

УДК 636. 237. 23: 637. 04: 637.661

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-41-47

Г.Г. Карликова ✉,  
И.А. Лашнева,  
А.А. Сермягин

Федеральный исследовательский центр  
животноводства — ВИЖ им. академика  
Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы,  
Подольск, Россия

✉ karlikovagalina@yandex.ru

Поступила в редакцию:  
04.05.2023

Одобрена после рецензирования:  
12.07.2023

Принята к публикации:  
24.07.2023

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-41-47

Galina G. Karlikova ✉,  
Irina A. Lashneva,  
Alexander A. Sermyagin

Federal Research Center for Animal  
Husbandry named after Academy Member  
L.K. Ernst, Dubrovitsy, Podolsk Russia

✉ karlikovagalina@yandex.ru

Received by the editorial office:  
04.05.2023

Accepted in revised:  
12.07.2023

Accepted for publication:  
24.07.2023

## Анализ взаимосвязи компонентного состава молока и биомаркеров крови голштинизированных коров

### РЕЗЮМЕ

Поиск потенциальных биомаркеров, сигнализирующих о состоянии физиологического статуса организма высокопродуктивных коров, учитываемых в дальнейшей селекции, направленной на увеличение количества и качества молочных продуктов, становится актуальным во многих странах, занимающихся молочным скотоводством.

Исследование проведено на базе племенного завода «Ладожский» (Краснодарский край) — филиала ФГБНУ «ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста». Исследования проб крови проведены на автоматическом биохимическом и иммуноферментном анализаторе Chem Well. Анализ расширенного компонентного состава молока сделан на анализаторе Combi Foss 7 (ИФС).

По результатам исследований рассчитаны взаимосвязи компонентного состава молока и крови коров. Для суточного удоя умеренные положительные корреляции отмечались с фосфолипидами ( $r = 0,364$ ), холестерином ( $r = 0,324$ ), альбумином ( $r = 0,316$ ) и магнием ( $r = 0,309$ ). Умеренная взаимосвязь между холестерином и лактозой составила  $r = 0,408$  и между холестерином и СОМО —  $r = 0,307$ . Прямая умеренная взаимосвязь  $r = 0,376$  между лактозой и АЛТ,  $r = 0,361$  — альбумином,  $r = 0,455$  — фосфолипидами. Умеренная прямая корреляция между трансизомерами и щелочной фосфатазой составила  $r = 0,309$ , хлором —  $r = 0,259$ . Умеренные обратные корреляции проявились в отношении «суточный удой — эритроциты»  $r = 0,312$ . Умеренные обратные корреляции между трансизомерами и холестерином  $r = -0,385$ , мочевиной —  $r = -0,428$ . Взаимосвязи остальных компонентов молока и крови (как прямые, так и обратные) оказались слабыми и очень слабыми.

**Ключевые слова:** крупный рогатый скот, молоко, биомаркер, селекция, генетический потенциал, жирные кислоты молока

**Для цитирования:** Карликова Г.Г., Лашнева И.А., Сермягин А.А. Анализ взаимосвязи компонентного состава молока и биомаркеров крови голштинизированных коров. *Аграрная наука*. 2023; 373(8): 41–47. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-41-47>

© Карликова Г.Г., Лашнева И.А., Сермягин А.А.

## Analysis of the relationship between the component composition of milk and blood biomarkers of Holsteinized cows

### ABSTRACT

The search for potential biomarkers that signal the state of the physiological status of the organism of highly productive cows, which are taken into account in further selection aimed at increasing the quantity and quality of dairy products, is becoming relevant in many countries engaged in dairy cattle breeding.

The study was conducted on the basis of the Ladozhsky breeding plant (Krasnodar Krai) — a branch of the L.K. Ernst Federal State Budgetary Institution. Studies of blood samples were carried out on an automatic biochemical and enzyme immunoassay analyzer «Chem Well». The analysis of the expanded component composition of milk was made on the analyzer «Combi Foss 7» (IFS). Based on the results of the studies, we calculated the relationship between the component composition of milk and blood of cows. For daily milk yield, moderate positive correlations were observed with phospholipids  $r = 0.364$ , cholesterol  $r = 0.324$ , albumin  $r = 0.316$  and magnesium  $r = 0.309$ . Moderate relationship between cholesterol and lactose was  $r = 0.408$  and between cholesterol and SOMO  $r = 0.307$ . Direct moderate relationship  $r = 0.376$  between lactose and ALT,  $r = 0.361$  — albumin,  $r = 0.455$  — phospholipids. Moderate direct correlation between trans-isomers and alkaline phosphatase was  $r = 0.309$ , chlorine —  $r = 0.259$ . Moderate inverse correlations appeared in relation to daily milk yield — erythrocytes  $r = 0.312$ . Moderate inverse correlations between trans-isomers and cholesterol  $r = -0.385$ , urea  $r = -0.428$ . The relationships of other components of milk and blood, both direct and inverse, turned out to be weak and very weak.

**Key words:** cattle, milk, biomarker, selection, genetic potential, milk fatty acids

**For citation:** Karlikova G.G., Lashneva I.A., Sermyagin A.A. Analysis of the relationship between the component composition of milk and blood biomarkers of Holsteinized cow. *Agrarian science*. 2023; 373(8): 41–47. (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-41-47>

© Karlikova G.G., Lashneva I.A., Sermyagin A.A.

## Введение/Introduction

Молоко относится к основным продуктам питания человека. Молокоперерабатывающая промышленность учитывает комплекс показателей его состава и качества, что является одним из основных факторов, влияющих на эффективность молочного скотоводства<sup>1, 2, 3</sup>.

В последние годы возрастает интерес к качеству молочных продуктов питания, что подразумевает под собой контроль качества сырого молока, так как именно компонентный состав молока напрямую влияет на технологические и вкусовые характеристики. Например, на качество таких молочных продуктов, как сливочное масло, сметана, сыров, непосредственное влияние оказывает уровень содержания жирных кислот в молоке<sup>4</sup>.

В настоящее время основной задачей в селекции молочного скота остается повышение продуктивности коров, однако улучшение качества получаемой продукции становится всё более актуальным во всех странах с развитыми системами молочного скотоводства [1]. В то же время немаловажным фактором остается физиологическое состояние коров, которое необходимо учитывать при работе над увеличением продуктивности в связи с возрастающей при этом напряженностью физиологического статуса организма коров, возрастанием метаболического стресса [2, 3].

Принимая во внимание перспективы использования биохимических показателей крови в селекционно-племенной работе, следует отметить, что природа корреляций между компонентами крови и признаками продуктивности животных основана на твердо установленных фактах, определяющих роль генов в синтезе белков [4]. Продуктивность животных всегда связана с усилением отдельных направлений обмена веществ, и в этом отношении значительный интерес представляют ферменты крови [1, 3].

В решении этих вопросов существенную пользу может принести поиск потенциальных биомаркеров, сигнализирующих о формировании физиологического статуса и дальнейшей реализации продуктивности особей [5].

Использование показателей состава молока коров как предиктивных маркеров статуса здоровья поможет в улучшении качества молочной продукции, организации менеджмента стада, а также селекции молочного скота при разведении высокоинтенсивного типа коров для увеличения продолжительности производственного использования животных [6–8].

Многими зарубежными и российскими учеными показано, что у жвачных животных существует определенная сопряженность между биохимическими показателями крови и качественным составом молока [9–11]. Высокая положительная корреляция выявлена между концентрацией мочевины в молоке и крови коров, а также умеренная — между мочевиной и удоем [9, 12].

Некоторые авторы своими исследованиями, проведенными на коровах голштинской породы с двумя уровнями продуктивности (7000 кг и 10000 кг молока), подтверждают, что показатели гепатоспецифичных ферментов крови (АСТ и АЛТ) положительно коррелируют с суточным удоем, содержанием жира, белка

и лактозы в молоке, холестерин крови — с суточным удоем [13].

При исследовании взаимосвязи между показателями химического состава молока и биохимического состава крови коров латвийской породы обнаружены высокие положительные коэффициенты корреляции ( $p < 0,05$ ) в ряду показателей: АСТ крови — протеин молока ( $r = 0,82$ ), белок крови — молочный белок ( $r = 0,90–0,92$ ), альбумины крови — белок молока ( $r = 0,96$ ), мочевины крови — молочный белок ( $r = 0,93–0,98$ ) [3]. Была изучена сопряженность между отдельными продуктивными признаками и показателями молока у коров симментальской породы, при этом были обнаружены положительные корреляции между холестерином крови и жиром в молоке, белком в крови и молоке, активностью АСТ и АЛТ и удоем. Исследователи предполагают, что выявленные взаимосвязи могут служить селекционным признаком при отборе молочного скота [3, 14].

Знание существующих уровней и взаимосвязей между различными показателями крови и молока важно для анализа и мониторинга гомеостаза организма высокопродуктивных молочных коров [14, 15].

Цель работы — оценка физиологического состояния коров на основе анализа маркеров крови и показателей качества молока для выявления закономерностей взаимосвязи между выбранными интерьерными компонентами и прогнозированием состояния здоровья животного.

## Материалы и методы исследований / Materials and methods

Экспериментальное исследование проведено на базе племенного завода «Ладожский» (Краснодарский край, Россия) — филиала ФГБНУ «ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста» в 2021–2022 гг.

Коровы находились в одинаковых условиях содержания на рационах, принятых в хозяйстве. Были отобраны образцы крови и сырого молока от клинически здоровых дойных коров голштинизированной черно-пестрой породы (выборка — 91 голова).

Кровь для исследования отбирали однократно от каждой головы с использованием пластиковых вакуумных пробирок с активатором свертывания из-под хвостовой вены у коров, не имеющих признаков заболеваний.

Экспериментальные процедуры, использованные в исследовании, не противоречат Европейской конвенции по защите позвоночных животных (ETS № 123 – Страсбург, 18 марта 1986 г.) и № 498-ФЗ Российской Федерации (ст. 4)<sup>5</sup>.

Сыворотку крови получали методом отстаивания цельной крови и ретракции кровяного сгустка с последующим центрифугированием. Полученную сыворотку исследовали фотометрическим методом на автоматическом биохимическом и иммуноферментном анализаторе крови Chem Well (Awareness technology, США) в лаборатории отдела биохимии и физиологии сельскохозяйственных животных ФГБНУ «ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста». В сыворотке крови определяли показатели азотистого обмена, активности аспартатаминотрансферазы (АСТ) и аланинаминотрансферазы (АЛТ);

<sup>1</sup> Родионов Г.В., Остроухова В.И., Табакова Л.П. Технология производства и оценка качества молока. Санкт-Петербург: Лань. 2021.

<sup>2</sup> Голубева, Л.В. Технология молока и молочных продуктов. Молочные консервы : учебник и практикум для академического бакалавриата / Л.В. Голубева. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Юрайт. 2019; 392.

<sup>3</sup> Савостина Т.В., Мижевикина А.С. Ветеринарно-санитарная экспертиза молока и молочных продуктов. Учебник для вузов. Санкт-Петербург. 2021.

<sup>4</sup> Корчагина Ю.А. Взаимосвязь продуктивности и биохимического состава крови у коров. ГОУ ДПО Ярославской области «Информационно-консультационная служба». [Электронный ресурс]. [http://yariks.info/pi\\_jivotnovodstvo/jiv\\_26-2/](http://yariks.info/pi_jivotnovodstvo/jiv_26-2/); дата обращения: 28.03.2023).

<sup>5</sup> Федеральный закон от 27.12.2018 «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

углеводного обмена — по уровню глюкозы; липидного обмена — по уровню холестерина, общего билирубина; минерального обмена — по содержанию хлоридов, железа, неорганического фосфора, магния.

Исследование состава молока коров проведено по результатам индивидуального отбора проб во время контрольных доений в соответствии с требованиями ГОСТ 13928-84<sup>6</sup> и ГОСТ 26809.1-2014<sup>7</sup>. Суточный отбор проб проводился в утреннюю и вечернюю дойку в один стаканчик. Состав молока был определен в лаборатории селекционного контроля качества молока на анализаторе Combi Foss 7 (Foss Electric, Дания), работающего на основе метода инфракрасной Фурье-спектроскопии (ИФС).

В исследование были включены 20 параметров состава молока:

- массовая доля жира (МДЖ),
- массовая доля белка (МДБ),
- массовая доля лактозы (МДЛ),

- сухое вещество (СВ),
- сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО),
- точка замерзания (ТЗ),
- мочевины,
- ацетон,
- бета-гидроксibuтират (БГБ),
- казеин,
- жирные кислоты.

Данные о продуктивности, взаимосвязи компонентного состава молока и крови коров, достоверности показателей рассчитаны в программе MS Excel 2013 (США).

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Длительное время селекционная работа была направлена на повышение содержания жира в молоке и должного внимания таким показателям, как содержание белка, СВ в молоке, сухого обезжиренного мо-

Таблица 1. Взаимосвязь показателей состава молока и крови коров  
Table 1. Interrelation of indicators of the composition of milk and blood of cows

Показатель	Общий белок, г/л	Альбумин, г/л	Глобулин, г/л	Холестерин общий, ммоль/л	Билирубин общий, ммоль/л	АЛТ, МЕ/л	АСТ, МЕ/л	Магний, ммоль/л	Мочевина, ммоль/л	Хлориды, ммоль/л	Щелочная ф-за, МЕ/л
Суточный удой, кг	0,168	0,316	0,015	0,324	0,005	0,133	-0,292	0,309	-0,003	-0,150	-0,225
Жир, %	-0,173	-0,198	-0,072	-0,313	0,173	-0,106	0,193	-0,170	-0,329	0,169	0,120
Белок, %	0,131	0,052	0,097	0,134	0,192	0,184	-0,112	-0,048	0,028	0,099	0,041
Лактоза, %	0,115	0,361	-0,053	0,408	0,117	0,376	-0,055	0,229	0,101	-0,083	0,104
SNF	0,158	0,222	0,047	0,307	0,232	0,338	-0,098	0,080	0,062	0,048	0,093
TS	-0,075	-0,074	-0,036	-0,143	0,258	0,057	0,119	-0,118	-0,258	0,162	0,140
Казеин, %	0,139	0,101	0,084	0,177	0,192	0,231	-0,150	-0,024	0,009	0,105	0,056
Ацетон, ммоль/л	-0,179	-0,180	-0,085	-0,132	-0,042	-0,162	0,596	-0,069	0,075	-0,024	-0,100
БГБ, ммоль/л	-0,046	-0,026	-0,031	-0,007	-0,128	-0,171	0,390	0,029	0,155	-0,065	-0,225
Мочевина, мг×100 мл <sup>-1</sup>	-0,157	0,021	-0,154	-0,004	0,107	0,092	0,204	-0,078	0,195	0,064	-0,175
Точка замерзания, °С	0,068	-0,105	0,109	-0,081	0,244	0,003	0,308	-0,028	0,100	0,019	0,015
pH	0,143	0,092	0,091	0,077	-0,013	0,040	-0,081	0,070	0,033	-0,150	-0,106
Миристиновая ЖК	0,113	0,092	0,064	0,163	0,191	0,321	-0,295	-0,086	-0,159	0,092	0,083
Пальмитиновая ЖК	-0,088	-0,152	-0,014	-0,155	0,137	0,017	0,030	-0,169	-0,265	0,145	0,067
Стеариновая ЖК	-0,301	-0,262	-0,162	-0,417	0,073	-0,274	0,333	-0,120	-0,338	0,192	0,129
Олеиновая ЖК	-0,269	-0,269	-0,129	-0,423	0,129	-0,247	0,430	-0,165	-0,287	0,151	0,112
Длинноцепочечные ЖК	-0,267	-0,249	-0,136	-0,411	0,132	-0,225	0,415	-0,142	-0,289	0,145	0,119
Среднецепочечные ЖК	0,010	-0,096	0,051	-0,063	0,197	0,128	-0,083	-0,172	-0,219	0,120	0,045
Мононенасыщенные ЖК	-0,278	-0,269	-0,137	-0,418	0,113	-0,255	0,428	-0,164	-0,301	0,161	0,119
Полиненасыщенные ЖК	-0,256	-0,153	-0,169	-0,360	0,093	-0,175	0,180	-0,120	-0,378	0,213	0,242
Насыщенные ЖК	-0,088	-0,139	-0,020	-0,210	0,184	-0,010	0,032	-0,160	-0,305	0,151	0,085
Короткоцепочечные ЖК	-0,022	-0,077	0,014	-0,170	0,188	0,020	-0,110	-0,124	-0,294	0,131	0,097
Трансизомеры ЖК	-0,347	-0,163	-0,248	-0,385	-0,051	-0,251	0,166	-0,047	-0,428	0,259	0,309
КСК, тыс. ед/мл	0,145	-0,008	0,137	0,031	-0,003	-0,084	0,015	-0,106	-0,008	0,062	0,051

Примечание: значения достоверности корреляций — \* $p \leq 0,05$ .

<sup>6</sup> ГОСТ 13928-84 Межгосударственный стандарт. Молоко и сливки заготавливаемые. Правила приемки, методы отбора проб и подготовка их к анализу.

<sup>7</sup> ГОСТ 26809.1-2014 Межгосударственный стандарт. Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молокосодержащие продукты.

Таблица 1. Взаимосвязь показателей состава молока и крови коров (продолжение)  
Table 1. Interrelation of indicators of the composition of milk and blood of cows (Table continuation)

Показатель	Общий белок, г/л	Альбумин, г/л	Глобулин, г/л	Холестерин общий, ммоль/л	Билирубин общий, мкмоль/л	АЛТ, МЕ/л	АСТ, МЕ/л	Магний, ммоль/л	Мочевина, ммоль/л	Хлориды, ммоль/л	Щелочная фаза, МЕ/л
Суточный удой, кг	0,168	0,316	0,015	0,324	0,005	0,133	-0,292	0,309	-0,003	-0,150	-0,225
Жир, %	-0,173	-0,198	-0,072	-0,313	0,173	-0,106	0,193	-0,170	-0,329	0,169	0,120
Белок, %	0,131	0,052	0,097	0,134	0,192	0,184	-0,112	-0,048	0,028	0,099	0,041
Лактоза, %	0,115	0,361	-0,053	0,408	0,117	0,376	-0,055	0,229	0,101	-0,083	0,104
SNF	0,158	0,222	0,047	0,307	0,232	0,338	-0,098	0,080	0,062	0,048	0,093
TS	-0,075	-0,074	-0,036	-0,143	0,258	0,057	0,119	-0,118	-0,258	0,162	0,140
Казеин, %	0,139	0,101	0,084	0,177	0,192	0,231	-0,150	-0,024	0,009	0,105	0,056
Ацетон, ммоль/л	-0,179	-0,180	-0,085	-0,132	-0,042	-0,162	0,596	-0,069	0,075	-0,024	-0,100
БГБ, ммоль/л	-0,046	-0,026	-0,031	-0,007	-0,128	-0,171	0,390	0,029	0,155	-0,065	-0,225
Мочевина, мг×100 мл <sup>-1</sup>	-0,157	0,021	-0,154	-0,004	0,107	0,092	0,204	-0,078	0,195	0,064	-0,175
Точка замерзания, °С	0,068	-0,105	0,109	-0,081	0,244	0,003	0,308	-0,028	0,100	0,019	0,015
pH	0,143	0,092	0,091	0,077	-0,013	0,040	-0,081	0,070	0,033	-0,150	-0,106
Миристиновая ЖК	0,113	0,092	0,064	0,163	0,191	0,321	-0,295	-0,086	-0,159	0,092	0,083
Пальмитиновая ЖК	-0,088	-0,152	-0,014	-0,155	0,137	0,017	0,030	-0,169	-0,265	0,145	0,067
Стеариновая ЖК	-0,301	-0,262	-0,162	-0,417	0,073	-0,274	0,333	-0,120	-0,338	0,192	0,129
Олеиновая ЖК	-0,269	-0,269	-0,129	-0,423	0,129	-0,247	0,430	-0,165	-0,287	0,151	0,112
Длинноцепочечные ЖК	-0,267	-0,249	-0,136	-0,411	0,132	-0,225	0,415	-0,142	-0,289	0,145	0,119
Среднецепочечные ЖК	0,010	-0,096	0,051	-0,063	0,197	0,128	-0,083	-0,172	-0,219	0,120	0,045
Мононенасыщенные ЖК	-0,278	-0,269	-0,137	-0,418	0,113	-0,255	0,428	-0,164	-0,301	0,161	0,119
Полиненасыщенные ЖК	-0,256	-0,153	-0,169	-0,360	0,093	-0,175	0,180	-0,120	-0,378	0,213	0,242
Насыщенные ЖК	-0,088	-0,139	-0,020	-0,210	0,184	-0,010	0,032	-0,160	-0,305	0,151	0,085
Короткоцепочечные ЖК	-0,022	-0,077	0,014	-0,170	0,188	0,020	-0,110	-0,124	-0,294	0,131	0,097
Трансизомеры ЖК	-0,347	-0,163	-0,248	-0,385	-0,051	-0,251	0,166	-0,047	-0,428	0,259	0,309
КСК, тыс. ед/мл	0,145	-0,008	0,137	0,031	-0,003	-0,084	0,015	-0,106	-0,008	0,062	0,051

Примечание: значения достоверности корреляций — \* $p \leq 0,05$ .

лочного остатка (СОМО), не уделялось. Но именно эти показатели оказывают влияние как на выход, качество, так и на питательную ценность молока и продуктов его переработки [16].

По результатам исследований рассчитаны взаимосвязи компонентного состава молока и крови коров (табл. 1). Многие корреляции совпадали во все периоды лактации.

Так, средняя положительная взаимосвязь отмечалась для АСТ с таким биомаркером состояния обмена веществ, как ацетон  $r = 0,596$ . Умеренная корреляция проявилась для взаимосвязи АСТ с бета-гидроксibuтиратом  $r = 0,390$ , а АСТ с жирными кислотами — от  $r = 0,333$  до  $r = 0,430$  по разным кислотам.

Для суточного удоя умеренные положительные корреляции отмечались с фосфолипидами  $r = 0,364$ , холестерином  $r = 0,324$ , альбумином  $r = 0,316$  и магнием  $r = 0,309$ . Умеренная взаимосвязь между холестерином и лактозой составила  $r = 0,408$  и между холестерином и СОМО —  $r = 0,307$ . Прямая умеренная взаимосвязь  $r = 0,376$  — между лактозой и АЛТ,  $r = 0,361$  наблюдалась между лактозой и альбумином,  $r = 0,455$  — между лактозой и фосфолипидами. Умеренная прямая кор-

реляция между трансизомерами и щелочной фосфатозой составила  $r = 0,309$ , трансизомерами и хлором —  $r = 0,259$ .

Умеренные обратные корреляции проявились в отношении «суточный удой — эритроциты»  $r = 0,312$ . Отрицательные умеренные взаимосвязи отмечались для стеариновой кислоты с общим белком крови  $r = -0,301$ , жирных кислот (полиненасыщенных, стеариновой, длинноцепочечных, олеиновой, мононенасыщенных) с холестерином от  $r = -0,347$  до  $r = -0,423$ , жирных кислот (мононенасыщенных, короткоцепочечных, полиненасыщенных, стеариновой) с мочевиной от  $r = -0,301$  до  $r = -0,378$ , жирных кислот (длинноцепочечных, олеиновой, стеариновой, мононенасыщенных) с фосфолипидами от  $r = -0,360$  до  $r = -0,386$ . Слабые отрицательные корреляции сложились для жирных кислот (длинноцепочечных, стеариновой, олеиновой) с альбумином от  $r = -0,249$  до  $r = -0,269$ , жирных кислот (короткоцепочечных, стеариновой, олеиновой, мононенасыщенных, длинноцепочечных) и глюкозой от  $r = -0,206$  до  $r = -0,284$ . Умеренные обратные корреляции между трансизомерами и холестерином  $r = -0,385$ , трансизомерами и мочевиной  $r = -0,428$ . Слабые обратные

корреляции: суточный удой с АСТ  $r = -0,292$ , суточный удой с гематокритом  $r = 0,291$ . Также слабые обратные корреляции между трансизомерами и фосфолипидами  $r = -0,280$ , трансизомерами и АЛТ  $r = -0,251$ , трансизомерами и глобулином  $r = -0,248$ . Для количества соматических клеток была отмечена слабая обратная корреляция с кальцием —  $r = -0,230$ .

Взаимосвязи остальных компонентов молока и крови (как прямые, так и обратные) оказались слабыми и очень слабыми. Рассчитанные коэффициенты корреляции между компонентами молока и крови подтверждаются исследованиями других авторов, утверждающими, что молоко обладает большим потенциалом для прогнозирования метаболитов крови и метаболического статуса коров [10, 12, 17].

Совокупный анализ компонентного состава молока и биохимических параметров крови выявил наиболее переменные параметры крови, связанные с показателями состава молока. Наибольшую значимость для исследованной выборки коров сыграли такие биомаркеры крови, как альбумин, холестерин, фермент переаминирования аспаратаминотрансфераза, фосфолипиды и эритроциты (табл. 2). Они были связаны с изменчивостью жирных кислот молока, остаточных метаболитов обмена веществ, показателями удоя и выхода молочной продукции.

Для оценки белкового обмена определили общий белок и один из его составляющих — альбумин. Этот показатель поможет понять, достаточно ли протеина в рационе. Так, при некотором превышении нормы содержания альбуминов в крови уровень суточного удоя достоверно менялся в сторону роста ( $p < 0,01$ ).

Превышение нормы содержания альбуминов в крови несколько увеличило уровень лактозы ( $p < 0,01$ ), но при этом снизилась массовая доля жира ( $p < 0,05$ ) в молоке.

Оценивая содержание общего холестерина в крови, можно сказать, что при повышенном уровне холестерина достоверно увеличились уровни содержания лактозы ( $p < 0,01$ ), сухого обезжиренного молочного остатка ( $p < 0,001$ ), казеина ( $p < 0,05$ ) в молоке. Существует возможная вероятность некоторого перекорма животных концентрированными кормами. Стоит отметить, по полученным данным, что при увеличении холестерина крови недостоверно, но несколько снизился уровень большинства жирных кислот в молоке, за исключением миристиновой. Инфильтрация жира в печень может также повлиять на концентрации некоторых компонентов крови в начале лактации [17].

Стоит отметить, что активность такого печеночного фермента переаминирования, как аспаратаминотрансферазы (АСТ), выше нормы привела к снижению суточного удоя молока, но при этом к достоверному повышению массовой доли жира ( $p < 0,01$ ), СВ ( $p < 0,01$ ), точки замерзания ( $p < 0,05$ ), изменению соотношения уровня содержания насыщенных и ненасыщенных жирных кислот ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ). Как известно, уровень содержания АСТ в крови повышается при периодическом скармливании животным, возможно, недоброкачественных кормов, следствием этого является развитие различных патологий в печени. Между тем для глубоко стельных коров допускается незначительное повышение уровня ферментов крови [15].

Таблица 2. Взаимосвязь состава молока коров и отдельных показателей крови  
Table 2. The relationship between the composition of cow's milk and individual blood parameters

Показатель	Показатели крови									
	Альбумин, г/л		Холестерин общий, ммоль/л		АСТ, МЕ/л		Фосфолипиды, ммоль/л		Эритроциты, $10^{12}/л$	
	N	>N	N	>N	N	>N	N	>N	N	>N
Суточный удой, кг	26,29 ± 1,25	30,57 ± 0,85**	28,61 ± 0,81	30,50 ± 1,73	29,53 ± 0,71	23,45 ± 3,08	28,55 ± 1,03	31,29 ± 1,05	31,08 ± 1,17*	27,42 ± 0,92
Жир, %	3,92 ± 0,15*	3,53 ± 0,09*	3,73 ± 0,09	3,40 ± 0,16	3,60 ± 0,08	4,39 ± 0,26**	3,61 ± 0,12	3,54 ± 0,10	3,60 ± 0,14	3,75 ± 0,10
Белок, %	3,21 ± 0,05	3,22 ± 0,03	3,20 ± 0,03	3,33 ± 0,06	3,21 ± 0,03	3,27 ± 0,08	3,22 ± 0,05	3,20 ± 0,03	3,19 ± 0,05	3,23 ± 0,03
Лактоза, %	4,81 ± 0,03	4,93 ± 0,03**	4,87 ± 0,02	5,00 ± 0,04**	4,89 ± 0,02	4,83 ± 0,07	4,86 ± 0,03	4,96 ± 0,03*	4,86 ± 0,03	4,90 ± 0,03
Сухое вещество, %	12,78 ± 0,16	12,54 ± 0,10	12,65 ± 0,10	12,58 ± 0,15	12,55 ± 0,09	13,34 ± 0,24**	12,54 ± 0,15	12,55 ± 0,11	12,50 ± 0,16	12,73 ± 0,11
СОМО, %	8,86 ± 0,06	9,01 ± 0,05	8,92 ± 0,04	9,18 ± 0,06***	8,95 ± 0,04	8,95 ± 0,09	8,93 ± 0,07	9,01 ± 0,05	8,90 ± 0,06	8,98 ± 0,04
Точка замерзания, °С	-0,543 ± 1,51	-0,538 ± 1,40	-0,538 ± 1,15	-0,541 ± 1,37	-0,537 ± 1,05	-0,545 ± 3,19*	-0,538 ± 1,18	-0,537 ± 1,96	-0,538 ± 0,77	-0,539 ± 1,61
Мочевина, мг × 100 мл <sup>-1</sup>	42,74 ± 0,72	43,27 ± 0,67	42,93 ± 0,55	43,99 ± 0,82	42,57 ± 0,38	46,72 ± 2,99	42,86 ± 0,53	42,82 ± 0,95	42,96 ± 0,63	43,11 ± 0,70
Ацетон, м Моль/л	0,115 ± 0,02	0,099 ± 0,01	0,104 ± 0,01	0,117 ± 0,01	0,091 ± 0,005	0,217 ± 0,07	0,093 ± 0,01	0,094 ± 0,01	0,096 ± 0,01	0,112 ± 0,02
БГБ, м Моль/л	0,035 ± 0,005	0,037 ± 0,01	0,036 ± 0,004	0,044 ± 0,01	0,032 ± 0,003	0,068 ± 0,02	0,033 ± 0,004	0,035 ± 0,004	0,035 ± 0,004	0,037 ± 0,01
Казеин, %	2,53 ± 0,04	2,56 ± 0,03	2,54 ± 0,02	2,65 ± 0,04*	2,54 ± 0,02	2,58 ± 0,07	2,55 ± 0,05	2,55 ± 0,03	2,53 ± 0,04	2,56 ± 0,03
КСК, тыс. ед./мл	568,2 ± 142,8	643,7 ± 108,7	623,5 ± 95,8	540,4 ± 156,9	614,7 ± 87,9	599,6 ± 341,2	619,7 ± 124,6	625,8 ± 132,9	650,1 ± 171,2	589,8 ± 92,4
Насыщенные ЖК <sup>a</sup>	2,540 ± 0,09	2,339 ± 0,06	2,440 ± 0,06	2,272 ± 0,09	2,379 ± 0,05	2,735 ± 0,13*	2,403 ± 0,08	2,354 ± 0,06	2,387 ± 0,09	2,441 ± 0,06
Миристиновая ЖК	0,321 ± 0,01	0,317 ± 0,01	0,318 ± 0,01	0,321 ± 0,01	0,319 ± 0,01	0,318 ± 0,02	0,323 ± 0,01	0,325 ± 0,01	0,319 ± 0,01	0,318 ± 0,01
Пальмитиновая ЖК	0,928 ± 0,03	0,859 ± 0,02	0,893 ± 0,02	0,846 ± 0,03	0,872 ± 0,02*	1,002 ± 0,05*	0,900 ± 0,03	0,861 ± 0,02	0,873 ± 0,03	0,896 ± 0,02
Стеариновая ЖК	0,420 ± 0,02*	0,357 ± 0,01	0,389 ± 0,01	0,337 ± 0,03	0,367 ± 0,01*	0,498 ± 0,05*	0,363 ± 0,02	0,356 ± 0,01	0,361 ± 0,02	0,396 ± 0,02
Олеиновая ЖК	1,311 ± 0,07*	1,131 ± 0,03	1,223 ± 0,04*	1,061 ± 0,06	1,150 ± 0,03**	1,617 ± 0,17**	1,150 ± 0,04	1,113 ± 0,03	1,144 ± 0,06	1,242 ± 0,05

Примечание: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ , <sup>a</sup> единица измерения ЖК — г / 100 г.

Некоторое увеличение выше нормы уровня фосфолипидов в крови достоверно привело к увеличению содержания уровня лактозы в молоке ( $p < 0,05$ ), при этом у части жирных кислот (насыщенные, пальмитиновая, олеиновая, мононенасыщенные, среднецепочечные и длинноцепочечные) уровень недостоверно снизился.

Повышенное число содержания эритроцитов в крови по сравнению с нормой привело к некоторому падению суточной молочной продуктивности (на 3,7 кг) и достоверному увеличению содержания трансизомеров ( $p < 0,05$ ) в молоке.

Влияние точки замерзания молока как маркера технологических свойств переработки молочной продукции не установлено.

Полученные результаты важны для выявления различных биохимических путей при оценке направлений дальнейшей селекции молочного скота при разведении высокоинтенсивного типа коров.

## Выводы/Conclusion

Анализ показателей молока, биохимического состава крови и корреляционных связей между показателями молока и крови у коров голштинизированной черно-пестрой породы подтвердил некоторые закономерности, выявленные другими авторами. Получены высокие положительные коэффициенты корреляции между активностью АСТ крови и качественного состава молока (содержание жира, белка и лактозы), положительная связь между холестерином крови и содержанием жира в молоке и отрицательная взаимосвязь между глюкозой крови и температурой замерзания молока.

Таким образом, на основании исследований можно считать целесообразными дальнейшие исследования по выявлению структуры взаимосвязей между показателями молока и химического состава крови на больших выборках с учетом возможных генотипических различий и вариабельности причинно-следственных связей.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в работу.

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко Г.А. Метаболические тесты у крупного рогатого скота и перспективы их использования для повышения молочной продуктивности. *Сельскохозяйственная биология*. 1983; (10): 108–115.
2. Абельдинов Р.Б., Бексеитов Т.К. Биологический статус коров симментальской породы казахстанской селекции с различным генотипом по генам-кандидатам белкового обмена. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2017; (2): 81–87. <https://elibrary.ru/xweqft>
3. Горюнова Т.Ж., Шутова М.В., Соснина Л.П. Биохимический состав крови высокопродуктивных коров по фазам лактации. *Молочнохозяйственный вестник*. 2017; (3): 47–53. <https://elibrary.ru/zmnsvp>
4. Соловьева О.И., Крестьянинова Е.И., Халикова Т.Ю. Продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинской породы разного происхождения. *Главный зоотехник*. 2020; (12): 24–33. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2012-03>
5. Hanuš O. *et al.* Milk acetone determination by the photometrical method after microdiffusion and via FT infra-red spectroscopy. *Journal of Agrobiology*. 2011; 28(1): 33–48. <https://doi.org/10.2478/v10146-011-0004-9>
6. Filipčejová T., Kováčik J., Kirchnerová K., Foltýs V. Changes in milk composition as a result of metabolic disorders of dairy cows. *Potravinárstvo – Slovak Journal of Food Sciences*. 2011; 5(1): 10–16. <https://doi.org/10.5219/113>
7. Zaalberg R.M., Shetty N., Janss L., Buitenhuis A.J. Genetic analysis of Fourier transform infrared milk spectra in Danish Holstein and Danish Jersey. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(1): 503–510. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14464>
8. Benedet A., Costa A., De Marchi M., Penasa M. Heritability estimates of predicted blood  $\beta$ -hydroxybutyrate and nonesterified fatty acids and relationships with milk traits in early-lactation Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(7): 6354–6363. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17916>
9. Абельдинов Р.Б., Бексеитов Т.К. Взаимосвязь молочной продуктивности и биохимического состава крови коров симментальской породы в ТОО «Галицкое». *Аграрная наука – сельскому хозяйству*. Барнаул: Алтайский ГАУ. 2016; 3: 81, 82. <https://elibrary.ru/vynwjz>
10. Yehia S.G., Ramadan E.S., Megahed E.A., Salem N.Y. Influence of Season and Lactation Stage on Oxidative, Haematological, and Metabolic Profile Parameters in Holstein Dairy Cows. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2021; 9(12): 2095–2102. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2021/9.12.2095.2102>
11. Сермягин А.А. и др. Валидация геномного прогноза племенной ценности быков-производителей по признакам молочной продуктивности дочерей на примере популяции черно-пестрого и голштинского скота. *Сельскохозяйственная биология*. 2017; 6(2): 1148–1156. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.6.1148rus>
12. Djokovic R. *et al.* Relationships between Contents of Biochemical Metabolites in Blood and Milk in Dairy Cows during Transition and Mid Lactation. *Journal of Applied Research in Veterinary Medicine*. 2019; 17(1): 1–9.

## REFERENCES

1. Bondarenko G.A. Metabolic tests in cattle and prospects for their use to increase milk productivity. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 1983; (10): 108–115 (In Russian).
2. Abeldinov R.B., Bekseitov T.K. Biological status of Simmental cows bred in Kazakhstan with different genotypes by candidate genes of protein metabolism. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2017; (2): 81–87 (In Russian). <https://elibrary.ru/xweqft>
3. Goryunova T.Zh., Shutova M.V., Sosnina L.P. Biochemical composition of highly productive cows blood in lactation phases. *Molochnohozyaystvenny Vestnik*. 2017; (3): 47–53 (In Russian). <https://elibrary.ru/zmnsvp>
4. Solovyova O.I., Krestyaninova E.I., Khalikova T.Yu. Productivity and reproductive traits of cows of Holstein breed of different origin. *Head of Animal Breeding*. 2020; (12): 24–33 (In Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-03-2012-03>
5. Hanuš O. *et al.* Milk acetone determination by the photometrical method after microdiffusion and via FT infra-red spectroscopy. *Journal of Agrobiology*. 2011; 28(1): 33–48. <https://doi.org/10.2478/v10146-011-0004-9>
6. Filipčejová T., Kováčik J., Kirchnerová K., Foltýs V. Changes in milk composition as a result of metabolic disorders of dairy cows. *Potravinárstvo – Slovak Journal of Food Sciences*. 2011; 5(1): 10–16. <https://doi.org/10.5219/113>
7. Zaalberg R.M., Shetty N., Janss L., Buitenhuis A.J. Genetic analysis of Fourier transform infrared milk spectra in Danish Holstein and Danish Jersey. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(1): 503–510. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14464>
8. Benedet A., Costa A., De Marchi M., Penasa M. Heritability estimates of predicted blood  $\beta$ -hydroxybutyrate and nonesterified fatty acids and relationships with milk traits in early-lactation Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(7): 6354–6363. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17916>
9. Abeldinov R.B., Bekseitov T.K. The relationship of milk productivity and biochemical composition of blood of cows of the Simmental breed in Galitsky LLP. *Agricultural science – for agriculture*. Barnaul: Altai State Agricultural University. 2016; 3: 81, 82 (In Russian). <https://elibrary.ru/vynwjz>
10. Yehia S.G., Ramadan E.S., Megahed E.A., Salem N.Y. Influence of Season and Lactation Stage on Oxidative, Haematological, and Metabolic Profile Parameters in Holstein Dairy Cows. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2021; 9(12): 2095–2102. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2021/9.12.2095.2102>
11. Sermyagin A.A. *et al.* Genomic evaluation of bulls for daughters' milk traits in Russian Black-and-White and Holstein cattle population through the validation procedure. *Agricultural Biology*. 2017; 6(2): 1148–1156 (In Russian). <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.6.1148rus>
12. Djokovic R. *et al.* Relationships between Contents of Biochemical Metabolites in Blood and Milk in Dairy Cows during Transition and Mid Lactation. *Journal of Applied Research in Veterinary Medicine*. 2019; 17(1): 1–9.

13. Ефимова Л.В., Зазнобина Т.В., Фролова О.А., Иванова О.В., Иванов Е.А. Взаимосвязь показателей качества молока и биохимического состава крови у коров красно-пестрой породы. *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2019; (3): 48–57. <https://elibrary.ru/zqfvzc>

14. Andjelić B. *et al.* Relationships between Milk and Blood Biochemical Parameters and Metabolic Status in Dairy Cows during Lactation. *Metabolites*. 2022; 12(8): 733. <https://doi.org/10.3390/metabo12080733>

15. Патрушев Л.И. Генетические механизмы наследственных нарушений гемостаза. Обзор. *Биохимия*. 2002; 67(1): 40–55. <https://elibrary.ru/mpnftf>

16. Djoković R. *et al.* Correlation between Blood Biochemical Metabolites Milk Yield, Dry Matter Intake and Energy Balance in Dairy Cows during Early and Mid Lactation. *Advances in Diabetes and Metabolism*. 2017; 5(2): 26–30. <https://doi.org/10.13189/adm.2017.050202>

17. Mordak R., Kupczyński R., Nizański W. Analysis of Correlations Between Selected Blood Markers of Liver Function and Milk Composition in Cows During Late Lactation Period. *Annals of Animal Science*. 2020; 20(3): 871–886. <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0020>

13. Efimova L.V., Zaznobina T.V., Frolova O.A., Ivanova O.V., Ivanov E.A. Relationship of milk quality indicators and blood biochemical composition in cows of Red-Motley breed. *Problems of Productive Animal Biology*. 2019; (3): 48–57 (In Russian). <https://elibrary.ru/zqfvzc>

14. Andjelić B. *et al.* Relationships between Milk and Blood Biochemical Parameters and Metabolic Status in Dairy Cows during Lactation. *Metabolites*. 2022; 12(8): 733. <https://doi.org/10.3390/metabo12080733>

15. Patrushev L.I. Genetic mechanisms of hereditary hemostasis disorders. *Biochemistry (Moscow)*. 2002; 67(1):33–46. <https://doi.org/10.1023/A:1013995929506>

16. Djoković R. *et al.* Correlation between Blood Biochemical Metabolites Milk Yield, Dry Matter Intake and Energy Balance in Dairy Cows during Early and Mid Lactation. *Advances in Diabetes and Metabolism*. 2017; 5(2): 26–30. <https://doi.org/10.13189/adm.2017.050202>

17. Mordak R., Kupczyński R., Nizański W. Analysis of Correlations Between Selected Blood Markers of Liver Function and Milk Composition in Cows During Late Lactation Period. *Annals of Animal Science*. 2020; 20(3): 871–886. <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0020>

## ОБ АВТОРАХ

### Галина Геннадьевна Карликова,

доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, д. 60, Подольск, Московская обл., 142132, Россия  
<https://orcid.org/0000-0002-9021-1404>  
[karlikovagalina@yandex.ru](mailto:karlikovagalina@yandex.ru)

### Ирина Алексеевна Лашнева,

ведущий специалист отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, д. 60, Подольск, Московская обл., 142132, Россия  
<https://orcid.org/0000-0009-4276-8782>

### Александр Александрович Сермягин,

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом популяционной генетики и генетических основ разведения животных, Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, д. 60, Подольск, Московская обл., 142132, Россия  
<https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>

## ABOUT THE AUTHORS

### Galina Gennadievna Karlikova,

Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher Department of Population Genetics and Genetic Basis of Animal Breeding, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia  
<https://orcid.org/0000-0002-9021-1404>  
[karlikovagalina@yandex.ru](mailto:karlikovagalina@yandex.ru)

### Irina Alekseevna Lashneva,

Leading Specialist Department of Population Genetics and Genetic Basis of Animal Breeding, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia  
<https://orcid.org/0000-0009-4276-8782>

### Alexander Alexandrovich Sermyagin,

Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of Population Genetics and Genetic Basis of Animal Breeding, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia  
<https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>