

Научная статья/Research article

УДК 637.12.05:636.27

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-12-230-241

Мария Владимировна Левченко<sup>1</sup>✉, Олег Гаязович Зарипов<sup>2</sup>,

Галина Константиновна Петрякова<sup>3</sup>, Ирина Алексеевна Лашнева<sup>4</sup>,

Николай Иванович Песоцкий<sup>5</sup>, Александр Александрович Сермягин<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>ФИЦ животноводства – ВИЖ им. акад. Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, Московская область, Россия

<sup>5</sup>Научно-практический центр Национальной академии наук Беларусь по животноводству, Жодино, Минская область, Беларусь

<sup>6</sup>Всероссийский НИИ генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФИЦ животноводства – ВИЖ им. акад. Л.К. Эрнста, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup>marikornelaea@yandex.ru

<sup>2</sup>zarog@mail.ru

<sup>3</sup>pgk-04@mail.ru

<sup>4</sup>lashnevaira@gmail.com

<sup>5</sup>pyasotsky@gmail.com

<sup>6</sup>alex\_sermyagin85@mail.ru

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОЛОКА КРАСНОГО БЕЛОРУССКОГО СКОТА

Цель исследования – комплексный анализ взаимосвязи между количественным составом, жирнокислотным профилем и технологическими свойствами молока коров генофондной популяции красного белорусского скота с использованием методов корреляции, кластеризации и анализа главных компонент для идентификации ключевых биохимических маркеров, влияющих на термостабильность. Исследование проводилось на коровах красного белорусского скота из УСП «Новый Двор – Агро» (Гродненская обл., Беларусь). В течение 2023 г. отбирались пробы сырого молока (всего 513 проб). Компонентный состав анализировали на анализаторе CombiFoss 7 DC (FOSS, Дания) с определением 23 показателей. Жирнокислотный состав включал 12 показателей. Термостабильность определяли методом алкогольной пробы по ГОСТ 25228-82 с классификацией на 4 класса. Выявлена значительная вариабельность термостабильности молока: средние значения класса по алкогольной пробе варьировали от  $2,73 \pm 0,10$  до  $3,26 \pm 0,08$  с коэффициентом вариации 24,97–37,60 %. Установлены положительные корреляции термостабильности с МДЖ ( $r = 0,22$ ) и СВ ( $r = 0,21$ ). Кластерный анализ выявил 4 устойчивых кластера, где кластер 1 ассоциирован с молоком класса 1, а кластер 3 – с классами 3–4. Анализ жирнокислотного состава показал значимые различия по пальмитиновой (C16:0) и олеиновой (C18:1) кислотам между молоком разных классов термостабильности. Наибольшие межклассовые различия отмечены для ДЦЖК, МНЖК и НЖК, в то время как содержание С14:0, С18:0 и ТЖК оставалось стабильным. Комплексное исследование доказало, что термостабильность молока определяется преимущественно специфическим жирнокислотным профилем и качественным составом белков, а не их общим содержанием. Разработанная диагностическая модель позволяет идентифицировать коров-производителей технологически ценного молока и представляет практическую ценность для селекционных программ и молочной промышленности.

**Ключевые слова:** молочное скотоводство, красный белорусский скот, компонентный состав молока, термостабильность молока

**Для цитирования:** Левченко М.В., Зарипов О.Г., Петрякова Г.К., и др. Взаимосвязь показателей количественного состава и технологических свойств молока красного белорусского скота // Вестник КрасГАУ. 2025. № 12. С. 230–241. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-12-230-241.

**Финансирование:** работа выполнена в соответствии с темой гранта РНФ № 23-46-10002.

Maria Vladimirovna Levchenko<sup>1</sup>✉, Oleg Gayazovich Zaripov<sup>2</sup>, Galina Konstantinovna Petryakova<sup>3</sup>, Irina Alekseevna Lashneva<sup>4</sup>, Nikolay Ivanovich Pesotsky<sup>5</sup>, Alexander Aleksandrovich Sermyagin<sup>6</sup>

1,2,3,4FRC of Animal Husbandry – All-Russian Research Institute of Animal Husbandry named after Academician L.K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow Region, Russia

<sup>5</sup>Scientific and Practical Center for Animal Husbandry of the National Academy of Sciences of Belarus, Zhodino, Minsk Region, Belarus

<sup>6</sup>All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – branch of the FRC of Animal Husbandry – All-Russian Research Institute of Animal Husbandry named after Academician L.K. Ernst, St. Petersburg, Russia

<sup>1</sup>marikornelaeva@yandex.ru

<sup>2</sup>zarog@mail.ru

<sup>3</sup>pgk-04@mail.ru

<sup>4</sup>lashnevaira@gmail.com

<sup>5</sup>pyasotsky@gmail.com

<sup>6</sup>alex\_sermyagin85@mail.ru

## RELATIONSHIP BETWEEN QUANTITATIVE COMPOSITION INDICATORS AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF RED BELARUSIAN CATTLE MILK

*The aim of the study is to comprehensively analyze the relationship between the quantitative composition, fatty acid profile, and technological properties of milk from cows of the gene pool population of Belarusian Red cattle using correlation, clustering, and principal component analysis methods to identify key biochemical markers affecting thermal stability. The study was conducted on cows of Belarusian Red cattle from the Novy Dvor-Agro dairy farm (Grodno Region, Belarus). Raw milk samples (513 samples in total) were collected throughout 2023. The component composition was analyzed using a CombiFoss 7 DC analyzer (FOSS, Denmark), determining 23 parameters. The fatty acid composition included 12 parameters. Thermal stability was determined using the alcohol test method according to GOST 25228-82 with classification into 4 classes. Significant variability in milk thermal stability was revealed: the average class values for the alcohol test ranged from  $2.73 \pm 0.10$  to  $3.26 \pm 0.08$  with a variation coefficient of 24.97–37.60 %. Positive correlations were established between thermal stability and MFA ( $r = 0.22$ ) and DM ( $r = 0.21$ ). Cluster analysis revealed four stable clusters, where cluster 1 is associated with milk of class 1, and cluster 3 with classes 3–4. Analysis of the fatty acid composition revealed significant differences in palmitic (C16:0) and oleic (C18:1) acids between milk of different thermal stability classes. The greatest interclass differences were noted for LCFA, MUFA, and SFA, while the content of C14:0, C18:0, and TFA remained stable. A comprehensive study has proven that milk thermal stability is determined primarily by the specific fatty acid profile and the qualitative composition of proteins, rather than their total content. The developed diagnostic model allows for the identification of cows producing technologically valuable milk and is of practical value for breeding programs and the dairy industry.*

**Keywords:** dairy farming, Red Belarusian cattle, milk component composition, milk thermal stability

**For citation:** Levchenko MV, Zaripov OG, Petryakova GK, et al. Relationship between quantitative composition indicators and technological properties of Red Belarusian cattle milk. *Bulletin of KSAU*. 2025;(12):230-241. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-12-230-241.

**Funding:** the work was carried out in accordance with the topic of the RSF grant № 23-46-10002.

**Введение.** В последнее десятилетие вопросы разведения, сохранения и повышения продуктивности красного белорусского скота приобрели особую значимость в устойчивом развитии молочного животноводства Республики Беларусь [1, 2]. Локальные породы животных, сформированные в течение многовековой истории, являются носителями уникальных аллелей и ал-

ельных сочетаний, обеспечивающих их способность хорошо адаптироваться к природно-климатическим условиям зон разведения и эффективно использовать локальные кормовые ресурсы [3]. На территории Беларуси, как и России, сформированы массивы красного скота молочного направления продуктивности – красный белорусский и красный горбатовский, которые

характеризуются высоким качеством получаемой продукции, обеспечивающей нутриентное разнообразие и отвечающей потребностям человека в качественной и безопасной пище [2, 3]. Как показано, коровы красной горбатовской и красного белорусского скота обладают повышенной устойчивостью к лейкозу, а молоко обеих пород обладает высокими сыродельными свойствами – выход сыра из такого молока на 20 % выше, чем у молока черно-пестрой и голштинской пород [2, 3].

Красный белорусский скот по своему происхождению является одной из древнейших ветвей западнославянского скота [2]. Однако его численность сократилась до критически низких показателей: размер популяции красного белорусского скота насчитывает всего около 260 голов, включая 106 коров [1, 2]. Полигеномные исследования подтверждают уникальность аллелофонда этого скота и выделяют его из числа других красных пород *Bos Taurus*, однако молекулярные механизмы, ответственные за их фенотипические особенности, включая устойчивость к заболеваниям и сыродельные качества молока, остаются недостаточно изученными [4].

Современные исследования подтверждают, что молочная продуктивность и технологические свойства молока тесно взаимосвязаны с состоянием здоровья животных и могут служить индикаторами физиологического и метаболического статуса [5, 6]. Развитие высокоточных методов фенотипирования, таких как инфракрасная спектроскопия, позволяет получать комплексные данные о компонентном составе молока, включая белковую фракцию, жирнокислотный профиль и распределение соматических клеток по морфологическим типам (лимфоциты, макрофаги, полиморфноядерные нейтрофилы), что содействует селекционному отбору и управлению здоровьем стада [6–8]. Введение дополнительных параметров анализа, таких как следы ацетона, бета-гидроксимасляной кислоты и уровень мочевины, способствует контролю и коррекции метаболических нарушений (ацидоз, кетоз), улучшению репродуктивных показателей и продлению срока продуктивного использования животных [9, 10].

Показатели количественного и компонентного состава молока – содержание белка, жира, лактозы, мочевины, транс-изомеров жирных кислот и уровней соматических клеток – считаются интегративными биомаркерами здоро-

вья и технологической ценности молока [7, 8, 11, 12]. Их динамика отражает как наследственную предрасположенность, так и условия содержания животных [9, 11–13]. Сложное взаимодействие наследственных и средовых факторов формирует индивидуальный уровень молочной продуктивности и определяет отклик на селекционно-племенную работу [5, 12].

Отдельную актуальность представляет изучение взаимосвязи компонентного состава и технологических свойств молока, в частности термостабильности – критически важного параметра для переработки и производства высококачественных молочных продуктов [14, 15]. Термостабильность молока определяется комплексом факторов: концентрацией белковых фракций, минеральных веществ, кислотностью, солевым балансом, а также присутствием отдельных биомолекул, влияющих на процессы денатурации при технологической обработке [15–17]. Исследования последних лет показали, что вариабельность характера свертывания, термостабильность и точка замерзания молока находятся в тесной связи с содержанием функциональных белков и лактозы, а также отражают генетические особенности породы [15–17]. Научно обоснованная селекция по этим признакам позволяет повысить удельную долю высокотехнологичного молока и увеличить выход продукции с предсказуемыми физико-химическими свойствами [1, 14, 17].

Таким образом, комплексное исследование корреляции между основными количественными показателями молока и его технологическими свойствами у красного белорусского скота является важной задачей для развития отечественной системы селекции, повышения продовольственной безопасности и конкурентоспособности молочной отрасли.

**Цель исследования** – изучение взаимосвязи между показателями количественного состава и технологическими свойствами молока коров генофондного красного белорусского скота в связи с результатами анализа главных компонент по показателю термостабильности.

**Объекты и методы.** Объектом исследования являлись коровы красного белорусского скота, находящихся в УСП «Новый Двор – Агро» (Гродненская обл., Беларусь).

Материалом исследований являлось сырое молоко, отобранное в течение всего 2023 г., в количестве 513 проб.

В лаборатории селекционного контроля качества молока при ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста анализировали компонентный состав суточного молока с помощью автоматического анализатора Combi Foss 7 DC (FOSS, Дания). Оценивались следующие показатели: массовая доля жира (МДЖ), белка (МДБ), казеина (МДК), лактозы (МДЛ), сухого вещества (СВ), СОМО (сухой обезжиренный молочный остаток), содержание ацетона, бетагидроксибутират (БГБ), точка замерзания (ТЗ), кислотность (рН), жирнокислотный состав, количество соматических клеток (КСК) и дифференциация соматических клеток (ДКСК). Жирнокислотный состав молока включал в себя: С14:0 (миристиновая кислота), С16:0 (пальмитиновая кислота), С18:0 (стеариновая кислота), С18:1 (олеиновая кислота), ДЦЖК (длинноцепочечные жирные кислоты), СЦЖК (среднечепочечные жирные кислоты), МНЖК (мононенасыщенные жирные кислоты), ПЖК (полиненасыщенные жирные кислоты), НЖК (насыщенные жирные кислоты), КЦЖК (короткоцепочечные жирные кислоты), ТЖК (трансизомеры жирных кислот).

Для изучения технологических свойств отобранных проб молока было проведено исследование термостабильности молока методом алкогольной пробы (ГОСТ 25228-82 «Молоко и сливки. Метод определения термоустойчивости по алкогольной пробе»).

Для анализа экспериментальных данных были задействованы методы вариационной статистики с помощью табличного редактора MS Excel. Корреляции рассчитывались по Пирсону. Степень статистической значимости указана звездочками: одна –  $p < 0,05$ ; две –  $p < 0,01$ ; три –  $p < 0,001$ .

**Результаты и их обсуждение.** Исследования расширенного спектра состава молока красного белорусского скота проводились в течение 2023 г. В таблице 1 представлены данные качественного и количественного состава молока коров красного белорусского скота, среди которых ключевое значение имеет показатель термостабильности молока, характеризующийся классами от 1 до 4. По существующим критериям молоко с термостабильностью класса 1 и 2 считается высококачественным с точки зрения устойчивости белков к свертыванию при тер-

мообработке, тогда как классы 3 и 4 указывают на пониженную термостойкость и потенциальные технологические риски.

Анализ результатов, полученных в течение нескольких дат, показывает, что у коров генофондного красного белорусского скота среднее значение термостабильности варьировало от  $2,73 \pm 0,10$  до  $3,26 \pm 0,08$  с коэффициентами вариации в диапазоне 24,97–37,60 %, это указывает на существенное влияние как генетических, так и паратипических факторов (условий содержания, рациона, периода лактации, времени года) на устойчивость белков молока к термообработке. Отметим, что наиболее благоприятные значения наблюдались в отборах от 27 января 2023 г. ( $2,73 \pm 0,10$ ) и 22 июня 2023 г. ( $2,86 \pm 0,09$ ), что свидетельствует о стабильной группе животных с высокой термостойкостью молочного белка.

Показатели молочной продуктивности – удой, процентное содержание жира (МДЖ), белка (МДБ), лактозы (МДЛ) и сухого вещества (СВ) – колебались в следующих пределах: удой варьировал от ( $18,89 \pm 0,82$ ) до ( $26,31 \pm 0,62$ ) кг, МДЖ – от ( $3,34 \pm 0,12$ ) до ( $4,93 \pm 0,10$ ) %, МДБ – от ( $3,46 \pm 0,04$ ) до ( $3,97 \pm 0,06$ ) %, МДЛ – от ( $4,61 \pm 0,01$ ) до ( $4,95 \pm 0,02$ ) %, а СВ – от ( $12,40 \pm 0,13$ ) до ( $14,04 \pm 0,11$ ) %. При этом следует отметить, что в наиболее благоприятные периоды по термостабильности – январь ( $2,73 \pm 0,10$ ) и июнь ( $2,86 \pm 0,09$ ) – наблюдается умеренный уровень содержания белка (( $3,46 \pm 0,04$ ) и ( $3,72 \pm 0,03$ ) % соответственно). При этом в феврале, где термостабильность была чуть ниже ( $3,00 \pm 0,09$ ), наблюдается максимальный уровень белка – ( $3,50 \pm 0,04$ ) %, а в октябре, когда термостабильность равнялась  $2,94 \pm 0,11$ , содержание белка увеличивается до ( $3,97 \pm 0,06$ ) %.

Это свидетельствует, что более высокое содержание белка не обязательно сопровождается улучшением термостабильности. Такой вывод подтверждается данными из литературы, где отмечается, что повышение содержания белкового компонента само по себе не гарантирует улучшения устойчивости молока при нагревании, поскольку термостабильность зависит не столько от общего количества белка, сколько от его качественного состава (доли и типов белковых фракций), а также от взаимодействия белков с минеральными веществами и жирами.

Таблица 1

**Показатели качественного и количественного состава молока красного белорусского скота**  
**Indicators of the qualitative and quantitative composition of milk of red Belarusian cattle**

| Показатель               | Описательный статистический параметр |          |          |
|--------------------------|--------------------------------------|----------|----------|
|                          | $X \pm m$                            | $\sigma$ | $Cv, \%$ |
| 27.01.2023 (n = 111)     |                                      |          |          |
| Термостабильность, класс | $2,73 \pm 0,10$                      | 1,03     | 37,60    |
| Удой, кг                 | $19,58 \pm 0,63$                     | 6,61     | 33,74    |
| МДЖ, %                   | $3,34 \pm 0,12$                      | 1,26     | 37,64    |
| МДБ, %                   | $3,46 \pm 0,04$                      | 0,39     | 11,35    |
| МДЛ, %                   | $4,85 \pm 0,03$                      | 0,33     | 6,77     |
| СВ, %                    | $12,40 \pm 0,13$                     | 1,40     | 11,33    |
| 23.02.2023 (n = 108)     |                                      |          |          |
| Термостабильность, класс | $3,00 \pm 0,09$                      | 0,94     | 31,24    |
| Удой, кг                 | $22,25 \pm 0,61$                     | 6,39     | 28,72    |
| МДЖ, %                   | $4,93 \pm 0,10$                      | 1,01     | 20,54    |
| МДБ, %                   | $3,50 \pm 0,04$                      | 0,37     | 10,48    |
| МДЛ, %                   | $4,95 \pm 0,02$                      | 0,23     | 4,69     |
| СВ, %                    | $14,04 \pm 0,11$                     | 1,16     | 8,30     |
| 19.05.2023 (n = 95)      |                                      |          |          |
| Термостабильность, класс | $3,26 \pm 0,08$                      | 0,81     | 24,97    |
| Удой, кг                 | $19,84 \pm 0,76$                     | 7,41     | 37,33    |
| МДЖ, %                   | $3,61 \pm 0,12$                      | 1,19     | 32,95    |
| МДБ, %                   | $3,62 \pm 0,04$                      | 0,36     | 9,89     |
| МДЛ, %                   | $4,90 \pm 0,02$                      | 0,21     | 4,29     |
| СВ, %                    | $12,87 \pm 0,13$                     | 1,28     | 9,92     |
| 22.06.2023 (n = 112)     |                                      |          |          |
| Термостабильность, класс | $2,86 \pm 0,09$                      | 0,92     | 32,16    |
| Удой, кг                 | $26,31 \pm 0,62$                     | 6,57     | 24,98    |
| МДЖ, %                   | $4,61 \pm 0,07$                      | 0,78     | 16,96    |
| МДБ, %                   | $3,72 \pm 0,03$                      | 0,34     | 9,19     |
| МДЛ, %                   | $4,61 \pm 0,01$                      | 0,15     | 3,23     |
| СВ, %                    | $13,64 \pm 0,09$                     | 0,95     | 6,98     |
| 23.10.2023 (n = 87)      |                                      |          |          |
| Термостабильность, класс | $2,94 \pm 0,11$                      | 0,98     | 33,33    |
| Удой, кг                 | $18,89 \pm 0,82$                     | 7,69     | 40,72    |
| МДЖ, %                   | $4,53 \pm 0,09$                      | 0,88     | 19,51    |
| МДБ, %                   | $3,97 \pm 0,06$                      | 0,54     | 13,51    |
| МДЛ, %                   | $4,69 \pm 0,03$                      | 0,24     | 5,14     |
| СВ, %                    | $13,95 \pm 0,14$                     | 1,33     | 9,55     |

В частности исследования Huppertz (2016) и Amalfitano et al. (2019) указывают на то, что структура и стабильность казеиновых мицелл, а также баланс между казеином и сывороточными белками играют ключевую роль в термостабильности молока.

Нами было проведен анализ фенотипических корреляций для изучения взаимосвязи меж-

ду показателями молочной продуктивности и термостабильностью молока красного белорусского скота, которые отражают комплексные биохимические и физиологические механизмы, влияющие на качество и стабильность молока при термической обработке (рис. 1).

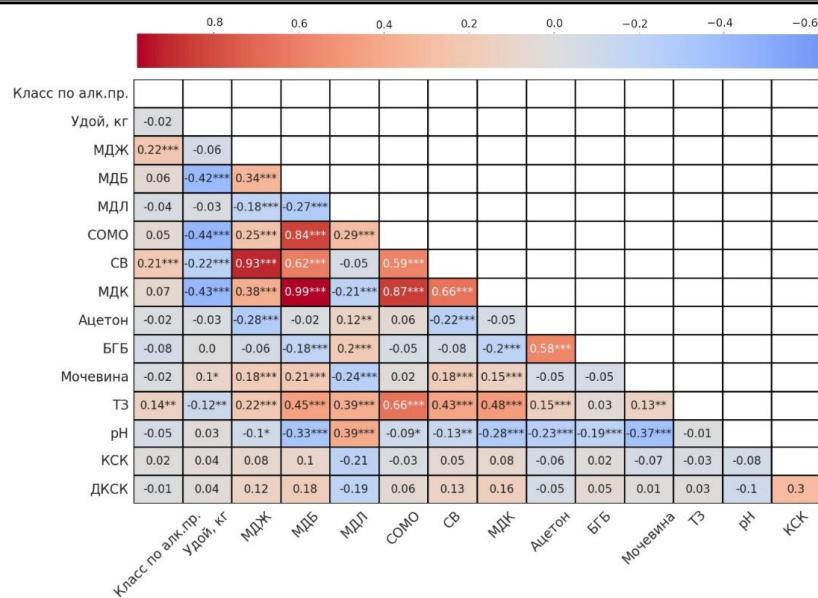


Рис. 1. Корреляции между показателями молочной продуктивности с термостабильностью молока красного белорусского скота (Новый Двор)  
 Correlations between milk production indicators and milk thermal stability of red Belarusian cattle (Novy Dvor)

Класс по алкогольной пробе, характеризующий устойчивость белков молока к свертыванию при добавлении спирта, положительно коррелирует с МДЖ ( $r = 0,22$ ), СВ ( $r = 0,21$ ) и Т3 ( $r = 0,14$ ). Эти данные указывают на то, что содержание жира и общая сухая масса молока оказывают стабилизирующее влияние на белковую структуру, улучшая устойчивость молока к термическим воздействиям. Такой эффект напрямую согласуется с выводами Dumpler et al. (2020) и Huppertz (2016) о том, что белковые и жировые компоненты играют ключевую роль в термостабильности молока, влияя на процессы денатурации при нагревании.

Полученные нами отрицательные корреляции удоя с МДБ ( $r = -0,42$ ), СВ ( $r = -0,22$ ), СОМО ( $r = -0,44$ ) и МДК ( $r = -0,43$ ) свидетельствуют о выраженной обратной зависимости между молочной продуктивностью коров красного белорусского скота и концентрацией этих ключевых компонентов молока. Увеличение удоя сопровождается снижением содержания белка и сухого вещества, что характерно для высокопродуктивных стад.

Сравнение с данными других авторов подтверждает эту закономерность. В работе Czajkowska et al. (2015) наблюдалась умеренная отрицательная корреляция между удоем и массовой долей белка в молоке (до  $-0,44$ ), а корреляция с сухим веществом также была отрицательной. Аналогично, в исследовании Суденко-

вой (2020) по другим породам коров коэффициент корреляции между удоем и содержанием белка составил  $-0,558$ , а для СОМО также был отмечен отрицательный тренд.

Троценко и Иванова (2022) определяли корреляции удоя с ключевыми компонентами молока в диапазоне от  $-0,3$  до  $-0,45$ , при этом отчетливо подчеркивались риски снижения белкового и казеинового уровня при достижении максимальных удоев, что снижает технологическую ценность молока, несмотря на рост общей продуктивности.

Высокая положительная корреляция между массовой долей жира и сухим веществом ( $r = 0,93$ ) указывает на тесную взаимосвязь двух ключевых компонентов, подтверждая, что жир является основной частью сухого вещества молока. Гусаков и соавторы (2022) выделяют жир как важнейший компонент, оказывающий значительное влияние на технологические свойства молока и конечные показатели продукции. Отмеченная умеренная корреляция между МДЖ и массовой долей белка (МДЖ/МДБ,  $r = 0,34$ ) демонстрирует общий биохимический баланс жира и белка, характерный для здоровых животных, что согласуется с результатами Троценко и Ивановой (2022). При этом умеренная положительная связь МДЖ с массовой долей казеина ( $r = 0,38$ ) отражает вклад липидного профиля в улучшение белкового состава молока, что важно для процессов коагуляции при сыроподелке. Эти выводы

совпадают с данными Amalfitano et al. (2019), подчеркивающими роль липидного и белкового обмена в формировании технологически ценных свойств молочного сырья.

Сильные положительные корреляции между МДБ и СВ ( $r = 0,62$ ), СОМО ( $r = 0,84$ ) и казеинами ( $r = 0,99$ ) указывают на главенствующую роль белков – в особенности казеинов – в структуре сухого вещества молока, что отражено в работах Czajkowska et al. (2015) и Гусакова с соавторами (2022).

Положительная корреляция МДБ с Т3 ( $r = 0,45$ ) подчеркивает влияние белкового состава на физико-химические свойства молока, совпадая с данными Huppertz (2016). Отрицательная связь МДБ с pH ( $r = -0,33$ ) говорит о влиянии кислотности на растворимость белков и ферментативные процессы, что согласуется с данными Dumpler et al. (2020).

Положительные корреляции лактозы с Т3 ( $r = 0,39$ ) и pH ( $r = 0,39$ ) отражают значимость углеводного компонента в обеспечении стабильности и качества продукции, что согласуется с результатами Costa et al. (2019). Сырьевые свойства молока также поддерживаются высокими корреляциями между молочным обезжиренным остатком, сухим веществом, казеинами и технологическим запасом (СОМО/Т3,  $r = 0,66$ ; СВ/Т3,  $r = 0,43$ ; МДК/Т3,  $r = 0,48$ ).

Отрицательные корреляции компонентов, связанных с метаболизмом животных, таких как

массовая доля казеинов, ацетон и мочевина – с pH молока (МДК/рН,  $r = -0,28$ ; Ацетон/рН,  $r = -0,23$ ; Мочевина/рН,  $r = -0,37$ ) – отражают влияние физиологического состояния животных на качество молока и подтверждают необходимость комплексного мониторинга в селекционных и управлеченческих программах, что подтверждается исследованиями Сермягина с соавторами (2018) и Otwinowska-Mindur et al. (2017).

Высокая положительная корреляция ( $r = 0,93$ ) указывает на тесную взаимосвязь между массовой долей жира и содержанием сухого вещества в молоке. Аналогичные результаты отмечены в работе Гусакова и соавторов (2022), где подчеркивается важная роль жира как основного компонента сухого вещества, влияющего на технологические свойства молока.

Нами был проведен разведывательный анализ методом кластеризации для переменной «класс алкогольной пробы» (рис. 2). На представленном рисунке показана визуализация кластеризации состава молока с помощью метода главных компонент (PCA). Каждый цветной кружок на графике соответствует отдельной пробе молока, а цвет обозначает принадлежность к определенному кластеру (группе), которые были выявлены в результате кластеризации – это могут быть разные типы или свойства состава молока.

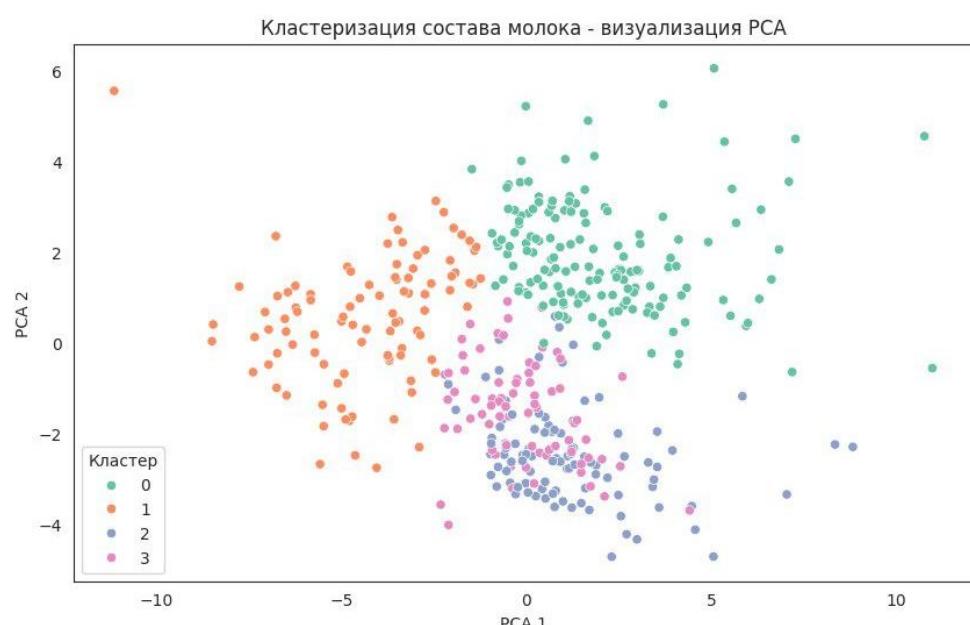


Рис. 2. Кластеризация состава молока по алкогольной пробе (Новый Двор)  
Clustering of milk composition by alcohol test (Novy Dvor)

Кластеры имеют различное пространственное распределение по главным компонентам РСА 1 и РСА 2, что указывает на отличия в составе молока. Кластеры 0 и 1 условно расположены слева и сверху, а кластеры 2 и 3 – ближе к центру и правой части плоскости графика. Поскольку кластеры частично перекрываются, это может означать схожесть некоторых образцов между группами.

На рисунке 3 приведена тепловая карта нормализованных распределений, которая показывает сколько представителей каждого класса по алкогольной пробе попало в те или иные кластеры. По строкам указаны номера кластеров, а по столбцам – классов термостабильности

(генотип). Ячейки таблицы отражают долю (или вероятность) генотипа в каждом кластере.

Отмечено, что классы 3 и 4 чаще встречаются в кластере 3, а класс 1 – больше представлен в кластере 1. Такое распределение означает, что вероятность попадания определенного генотипа в конкретный кластер говорит о наличии у этих генотипов общих биохимических или технологических признаков. Это, в свою очередь, позволяет сделать вывод о потенциальной связи между генотипами и качественными характеристиками молока, что является важной ступенью в изучении факторов, влияющих на термостабильность.



Рис. 3. Тепловая карта нормализованных распределений (Новый Двор)  
Heat map of normalized distributions (Novy Dvor)

Поскольку фенотипическая корреляция между МДЖ и термостабильностью была достаточно характерной ( $r = 0.22$ ), а кластеризация состава молока по алкогольной пробе показала видимые результаты, мы изучили показатели жирнокислотного состава молока в зависимости от класса по термостабильности (рис. 4).

Подтверждается наблюдаемая корреляция процентного содержания жира с термостабильностью молока, при которой с ростом МДЖ снижается класс по алкогольной пробе. По всем изученным жирным кислотам отмечалась та же тенденция. Причем наибольшие различия наб-

людались для пальмитиновой (С16:0), олеиновой кислоты (С18:1), длинноцепочечных (ДЦЖК), среднеподцепочечных (СЦЖК), мононенасыщенных (МНЖК), насыщенных (НЖК) и короткоцепочечных (КЦЖК) жирных кислот. Показатели вышеприведенных жирных кислот были наиболее близкими для 2-го и 3-го классов термостабильности молока, тогда как значения жирных кислот в молоке 1-го и 4-го класса были хорошо различимы. Значения миристиновой (С14:0), стеариновой кислоты (С18:0), полиненасыщенных жирных кислот (ПЖК) и трансизомеров жирных кислот (ТЖК) оставались примерно на

одном уровне вне зависимости от класса термостабильности молока. Полученные данные подтверждают и расширяют результаты Лашневой и Сермягина (2020), где показана значимая роль индивидуальных жирных кислот и их профиля в формировании компонентного состава молока, особенно акцентируя внимание на влиянии

пальмитиновой и олеиновой кислот, составляющих основу липидного комплекса молока. Аналогичные результаты представлены в работе Amalfitano et al. (2019), отмечающих важность соотношения ненасыщенных и насыщенных жирных кислот для стабильности белковой фазы и коагуляции молока.

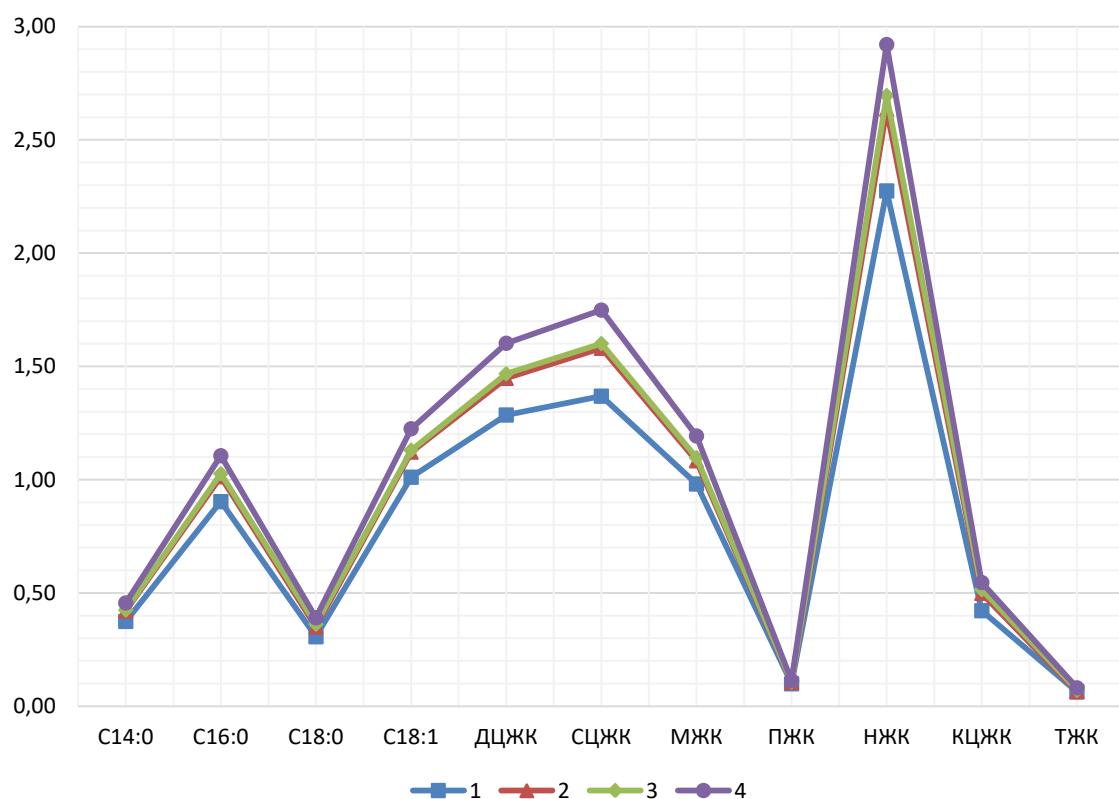


Рис. 4. Жирнокислотный состав молока в зависимости от класса по термостабильности  
Fatty acid composition of milk depending on the class of heat stability

Таким образом, кластеризацию по составу молока, представленную на графиках, можно интерпретировать как первый шаг к выявлению и изучению факторов влияния на термостабильность с целью дальнейшего предсказания этого показателя.

Если найти и включить в анализ все значимые факторы (генетику, состав молока, условия кормления и содержания), то предсказание класса термостабильности молока будет вполне возможно и практически ценно для селекции и производства молочных продуктов высокого качества.

**Заключение.** Проведенное комплексное исследование молока коров красного белорусского скота позволило установить ключевые факторы, определяющие его технологические свой-

ства, в частности термостабильность. Выявлена значительная вариабельность показателей в течение года – средние значения класса по алкогольной пробе колебались от  $2,73 \pm 0,10$  до  $3,26 \pm 0,08$  с коэффициентом вариации 24,97–37,60 %. Наибольшая доля термостабильного молока (классы 1–2) отмечалась в январе ( $2,73 \pm 0,10$ ) и июне ( $2,86 \pm 0,09$ ). При этом максимальное содержание белка ( $(3,97 \pm 0,06) \%$ ) не гарантировало высокой термостабильности ( $2,94 \pm 0,11$ ). Описаны статистически значимые положительные корреляции термостабильности с МДЖ ( $r = 0,22$ ) и СВ ( $r = 0,21$ ), а также сильные взаимосвязи между МДЖ и СВ ( $r = 0,93$ ), МДБ и МДК ( $r = 0,99$ ). Метод главных компонент позволил выделить 4 устойчивых кластера, где кластер 1 был ассоциирован с молоком класса 1 по

термостабильности, а кластер 3 преимущественно содержал пробы классов 3–4. По жирно-кислотному составу обнаружены значимые различия в содержании пальмитиновой (С16:0), олеиновой кислоты (С18:1), длинноцепочечных (ДЦЖК), среднекепочечных (СЦЖК), мононенасыщенных (МНЖК), насыщенных (НЖК) и короткоцепочечных (КЦЖК) жирных кислот в молоке разных классов термостабильности, в то время как содержание миристиновой (С14:0), стеариновой (С18:0) кислот и трансизомеров жирных кислот оставалось стабильным.

Полученные данные свидетельствуют о комплексном характере влияния компонентного

состава молока на его технологические свойства. Установлено, что термостабильность определяется не столько общим содержанием белка, сколько его качественным составом и, в значительной степени, специфическим жирнокислотным профилем. Выявленные закономерности имеют практическое значение для селекционной работы и, возможно, позволят в дальнейшем идентифицировать животных-продуцентов молока с заданными технологическими свойствами для сыроделия и других направлений переработки.

### **Список источников**

1. Гусаков В.Г., Шейко И.П., Тимошенко В.Н., и др. Научное обоснование программы разведения красного молочного скота в Республике Беларусь // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2022. Т. 66, № 4. С. 460–472. DOI: 10.29235/1561-8323-2022-66-4-460.
2. Брыло И.В., Яковчик Н.С., Коронец И.Н., и др. Разведение красного молочного скота в Республике Беларусь. В сб.: Международный научно-практический семинар «Современные направления развития молочного скотоводства Республики Беларусь и Российской Федерации: опыт, проблемы, перспективы», Международный научно-практический семинар «Актуальные проблемы кормопроизводства в условиях интенсификации молочного скотоводства», «Актуальные проблемы молочного скотоводства и кормопроизводства в Российской Федерации и Республике Беларусь». М., 2022. С. 27–41.
3. Коронец И.Н., Климец Н.В., Шеметовец Ж.И. Сохранение генофонда красного белорусского скота как исчезающей локальной породы // Розведення і генетика тварин. 2015. № 49. С. 232–235.
4. Zinovieva N.A., Sheiko I.P., Dotsev A.V., et al. Genome-wide SNP analysis clearly distinguished the Belarusian Red cattle from other European cattle breeds // Animal Genetics. 2021. Vol. 52, N 5. P. 720–724. DOI: 10.1111/age.13102.
5. Троценко И.В., Иванова И.П. Параметры корреляционной взаимосвязи продуктивных признаков молочного скота // Молочнохозяйственный вестник. 2022. №. 1 (45). С. 116–127. DOI 10.52231/2225-4269\_2021\_3\_116.
6. Сермягин А., Зиновьева Н., Ермилов А., и др. Инфракрасная спектроскопия молока. Новые возможности в селекции и менеджменте стада // Животноводство России. 2018. № 12. С. 57–61.
7. Лашнева И.А., Сермягин А.А. Влияние наличия транс-изомеров жирных кислот в молоке на его состав и продуктивность коров // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 3. С. 46–50. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10309.
8. Schwarz D., Santschi D.E., Durocher J., et al. Evaluation of the new differential somatic cell count parameter as a rapid and inexpensive supplementary tool for udder health management through regular milk recording // Preventive Veterinary Medicine. 2020. Vol. 181. P. 105079 DOI: 10.1016/j.prevetmed.2020.1050790.
9. Otwinowska-Mindur A., Ptak E., Grzesiak A. Factors affecting the freezing point of milk from Polish Holstein-Friesian cows // Ann. Anim. Sci. 2017. Vol. 17, N 3. P. 873–885. DOI: 10.1515/aoas-2016-0088.
10. Карникова Г.Г., Лашнева И.А., Сермягин А.А. Анализ взаимосвязи компонентного состава молока и биомаркеров крови голштинизированных коров // Аграрная наука. 2023. № 1 (8). С. 41–47. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-41-47.
11. Czajkowska A., Sitkowska B., Piwcynski D., et al. Genetic and environmental determinants of the urea level in cow's milk // Arch. Anim. Breed. 2015. Vol. 58. P. 65–72. DOI: 10.5194/aab-58-65-2015.

12. Bobbo T., Penasa M., Cassandro M. Genetic parameters of bovine milk fatty acid profile, yield, composition, total and differential somatic cell count // *Animals*. 2020. Vol. 10. P. 1–13. DOI: 10.3390/ani10122406.
13. Ignatjeva N.L., Nemtseva E.Y. Protein content in milk of holstein black-and-white cows. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 1, is. 604. P. 012025. DOI: 10.1088/1755-1315/604/1/012025.
14. Costa A., Visentin G., De Marchi M., et al. Genetic relationships of lactose and freezing point with minerals and coagulation traits predicted from milk mid-infrared spectra in Holstein cows // *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102, N 8. P. 7217–7225. DOI: 10.3168/jds.2018-15378.
15. Dumpler J., Hupperts T., Kulozik U. Invited review: Heat stability of milk and concentrated milk: Past, present and future research objectives // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103, N 12. P. 10986–11007. DOI: 10.3168/jds.2020-18605.
16. Amalfitano N., Cipolat-Gotet C., Cecchinato A., et al. Milk protein fractions strongly affect the patterns of coagulation, curd firming, and syneresis // *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102, N 4. P. 2903–2917. DOI: 10.3168/jds.2018-15524.
17. Huppertz T. Heat stability of milk // *Advanced Dairy Chemistry*. 2016. Vol. 1B. P. 179–196. DOI: 10.1007/978-1-4939-2800-2\_7.

### References

1. Gusakov VG, Shejko IP, Timoshenko VN, et al. Nauchnoe obosnovanie programmy razvedeniya krasnogo molochnogo skota v Respublike Belarus'. *Doklady Nacional'noj akademii nauk Belarusi*. 2022;66(4):460-472. DOI: 10.29235/1561-8323-2022-66-4-460.
2. Brylo IV, Yakovchik NS, Koronec IN, et al. Razvedenie krasnogo molochnogo skota v Respublike Belarus'. In: *Mezhdunarodnyj nauchno-prakticheskij seminar "Sovremennye napravleniya razvitiya molochnogo skotovodstva Respubliki Belarus' i Rossijskoj Federacii: opyt, problemy, perspektivy", Mezhdunarodnyj nauchno-prakticheskij seminar "Aktual'nye problemy kormoproduktovodstva v usloviyah intensifikacii molochnogo skotovodstva", "Aktual'nye problemy molochnogo skotovodstva i kormoproduktovodstva v Rossijskoj Federacii i Respublike Belarus"*. Moscow; 2022. P. 27–41.
3. Koronec IN, Klimec NV, Shemetovec Zhl. Sohranenie genofonda krasnogo beloruskogo skota kak ischezayuschej lokal'noj porody. *Rozvedenija i genetika tvarin*. 2015;49:232-235.
4. Zinovieva NA, Sheiko IP, Dotsev AV, et al. Genome-wide SNP analysis clearly distinguished the Belarusian Red cattle from other European cattle breeds. *Animal Genetics*. 2021;52(5):720-724. DOI: 10.1111/age.13102.
5. Trocenko IV, Ivanova IP. Parametry korrelyacionnoj vzaimosvyazi produktivnyh priznakov molochnogo skota. *Molochnohozyajstvennyj vestnik*. 2022;1:116-127. DOI 10.52231/2225-4269\_2021\_3\_116.
6. Sermyagin A, Zinov'eva N, Ermilov A, et al. Infrakrasnaya spektroskopiya moloka. Novye vozmozhnosti v selekcii i menedzhmente stada. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2018;12:57-61.
7. Lashneva IA, Sermyagin AA. Vliyanie nalichiya trans-izomerov zhirnyh kislot v moloke na ego sostav i produktivnost' korov. *Dostizheniya nauki i tehniki APK*. 2020;34(3):46-50. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10309.
8. Schwarz D, Santschi DE, Durocher J, et al. Evaluation of the new differential somatic cell count parameter as a rapid and inexpensive supplementary tool for udder health management through regular milk recording. *Preventive Veterinary Medicine*. 2020;181:105079. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2020.105079.
9. Otwinowska-Mindur A, Ptak E, Grzesiak A. Factors affecting the freezing point of milk from Polish Holstein-Friesian cows. *Ann. Anim. Sci.* 2017;17(3):873-885. DOI: 10.1515/aoas-2016-0088).
10. Karlikova GG, Lashneva IA, Sermyagin AA. Analiz vzaimosvyazi komponentnogo sostava moloka i biomarkerov krovi golshtinizirovannyh korov. *Agrarnaya nauka*. 2023;1:41-47. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-41-47.

11. Czajkowska A, Sitkowska B, Piwcynski D, et al. Genetic and environmental determinants of the urea level in cow's milk. *Arch. Anim. Breed.* 2015;58:65-72. DOI: 10.5194/aab-58-65-2015.
12. Bobbo T, Penasa M, Cassandro M. Genetic parameters of bovine milk fatty acid profile, yield, composition, total and differential somatic cell count. *Animals*. 2020;10:1-13. DOI: 10.3390/ani10122406.
13. Ignatieva NL, Nemtseva EY. Protein content in milk of holstein black-and-white cows. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;1(604):012025. DOI: 10.1088/1755-1315/604/1/012025.
14. Costa A, Visentin G, De Marchi M, et al. Genetic relationships of lactose and freezing point with minerals and coagulation traits predicted from milk mid-infrared spectra in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(8):7217-7225. DOI: 10.3168/jds.2018-15378.
15. Dumpler J, Hupperts T, Kulozik U. Invited review: Heat stability of milk and concentrated milk: Past, present and future research objectives. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(12):10986-11007. DOI: 10.3168/jds.2020-18605.
16. Amalfitano N, Cipolat-Gotet C, Cecchinato A, et al. Milk protein fractions strongly affect the patterns of coagulation, curd firming, and syneresis. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(4):2903-2917. DOI: 10.3168/jds.2018-15524.
17. Huppertz T. Heat stability of milk. *Advanced Dairy Chemistry*. 2016;1B:179-196. DOI: 10.1007/978-1-4939-2800-2\_7.

Статья принята к публикации 20.11.2025 / The article accepted for publication 20.11.2025.

Информация об авторах:

**Мария Владимировна Левченко**, научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, кандидат биологических наук

**Олег Гаязович Зарипов**, старший научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, кандидат биологических наук

**Галина Константиновна Петрякова**, программист отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных

**Ирина Алексеевна Лашнева**, ведущий специалист отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, кандидат биологических наук

**Николай Иванович Песоцкий**, заведующий лабораторией разведения и селекции молочного скота, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

**Александр Александрович Сермягин**, директор, кандидат сельскохозяйственных наук

Information about the authors:

**Maria Vladimirovna Levchenko**, Researcher, Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding, Candidate of Biological Sciences

**Oleg Gayazovich Zaripov**, Senior Researcher, Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding, Candidate of Biological Sciences

**Galina Konstantinovna Petryakova**, Programmer, Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding

**Irina Alekseevna Lashneva**, Leading Specialist, Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding, Candidate of Biological Sciences

**Nikolay Ivanovich Pesotsky**, Head of the Dairy Cattle Breeding and Selection Laboratory, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

**Alexander Aleksandrovich Sermyagin**, Director, Candidate of Agricultural Sciences