

РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА И БИОТЕХНОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ/BREEDING, SELECTION, GENETICS AND BIOTECHNOLOGY OF ANIMALS

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.5>

РАЗРАБОТКА БИОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ПЛЕМЕННОЙ ЦЕННОСТИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПО ПРИЗНАКАМ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

Научная статья

Печенский А.А.¹, Отраднов П.И.^{2,*}, Белоус А.А.³¹ORCID : 0009-0002-2131-8221;²ORCID : 0000-0002-1153-5815;³ORCID : 0000-0001-7533-4281;¹Воронежский Государственный Аграрный Университет имени Императора Петра 1, Липецк, Российская Федерация^{2,3}Федеральный исследовательский центр животноводства имени Л. К. Эрнста, Подольск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (deriteronard[at]gmail.com)

Аннотация

Как известно, потребность населения в молоке и молочных продуктах с каждым годом увеличивается, вследствие чего необходимо улучшать селекцию в направлении продуктивности молочного скота. В нашей работе, на основании информации базы данных первичного зоотехнического учёта, была сделана статистическая обработка, определены средние показатели продуктивности и воспроизводства коров первого отёла и выявлены высокие показатели удоя — 8810 кг за 305 дней лактации и ранний возврат 1-го осеменения — 17 месяцев. После этого был проведён анализ взаимосвязи признаков между собой, что позволило выявить наличие негативных (массовая доля жира и белка отрицательно коррелируют с удоем, выходом жира и белка) и позитивных взаимосвязей (удой, выход жира и выход белка положительно коррелируют между собой). Самую высокую наследуемость имела массовая доля белка — 0,144, а самую низкую — массовая доля жира — 0,04. Так, в конечном итоге мы сформировали 3 биометрические модели оценки племенной ценности для крупного рогатого скота: первая описывала изменчивость удоя за 305 дней, выход жира и выход белка; вторая — массовую долю жира; третья — массовую долю белка. Приведена описательная характеристика моделей, показывающая изменчивость признаков продуктивности в зависимости от факторов внешней среды и взаимосвязанных признаков. Достоверность учётных в уравнения факторов составила не ниже $p \leq 0,05$. Изменчивость признаков, описываемая совокупностью факторов, включенных в модели, варьировала в пределах 0,20...0,30.

Ключевые слова: молочная продуктивность, изменчивость, линейная модель, BLUP, факторный анализ.

DEVELOPMENT OF BIOMETRIC MODELS FOR ASSESSING THE BREEDING VALUE OF CATTLE BASED ON MILK PRODUCTIVITY TRAITS

Research article

Pechenskiy A.A.¹, Otradnov P.I.^{2,*}, Belous A.A.³¹ORCID : 0009-0002-2131-8221;²ORCID : 0000-0002-1153-5815;³ORCID : 0000-0001-7533-4281;¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Lipetsk, Russian Federation^{2,3}L.K. Ernst Federal Research Center, Podolsk, Russian Federation

* Corresponding author (deriteronard[at]gmail.com)

Abstract

It is known that the population's demand for milk and dairy products increases every year, so it is necessary to improve breeding in the direction of dairy cattle productivity. In our work, on the basis of information from the database of primary zootechnical accounting, statistical processing was done, average productivity and reproduction indicators of cows of the first calving were determined and high indicators of milk yield — 8810 kg for 305 days of lactation and early return of the 1st insemination — 17 months were identified. After that, the interrelationship of traits was analysed, which allowed to determine the presence of negative (mass fraction of fat and protein negatively correlate with milk yield, fat and protein yield) and positive interrelationships (milk yield, fat and protein yield positively correlate with each other). Protein mass fraction had the highest heritability of 0.144 and fat mass fraction had the lowest heritability of 0.04. Thus, we finally formed 3 biometric models of breeding value estimation for cattle: the first one described the variability of 305-day milk yield, fat yield and protein yield; the second one — fat mass fraction; the third one — protein mass fraction. Descriptive characteristic of the models showing the variability of productivity traits depending on environmental factors and interrelated traits is given. The reliability of the factors included in the equations was not lower than $p \leq 0.05$. Variability of signs described by the set of factors included in the models varied within 0.20...0.30.

Keywords: milk productivity, variability, linear model, BLUP, factor analysis.

Введение

Эффективность молочного скотоводства определяется многими факторами, среди которых важнейшим является производство молока. На текущий момент наблюдается повышение продуктивности крупного рогатого скота с

одновременным сокращением их численности. Односторонний отбор по молочной продуктивности нарушает биологическое равновесие, что ведет к угнетению воспроизводительных качеств, особенно в высокопродуктивных стадах.

О возможности эффективного отбора по тому или иному признаку, а также по комплексу признаков, дают представление популяционные характеристики. Одной из важнейших характеристик популяции является корреляция между хозяйственно-полезными признаками животных. Для успешной селекционно-племенной работы важно знать, как связаны между собой хозяйственно-полезные признаки крупного рогатого скота в популяциях молочных пород. Комплексный анализ селекционных признаков дает более полное представление о племенной ценности животных [1], [2].

В современных условиях селекция животных по комплексу признаков является одним из ключевых направлений селекционной работы. Основным следствием корреляции между признаками является то, что при отборе по одному признаку изменяется не только этот признак, но и другие, взаимосвязанные с ним. Изучение корреляционных связей дает возможность предусмотреть нежелательные последствия при проведении односторонней селекции по одному признаку или усилить эффективность отбора путем учета других косвенных показателей [3], [4].

Изучение сопряженности селекционных признаков, как считает Племяшов К.В., позволяет при отборе усиливать действие положительных качеств, ослабляя нежелательные. При этом уменьшается число признаков, необходимых для селекции. С помощью отбора можно изменить взаимосвязи между признаками в желательном направлении. По мнению Семеновой Н.В., оценить возможность селекционного улучшения, можно только зная характер наследуемости и генетических взаимосвязей между признаками. Если сопряженность признаков устойчиво наследуется, то одновременная селекция по комплексу признаков в течение нескольких поколений может быть успешной. В то же время Часовщикова М.А. указывает на то, что изученность взаимосвязей между признаками, применение их в селекционно-племенной работе со стадом, где фактическая зависимость признаков не выяснена, не всегда может привести к ожидаемым результатам, так как уровень связи и даже ее направление может изменяться в зависимости от различных факторов [5], [6], [7].

Также считается, что генетические параметры не остаются постоянными как для породы, так и для отдельных стад. Они изменяются под влиянием селекционно-племенной работы и в зависимости от условий внешней среды. Для успешной селекции крупного рогатого скота необходим постоянный мониторинг популяционных характеристик. По мнению многих исследователей, генетический фактор «бык-отец» является наиболее значимым при селекции молочного скота [8], [9].

Быки-производители сильнее влияют на генетическую изменчивость в популяции, основные генетико-статистические параметры и селекционные признаки, чем факторы «линия» и «генотип». В то же время отмечается, что в потомстве разных быков-производителей наблюдаются достоверные различия по характеру и величине корреляций между селекционируемыми признаками. Селекционная работа по совершенствованию молочных пород в последние годы базируется на большой доле зарубежных производителей, используемых в племенных хозяйствах. В связи с этим представляет научный интерес исследование сопряженности продуктивных и воспроизводительных признаков дочерей быков-производителей отечественной и зарубежной селекции в современной популяции черно-пестрой породы [10].

Таким образом, актуальность исследования обусловлена растущей потребностью населения в молоке и молочных продуктах, что требует повышения продуктивности молочного скота при одновременном сохранении его воспроизводительных качеств, нарушаемых односторонней селекцией. Новизна работы заключается в фокусе на методическом аспекте разработки трёх биометрических моделей оценки племенной ценности крупного рогатого скота, учитывающих влияние средовых факторов через категориальный фактор «стадо-год-сезон» (HYS) и корреляционные взаимосвязи между продуктивными и воспроизводительными признаками, что позволяет нивелировать возможную смещённость наблюдаемых (фенотипических) значений и повысить точность оценки племенной ценности.

Цель исследования, материал и методы

Цель исследования — сформировать биометрические модели, описывающие изменчивость изучаемых признаков молочной продуктивности в зависимости от ряда факторов.

Исследования проводили на основе информационной базы данных по 2042 головам коров черно-пестрой породы племенного хозяйства Московской области, Луховицкого района. Информационную базу формировали на основе данных информационно-аналитической программы «СЕЛЭКС. Молочный скот». Анализ данных проводился в среде разработки RStudio средствами языка программирования R. В исследования были включены продуктивные признаки коров-первотёлок: удой за 305 дней (кг), массовая доля жира и белка в молоке (%), выход белка и жира (кг). Коэффициенты корреляции рассчитывали с использованием аналитического пакета «Анализ данных» программы Microsoft Excel по формуле Пирсона. Статистическая обработка данных (расчет средних показателей, стандартного отклонения, ошибки среднего) проведена с использованием компьютерной программы Microsoft Excel. Разработка математически моделей, описывающих разнообразие признака, обусловленное рядом факторов, производилась средствами языка программирования R, в частности, использовалась библиотека lme4.

Основные результаты

На основании данных информационной базы проведена статистическая обработка и определены средние показатели продуктивности и воспроизводства коров первого отела (таблица 1).

Таблица 1 - Описательная характеристика исследованной выборки

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.5.1>

Признак, единица измерения	Уровень развития признака в популяции ($M \pm m$)	Коэффициент вариации (C_v)
Удой за 305 д лактации	8810 $\pm$ 30,01	15,39
% Жира	3,68 $\pm$ 0,01	7,20
% Белка	3,26 $\pm$ 1,05	14,65
Кг жира	323,00 $\pm$ 0,00	3,99
Кг Белка	286 $\pm$ 0,94	14,82
Взаимосвязанные величины		
Кратность осеменения	1,53 $\pm$ 0,02	53,29
Сервис период, дней	122,97 $\pm$ 1,55	57,09
Возраст 1-го отела, мес	26,89 $\pm$ 0,05	8,19
Возраст 1-го осеменения, мес	16,68 $\pm$ 0,04	10,90
Живая масса при плод.осеменении, кг	393 $\pm$ 0,53	7,23
Коэфф. инбридинга	0,44 $\pm$ 0,01	127,31

Примечание: $n=2042$

Установлено, что популяция племенного поголовья голштинской породы Московской области характеризуется достаточно высоким уровнем молочной продуктивности коров 1-го отёла и ранним возрастом 1-го осеменения. Так, у коров средний надой за 305 дней лактации составил 8810 кг молока. Средний возраст 1-го осеменения — 17 месяцев.

Далее мы провели анализ взаимосвязи признаков между собой, который даёт представление о возможных трудностях при дальнейшем селекционном процессе, в частности — о наличии антагонистических корреляционных взаимосвязях, на практике выражающихся в снижении значений одного признака при увеличении другого, что приводит к необходимости использования дополнительных средств комплексной селекции, таких как тандемная селекция, метод независимых уровней или построения уравнений селекционного индекса. Результаты корреляционного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Корреляция продуктивных признаков

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.5.2>

Признак критерий отбора	Удой	% Жира	Кг Жира	% Белка	Кг Белка
Удой	-	-	-	-	-
% Жира	-0,35	-	-	-	-
Кг Жира	0,89	0,12	-	-	-
% Белка	-0,28	0,44	-0,08	-	-
Кг Белка	0,97	-0,24	0,90	-0,02	-

Исходя из представленных коэффициентов корреляции, можно сделать вывод, что такие признаки, как удой, выход жира и выход белка, положительно коррелируют между собой и отрицательно — с массовой долей жира и массовой долей белка. Из представленных данных также следует, что если вести отбор по выходу жира, то будут улучшаться все остальные показатели, кроме массовой доли белка, а при отборе по выходу белка, улучшаются: удой, выход жира и выход белка, остаётся на том же уровне массовая доля белка и уменьшается массовая доля жира. В случае, если вести отбор по другим признакам, совокупное улучшение хозяйственно-полезных характеристик будет ниже.

Было проведено исследование биометрических моделей, описывающих изменчивость признаков продуктивности в зависимости от факторов внешней среды и взаимосвязанных характеристик. В процессе анализа были использованы современные статистические методы, в частности, анализ общих линейных моделей.

Исследование охватывало агрегатные условия среды, подразумевающие всю совокупность производственных показателей, действовавших на животного в момент начала лактационной активности. Эта совокупность была выражена в виде фактора со вложенными эффектами «стадо-год-сезон» (HYS). Данный фактор является широко распространенным в подобных исследованиях, так как позволяет учесть агрегатные условия содержания в стаде, климатические условия, характерные для сезона года, в который происходила лактация. Также вложенный эффект

сезона позволяет сформировать своего рода поправку на кормление, ввиду того, что поставки тех или иных видов кормов зависят от него [11].

Генетические характеристики животных, такие как продуктивность родителей и близких родственников, в рамках текущего этапа нашего исследования не учитывались. Это связано с тем, что средства анализа общих линейных моделей требуют множественных наблюдений для оценки обусловленной фактором изменчивости признака. В моделях смешанного типа BLUP для этого используется матрица родства, однако предшествующим этапом является оценка влияния средовых и взаимосвязанных эффектов.

Полученные данные углубляют понимание причинных взаимосвязей между факторами среды и организмом животных в целом на популяционном уровне, что важно для дальнейших селекционных мероприятий, в частности — оценки племенной ценности.

Биометрические модели, сформированные в рамках исследования, имели следующий вид:

Y305

$$FA = HYS + b_1AFC + b_2DO + b_3AFI + e ,$$

PA

$$FC = HYS + b_1AFC + b_2IB + e ,$$

$$PC = HYS + b_1AFC + b_2DO + e ,$$

где Y305, кг. — удой за 305 дн., FC, % — массовая доля жира в молоке, FA, кг. — выход молочного жира, PC, % — массовая доля белка в молоке, PA, кг. — выход молочного белка; HYS — категориальный фактор «стадо-год-сезон»; взаимосвязанные с оцениваемыми признаками характеристики представлены: AFC, мес. — возрастом 1-го отёла, DO, дн. — продолжительностью сервис-периода, AFI, мес. — возрастом 1-го плодотворного осеменения, IB, % — коэффициентом инбридинга; b_1 - b_3 — соответствующие коэффициенты регрессии.

Описательные характеристики качества моделей с позиции прогнозирующей способности представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Характеристика сформированных моделей

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.5.3>

Фактор	Признак				
	Удой 305 дн., кг	Жир 305 дн., %	Жир 305 дн., кг	Белок 305 дн., %	Белок 305 дн., кг
Категориальные переменные (дисперсионный анализ)					
HYS***, дисперсия, ед. изм. ²	254302,08	0,02	259,59	0,00	248,39
Коварианты (коэффициенты линейной регрессии)					
Возраст отёла	3,61***	-0,00*	0,10***	-0,00***	0,11***
Сервис период	5,77***	—	0,19***	-0,00*	0,18***
Возраст 1-го осеменения	-139,59***	—	-4,35***	—	-4,80***
Коэффициент инбридинга	—	-0,02*	—	—	—
Детерминированность и остаточная изменчивость					
Остаточная дисперсия, ед. изм. ²	1931933,33	0,07	2532,54	0,01	2057,41
R ²	0,28	0,30	0,20	0,29	0,23

Примечание: * – влияние фактора достоверно при $p \leq 0,05$, *** – влияние фактора достоверно при $p \leq 0,001$

Выявлено влияние факторов внешней среды на все показатели продуктивности, с достоверностью не ниже $p \leq 0,05$. Помимо факторов внешней среды, на продуктивные признаки оказывали влияние взаимосвязанные характеристики, например: возраст отёла влиял на все признаки; сервис-период — на удой, выход жира, массовую долю жира и выход белка, но влияние на массовую долю жира выявлено не было; возраст 1-го осеменения оказывал влияние на удой, выход жира и выход белка, при этом массовая доля жира и белка никак не связана с этим фактором; коэффициент инбридинга влияет только на массовую долю жира.

Изменчивость признаков, описываемая совокупностью факторов, включенных в модели, варьировала в пределах 0,20...0,30. Это свидетельствует о том, что использование данных моделей для целей прогнозирования значений признака не оправдано, так как существенная доля изменчивости приходится на остаток, т.е. существуют некоторые факторы, влияние которых не учтено.

Однако, учитывая, что проведенное исследование является этапом, предшествующим BLUP-оценке, их применение оправдано, так как, помимо средовых и взаимосвязанных факторов будут использованы также генетические связи между особями. Таким образом, выявленная доля изменчивости позволит избежать смещенности значений, спровоцированная названными эффектами.

Заключение

В рамках исследования были сформированы биометрические модели, описывающие вариабельность признаков молочной продуктивности путем учета изменчивости, обусловленной рядом факторов. Результаты данного анализа лягут в основу дальнейшей работы, связанной с селекционными мероприятиями, в частности, оценкой племенной ценности. Использованный подход может быть рекомендован организациям, занимающимся оценкой племенной ценности животных сельскохозяйственных видов по количественным селекционируемым признакам для учёта изменчивости, вызванной внутренней неоднородностью выборки, которая может вызывать смещенность результатов ряда статистических процедур.

Финансирование

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Минобрнауки России № FGGN-2025-0005.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The research was carried out within the State Assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. FGGN-2025-0005.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Янчуков И.Н. Научно-практические основы системы племенной работы с молочным скотом на региональном уровне управления: дис. ... д-ра с.-х. наук / Янчуков Иван Николаевич. — Москва, 2011. — 345 с.
2. Кузнецов В.М. Разведение по линиям и голштинизация: методы оценки, состояние и перспективы / В.М. Кузнецов // Проблемы биологии продуктивных животных. — 2013. — 41 с.
3. Храмченко Н.М. Анализ изменений точности прогноза генетической ценности по различным статистическим моделям и при различном соотношении вариантов / Н. М. Храмченко, А. В. Романенко // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. — 2019. — № 22-1. — С. 76–84.
4. Хайнацкий В.Ю. Метод племенной оценки быков-производителей мясных пород на основе BLUP / В.Ю. Хайнацкий // Животноводство и кормопроизводство. — 2021. — Т. 104. — С. 23–31. — DOI: 10.33284/2658-3135-104-1-20.
5. Племяшов К.В. Использование метода BLUP Animal Model в определении племенной ценности голштинизированного скота Ленинградской области / К.В. Племяшов, В.В. Лабинов, Н.Р. Рахматулина [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. — 2016. — № 1. — С. 2–5.
6. Семенова Н.В. Оценка наследуемости и генетических корреляций продуктивных и технологических признаков молочного скота и их применение в практической селекции / Н. В. Семенова // Достижения науки и техники АПК. — 2015. — Т. 29. — № 4. — С. 44–46.
7. Часовщикова М.А. Связь между признаками молочной продуктивности и моделирование отбора для повышения белкомолочности / М.А. Часовщикова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. — 2013. — № 2 (21). — С. 71–75.
8. Фирсова Э.В. Результаты оценки племенной ценности линий при помощи методов сравнения со сверстницами и BLUP на поголовье крупного рогатого скота мурманской области / Э.В. Фирсова, А.П. Карташова // Аграрный вестник Урала. — 2021. — № 5. — С. 63–70. — DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-63-70.
9. Игнатьева Л.П. Сравнительная характеристика животных симментальской породы разного происхождения на основе оценки племенной ценности коров методом BLUP ANIMAL MODEL в связи с уровнем продуктивности стад / Л.П. Игнатьева // Вестник КрасГАУ. — 2020. — № 11 (164). — С. 152–161. — DOI: 10.36718/1819-4036 2020-11-152-161.
10. Жуманов К.Ж. Разработка и оптимизация уравнений смешанной модели BLUP для оценки племенной ценности быков-производителей голштинской черно-пестрой породы Республики Казахстан / К.Ж. Жуманов, Т.Н. Карымсаков, М.А. Кинеев [и др.] // Аграрная наука. — 2021. — № 2. — С. 33–36. — DOI: 10.32634/0869-8155-2021-345-2-33-36.
11. Зарипов О.Г. Улучшение оценки малозначимых эффектов в моделях blup с использованием иерархических структур / О.Г. Зарипов, П.И. Отраднов // Journal of Agriculture and Environment. — 2024. — № 10 (50). — URL: <https://jae.cifra.science/archive/10-50-2024-october/10.60797/JAE.2024.50.1> (дата обращения: 13.03.2025). — DOI: 10.60797/JAE.2024.50.1.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Janchukov I.N. Nauchno-prakticheskie osnovy sistemy plemennoj raboty s molochnym skotom na regional'nom urovne upravlenija [Scientific and practical basis of the system of breeding work with dairy cattle at the regional management level]: diss. ... PhD in Agricultural Sciences / Janchukov Ivan Nikolaevich. — Moscow, 2011. — 345 p. [in Russian]
2. Kuznecov V.M. Razvedenie po linijam i golshtinizacija: metody ocenki, sostojanie i perspektivy [Line breeding and Holsteinisation: evaluation methods, status and prospects] / V.M. Kuznecov // Problemy biologii produktivnyh zhivotnyh [Problems of biology of productive animals]. — 2013. — 41 p. [in Russian]
3. Hramchenko N.M. Analiz izmenenij tochnosti prognoza geneticheskoy cennosti po razlichnym statisticheskim modeljam i pri razlichnom sootnoshenii variats [Analysis of changes in the accuracy of prediction of genetic value by different statistical models and at different ratio of variants] / N. M. Hramchenko, A. V. Romanenko // Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva [Current problems of intensive development of animal husbandry]. — 2019. — № 22-1. — P. 76–84. [in Russian]
4. Hajnackij V.Ju. Metod plemennoj ocenki bykov-proizvoditelej mjasnyh porod na osnove BLUP [Method of breeding evaluation of bulls-producers of meat breeds on the basis of BLUP] / V.Ju. Hajnackij // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo [Livestock breeding and fodder production]. — 2021. — Vol. 104. — P. 23–31. — DOI: 10.33284/2658-3135-104-1-20. [in Russian]
5. Plemjashov K.V. Ispol'zovanie metoda BLUP Animal Model v opredelenii plemennoj cennosti golshtinizirovannogo skota Leningradskoj oblasti [Use of BLUP Animal Model method in determining the breeding value of Holsteinised cattle of Leningrad Oblast] / K.V. Plemjashov, V.V. Labinov, N.R. Rahmatulina [et al.] // Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo [Dairy and beef cattle breeding]. — 2016. — № 1. — P. 2–5. [in Russian]
6. Semenova N.V. Ocenka nasleduemosti i geneticheskikh korreljacij produktivnyh i tehnologicheskikh priznakov molochnogo skota i ih primenenie v prakticheskoy selekcii [Evaluation of inheritability and genetic correlations of productive and technological traits of dairy cattle and their application in practical breeding] / N. V. Semenova // Dostizhenija nauki i tehniki APK [Achievements of science and technology of agroindustrial complex]. — 2015. — Vol. 29. — № 4. — P. 44–46. [in Russian]
7. Chasovshhikova M.A. Svjaz' mezdu priznakami molochnoj produktivnosti i modelirovanie otbora dlja povyshenija belkovomolochnosti [Relationship between milk productivity traits and modelling of selection for increasing protein-milk yield] / M.A. Chasovshhikova // Vestnik Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zaural'ja [Bulletin of the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals]. — 2013. — № 2 (21). — P. 71–75. [in Russian]
8. Firsova Je.V. Rezul'taty ocenki plemennoj cennosti linij pri pomoshhi metodov sravnenija so sverstnicami i BLUP na pogolov'e krupnogo rogatogo skota murmanskoj oblasti [The results of evaluation of breeding value of lines using the methods of comparison with peers and BLUP on the cattle of Murmansk Oblast] / Je.V. Firsova, A.P. Kartashova // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. — 2021. — № 5. — P. 63–70. — DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-63-70. [in Russian]
9. Ignat'eva L.P. Sravnitel'naja harakteristika zhivotnyh simmental'skoj porody raznogo proishozhdenija na osnove ocenki plemennoj cennosti korov metodom BLUP ANIMAL MODEL v svyazi s urovnem produktivnosti stad [Comparative characteristics of Simmental breed animals of different origin based on the assessment of breeding value of cows by BLUP ANIMAL MODEL method in connection with the level of productivity of herds] / L.P. Ignat'eva // Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasSAU]. — 2020. — № 11 (164). — P. 152–161. — DOI: 10.36718/1819-4036 2020-11-152-161. [in Russian]
10. Zhumanov K.Zh. Razrabotka i optimizacija uravnenij smeshannoj modeli BLUP dlja ocenki plemennoj cennosti bykov-proizvoditelej golshtinskoj cherno-pestroj porody Respubliki Kazahstan [Development and optimisation of equations of the mixed model BLUP for estimation of breeding value of bulls-producers of Holstein black-breed of the Republic of Kazakhstan] / K.Zh. Zhumanov, T.N. Karymsakov, M.A. Kineev [et al.] // Agrarnaja nauka [Agrarian Science]. — 2021. — № 2. — P. 33–36. — DOI: 10.32634/0869-8155-2021 345-2-33-36. [in Russian]
11. Zaripov O.G. Uluchshenie ocenki maloznachimyh jeffektov v modeljah blup s ispol'zovaniem ierarhicheskikh struktur [Improved estimation of low significance effects in blup models using hierarchical structures] / O.G. Zaripov, P.I. Otradnov // Journal of Agriculture and Environment. — 2024. — № 10 (50). — URL: <https://jae.cifra.science/archive/10-50-2024-october/10.60797/JAE.2024.50.1> (accessed: 13.03.2025). — DOI: 10.60797/JAE.2024.50.1. [in Russian]