

## МЕЖПОРОДНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ХОЛЕСТЕРИНОВОГО ПРОФИЛЯ У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

<sup>1</sup>**О.И. Себежко**, кандидат биологических наук, доцент

<sup>1</sup>**Т.В. Коновалова**, старший преподаватель

<sup>1</sup>**О.С. Короткевич**, доктор биологических наук, профессор

<sup>1</sup>**В.Л. Петухов**, доктор биологических наук, профессор

<sup>2</sup>**А.Н. Себежко**, студент

<sup>1</sup>**О.А. Зайко**, кандидат биологических наук, доцент

<sup>1</sup>**Е.И. Тарасенко**, аспирант

<sup>1</sup>*Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*

**E-mail:** sebezkonok@ngs.ru

**Ключевые слова:** липопротеиды высокой плотности (ЛПВП), липопротеиды низкой плотности (ЛПНП), крупный рогатый скот, порода.

**Реферат.** Изучены основные показатели холестерина профиля липопротеидов высокой плотности (ЛПВП-ХС), липопротеидов низкой плотности (ЛПНП-ХС) и общего холестерина (ОХ) у коров черно-пестрой, красной степной и голштинской пород второй-третьей лактации, разводимых в условиях крупных животноводческих комплексов на территории Западной Сибири. Метаболизм и концентрация липидных комплексов холестерина статуса играют кардинальную роль в гомеостазе клеточных метаболических процессов. Ключевая роль сыровоточных липопротеинов в обмене холестерина общепризнана, как и их роль в качестве предикторов сердечно-сосудистых заболеваний. При этом атерогенное действие ЛПНП-ХС ассоциировано с переносом жирных кислот, выступающих энергетическими субстратами для синтеза АТФ. ЛПВП-ХС характеризуется не только антиатерогенными свойствами, но и оказывают антиоксидантное и противовоспалительное действие. Концентрацию ЛПВП-ХС определяли методом осаждения фосфорновольфрамовой кислотой с хлористым магнием; уровень ЛПНП-ХС – ферментативным колориметрическим прямым методом, общий холестерин – методом ферментативного гидролиза и окисления CHOD-PAP с помощью наборов реактивов «ЛВП-Холестерин-Ново», «ЛНП-Холестерин-Ново-А», «Холестерин-Ново» («Вектор-Бест», Россия). Содержание ОХ и ХС-ЛПНП в сыворотке крови коров в возрасте второй-третьей лактации, разводимых на территории Западной Сибири, выше общепринятых нормативных значений, что отражает разную степень адаптации к климатическим условиям. Ранжированный ряд пород ( $p < 0,05$ ) по ХС-ЛПНП: черно-пестрая → голштинская → красная степная, медианы составили 4,91; 2,77 и 2,24 ммоль/л соответственно. Установлены различия между показателями ХС-ЛПВП и ХС-ЛПНП у коров черно-пестрой, красной степной и голштинской пород, что свидетельствует о генетической детерминации уровня липопротеидов в сыворотке крови. Сила влияния фактора породной принадлежности коров на уровень содержания ХС-ЛПВП в сыворотке крови составила 29 %, ХС-ЛПНП – 17%.

## INTERBREED DIFFERENCES IN THE CHOLESTEROL PROFILE IN CATTLE IN WESTERN SIBERIA

<sup>1</sup>**O.I. Sebezko**, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

<sup>1</sup>**T.V. Konovalova**, Senior Lecturer

<sup>1</sup>**O.S. Korotkevich**, Doctor of Biological Sciences, Professor

<sup>1</sup>**V.L. Petukhov**, Doctor of Biological Sciences, Professor

<sup>2</sup>**A.N. Sebezko**, Student

<sup>1</sup>**O.A. Zaiko**, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

<sup>1</sup>**E.I. Tarasenko**, PhD student

<sup>1</sup>*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*

<sup>2</sup>*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

**E-mail:** sebezkonok@ngs.ru

**Keywords:** high-density lipoproteins (HDL), low-density lipoproteins (LDL), cattle, breed.

**Abstract.** The authors studied the leading indicators of the cholesterol profile of high-density lipoproteins (HDL-C), low-density lipoproteins (LDL-C) and total cholesterol (TC) in Black-and-White, Red Steppe and Holstein breeds of the second or third lactation, bred in large livestock farms—complexes on the territory of Western Siberia. Metabolism and concentration of lipid complexes of cholesterol status play a cardinal role in the homeostasis of cellular metabolic processes. The critical role of serum lipoproteins in cholesterol metabolism is well recognised, as is their role as predictors of cardiovascular disease. At the same time, the atherogenic effect of LRN-C is associated with the transfer of fatty acids, which act as energy substrates for ATP synthesis. Anti-atherogenic properties characterise HDL-C and have an antioxidant and anti-inflammatory effect. The concentration of HDL-C - was determined by the precipitation method of phosphotungstic acid with magnesium chloride; the level of LDL-C - by the enzymatic colourimetric direct method, total cholesterol - by the process of enzymatic hydrolysis and oxidation of CHOD-PAP using reagent kits “HDL-Cholesterol-Novo”, “LDL-Cholesterol-Novo-A”, “Cholesterol-Novo” (“Vector-Best, Russia. The content of OH and LDL-C in the blood serum of cows at the age of the second or third lactation bred in Western Siberia is higher than the generally accepted standard values, which reflects a different degree of adaptation to climatic conditions. Ranked series of breeds ( $p < 0.05$ ) according to LDL-C: black-and-white → Holstein → red steppe, medians were 4.91; 2.77 and 2.24 mmol/l, respectively. Differences between the indicators of HDL-C and LDL-C in Black-and-White, Red Steppe and Holstein cows were established, which indicates the genetic determination of the level of lipoproteins in the blood serum. The strength of the influence of the cow breed factor on the level of HDL-C in blood serum was 29%, LDL-C - 17%.

Показатели липидов, такие как общий холестерин (ОХ), липопротеиды низкой плотности (ХС-ЛПНП) и липопротеиды высокой плотности (ХС-ЛПВП), отражают холестериновый компонент липопротеиновых частиц и представляют собой сложные смеси фосфолипидов, сфинголипидов, свободного холестерина, эфиров холестерина и триглицеридов [1–3].

Реакции обмена холестерина являются составной частью поддержания гомеостаза организма и имеют общебиологическое значение [4–6]. Холестерин выступает в роли важнейшего структурного компонента всех биомембран, предшественником желчных кислот, стероидных гормонов надпочечников, половых гормонов, витамина D<sub>3</sub> [7–10]. Особую роль играет холестерин в обменных процессах нервной системы [11]. Продукция холестерина выступает лимитирующим фактором роста нервных отростков [12]. При этом все аспекты обмена липидов холестеринового профиля являются социально значимыми, поскольку выступают независимыми предикторами риска сердечно-сосудистых заболеваний [13–16].

Липиды транспортируются через плазму в виде липопротеинов для обмена между печенью, кишечником и периферическими тканями [17–19]. Их состав и количество отражают основные метаболические процессы, на которые влияют паратипические и генетические факторы [20–22]. Данные, полученные в результате эпидемиологических, популяционных, в том числе групповых семейных исследований и исследований близнецов, дают убедительные доказательства вклада генетической компоненты

в вариативность показателей холестеринового профиля [23–25].

Ещё в 1997 г. в работе Н. Knoblauch et al. [23] на 172 парах близнецов была показана наследуемость концентраций липидов крови от 58 до 66 %. В более поздних работах на близнецах E.L. Goode et al. [24], J.J. Hottenga et al. [25] продемонстрировано влияние наследственности от 46 до 64 %.

Оценки наследуемости фенотипов, ассоциированных с показателями холестеринограммы, варьируют от 20 до 70% при предполагаемом общем генетическом эффекте в зависимости от пола [26–28] и породы крупного рогатого скота [29].

Многочисленные научные публикации последних лет, посвящённые изучению липидома у человека, отражают высокую степень его наследуемости. В исследовании американцев мексиканского происхождения с сердечно-сосудистыми заболеваниями из 42 больших семей показано, что 319 видов липидов в значительной степени наследуются со средним значением наследуемости 0,37 [30]. В более поздней работе на 2181 человеке R. Tabassum et al. [31] оценили наследуемость на основе SNP для 141 вида липидов в диапазоне от 0,10 до 0,54. Кроме того, A. Demirkan et al. [32], сосредоточив своё внимание на 90 видах липидов плазмы, в генетическом корреляционном анализе на нидерландской популяции показали возможность классификации липидов по двум категориям: группа молекул, которые генетически коррелируют как с ЛПНП-ХС, так и с ЛПВП-ХС, и вторая группа молекул, которые

специфически коррелируют только с ЛПНП-ХС.

В области зоотехнии основные вопросы, посвященные оценке содержания и изменчивости липидов, сосредоточены на проблемах синдрома дефицита холестерина у голштинов [33–41], состава и наследуемости жирных кислот в жировой ткани или молоке [42–44] у мясных или молочных пород крупного рогатого скота [45–47], а также различий в липидных профилях между эмбрионами крупного рогатого скота с разной кинетикой развития, полученными *in vivo* [48, 49].

Метаболизм глюкозы и липидов у крупного рогатого скота отличается от метаболизма животных с моногастрием, таких как хорошо изученные лабораторные животные или человек, а роль генетических факторов в регуляции уровня липидов крови у коров изучена недостаточно. Поэтому исследования, направленные как на уточнение, так и на расширение нашего понимания генетических детерминант уровней циркулирующих в крови липидных метаболитов, имеют актуальное значение.

Целью нашей работы была оценка межпородных различий основных показателей холестерина профиля у коров разных пород, разводимых в условиях Западной Сибири. Для этого было необходимо рассчитать средние значения, рассмотреть изменчивость и оценить влияние фактора породы на содержание липопротеидов высокой плотности, липопротеидов низкой плотности и общего холестерина у черно-пестрых, красных степных и голштинских коров.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования были коровы черно-пестрой, голштинской и красной степной пород второй лактации, разводимые в условиях крупных животноводческих комплексов, расположенных на территории Западной Сибири.

Условием включения в экспериментальные группы было отсутствие заболеваний у животных. Скот находился в надлежащих условиях согласно Ветеринарным правилам содержания крупного рогатого скота в целях его воспроизводства, выращивания и реализации (приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 21.10.2020 № 622).

Концентрацию ЛПВП определяли методом осаждения фосфорно-вольфрамовой кислотой с хлористым магнием; уровень ЛПНП – ферментативным колориметрическим прямым методом, общий холестерин – методом ферментативного гидролиза и окисления CHOD-

PAP с использованием холестеролэстеразы, холестеролоксидазы и пероксидазы с помощью наборов реактивов «ЛВП-Холестерин-Ново», «ЛНП-Холестерин-Ново-А», «Холестерин-Ново», («Вектор-Бест», Россия). Измерение абсорбции проводилось на фотометре Photometer 5010V5+ (ROBERTRIELE GmbH & Co KG, Германия).

В районах разведения животных при длительном мониторинге почв, воды, кормов а также тканей и органов крупного рогатого скота не выявлено превышения ПДК по содержанию макро- и микроэлементов, тяжёлых металлов и радионуклидов [30–33].

Распределения полученных данных по концентрации изучаемых показателей холестерина профилей были оценены на нормальность с использованием графического метода QQ-Plots и теста Шапиро-Уилка. При нормальном распределении применяли параметрические статистические методы. В иных случаях проводилась предварительная обработка данных логарифмированием. При получении нормальных распределений расчёт средних величин и показателей изменчивости проводили с обратным log-трансформированием. Если после логарифмирования нормальные распределения не были получены, использовали медиану (Me), квартили (Q1 и Q3), межквартильный интервал (IQR), вариационный размах. Гомоскедастичность дисперсий подтверждали с помощью теста Бартлетта.

При оценке межпородных различий в зависимости от характера распределения признака применялся однофакторный дисперсионный анализ или критерий Краскела-Уоллеса как альтернативный непараметрический аналог. В качестве теста для оценки величины эффекта использовали  $\eta^2$ , рассчитываемый при нормальном распределении по формуле  $\eta^2 = SS_{\text{в}}/SS_{\text{т}}$ , где  $SS_{\text{в}}$  – межгрупповая сумма квадратов;  $SS_{\text{т}}$  – общая сумма квадратов; при распределении отличным от нормального – по формуле  $\eta^2 = (H - k + 1)/(n - k)$ , где  $H$  – статистика Краскела-Уоллеса;  $k$  – количество групп сравнения. Апостериорные сравнения проводили с помощью критерия Тьюки после дисперсионного анализа, тест Данна с поправкой Холма – после применения критерия Краскера-Уоллеса. Вычисления производили в среде анализа данных R studio.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка характера распределения изучаемых показателей холестеринаограммы пока-

зала, что содержание ЛПВП, ЛПНП и общего холестерина у коров черно-пестрой породы и общего холестерина и ЛПНП у коров голштинской породы соответствовало нормальному

распределению Гаусса. В остальных случаях распределения признаков отличались от нормального (рисунок).

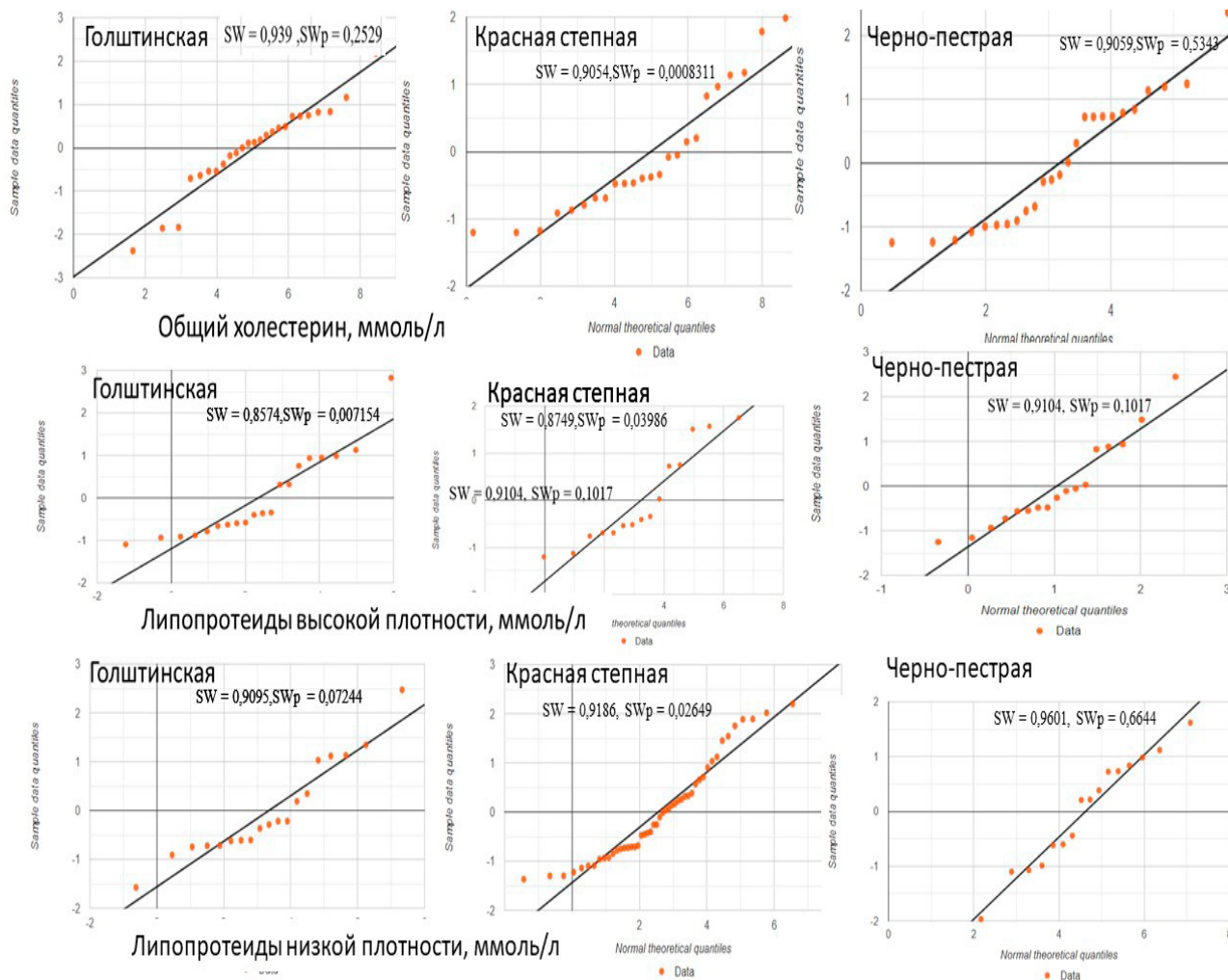


Диаграмма квантильного распределения QQ-Plots показателей холестерограммы у коров разных пород Западной Сибири:

SW – критерий Шапиро-Уилка; SWp – уровень значимости критерия Шапиро-Уилка (при SWp > 0,05 распределение признака нормальное)

QQ-Plots diagram of the quantile distribution of cholesterologram indicators in cows of different breeds of Western Siberia:

SW - Shapiro-Wilk test; SWp - significance level of the Shapiro-Wilk test (when SWp > 0.05, the distribution of the trait is normal)

На этапе предварительной обработки данных проводили логарифмическое преобразование, которое позволило добиться нормального распределения для всех показателей, кроме содержания ЛПНП у коров красной степной и голштинской пород (табл. 1).

В табл. 2 представлены результаты анализа содержания ЛПВП, ЛПНП и общего холестерина у коров. Для данных, полученных в выборках с ненормальным распределением и подвергавшимся логарифмированию, было проведено обратное log-трансформирование.

Таблица 1

Результаты тестирования на нормальность распределения логарифмированных значений показателей холестерограммы коров  
 The results of testing for the normality of the distribution of logarithmic values of cows' cholesterologram indicators

Показатель	ЛПВП	ЛПНП	ОХ
<i>Черно-пестрая порода</i>			
Критерий Шапиро-Уилка	0,9516	0,9207	0,9566
p-value	0,4822	0,1731	0,06887
<i>Красная степная порода</i>			
Критерий Шапиро-Уилка	0,9767	0,9361	0,9389
p-value	0,4348	0,01716	0,229
<i>Голитинская порода</i>			
Критерий Шапиро-Уилка	0,9644	0,7748	0,9591
p-value	0,6341	0,0005039	0,5266

Примечание. При p-value  $\geq 0,05$  – нормальное распределение признака.  
 Note. With a p-value  $\geq 0.05$ , the trait is usually distributed.

Таблица 2

Содержание и изменчивость показателей холестерограммы у коров разных пород Западной Сибири, ммоль/л  
 Content and variability of cholesterol parameters in cows of different breeds of Western Siberia, mmol/l

Показатель	$\bar{x} \pm Sx$	Me	Lim	$\sigma$	Q1	Q3	IQR	Cv,%
<i>Черно-пестрая порода</i>								
ЛПВП	1,03 $\pm$ 0,18	0,84	0,12–2,81	0,73	0,62	1,63	1,01	70,87
ЛПНП	4,63 $\pm$ 0,33	4,91	2,03–6,76	1,32	3,56	5,66	2,1	28,51
ОХ	5,69 $\pm$ 0,22	5,91	3,86–7,78	0,29	4,93	6,31	1,38	5,09
<i>Красная степная порода</i>								
ЛПВП	2,31 $\pm$ 0,42	2,42	0,48–6,35	1,68	1,66	3,29	1,63	72,1
ЛПНП		2,24	0,19–6,35		1,24	3,61	2,37	
ОХ	4,69 $\pm$ 0,22	4,48	2,17–10,05	1,52	3,38	6,89	3,51	32,41
<i>Голитинская порода</i>								
ЛПВП	1,76 $\pm$ 0,50	1,65	0,35–7,51	2,25	1,01	3,89	2,88	12,78
ЛПНП	3,35 $\pm$ 0,47	2,77	0,12–8,42	2,05	1,98	4,76	2,79	61,19
ОХ	5,62 $\pm$ 0,47	4,88	2,14–10,46	2,23	3,78	8,85	3,07	39,68

Примечание.  $\bar{x}$  – средняя арифметическая; Sx – ошибка средней арифметической; Me – медиана; Q1 – первый квартиль; Q3 – третий квартиль; IQR – межквартильный размах; Cv – коэффициент вариации.

Note.  $\bar{x}$  – arithmetic mean; Sx – is the error of the arithmetic mean; Me – is the median; Q1 – is the first quartile; Q3 – is the third quartile; IQR – interquartile range; Cv – is the coefficient of variation.

Поскольку логарифмирование данных позволило получить нормальное распределение для ЛПВП у всех оцениваемых пород крупного рогатого скота, межпородные различия по данному показателю были оценены с помо-

щью однофакторного дисперсионного анализа (табл. 3).

Равенство дисперсий подтверждали с помощью теста Бартлетта. Статистика  $B = 5,62677$ ,  $p\text{-value} = 0,06000$  (при  $p < 0,05$  дисперсии неоднородны).

Таблица 3

**Влияние фактора породы на уровень ЛПВП в крови коров**  
**Influence of the breed factor on the level of HDL in the blood of cows**

Вариация признака	SS	df	Средний квадрат	F	p-value
Между группами	14,6923	2	7,3461	16,6961	0,0000008 *
Внутри групп	36,5194	83	0,4400		
Итого	51,2117	85	0,6025		

*Примечание.* df – степени свободы; SS – сумма квадратов; F – критерий Фишера.

\*  $p < 0,05$  – статистически значимые различия.

*Note.* df - is the degree of freedom; SS - is the sum of squares; F – is the Fisher criterion.

\*  $p < 0.05$  – statistically significant differences.

Рассчитанная величина  $\eta^2 = 0,29$  отражает силу влияния фактора породы на содержание ЛПВП в сыворотке крови коров.

Уровень ЛПВП в сыворотке крови коров

черно-пестрой породы был на 0,77 ммоль/л ниже в сравнении с коровами голштинской породы и на 1,53 ммоль/л – в сравнении с коровами красной степной породы (табл. 4).

Таблица 4

**Попарные сравнения уровня ЛПВП и ЛПНП у коров разных пород**  
**Pairwise comparisons of HDL and LDL levels in cows of different breeds**

Сравниваемые породы	Статистика теста Тьюки для ЛПВП	p теста Тьюки	Статистика теста Дана для ЛПНП	p теста Дана
Голштинская – красная степная	0,42	0,26960000	15.0813	0,2203
Голштинская – черно-пестрая	0,5222	0,00120200*	18.641	0,026*
Красная степная – черно-пестрая	0,4456	0,00000038 *	16.0384	0,000184*

\*  $p < 0,05$  – статистически значимые различия.

\*  $p < 0.05$  - statistically significant differences.

В связи с тем, что логарифмирование данных не привело к нормальному распределению по содержанию уровня ЛПНП в сыворотке крови коров красной степной и голштинской пород (см. табл. 1), было принято решение оценить влияние породного фактора на уровень ЛПНП с помощью непараметрического однофакторного дисперсионного анализа – Kruskal-Wallis test ( $N = 15,8368$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0,000364^*$ ).

При использовании Kruskal-Wallis test установлено, что на концентрацию ЛПНП в сыворотке крови коров влияет породная принадлежность ( $p\text{-value} < 0,05$ ). Рассчитанная величина эффекта  $\eta^2$  достаточно велика и составляет

0,17. Это указывает на то, что наблюдаемая разница между исследуемыми породами коров по уровню ЛПНП в крови достаточно велика.

Попарные апостериорные сравнения с помощью post-hoc теста Дана позволяют установить, между животными каких пород существуют различия по уровню ЛПНП в сыворотке крови (см. табл. 4). Уровень ЛПНП был выше у коров черно-пестрой породы на 1,68 ммоль/л в сравнении с животными голштинской породы ( $p < 0,05$ ) и на 2,39 ммоль/л в сравнении с красной степной породой ( $p < 0,05$ ).

Установленные нами средние значения ХС-ЛПВП у коров исследованных пород соотно-

сится с данными многих других научных групп [53, 54]. При этом во всех исследуемых нами популяционных группах средние показатели ХС-ЛПНП значительно выше, чем отмечают другие исследователи [53–60].

В отличие от жирных кислот, концентрация которых в большинстве случаев обусловлена наследственными механизмами, наблюдаемая изменчивость уровня общего холестерина и его фракций связана со множеством паратипических и генетических факторов. Влиянию паратипических факторов на оцениваемые показатели холестеринограммы посвящено достаточное количество исследований. В большинстве случаев авторы указывают на заболелания, возраст животных, физиологический

период [53, 55, 56]. Так, С.В. Васильева [57], описывает взаимосвязь содержания ОХ, ЛПНП, ЛПВП с периодом лактации. Другие авторы указывают на стельность [58].

Возможно, в силу превалирования перечисленных причин нами не установлено влияние фактора породы на уровень ОХ. При проведении однофакторного дисперсионного анализа по оценке межпородных различий по содержанию ОХ равенство дисперсий подтверждали с помощью теста Бартлетта. Статистика  $B = 0,32797$ ,  $p\text{-value} = 0,84875$  (при  $p < 0,05$  дисперсии неоднородны). Статистически значимых различий по данному показателю не установлено (табл. 5).

Таблица 5

**Влияние фактора породы на уровень общего холестерина в крови коров**  
**Influence of the breed factor on the level of total cholesterol in the blood of cows**

Вариация признака	SS	df	Средний квадрат	F	p-value
Между группами	0,5874	2	0,2937	2,0334	0,1371
Внутри групп	12,4215	86	0,1444		
Итого	13,0089	88	0,1478		

*Примечание.* df – степени свободы; SS – сумма квадратов; F – критерий Фишера.

\*  $p < 0,05$  – статистически значимые различия.

*Note.* df is the degree of freedom; SS - is the sum of squares; F – is the Fisher criterion.

\*  $p < 0.05$  - statistically significant differences.

Большинство отечественных и зарубежных авторов [53–61] при исследовании ОХ в сыворотке крови крупного рогатого скота указывают более низкие значения в сравнении с полученными нами у коров черно-пестрой породы в динамике лактации. Так, в работе А.П. Курдеко, Е.А. Сологуб [56] у коров черно-пестрой породы в динамике лактации уровень ОХ возрастал от  $2,050 \pm 0,101$  до  $3,930 \pm 0,189$  ммоль/л. В.И. Еременко [58] представлены данные об уровне ОХ на уровне от  $3,00 \pm 0,20$  ммоль/л у монбельярдов до  $3,30 \pm 0,28$  ммоль/л у скота породы джерси,  $3,30 \pm 0,30$  и  $3,10 \pm 0,25$  ммоль/л у красно-пестрой породы. В работе С.В. Васильевой [57] у лактирующих коров голштинской породы показано, что уровень ОХ варьировал от  $2,60 \pm 0,20$  до концентраций, схожих с нашими,  $- 5,09 \pm 0,36$  ммоль/л, при этом отмечено повышение ОХ по ходу лактации с максимумом на 5-м месяце [57]. Н.Ю. Сафина и др. [59] описывают уровень ОХ у коров голштинской породы отечественной селекции, разводимых на территории Республики Татарстан, в диапазоне от  $4,02 \pm 0,04$  до  $4,72 \pm 0,06$  ммоль/л. И.Ф. Горлов и др. [60] отмечают у быков калмыцкой и монгольской пород ОХ на уровне

$4,03 \pm 0,59$  и  $4,53 \pm 0,76$  ммоль/л соответственно. Т. Mock et al. [61] указывают в качестве нормативных концентраций холестерина диапазон  $1,20\text{--}3,84$  ммоль/л. Таким образом, для исследуемых коров, разводимых на территории Западной Сибири, формируются достаточно специфические холестериновые профили, характеризующиеся повышенным содержанием ОХ и ХС-ЛПНП. Вероятно, активация нейроэндокринной системы под влиянием климатических условий Западной Сибири активирует ферменты липолиза, что ведёт к увеличению в сыворотке крови холестерина и его фракций, что носит адаптационный характер, поскольку ЛПНП переносят жирные кислоты, выступающие субстратом для выработки клетками энергии и синтеза АТФ.

Концентрации таких сложных молекулярных классов липидов, как ХС-ЛПНП, ХС-ЛПВП, ОХ, содержащих в своём составе множество отдельных молекулярных видов, чувствительны и специфичны к нескольким факторам, которые могут влиять на риск дислипидемии, таким как генетическая изменчивость, воздействие окружающей среды, физиологический период, возраст, функция

иммунной системы и стресс самой различной этиологии. Измерение уровней циркулирующих липопротеидов у разных пород, с учётом климато-географических и экологических условий разведения, даёт большие возможности для характеристики взаимодействий организма животного и окружающей среды и сложных фенотипов, таких как порода.

### ВЫВОДЫ

1. Установлены различия между показателями ЛПВП-ХС и ЛПНП-ХС у коров черно-пестрой, красной степной и голштинской пород, что свидетельствует о генетической детерминации уровня липопротеидов в сыво-

ротке крови. Сила влияние фактора породной принадлежности коров на уровень содержания ХС-ЛПВП в сыворотке крови составила 29 %, ХС-ЛПНП – 17%.

2. Содержание ОХ и ХС-ЛПНП в сыворотке крови коров в возрасте 2-3-й лактации, разводимых на территории Западной Сибири, выше общепринятых нормативных значений, что отражает разную степень адаптации к климатическим условиям. Ранжированный ряд пород ( $p < 0,05$ ) по ХС-ЛПНП : черно-пестрая → голштинская → красная степная, медианы которого составили 4,91; 2,77 и 2,24 ммоль/л соответственно.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Mundra P. A., Shaw J. E., Meikle P. J.* Lipidomic analyses in epidemiology // *International journal of epidemiology*. – 2016. – Vol. 45, N 5. – P. 1329–1338.
2. *Plasma lipid profiling in a large population-based cohort [S] / J.M. Weir [et al.]* // *Journal of lipid research*. – 2013. – Vol. 54, N 10. – P. 2898–2908.
3. *Glucagon attenuates lipid accumulation in cow hepatocytes through AMPK signaling pathway activation / Y. Li [et al.]* // *Journal of Cellular Physiology*. – 2019. – Vol. 234, N 5. – P. 6054–6066.
4. *Evolution of the cholesterol biosynthesis pathway in animals / Tingting Zhang, Dongwei Yuan, Jun Xie [et al.]* // *Molecularly Biology and Evolution*. – 2019. – Vol. 36, N 11. – P. 2548–2556.
5. *Alphonse P.A., Jones P.J.* Revisiting Human Cholesterol Synthesis and Absorption: The Reciprocity Paradigm and its Key Regulators // *Lipids*. – 2016. – N 51. – P. 519–536.
6. *Липидный статус овцематок романовской породы на юге Западной Сибири / И.Н. Морозов, О.И. Себежко, Е.И. Тарасенко, Е.А. Климанова* // *Достижения науки и техники АПК*. – 2022. – Т. 36, N 7. – С. 71–76. – DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_7\_71.
7. *Cholesterol sensing, trafficking, and esterification / T. Chang, C. Chang, N. Ohgami [et al.]* // *The Annual Review of Cell and Developmental Biology*. – 2006. – N 22. – P. 129–157.
8. *Метаболизм холестерина в макрофагах / А.В. Хотина, В.Н. Сухоруков, Д.А. Каширских [и др.]* // *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. – 2020. – Т. 9, N 2. – С. 91–101.
9. *Иванченкова Р.А., Гаценко В.П., Атькова Е.Р.* Генетические аспекты желчеобразования // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. – 2009. – N 3. – С. 56–63.
10. *Референсные интервалы показателей холестеринного профиля у овцематок романовской породы в условиях Кемеровской области / И.Н. Морозов, О.И. Себежко, А.Н. Себежко [и др.]* // *Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 7–8 дек. 2022 г.* – Кемерово: Кузбас. гос. с.-х. акад., 2022. – С. 273–279.
11. *George K.S., Wu S.* Lipid raft: A floating island of death or survival // *Toxicology and applied pharmacology*. – 2012. – Vol. 259. – P. 311–309.
12. *Петров А.М., Касимов М.Р., Зефирова А.Л.* Метаболизм холестерина мозга и его нарушения: связь с нейродегенерацией и синаптической дисфункцией // *Acta Naturae (русскоязычная версия)*. – 2016. – Т. 8, № 1 (28). – С. 64–80.
13. *Low-density lipoproteins cause atherosclerotic cardiovascular disease. 1. Evidence from genetic, epidemiologic, and clinical studies. A consensus statement from the European Atherosclerosis Society Consensus Panel / B.A. Ference [et al.]* // *European heart journal*. – 2017. – Vol. 38, N 32. – С. 2459–2472.



14. *Plasma lipidomic profiles improve on traditional risk factors for the prediction of cardiovascular events in type 2 diabetes mellitus* / Z.H. Alshehry [et al.] // *Circulation*. – 2016. – Vol. 134, N 21. – P. 1637–1650.
15. *Plasma ceramides, Mediterranean diet, and incident cardiovascular disease in the PREDIMED trial (Prevencion con Dieta Mediterranea)* / D.D. Wang [et al.] // *Circulation*. – 2017. – Vol. 135, N 21. – P. 2028–2040.
16. *Rudel L.L., Lee R.G., Parini P. ACAT2 Is a Target for Treatment of Coronary Heart Disease Associated With Hypercholesterolemia* // *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. – 2005. – N 25. – P. 1112–1118.
17. *Современные аспекты метаболизма холестерина у крупного рогатого скота* / О.И. Себежко, К.Н. Нарожных, О.С. Короткевич [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2021. – № 2 (59). – С. 91–105. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-91-105.
18. *Хапалюк А.В. Атеросклероз и статины* // *Лечебное дело: научно-практический терапевтический журнал*. – 2021. – № 3. – С. 13–23.
19. *Особенности метаболического статуса коров голштинской породы с высоким уровнем продуктивности в период лактации* / Д.А. Александрова, О.И. Себежко, А.В. Ковалев, И.Н. Морозов // *Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сб. VI Всерос. (нац.) науч. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 20 дек. 2021 г.* – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. – С. 249–251.
20. *Comprehensive genetic analysis of the human lipidome identifies loci associated with lipid homeostasis with links to coronary artery disease* / G. Cadby [et al.] // *Nature communications*. – 2022. – Vol. 13, N 1. – P. 3124.
21. *Efficacy and safety of low levels of low-density lipoprotein cholesterol: trans-ancestry linear and non-linear Mendelian randomization analyses* / H. Liu [et al.] // *European Journal of Preventive Cardiology*. – 2023. – Vol. 09. – P. zwad111.
22. *Изменчивость некоторых биохимических показателей у голштинизированных чернопестрых коров Западной Сибири* / О.И. Себежко, Д.А. Александрова, А.В. Ковалев, И.Н. Морозов // *Модернизация аграрного образования: сб. науч. тр. по материалам VII Междунар. науч.-практ. конф., Томск, 14 дек. 2021 г.* – Томск; Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. – С. 1135–1138.
23. *Heritability analysis of lipids and three gene loci in twins link the macrophage scavenger receptor to HDL cholesterol concentrations* / H. Knoblauch [et al.] // *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* – 1997. – Vol. 17. – P. 2054–2060.
24. *Heritability of longitudinal measures of body mass index and lipid and lipoprotein levels in aging twins* / E.L. Goode [et al.] // *Twin Res Hum Genet.* – 2007. – Vol. 10, N 5. – P. 703–711. – DOI: 10.1375/twin.10.5.703.
25. *Heritability and stability of resting blood pressure* / J.J. Hottenga, D.I. Boomsma, N. Kupper [et al.] // *Twin Res Hum Genet.* – 2005. – Vol. 8, N 5. – P. 599–508. – DOI: 10.1375/183242705774310123.
26. *Distribution and heritability of BMI in Finnish adolescents aged 16y and 17y: a study of 4884 twins and 2509 singletons* / K.H. Pietiläinen, J. Kaprio, A. Rissanen [et al.] // *Int J Obes Relat Metab Disord.* – 1999. – Vol. 23, N 2. – P. 107–115. – DOI: 10.1038/sj.ijo.0800767.
27. *Heritability of death from coronary heart disease: a 36-year follow-up of 20 966 Swedish twins* / S. Zdravkovic, A. Wienke, N.L. Pedersen [et al.] // *J Intern Med.* – 2002. – Vol. 252, N 3. – P. 247–254. – DOI: 10.1046/j.1365-2796.2002.01029.x.
28. *Differential expression of genes associated with lipid metabolism in longissimus dorsi of Korean bulls and steers* / J.J. Bong, J.Y. Jeong, P. Rajasekar [et al.] // *Meat Sci.* – 2012. – Vol. 91, N 3. – P. 284–293. – DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.02.004.
29. *Genetic, management, and nutritional factors affecting intramuscular fat deposition in beef cattle - A review* / S.J. Park, S.H. Beak, D.J.S. Jung, [et al.] // *Asian-Australas J Anim Sci.* – 2018. – Vol. 31, N 7. – P. 1043–1061. – DOI: 10.5713/ajas.18.0310.

30. *Human plasma lipidome is pleiotropically associated with cardiovascular risk factors and death* / C. Bellis, H. Kulkarni, M. Mamtani, [et al.] // *Circ Cardiovasc Genet.* – 2014. – Vol. 7, N 6. – P. 854–863. – DOI: 10.1161/CIRCGENETICS.114.000600.
31. *Genetic architecture of human plasma lipidome and its link to cardiovascular disease* / R. Tabasum [et al.] // *Nature communications.* – 2019. – Vol. 10, N 1. – P. 4329.
32. *Genome-wide association study of plasma triglycerides, phospholipids and relation to cardiometabolic risk factors* / A. Demirkan [et al.] // *BioRxiv.* – 2019. – P. 621334. – DOI: <https://doi.org/10.1101/621334>.
33. *Уровень встречаемости носителей гаплотипов фертильности HH4, HH5, HCD у быков производителей и коров голштинской породы* / Y. Ussenbekov, M. Шорманова, P. Нурпейсова, A. Махмутов, С. Сябеков // *GBJ.* – 2023. – Т. 1, N 70. – С. 65–77.
34. *The Holstein Friesian Lethal Haplotype 5 (HH5) Results from a Complete Deletion of TBF1M and Cholesterol Deficiency (CDH) from an ERV-(LTR) Insertion into the Coding Region of APOB* / E. Schütz, C. Wehrhahn, M. Wanjek [et al.] // *PLoS One.* – 2016. – Vol. 11, N 4. – P. e0154602. – DOI: 10.1371/journal.pone.0154602.
35. *A transposable element insertion in APOB causes cholesterol deficiency in Holstein cattle* / N. Besuchet-Schmutz, M. Fragnière, S. Hofstetter [et al.] // *Anim Genet.* – 2016. – Vol. 47, N 2. – P. 253–257. – DOI: 10.1111/age.12410.
36. *The cholesterol-deficiency associated mutation in APOB segregates at low frequency in Chinese Holstein cattle* / Yanhua Li, Lingzhao Fang, Lin Liu [et al.] // *Can. J. Anim. Sci.* – 2018. – Vol. 99, N 2. – P. 332–335. – <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0108>.
37. *Rapid Communication: Cholesterol deficiency-associated APOB mutation impacts lipid metabolism in Holstein calves and breeding bulls* / J.J. Gross, A.-C. Schwinn, F. Schmitz-Hsu [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2016. – N 94. – P. 1761–1766.
38. *The APOB loss-of-function mutation of Holstein dairy cattle does not cause a deficiency of cholesterol but decreases the capacity for cholesterol transport in circulation* / J.J. Gross [et al.] // *Journal of dairy science.* – 2019. – N 11. – P. 10564–10572. – <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16852>.
39. *A retrospective study of clinical and laboratory features and treatment on cats highly suspected of feline infectious peritonitis in Wuhan, China* / Y. Yin, T. Li, C. Wang [et al.] // *Sci Rep.* – 2021. – Vol. 11, N 1. – P. 5208. – DOI: 10.1038/s41598-021-84754-0.
40. *Basiel B.L., Macrina A.L., Dechow C.D. Cholesterol deficiency carriers have lowered serum cholesterol and perform well at an elite cattle show* // *JDS communications.* – 2020. – Vol. 1, N 1. – P. 6–9.
41. *Identification of a haplotype associated with cholesterol deficiency and increased juvenile mortality in Holstein cattle* / S. Kipp, D. Segelke, S. Schierenbeck [et al.] // *J Dairy Sci.* – 2016. – Vol. 99, N 11. – P. 8915–8931. – DOI: 10.3168/jds.2016-11118.
42. *Characterization and comparison of lipids in bovine colostrum and mature milk based on UH-PLC-QTOF-MS lipidomics* / M. Li [et al.] // *Food Research International.* – 2020. – Vol. 136. – P. 109490.
43. *MacGibbon A.K.H. Composition and structure of bovine milk lipids* // *Advanced Dairy Chemistry.* – 2020. – Vol. 2. – P. 1–32.
44. *mTORC2 Regulates lipogenic gene expression through PPARγ to control lipid synthesis in bovine mammary epithelial cells* / Z. Guo [et al.] // *BioMed research international.* – 2019. – Vol. 2019.
45. *Whole-genome association study of fatty acid composition in a diverse range of beef cattle breeds* / M.J. Kelly, R.K. Tume, M. Fortes, J.M. Thompson // *J Anim Sci.* – 2014. – Vol. 92, N 5. – P. 1895–1901. – DOI: 10.2527/jas.2013-6901.
46. *Diet and Genetics Influence Beef Cattle Performance and Meat Quality Characteristics* / F.W. Mwangi, E. Charmley, C.P. Gardiner [et al.] // *Foods.* – 2019. – Vol. 8, N 12. – P. 648. – DOI: 10.3390/foods8120648.
47. *Eslam M, George J. Genetic contributions to NAFLD: leveraging shared genetics to uncover systems biology.* *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* – 2020. – Vol. 17. – № 1. – P. 40–52. – DOI: 10.1038/s41575-019-0212-0.

48. *Lipid characterization of in vitro-produced bovine embryos with distinct kinetics of development* / K. Annes [et al.] // *Zygote*. – 2019. – Vol. 27, N 6. – P. 413–422.
49. *Desorption electrospray ionization mass spectrometry reveals lipid metabolism of individual oocytes and embryos* / A.F. González-Serrano, V. Pirro, C.R. Ferreira [et al.] // *PLoS One*. – 2013. – Vol. 8, N 9. – P. e74981. – DOI: 10.1371/journal.pone.0074981.
50. *Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of western Siberia* / O.I. Sebeztko, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich [et al.] // *Indian journal of ecology*. – 2017. – Vol. 44, N 3. – P. 662–666.
51. *Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva* / O.I. Sebeztko, V.L. Petukhov, N.I. Shishin [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, N 9. – P. 1530–1535.
52. *Manganese content in muscles of sons of different Holstein bulls reared in Western Siberia* / K.N. Narozhnykh, O.I. Sebeztko, T.V. Konovalova [et al.] // *Trace Elements and Electrolytes*. – 2021. – Vol. 38, N 3. – P. 149. – EDN: СКИИФ.
53. *Васильева С.В.* Динамика фракций холестерина у коров в транзитный период // *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. – 2021. – № 4. – С. 142–146. – DOI: 10.52419/issn2072-6023.2021.4.142; EDN: NAYGPF.
54. *Зависимость* восприимчивости крупного рогатого скота к лейкозу от биохимических показателей крови / М.Л. Малинин, А.Е. Кузнецова, М.А. Шибаева [и др.] // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10–8. – С. 1758–1761. – EDN: РКРТFD.
55. *Мотузко И.С., Хвостова О.В.* Возрастная динамика липопротеидов сыворотки крови крупного рогатого скота // *Вестник ВГМУ*. – 2003. – Т. 2, N 4. – С. 116–118.
56. *Курдеко А.П., Сологуб Е.А.* Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита у коров в динамике лактации // *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена „Знак Почета” государственная академия ветеринарной медицины»: научно-практический журнал*. – Витебск, 2019. – Т. 55, Вып. 3. – С. 38–41.
57. *Васильева С.В.* Динамика общего холестерина и его фракций в составе липопротеинов различной плотности в сыворотке крови коров в различных фазах физиологического цикла // *Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия: сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 24 дек. 2019 г.* – Уфа: Вестник науки, 2019. – С. 16–20. – EDN: VDEUWI.
58. *Еременко В.И., Сидоров А.Е.* Динамика общих липидов и холестерина в крови нетелей разных пород // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2022. – N 1. – С. 56–60. – EDN: FHWGIK.
59. *Влияние* полиморфизма гена PON1 на уровень параоксоназы-1 и биохимические показатели сыворотки крови крупного рогатого скота голштинской породы / Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шакиров, Э.Р. Гайнутдинова, З.Ф. Фаттахова // *Аграрный научный журнал*. – 2022. – № 8. – С. 61–65. – DOI: 10.28983/asj.y2022i8pp61-65; EDN: BJYWFC.
60. *Сравнительный анализ* липидного и аминокислотного обмена у бычков калмыцкой и монгольской пород / И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, Е.В. Карпенко [и др.] // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2020. – Т. 103, № 2. – С. 82–92. – DOI: 10.33284/2658-3135-103-2-82; EDN: AJFHAZ.
61. *Clinicopathological Phenotype of Autosomal Recessive Cholesterol Deficiency in Holstein Cattle* / T. Mock [et al.] // *J. of Veterinary Internal* – 2016. – Vol. 30 (4). – P. 1369–1375.

## REFERENCES

1. Mundra P.A., Shaw J.E., Meikle P.J., Lipidomic analyses in epidemiology, *International journal of epidemiology*, 2016, Vol. 45, No. 5, pp. 1329–1338.
2. Weir J.M. et al., Plasma lipid profiling in a large population-based cohort [S], *Journal of lipid research*, 2013, Vol. 54, No. 10, pp. 2898–2908.
3. Li Y. et al., Glucagon attenuates lipid accumulation in cow hepatocytes through AMPK signaling pathway activation, *Journal of Cellular Physiology*, 2019, Vol. 234, No. 5, pp. 6054–6066.

4. Tingting Zhang, Dongwei Yuan, Jun Xie et al., Evolution of the cholesterol biosynthesis pathway in animals, *Molecularly Biology and Evolution*, 2019, Vol. 36, No. 11, pp. 2548–2556.
5. Alphonse P.A., Jones P.J., Revisiting Human Cholesterol Synthesis and Absorption: The Reciprocity Paradigm and its Key Regulators, *Lipids*, 2016, No. 51, pp. 519–536.
6. Morozov I.N., Sebezshko O.I., Tarasenko E.I., Klimanova E.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, T. 36, No. 7, pp. 71–76. (In Russ.)
7. Chang T., Chang C., Ohgami N. et al., Cholesterol sensing, trafficking, and esterification, *The Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 2006, No. 22, pp. 129–157.
8. Khotina V.A., Sukhorukov V.N., Kashirskikh D.A., Sobenin I.A., Orekhov A.N., *Kompleksnye problem serdechno-sosudistykh zabolevaniy*, 2020, Vol. 9, No. 2, pp. 91–101. (In Russ.)
9. Ivanchenkova R.A., Gatsenko V.P., At'kova E.R., *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya*, 2009, No. 3, pp. 56–63. (In Russ.)
10. Morozov I.N., Sebezshko O.I., Sebezshko A.N., Yazikov I.K., Kovalev A.V., *Sovremennye tendentsii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva v mirovoi ekonomike* (Modern trends in agricultural production in the World economy) Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference, Kemerovo, December 07-08, 2022, Kemerovo, Kuzbass State Agricultural Academy, 2022, pp. 273–279. (In Russ.)
11. George K.S., Wu S., Lipid raft: A floating island of death or survival, *Toxicology and applied pharmacology*, 2012, Vol. 259, pp. 311–309.
12. Petrov A.M., Kasimov M.R., Zefirov A.L., *Acta Naturae (russkoyazychnaya versiya)*, 2016, T. 8, No. 1 (28), pp. 64–80. (In Russ.)
13. Ference B.A. et al., Low-density lipoproteins cause atherosclerotic cardiovascular disease. 1. Evidence from genetic, epidemiologic, and clinical studies. A consensus statement from the European Atherosclerosis Society Consensus Panel, *European heart journal*, 2017, Vol. 38, No. 32, pp. 2459–2472.
14. Alshehry Z.H. et al., Plasma lipidomic profiles improve on traditional risk factors for the prediction of cardiovascular events in type 2 diabetes mellitus, *Circulation*, 2016, Vol. 134, No. 21, pp. 1637–1650.
15. Wang D.D. et al., Plasma ceramides, Mediterranean diet, and incident cardiovascular disease in the PREDIMED trial (Prevencion con Dieta Mediterranea), *Circulation*, 2017, Vol. 135, No. 21, pp. 2028–2040.
16. Rudel L.L., Lee R.G., Parini P., ACAT2 Is a Target for Treatment of Coronary Heart Disease Associated With Hypercholesterolemia, *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 2005, No. 25, pp. 1112–1118.
17. Sebezshko O.I., Narozhnykh K.N., Korotkevich O.S., Alexandrova D.A., Morozov I.N., *Vestnik NGAU*, 2021, No. 2 (59), pp. 91–105. (In Russ.)
18. Khapalyuk A.V., *Lechebnoe delo*, 2021, No. 3, pp. 13–23. (In Russ.)
19. Aleksandrova D.A., Sebezshko O.I., Kovalev A.V., Morozov I.N., *Rol' agrarnoi nauki v ustoichivom razvitiy sel'skikh territoriy* (The role of agricultural science in the sustainable development of rural areas), Collection of the VI All-Russian (National) Scientific Conference with international participation, Novosibirsk, December 20, 2021, Novosibirsk: Zolotoj kolos, 2021, pp. 249–251. (In Russ.)
20. Cadby G. et al., Comprehensive genetic analysis of the human lipidome identifies loci associated with lipid homeostasis with links to coronary artery disease, *Nature communications*, 2022, Vol. 13, No. 1, pp. 3124.
21. Liu H. et al., Efficacy and safety of low levels of low-density lipoprotein cholesterol: trans-ancestry linear and non-linear Mendelian randomization analyses, *European Journal of Preventive Cardiology*, 2023, Vol. 09, pp. zwad111.
22. Sebezshko O.I., Aleksandrova D.A., Kovalev A.V., Morozov I.N., *Modernizatsiya agrarnogo obrazovaniya* (Modernization of agricultural education), A collection of scientific papers based on the materials of the VII International Scientific and Practical Conference, Tomsk, December 14, 2021. Tomsk-Novosibirsk: Zolotoj kolos, 2021, pp. 1135–1138. (In Russ.)
23. Knoblauch H. et al., Heritability analysis of lipids and three gene loci in twins link the macrophage scavenger receptor to HDL cholesterol concentrations, *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, 1997, Vol. 17, pp. 2054–2060.

24. Goode E.L., Cherny S.S., Christian J.C., Jarvik G.P., de Andrade M., Heritability of longitudinal measures of body mass index and lipid and lipoprotein levels in aging twins, *Twin Res Hum Genet*, 2007, Vol. 10, No. 5, pp. 703–711, DOI: 10.1375/twin.10.5.703.
25. Hottenga J.J., Boomsma D.I., Kupper N., Posthuma D., Snieder H., Willemsen G., de Geus E.J., Heritability and stability of resting blood pressure, *Twin Res Hum Genet*, 2005, Vol. 8, No. 5, pp. 599–508, DOI: 10.1375/183242705774310123.
26. Pietiläinen K.H., Kaprio J., Rissanen A., Winter T., Rimpelä A., Viken R.J., Rose R.J., Distribution and heritability of BMI in Finnish adolescents aged 16y and 17y: a study of 4884 twins and 2509 singletons, *Int J Obes Relat Metab Disord*, 1999, Vol. 23, No. 2, pp. 107–115, DOI: 10.1038/sj.ijo.0800767.
27. Zdravkovic S., Wienke A., Pedersen N.L., Marenberg M.E., Yashin A.I., De Faire U., Heritability of death from coronary heart disease: a 36-year follow-up of 20 966 Swedish twins, *J Intern Med*, 2002, Vol. 252, No. 3, pp. 247–54, DOI: 10.1046/j.1365-2796.2002.01029.x.
28. Bong J.J., Jeong J.Y., Rajasekar P., Cho Y.M., Kwon E.G., Kim H.C., Paek B.H., Baik M., Differential expression of genes associated with lipid metabolism in longissimus dorsi of Korean bulls and steers, *Meat Sci*, 2012, Vol. 91, No. 3, pp. 284–293, DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.02.004.
29. Park S.J., Beak S.H., Jung D.J.S., Kim S.Y., Jeong I.H., Piao M.Y., Kang H.J., Fassah D.M., Na S.W., Yoo S.P., Baik M., Genetic, management, and nutritional factors affecting intramuscular fat deposition in beef cattle - A review, *Asian-Australas J Anim Sci*, 2018, Vol. 31, No. 7, pp. 1043–1061, DOI: 10.5713/ajas.18.0310.
30. Bellis C., Kulkarni H., Mamtani M. et al., Human plasma lipidome is pleiotropically associated with cardiovascular risk factors and death, *Circ Cardiovasc Genet*, 2014, Vol. 7, No. 6, pp. 854–863, DOI: 10.1161/CIRCGENETICS.114.000600.
31. Tabassum R. et al., Genetic architecture of human plasma lipidome and its link to cardiovascular disease, *Nature communications*, 2019, Vol. 10, No. 1, pp. 4329.
32. Demirkan A. et al., Genome-wide association study of plasma triglycerides, phospholipids and relation to cardio-metabolic risk factors, *BioRxiv*, 2019, pp. 621334, DOI: <https://doi.org/10.1101/621334>.
33. Ussenbekov Y., Шорманова М., Нурпейсова Р., Махмутов А., Сяябеков С., *GBJ*, 2023, Т. 1, No. 70, pp. 65–77. (In Russ.)
34. Schütz E., Wehrhahn C., Wanjek M., Bortfeld R., Wemheuer W.E., Beck J., Brenig B., The Holstein Friesian Lethal Haplotype 5 (HH5) Results from a Complete Deletion of TBF1M and Cholesterol Deficiency (CDH) from an ERV-(LTR) Insertion into the Coding Region of APOB, *PLoS One*, 2016, Vol. 11, No. 4, pp. e0154602, DOI: 10.1371/journal.pone.0154602.
35. Besuchet-Schmutz N., Fragnière M., Hofstetter S., et al., A transposable element insertion in APOB causes cholesterol deficiency in Holstein cattle, *Anim Genet*, 2016, Vol. 47, No. 2, pp. 253–257, DOI: 10.1111/age.12410.
36. Yanhua Li, Lingzhao Fang, Lin Liu, Shengli Zhang, Zhu Ma, Dongxiao Sun, The cholesterol-deficiency associated mutation in APOB segregates at low frequency in Chinese Holstein cattle, *Can. J. Anim. Sci*, 2018, Vol. 99, No. 2, pp. 332–335, <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0108>.
37. Gross J.J., Schwinn A.-C., Schmitz-Hsu F. et al., Rapid Communication: Cholesterol deficiency-associated APOB mutation impacts lipid metabolism in Holstein calves and breeding bulls, *J. Anim. Sci*, 2016, No. 94, pp. 1761–1766
38. Gross J.J. et al., The APOB loss-of-function mutation of Holstein dairy cattle does not cause a deficiency of cholesterol but decreases the capacity for cholesterol transport in circulation, *Journal of dairy science*, 2019, No. 11, pp. 10564–10572, <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16852>.
39. Liu X., Ouyang H., Ji W. et al., A retrospective study of clinical and laboratory features and treatment on cats highly suspected of feline infectious peritonitis in Wuhan, China, *Sci Rep*, 2021, Vol. 11, No. 1, pp. 5208, DOI: 10.1038/s41598-021-84754-0.
40. Basiel B.L., Macrina A.L., Dechow C.D., Cholesterol deficiency carriers have lowered serum cholesterol and perform well at an elite cattle show, *JDS communications*, 2020, Vol. 1, No. 1, pp. 6–9.
41. Kipp S., Segelke D., Schierenbeck S., et al., Identification of a haplotype associated with cholesterol deficiency and increased juvenile mortality in Holstein cattle, *J Dairy Sci*, 2016, Vol. 99, No. 11, pp. 8915–8931, DOI: 10.3168/jds.2016-11118.

42. Li M. et al., Characterization and comparison of lipids in bovine colostrum and mature milk based on UHPLC-QTOF-MS lipidomics, *Food Research International*, 2020, Vol. 136, pp. 109490.
43. MacGibbon A.K.H., Composition and structure of bovine milk lipids, *Advanced Dairy Chemistry*, 2020, Vol. 2, pp. 1–32.
44. Guo Z. et al., mTORC2 Regulates lipogenic gene expression through PPAR $\gamma$  to control lipid synthesis in bovine mammary epithelial cells, *BioMed research international*, 2019, Vol. 2019.
45. Kelly M.J., Tume R.K., Fortes M., Thompson J.M., Whole-genome association study of fatty acid composition in a diverse range of beef cattle breeds, *J Anim Sci*, 2014, Vol. 92, No. 5, pp. 1895–1901, DOI: 10.2527/jas.2013-6901.
46. Mwangi F.W., Charmley E., Gardiner C.P., Malau-Aduli B.S., Kinobe R.T., Malau-Aduli A.E.O., Diet and Genetics Influence Beef Cattle Performance and Meat Quality Characteristics, *Foods*, 2019, Vol. 8, No. 12, pp. 648, DOI: 10.3390/foods8120648.
47. Eslam M., George J., Genetic contributions to NAFLD: leveraging shared genetics to uncover systems biology, *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 2020, Vol. 17, No. 1, pp. 40–52, DOI: 10.1038/s41575-019-0212-0.
48. Annes K. et al., Lipid characterization of in vitro-produced bovine embryos with distinct kinetics of development, *Zygote*, 2019, Vol. 27, No. 6, pp. 413–422.
49. González-Serrano A.F., Pirro V., Ferreira C.R. et al., Desorption electrospray ionization mass spectrometry reveals lipid metabolism of individual oocytes and embryos, *PLoS One*, 2013, Vol. 8, No. 9, pp. e74981, DOI: 10.1371/journal.pone.0074981.
50. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Korotkevich O.S. et al., Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of western Siberia, *Indian journal of ecology*, 2017, Vol. 44, No. 3, pp. 662–666.
51. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Shishin N.I. et al., Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 9, pp. 1530–1535.
52. Narozhnykh K.N., Sebezhko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Tarasenko E.I., *Trace Elements and Electrolytes*, 2021, Vol. 38, No. 3, pp. 149. (In Russ.)
53. Vasil'eva S.V., *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii*, 2021, No. 4, pp. 142–146. (In Russ.)
54. Malinin M.L., Kuznecova A.E., Shibaeva M.A., Karablin P.M., Tihomirova E.I., Laskavyj V.N., *Fundamental'nye issledovaniya*, 2013, No. 10–8, pp. 1758–1761, EDN: RKPTFD. (In Russ.)
55. Motuzko I.S., Hvastova O.V., *Vestnik VGMU*, 2003, T. 2, No. 4, pp. 116–118. (In Russ.)
56. Kurdeko A.P., Sologub E.A., *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya "Vitebskaja ordena "Znak Pocheta" gosudarstvennaja akademija veterinarnoj mediciny": nauchno-prakticheskij zhurnal*, Vitebsk, 2019, T. 55, No. 3, pp. 38–41.
57. Vasil'eva S.V., *Strukturnye preobrazovaniya jekonomiki territorij: v poiske social'nogo i jekonomicheskogo ravnovesija* (Structural transformations of the economy of territories: in search of social and economic balance), A collection of articles based on the materials of the International scientific and practical conference, Ufa, December 24, 2019. Volume Part 1, Ufa: Limited Liability Company "Scientific Publishing Center "Bulletin of Science", 2019, pp. 16–20. (In Russ.)
58. Eremenko V.I., Sidorov A.E., *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*, 2022, No. 1, pp. 56–60. (In Russ.)
59. Safina N.Ju., Shakirov Sh.K., Gajnutdinova Je.R., Fattahova Z.F., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2022, No. 8, pp. 61–65. (In Russ.)
60. Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Karpenko E.V. i dr., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2020, T. 103, No. 2, pp. 82–92. (In Russ.)
61. Mock T., Clinicopathological Phenotype of Autosomal Recessive Cholesterol Deficiency in Holstein Cattle, *J. of Veterinary Internal*, 2016, Vol. 30 (4), pp. 1369–1375.