

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ГЛЮКОЗЫ И В-ГИДРОКСИБУТИРАТА В КРОВИ У КОРОВ И ИХ СВЯЗЬ С РЕПРОДУКТИВНОЙ ФУНКЦИЕЙ И МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ

Семен Викторович Николаев^{1✉}

¹Институт агробиотехнологий имени А.В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация

¹канд. ветеринар. наук, вед. научный сотрудник, semen.nikolaev.90@mail.ru

РЕФЕРАТ

В работе проведен мониторинг концентрации глюкозы (Glc) и кетоновых тел (β -HB) у коров с разной молочной продуктивностью, а также дана оценка влияния данных метаболитов на репродуктивную функцию и молочность животных. Установлено, что наименьшая концентрация β -HB присутствовала у коров с продуктивностью в диапазоне 2000...2999 кг молока за 100 дней лактации, и была на 23,5% ($P \leq 0,05$) ниже, чем у животных с удоом менее 2000 кг и на 33,8% ($P \leq 0,001$) по сравнению с особями при молочности более 4000 кг. Максимальную молочную продуктивность показывали коровы с уровнем Glc 2,2...3,9 ммоль/л и β -HB более 0,9 ммоль/л – 3248,9 за 100 дней доения. Наиболее короткий период бесплодия был у коров, с уровнем β -HB менее 0,5 ммоль/л и концентрацией Glc более 3,9 ммоль/л – 134,8 дней, что на 58,6 суток меньше показателя животных при концентрации β -HB менее 0,5 ммоль/л и уровнем Glc в диапазоне от 2,2 до 3,9 ммоль/л ($P \leq 0,05$) и на 57,1 день по отношению к коровам с повышенным содержанием в крови β -HB и Glc ($P \leq 0,01$). Корреляционная связь между уровнем β -HB и Glc в различных выборках не имела значимых величин, за исключением показателей животных с кетонемией и гипергликемией, где присутствовала умеренная положительная связь (+0,450). Повышение уровня β -HB сочетанного с увеличением концентрации глюкозы в крови свидетельствует о наличии альтернативного патогенеза развития кетоза у коров.

Ключевые слова: энергетический обмен, глюкоза, кетоновые тела, молочная продуктивность, период бесплодия.

Для цитирования: Николаев С.В. Особенности содержания глюкозы и β -гидроксибутирата в крови у коров и их связь с репродуктивной функцией и молочной продуктивностью. Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2025;4:214-218. <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2025.4.214>

FEATURES OF GLUCOSE AND β -HYDROXYBUTYRATE CONTENT IN BLOOD OF COWS AND THEIR RELATION TO REPRODUCTIVE FUNCTION AND MILK PRODUCTIVITY

Semyon V. Nikolaev^{1✉}

¹A.V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnology, Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation

¹Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher, semen.nikolaev.90@mail.ru

ABSTRACT

The paper monitors the concentration of glucose (Glc) and ketone bodies (β -HB) in cows with different milk production, and evaluates the effect of these metabolites on the reproductive function and milk production of animals. It was found that the lowest concentration of β -HB was present in cows with a milk yield in the range of 2000...2999 kg per 100 days of lactation, which is 23.5% ($P < 0.05$) lower than in animals with a milk yield of less than 2000 kg and 33.8% ($P < 0.001$) lower than in animals with a milk yield of more than 4000 kg. The maximum milk productivity was shown by cows with a Glc level of 2.2...3.9 mmol/l and β -HB of more than 0.9 mmol/l – 3248.9 for 100 days of milking. The shortest period of infertility was in cows with a β -HB level of less than 0.5 mmol/l and a Glc concentration of more than 3.9 mmol/l – 134.8 days, which is 58.6 days less than in animals with a β -HB concentration of less than 0.5 mmol/l and a Glc level in the range from 2.2 to 3.9 mmol/l ($P < 0.05$) and on day 57.1 in relation to cows with elevated blood levels of β -HB and Glc ($P < 0.01$). The correlation between the levels of β -HB and Glc in various samples had no significant values, with the exception of animals with ketonemia and hyperglycemia, where there was a moderate positive association (+0.450) of the metabolites under consideration. An increase in the concentration of β -HB with elevated blood glucose indicates the presence of an alternative mechanism for the development of ketosis in cows and requires further research.

Key words: energy metabolism, glucose, ketone bodies, milk production, infertility period.

For citation: Nikolaev S.V. Features of glucose and β -hydroxybutyrate content in blood of cows and their relation to reproductive function and milk productivity. Legal regulation in veterinary medicine. 2025;4:214-218. <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2025.4.214>

ВВЕДЕНИЕ

Генетический потенциал современного поголовья крупного рогатого скота требует создания

оптимальных условий содержания, обеспечивающих удовлетворение метаболических потребностей животных, что, в свою очередь, способствует

ет максимальной активации обменных процессов [1, 2]. Прежде всего, интенсивный лактогенез тесно связан с повышенной энергетической потребностью организма животного. Дефицит энергии, оказывает негативное влияние на метаболические процессы, что может привести к развитию различных патологических состояний. Наиболее часто, энергетический дисбаланс становится причиной снижения репродуктивной способности и молочной продуктивности [3, 4].

Глюкоза и кетоновые тела (ацетон, ацетоуксусная кислота и β -гидроксимасляная кислота) являются ключевыми маркерами энергетического статуса организма [5, 6]. При различных физиологических и патологических состояниях уровень данных метаболитов может значительно варьировать. В современном молочном скотоводстве, как показывают исследования, у коров могут проявляться как гипогликемические, так и гипергликемические состояния [7, 8]. Кетоновые тела также играют важную роль в энергетическом метаболизме, однако их избыточное образование и накопление (кетонемия) могут привести к серьезным патологическим изменениям, включая дистрофические процессы в тканях и эндогенную интоксикацию [9, 10]. Пик концентрации кетоновых тел в крови коров обычно приходится на конец стельности и начало лактации, что связано с увеличением потребности организма в энергии и необходимостью ее восполнения за счет альтернативных источников [11, 12]. Поэтому, изучение динамики глюкозы и кетоновых тел является важным аспектом в понимании метаболических процессов и адаптации животных.

Цель исследований – провести мониторинг концентрации глюкозы и кетоновых тел у коров с разной молочной продуктивностью, а также дать оценку влияния данных метаболитов на репродуктивную функцию и молочность животных.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работа проведена на молочно-товарной ферме ЗАО «Заречье» Кировской области, специализирующейся на разведении голштинского скота. Для проведения экспериментальной работы перед утренним кормлением на 7-е; 14-е и 21-е сутки после отела от разновозрастных коров ($n=465$) из хвостовой вены получали венозную кровь, в которой сразу проводили оценку концентрации глюкозы (Glc) и β -гидроксibuтирата (β -HB). Уровень β -HB и Glc в крови определяли с помощью прибора CentriVet. Для получения репрезентативных данных и минимизации погрешностей, связанных с временными флуктуациями концентрации анализируемых метаболитов, цифровые значения, зафиксированные в различные периоды, подвергались усреднению посредством вычисления средней арифметической.

Для анализа воздействия уровня молочной продуктивности на энергетический обмен и репродуктивную функцию, животных разделили на четыре группы в зависимости от удоя за первые 100 дней лактации. Первая группа включала коров с удоем до 2 тыс. кг, вторая – от 2 до 3 тыс. кг, третья – от 3 до 4 тыс. кг, четвертая – более 4 тыс. кг. В выборках определяли среднюю кон-

центрацию анализируемых метаболитов, рассчитывали глюкозо-кетонный коэффициент (Glc/ β -HB), кратность осеменений на оплодотворение и период бесплодия. Так же в каждой группе определяли силу корреляционной связи между уровнем глюкозы и β -HB (r Glc – β -HB).

Для оценки влияния концентрации Glc и β -HB на хозяйственно значимые признаки, животные были разделены на шесть экспериментальных групп. В первой группе уровень Glc находился в диапазоне 2,2...3,9 ммоль/л и концентрация β -HB была до 0,4 ммоль/л. Во второй группе концентрация Glc превышала 3,9 ммоль/л при тех же значениях β -HB. Третья группа характеризовалась уровнем Glc 2,2...3,9 ммоль/л и содержанием β -HB в диапазоне 0,5...0,9 ммоль/л. Четвертая группа имела концентрацию Glc выше 3,9 ммоль/л при β -HB в пределах 0,5...0,9 ммоль/л. Пятая группа отличалась уровнем Glc 2,2...3,9 ммоль/л, но с концентрацией β -HB более 0,9 ммоль/л. Шестая группа включала животных с содержанием Glc выше 3,9 ммоль/л и β -HB более 0,9 ммоль/л. В сформированных выборках учитывали кратность осеменений на оплодотворение, продолжительность бесплодия, уровень молочной продуктивности за 100 дней лактации, а так же силу корреляционной связи между Glc и β -HB.

Статистический анализ данных осуществлен посредством вычисления средней арифметической и стандартной ошибки. Достоверность различий между сравниваемыми величинами установлена с применением t-критерия Стьюдента. Для оценки степени взаимосвязи между концентрацией Glc и β -HB применен коэффициент корреляции Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе был проведен анализ показателей воспроизводительной функции и маркеров энергетического обмена у коров с различной уровнем молочной продуктивности за 100 дней лактации (табл. 1).

Установлено, что коровы с продуктивностью менее 2 тыс. кг молока за 100 дней лактации имели самый длительный интервал от родов до оплодотворения – 182,0 дня. Наименьший период бесплодия наблюдался у коров с продуктивностью 3000...3999 кг молока – 154,9 дня. Однако статистически значимой разницы в промежутке от отела до повторной стельности между выборками не выявлено.

Оценка уровня кетоновых тел показала, что наименьшая концентрация β -HB присутствовала у коров с молочностью 2000...2999 кг. Так показатель данной группы был на 23,5% ($P \leq 0,05$) ниже, чем у животных с удоем менее 2000 кг. Максимальная концентрация β -HB наблюдалась у коров с уровнем молочности более 4000 кг, которая была на 19,7% ($P \leq 0,01$) больше по отношению к коровам с удоем 3000...3999 кг и 33,8% ($P \leq 0,001$), чем у коров с продуктивностью 2000...2999 кг. Достоверных отличий в концентрации Glc между выборками не установлено.

Максимальный глюкозо-кетонный индекс зафиксирован у коров с продуктивностью от 2000 до 2999 кг молока. Этот показатель превы-

Таблица 1. Показатели воспроизводительной функции и энергетического обмена у коров с различным уровнем молочной продуктивности.

Table 1. Indicators of reproductive function and energy metabolism in cows with different levels of productivity.

Показатель	Удой за 100 дней лактации, кг			
	<2000 (1 группа)	2000...2999 (2 группа)	3000...3999 (3 группа)	≥4000 (4 группа)
Количество животных	32	198	202	33
Индекс осеменений	2,86±0,34	2,55±0,12	2,76±0,14	2,79±0,09
Период бесплодия, дней	182,0±17,8	174,6±10,4	154,9±8,0	165,5±6,0
β-NB, ммоль/л	0,84±0,07	0,68±0,03***x	0,76±0,04**	0,91±0,03
Glc, ммоль/л	4,02±0,14	3,97±0,04	3,94±0,05	3,92±0,02
Glc / β-NB	7,34±1,00	8,19±0,46***xx	6,64±0,24*	5,85±0,20
r Glc – β-NB	-0,067	-0,053	0,062	-0,033

Примечание. Различия достоверны: *P≤0,05, **P≤0,01, ***P≤0,001 по отношению к коровам с удоем ≥4000 кг; x P≤0,05 по отношению к коровам с удоем <2000; xx P≤0,01 по отношению к коровам с удоем 3000...3999 кг.

Таблица 2. Показатели молочной продуктивности и воспроизводительной функции у коров с различным уровнем β-NB и Glc в крови.

Table 2. Indicators of milk productivity and reproductive function in cows with different levels of β-NB and Glc in the blood.

n	Удой за 100 дней, кг	Индекс осеменений	Период бесплодия, дней	β-NB, ммоль/л	Glc ммоль/л	Glc / β-NB	r Glc – β-NB
1 группа (β-гидроксibuтират < 0,5 ммоль/л; глюкоза 2,2...3,9 ммоль/л)							
50	3034,7 ±93,8	2,98 ±0,33	193,4 ±23,7 ^{б*}	0,35 ±0,01	3,57 ±0,06	11,05 ±0,67	0,018
2 группа (β-гидроксibuтират < 0,5 ммоль/л; глюкоза > 3,9 ммоль/л)							
48	2896,2 ±88,8 ^{а*}	2,63 ±0,29	134,8 ±12,2	0,29 ±0,01	4,48 ±0,13	17,52 ±1,19	0,188
3 группа (β-гидроксibuтират 0,5...0,9 ммоль/л; глюкоза 2,2...3,9 ммоль/л)							
140	2972,4 ±54,7 ^{а*}	2,65 ±0,14	155,2 ±9,0	0,64 ±0,01	3,58 ±0,03	5,74 ±0,10	-0,023
4 группа (β-гидроксibuтират 0,5...0,9 ммоль/л; глюкоза > 3,9 ммоль/л)							
146	2984,6 ±42,7 ^{а*}	2,72 ±0,12	166,8 ±8,6 ^{б*}	0,65 ±0,01	4,07 ±0,03	6,43 ±0,08	0,101
5 группа (β-гидроксibuтират ≥ 1,0 ммоль/л; глюкоза 2,2...3,9 ммоль/л)							
51	3248,9 ±106,8	2,48 ±0,22	163,7 ±6,7 ^{б*}	1,52 ±0,09	3,52 ±0,05	2,64 ±0,12	-0,139
6 группа (β-гидроксibuтират ≥ 1,0 ммоль/л; глюкоза > 3,9 ммоль/л)							
30	2811,7 ±168,2 ^{а*}	2,90 ±0,36	191,9 ±13,6 ^{б**} , **	1,58 ±0,14	4,59 ±0,16	3,30 ±0,19	0,450

Примечание. Различия достоверны (*P≤0,05, ** P≤0,01): а по отношению к коровам 5-ой группы; б по отношению к коровам 2-ой группы; в по отношению к коровам 3-й группы.

шал значения животных третьей группы на 1,55 абс. ед. (P≤0,01) и на 2,34 абс. ед. по отношению к коровам, имеющим удой более 4000 кг (P≤0,001). У животных четвертой группы, где был отмечен наименьший уровень глюкозо-кетонного индекса, также выявлена статистически значимая разница по сравнению с коровами третьей группы, составившая 0,79 абс. ед. (P≤0,05).

Оценка корреляционных связей между уровнем Glc и β-NB в изучаемых выборках не выявила значимых зависимостей.

В таблице 2 представлены данные, характеризующие параметры репродуктивной функции и молочной продуктивности в контексте различных концентраций исследуемых метаболитов крови.

Дифференциация по концентрации маркеров энергетического обмена показала, что при уровне кетонных тел ниже 0,5 ммоль/л у 10,8% обследованных коров показатели Glc находились в пределах референтных значений, тогда как у 10,2% животных наблюдалось повышение уров-

ня Glc в крови. При уровне β-NB в диапазоне от 0,5 до 0,9 ммоль/л у 30,1% коров было зафиксировано нормальное содержание Glc, а у 31,4% выявлено ее превышение. Доля коров с кетонемией (β-NB ≥ 1,0 ммоль/л), характеризующейся нормальным уровнем Glc, составила 11,0%, а животных с высоким уровнем Glc – 6,5%.

Анализ производственных показателей свидетельствует, что наибольшим удоем за 100 дней лактации обладают коровы с кетонемией и нормальным содержанием Glc (3248,9 кг). Так показатель данной группы был выше на 12,2% по отношению к коровам с уровнем кетонных тел менее 0,5 ммоль/л и повышенным содержанием сахара (P≤0,05). По отношению к животным с уровнем β-NB от 0,5 до 0,9 ммоль/л и содержанием Glc в референсном диапазоне удой был выше на 9,3% (P≤0,05), а к группе с аналогичной концентрацией β-NB и повышенным содержанием сахара в крови – на 8,9% (P≤0,05). Между коровами с кетонемией при нормальном и повышен-

ном содержании Glc разница молочной продуктивности составила 15,6% ($P \leq 0,05$).

Кратность осеменений на оплодотворение в различных выборках не имела статистически значимых отличий, при этом наиболее короткий период бесплодия был характерен для коров, с уровнем β -НВ менее 0,5 ммоль/л и концентрацией Glc более 3,9 ммоль/л – 134,8 дней. У животных при концентрации β -НВ менее 0,5 ммоль/л и уровнем Glc в диапазоне от 2,2 до 3,9 ммоль/л период от отела до оплодотворения составил 193,4 дня, что на 58,6 дней больше показателя второй группы коров ($P \leq 0,05$). При уровне кетонов от 0,5 до 0,9 ммоль/л и содержанием Glc больше 3,9 ммоль/л период бесплодия по отношению к группе 2 составил 32,0 дня ($P \leq 0,05$). У животных с кетонемией и нормальным уровнем Glc по отношению к коровам второй группы разница составила 28,9 дней ($P \leq 0,05$). Наиболее продолжительный период бесплодия зарегистрирован так же у коров с высоким содержанием β -НВ и Glc. Так самки 6-ой группы оплодотворялись на 57,1 день позднее по отношению к коровам 2-ой группы ($P \leq 0,01$) и на 36,7 дней в сравнении с 3-й группой ($P \leq 0,05$).

Стоит отметить, что значимая корреляционная связь в группах, сформированных по уровню β -НВ и Glc в крови не прослеживалась, за исключением животных с кетонемией и повышенным уровнем глюкозы. Так в данной выборке присутствовала умеренная положительная связь (+0,450) рассматриваемых метаболитов. Данный факт подчеркивает, что кетонимия у данных животных развивается на фоне роста Glc в крови, что по видимости является следствием невозможности эффективно использовать Glc в мета-

болических процессах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что у коров, как с низкой, так и максимальной молочной продуктивностью наблюдается более высокое содержание в крови β -НВ, по сравнению с животными, чья молочность находится в медиальном диапазоне. Повидимому, увеличение концентрации кетоновых тел у высокопродуктивных коров в первую очередь связано с интенсификацией метаболических процессов, тогда как у низкопродуктивных особей данное явление скорее обусловлено наличием патологических состояний, препятствующих реализации генетического потенциала молочной продуктивности.

Наиболее короткий период бесплодия характерен для коров, концентрация β -НВ у которых составляет менее 0,5 ммоль/л на фоне повышенного уровня Glc. Максимальный интервал от отела до оплодотворения присутствует у животных с уровнем β -НВ менее 0,5 ммоль/л и содержанием Glc в диапазоне 2,2...3,9 ммоль/л, а так же у особей с кетонемией и гипергликемией.

Проведенные исследования так же подчеркивают тот факт, что патогенез развития кетонемии у крупного рогатого скота может быть обусловлен не только дефицитом «быстрой» энергии в форме глюкозы, как это традиционно считается, но и другими патологиями, связанными с нарушением ее эффективного метаболизма. Это наблюдение требует более глубокого изучения механизмов регуляции энергетического гомеостаза в организме коров и выявления дополнительных факторов, влияющих на развитие кетонемического и гипергликемического состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волкова Н.И., Дыдыкина А.Л., Наконечный А.А., Вязьминов А.О. Влияние компонентов рациона на продуктивность и функциональное состояние коров холмогорской породы. Аграрный вестник Урала. 2024;24(11):1447-1458. DOI 10.32417/1997-4868-2024-24-11-1447-1458
2. Хромова О.Л., Абрамова Н.И., Селимян М.О. Лучший племенной материал в популяциях молочных пород Вологодской области. Зоотехния. 2023;11:2-6. DOI 10.25708/ZT.2023.64.33.001
3. Хромова О.Л., Абрамова Н.И., Селимян М.О., Зенкова Н.В. Факторы, влияющие на продолжительность хозяйственного использования голштинизированных коров. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2025;2(75):246-253. DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-246-253
4. Лощинин С.О., Авдеенко В.С., Фирсов Г.М. и др. Роль отрицательного энергетического баланса у коров после отела в патогенезе воспаления матки. Международный вестник ветеринарии. 2022;1:185-197. DOI 10.52419/issn2072-2419.2022.1.185
5. Корельская Л.А., Гусаров И.В., Обряева О.Д., Коломиец С.А. Содержание глюкозы в крови высокопродуктивных коров по периодам лактации и способам содержания как критерий оценки энергетического обмена. АгроЗооТехника. 2022;5(2). DOI 10.15838/alt.2022.5.2.3
6. Васильева С.В., Карпенко Л.Ю. Сравнительное исследование концентрации бета-гидроксимасляной кислоты в крови с содержанием кетонов в моче у новотельных коров с разным уровнем гликемии. Ветеринария Кубани. 2022;6:7-8. DOI 10.33861/2071-8020-2022-6-7-8
7. Васильева С.В. К вопросу о метаболических предпосылках нарушения гомеостаза глюкозы у коров в ранний новотельный период. Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2024;2:129-133. DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.2.129
8. Николаев С.В. Влияние концентрации β -гидроксibuтирата и глюкозы в крови на репродуктивную функцию и молочную продуктивность коров. Международный вестник ветеринарии. 2023;4:388-395. DOI 10.52419/issn2072-2419.2023.4.388
9. Никитин В.В., Корочкина Е.А. Взаимосвязь между повышенным уровнем кетоновых тел в крови и клиническим проявлением кетоза у высокопродуктивных коров голштинской породы. Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2021;4:78-80. DOI 10.52419/issn2072-6023.2021.4.78
10. Ширяев Г.В., Станиславович Т.И., Политов В.П. Кетоз и его роль в нарушении репродуктивной

функции *Bos Taurus*. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020;15(4):403-416. DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-4-403-416

11. Авдеенко В.С., Калужный И.И., Тресницкий С.Н. Метаболический стресс у сухостойных коров и нетелей при развитии субклинического кетоза. Ветеринария. 2019;2:36-41. DOI 10.30896/0042-4846.2019.22.2.36-41

12. Васильева С.В., Карпенко Л.Ю. Исследование активности липолиза и глюконеогенеза у новотельных коров при субклиническом и клиническом кетозе. Международный вестник ветеринарии. 2022;4:217-222. DOI 10.52419/issn2072-2419.2022.4.217

REFERENCES

1. Volkova N.I., Dydykina A.L., Nakonechny A.A., Vyazminov A.O. Influence of diet components on the productivity and functional state of Kholmogory cows. Agrarian Bulletin of the Urals. 2024; 24(11):1447-1458. (in Russ) DOI 10.32417/1997-4868-2024-24-11-1447-1458

2. Khromova O.L., Abramova N.I., Selimyan M.O. The best breeding material in the populations of dairy breeds of the Vologda region. Zootechnics. 2023; 11:2-6. (in Russ) DOI 10.25708/ZT.2023.64.33.001

3. Khromova O.L., Abramova N.I., Selimyan M.O., Zenkova N.V. Factors influencing the duration of economic use of Holsteinized cows. Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2025;2(75):246-253. (in Russ) DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-246-253

4. Loshchinin S.O., Avdeenko V.S., Firsov G.M., et al. The role of negative energy balance in cows after calving in the pathogenesis of uterine inflammation. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2022;1:185-197. (in Russ) DOI 10.52419/issn2072-2419.2022.1.185

5. Korelskaya L.A., Gusarov I.V., Obryaeva O.D., Kolomiets S.A. Blood glucose content of highly productive cows by lactation periods and housing methods as a criterion for assessing energy metabolism. AgroZooTechnika. 2022; 5(2). (in Russ) DOI 10.15838/alt.2022.5.2.3

6. Vasilyeva S.V., Karpenko L.Yu. Comparative study of beta-hydroxybutyric acid concentration in the blood with ketone content in the urine of fresh cows with different glycemia levels. Veterinary Science of Kuban. 2022; 6:7-8. (in Russ) DOI 10.33861/2071-8020-2022-6-7-8

7. Vasilyeva S.V. On the Metabolic Prerequisites for Impaired Glucose Homeostasis in Cows in the Early Post-Calvary Period. Veterinary Law and Regulation. 2024; 2: 129–133. (in Russ) DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.2.129

8. Nikolaev S. V. Effect of β -Hydroxybutyrate and Blood Glucose Concentrations on Reproductive Function and Milk Productivity of Cows. International Veterinary Bulletin. 2023; 4: 388–395. (in Russ) DOI 10.52419/issn2072-2419.2023.4.388

9. Nikitin V. V., Korochkina E. A. Relationship between Elevated Blood Ketone Body Levels and Clinical Manifestation of Ketosis in High-Producing Holstein Cows. Issues of legal regulation in veterinary medicine. 2021;4:78-80. (in Russ) DOI 10.52419/issn2072-6023.2021.4.78

10. Shiryayev G.V., Stanislavovich T.I., Politov V.P. Ketosis and its role in reproductive dysfunction in *Bos Taurus*. Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Animal Husbandry. 2020;15(4):403-416. (in Russ) DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-4-403-416

11. Avdeenko V.S., Kalyuzhny I.I., Tresnitsky S.N. Metabolic stress in dry cows and heifers during the development of subclinical ketosis. Veterinary Science. 2019;2:36-41. (in Russ) DOI 10.30896/0042-4846.2019.22.2.36-41

12. Vasilyeva S.V., Karpenko L.Yu. Study of lipolysis and gluconeogenesis activity in fresh cows with subclinical and clinical ketosis. International Veterinary Bulletin. 2022; 4:217-222.(in Russ) DOI 10.52419/issn2072-2419.2022.4.217

Поступила в редакцию / Received: 25.11.2025

Поступила после рецензирования / Revised: 09.12.2025

Принята к публикации / Accepted: 24.12.2025