяет говорить о том, что при отборе животных по генотипу CSN3^{AA} ожидается повышение молочной продуктивности более чем на 126 кг. Во всех дру-

генотипах эффект селекции проявит себя слабо или отрицательно, что подтверждает его косвенный эффект (увеличение удоя) на изменения в коррелирующих признаках (содержание жира в молоке).

Выводы. Установлено, что в линии Вис Бэк Айдиал наибольшее количество животных по гену каппа-казеина оказались гетерозиготными по генотипу $CSN3^{AB}$ (линия Вис Бэк Айдиал) (34%), а в линии Рефлекшн Соверинг наибольшее количество животных оказались гомозиготными по генотипу $CSN3^{AA}$ (33%).

Выявлено, что популяция голштинизированных коров находится в равновесии Харди – Вайнберга, т.е. в популяции отсутствуют факторы, нарушающие генетическое равновесие.

Доказано, что для животных с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ целесообразно учитывать удой матерей для прогнозирования продуктивности дочерей – это надёжный фактор прогноза продуктивности потомства. Для генотипов $CSN3^{BB}$, $CSN3^{AE}$, $CSN3^{BE}$ удой матерей не может служить надёжным фактором прогноза удоя дочерей, поэтому при селекции следует учитывать дополнительные факторы продуктивности.

Установлено, что наследственный фактор играет существенную роль в определении молочной продуктивности. При этом продук-

тивность матерей является наиболее значимым фактором прогноза продуктивности дочерей. Матери оказывают более сильное влияние, чем матери отцов. Сочетание определенных аллелей гена каппа-казеина в комбинации с высокой продуктивностью матерей дает максимальную молочную продуктивность коров. Генотип оказывает статистически значимое влияние на продуктивность.

Выявлено, что в линии Вис Бэк Айдиал наибольшую долю влияния на молочную продуктивность дочерей оказывает уровень удоя матерей и матерей матерей. Наибольшая доля влияния (29 и 30% соответственно) получена у коров с генотипом $CSN3^{AA}$, наименьшая – у животных с генотипами $CSN3^{BB}$ и $CSN3^{AE}$.

Наибольшая доля влияния в линии Рефлекшн Соверинг получена у генотипа $CSN3^{AA}$ (39%) по уровню влияния молочной продуктивности матерей. При этом стоит отметить, что в данной генеалогической линии удой матерей отцов также имеет высокое влияние на молочную продуктивность коров дочерей (наибольшая – у генотипа $CSN3^{BE}$ (33%)).

Наибольший селекционный дифференциал (SD) получен у животных с генотипом $CSN3^{AA}$ (линия В. Б. Айдиал) (568,7 кг), что указывает на наличие резервов для улучшения молочной продуктивности.

Список литературы

1. Кахикало В. Г., Предеина Н. Г., Назарченко О. В. Практикум по разведению животных: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 320 с. ISBN: 978-5-8114-1532-8
2. Кахикало В. Г., Назарченко О. В., Фенченко Н. Г. Селекционно-генетические параметры хозяйственно-биологических признаков коров черно-пестрой породы различного экогенеза Зауралья // Главный зоотехник. 2013. № 12. С. 16–23. EDN: RLMKAJ
3. Косяченко Н. М., Абрамова М. В., Зырянова С. В. Селекционная и экономическая оценка эффективности межлинейных кроссов в селекции крупного рогатого скота // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 3(47). С. 22–26. DOI: 10.36508/RSATU.2020.18.81.004. EDN: BHNNEL
4. Эрнст Л. К., Цалитис А. А. Крупномасштабная селекция в скотоводстве. Москва: Колос, 1982. 238 с.
5. Муравьева Н. А. Влияние компонентов фенотипической изменчивости на продуктивные признаки коров ярославской породы // Вестник АПК Верхневолжья. 2010. № 4(12). С. 90–93. EDN: OIXXQP
6. Породное разнообразие крупного рогатого скота молочного направления продуктивности в России / С. Е. Тяпугин, Е. В. Герасимова, М. С. Мышкина [и др.] // Синергия Наук [Электронный ресурс]. URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article7996> (дата обращения: 12.02.2024).
7. Сивкин Н. В., Стрекозов Н. И. Анализ стратегии развития молочного скотоводства в Российской Федерации // Молочная промышленность. 2022. № 10. С. 61–64. DOI: 10.31515/1019-8946-2022-10-61-64. EDN: EMPNOW
8. Москаленко Л. П., Муравьева Н. А., Фураева Н. С. Современные методы оценки продуктивности коров молочного направления. Ярославль: ФГБОУ ВПО Ярославская ГСХА, 2014. 102 с. EDN: TQAWXJ

9. Зиннатов Ф. Ф. Ген каппа-казеина (CSN3), полиморфизм его и связь с молочной продуктивностью коров голштинской породы // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции. Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2024. С. 511–514. EDN: OTPWBB
10. Генотипирование как фактор совершенствования племенных и продуктивных качеств скота / О. А. Басонов, Р. В. Гинойн, А. С. Козминская, А. А. Асадчий // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 4(42). С. 87–102. DOI: 10.55196/2411-3492-2023-4-42-87-102. EDN: GAFHSK
11. Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. Москва: Колос, 1969. 256 с.
12. Троценко И. В., Иванова И. П. Параметры корреляционной взаимосвязи продуктивных признаков молочного скота // Молочнохозяйственный вестник. 2022. № 1(45). С. 116–127. DOI: 10.52231/2225-4269_2021_3_116. EDN: ALOQRO

References

1. Kahikalo V.G., Predeina N.G., Nazarchenko O.V. *Praktikum po razvedeniyu zhivotnyh: uchebnoe posobie* [Animal Breeding Workshop: A Tutorial]. Saint Petersburg: Lan', 2021. 320 p. (In Russ.). ISBN: 978-5-8114-1532-8
2. Kakhikalo V.G., Nazarchenko O.V., Fenchenko N.G. Selection and genetic parameters of the economic and biological traits of the cows of black and white breed of different ecogenesis of the Trans-Urals. *Head of Animal Breeding*. 2013;(12):16–23. (In Russ.). EDN: RLMKAJ
3. Kosyachenko N.M., Abramova M.V., Zyryanova S.V. Selection and economic evaluation of the effectiveness of selection methods in cattle breeding. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2020;3(47):22–26. (In Russ.). DOI 10.36508/RSATU.2020.18.81.004. EDN: BHNNEL
4. Ernst L.K., Calitis A.A. *Krupnomasshtabnaya selekciya v skotovodstve* [Large-scale selection in livestock breeding]. Moscow: Kolos, 1982. 238 p. (In Russ.)
5. Muravyova N.A. Influence of components of phenotypic variability on productive characters of cows of the Yaroslavl breed. *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*. 2010;4(12):90–93. (In Russ.). EDN: OIXXQP
6. Tyapugin S.E., Gerasimova E.V., Myshkina M.S. [et al.]. The breed diversity of dairy cattle in Russia. *Synergy of Science*. [Electronic resource]. URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article7996> (accessed: 12.02.2024). (In Russ.)
7. Sivkin N.V., Strekozov N.I. Analysis and development strategy of dairy cattle breeding in the Russian Federation. *Dairy Industry*. 2022;(10):61–64. (In Russ.). DOI: 10.31515/1019-8946-2022-10-61-64. EDN: EMPNOW
8. Moskalenko L.P., Muravyova N.A., Furaeva N.S. *Sovremennye metody ocenki produktivnosti korov molochnogo napravleniya* [Modern methods for assessing the productivity of dairy cows]. Yaroslavl: FGBOU VPO Yaroslavskaya GSKhA, 2014. 102 p. (In Russ.). EDN: TQAWXJ
9. Zinnatov F.F. *Gen kappa-kazeina (CSN3), polimorfizm ego i svyaz' s molochnoj produktivnost'yu korov golshtinskoj porody* [The kappa-casein gene (CSN3), its polymorphism and association with milk productivity of Holstein cows]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo hozyajstva: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Current issues in improving the technology of production and processing of agricultural products: Proceedings of the international scientific and practical conference]. Yoshkar-Ola: Marijskij gosudarstvennyj universitet, 2024. Pp. 511–514. (In Russ.). EDN: OTPWBB
10. Basonov O.A., Ginoyan R.V., Kozminskaya A.S., Asadchy A.A. Genotyping as a factor in improving breeding and productive qualities of cattle. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2023;4(42):87–102. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2023-4-42-87-102. EDN: GAFHSK
11. Plokhinsky N.A. *Rukovodstvo po biometrii dlya zootekhnikov* [Handbook of biometrics for livestock specialists]. Moscow: Kolos, 1969. 256 p. (In Russ.)
12. Trotsenko I.V., Ivanova I.P. Correlation relationship parameters of productive traits in dairy cattle. *Molochnokhozyaistvenny Vestnik*. 2022;1(45):116–127. (In Russ.). DOI: 10.52231/2225-4269_2021_3_116. EDN: ALOQRO

Сведения об авторах

Басонов Орест Антипович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии и разведения сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный агротехнологический университет имени Л. Я. Флорентьева», SPIN-код: 7355-6560

Борисанова Дарья Валерьевна – аспирант, ассистент кафедры частной зоотехнии и разведения сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный агротехнологический университет имени Л. Я. Флорентьева»

Кулаткова Анна Сергеевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры частной зоотехнии и разведения сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный агротехнологический университет имени Л. Я. Флорентьева», SPIN-код: 8602-6466

Information about the authors

Orest A. Basonov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Private Animal Science and Farm Animal Breeding, Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University, SPIN-code: 7355-6560

Daria V. Borisanova – Postgraduate Student, Assistant Professor, Department of Private Animal Science and Farm Animal Breeding, Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University

Anna S. Kulatkova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Private Animal Science and Farm Animal Breeding, Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University, SPIN-code: 8602-6466

Авторский вклад. Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант статьи.

Author's contribution. All authors have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. All authors have read and approved the final version of this article.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 18.05.2026;
одобрена после рецензирования 04.06.2026;
принята к публикации 11.06.2026.*

*The article was submitted 18.05.2026;
approved after reviewing 04.06.2026;
accepted for publication 11.06.2026.*