



Сравнительная оценка содержания минеральных веществ в крови коров и нетелей герефордской породы в смежных поколениях

© 2026. М. А. Барсукова✉, К. Н. Нарожных, О. А. Иванова
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»,
г. Новосибирск, Российская Федерация

Содержание жизненно важных элементов в крови животных может зависеть от комплекса факторов, к которым относятся как индивидуальные особенности организма, так и факторы окружающей среды. Интересным является изучение влияния возраста животных на минеральный профиль крови, однако, с учетом возможных различий в химическом составе кормов в разные периоды, оценка его на одних и тех же животных не представляется правильной. Цель данного исследования – изучение различий в содержании фосфора, кальция, натрия и железа в сыворотке крови коров и нетелей герефордской породы, относящихся к двум смежным поколениям. Материалом для исследования послужили пробы крови, взятые у 79 пар животных (мать-дочь), содержащихся в одинаковых условиях. В результате исследования установлены достоверные возрастные различия в минеральном статусе. У дочернего поколения (нетели) выявлено более высокое содержание фосфора (2,08 ммоль/л против 1,68 ммоль/л у матерей; $p = 0,0036$) и, как следствие, более низкое соотношение Ca/P ($p = 0,0094$). Напротив, концентрация натрия была достоверно выше в материнском поколении (медиана 179,70 ммоль/л против 144,60 ммоль/л у дочерей; $p = 0,0001$). Значимых различий в содержании кальция и железа не обнаружено. Анализ главных компонент (PCA) подтвердил, что основной вектор изменчивости между поколениями связан с кальций-фосфорным обменом. В то же время значительное перекрытие эллипсов концентрации указывает на высокую индивидуальную вариативность минерального профиля, не связанную с возрастом. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о разнонаправленных возрастных изменениях в метаболизме ключевых макроэлементов. Это обосновывает необходимость корректировки минерального состава рационов и премиксов для животных герефордской породы с учетом их возраста (поколения) для поддержания физиологического здоровья и продуктивного потенциала.

Ключевые слова: макроэлементы, микроэлементы, биохимия крови, возрастные различия, мясной скот, минеральный обмен

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках проекта научной тематики «Формирование племенного стада герефордской породы мясного скота с улучшенной продуктивностью с использованием генетических методов селекции (FESF-2023-0002)», регистрационный номер 1023030200009-4-4.2.1.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Барсукова М. А., Нарожных К. Н., Иванова О. А. Сравнительная оценка содержания минеральных веществ в крови коров и нетелей герефордской породы в смежных поколениях. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):154–163. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.154-163>

Поступила: 22.05.2025

Принята к публикации: 04.02.2026

Опубликована онлайн: 27.02.2026

Comparative assessment of the mineral content in the blood of cows and heifers of the Hereford breed in adjacent generations

© 2026. Maria A. Barsukova✉, Kirill N. Narozhnykh, Oksana A. Ivanova
Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russian Federation

The content of vital elements in the blood of animals can depend on a complex of factors, which include both the individual characteristics of organisms and environmental factors. It is interesting to study the effect of animal age on the blood mineral profile, however, taking into account possible differences in the chemical composition of feeds in different periods, an adequate assessment of the mineral profile on the same animals does not seem correct. The aim of the research was to study the differences in phosphorus, calcium, sodium and iron content in the blood serum of cows and heifers of the Hereford breed belonging to two adjacent generations. The material for the study were blood samples taken from 79 pairs of animals (mother-daughter) kept in the same conditions. As a result of the research, significant age differences in mineral status were established. The daughter generation (heifers) showed a higher phosphorus content (2.08 mmol/L versus 1.68 mmol/L in mothers; $p = 0.0036$) and, as a result, a lower Ca/P ratio ($p = 0.0094$). On the contrary, the sodium concentration was significantly higher in the maternal generation (median 179.70 mmol/L versus 144.60 mmol/L in daughters; $p = 0.0001$). No significant differences in the content of calcium and iron were found. The Principal Component Analysis (PCA) has confirmed that the main vector of variability between generations is related to calcium-phosphorus metabolism. At the same time, a significant overlap of the concentration ellipses indicates a high individual variability of the mineral profile, unrelated to the age. Thus, the results obtained indicate multidirectional age-related changes in the metabolism of key macronutrients. This justifies

fies the need to adjust the mineral composition of diets and premixes for Hereford breed animals, taking into account their age (generation) in order to maintain physiological health and productive potential.

Keywords: *macronutrients, microelements, blood biochemistry, age differences, beef cattle, mineral metabolism*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the scientific project "Formation of a breeding herd of the Hereford beef cattle breed with improved productivity using genetic breeding methods (FESF-2023-0002)", registration number 1023030200009-4-4.2.1.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citation: Barsukova M. A., Narozhnykh K. N., Ivanova O. A. Comparative assessment of the mineral content in the blood of cows and heifers of the Hereford breed in adjacent generations. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2026;27(1):154–163. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.154-163>

Received: 22.05.2025

Accepted for publication: 04.02.2026

Published online: 27.02.2026

На протяжении последних десятилетий мясное скотоводство приобретает все большее значение. Использование высокопродуктивных пород скота, обладающих при этом хорошим адаптивным потенциалом, позволяющим выращивать животных в разных природно-климатических условиях, является одним из факторов, способствующих его широкому распространению. Второй, не менее значимый фактор, обуславливающий рост популярности мясного скота, также связанный с неприхотливостью этих животных, это широкая возможность не только использования пастбищ, но и круглогодичного содержания коров и молодняка на открытом воздухе [1]. Однако пастбищное содержание при использовании естественных угодий сопровождается рисками, связанными с ранним истощением или выгоранием пастбищ, особенно в условиях степной и лесостепной зон, что делает необходимым не только подкормку молодняка и коров, но и контроль за состоянием животных [2]. Интенсивный рост молодняка мясного скота требует больших затрат не только энергии, но и обеспечения животных макро- и микроэлементами, отвечающими за полноценное развитие и рост животных. Это особенно важно для регионов с контрастными природно-климатическими условиями, к которым относятся и южные области Западной Сибири. Резкие перепады температур в течение года (от -40 до +40 °C в декабре и июне) влияют на состояние не только молодняка, но и взрослых животных, в том числе и на показатели минерального обмена [3, 4].

Герефордский скот, разводимый в условиях Западной Сибири, характеризуется высокими продуктивными показателями и адаптивным потенциалом, позволяющими хозяйствам успешно вести работу не только по производству товарного молодняка, но и по совер-

шенствованию имеющегося племенного поголовья [5]. Однако, наряду с классическими показателями продуктивности, современное скотоводство требует и более детальной оценки интерьерных показателей животных как возможных маркеров продуктивного потенциала [6]. К ним относятся индивидуальные и породные характеристики животных, а также их генотип, обусловленные региональными особенностями пастбищных угодий и химическим составом кормов [7]. Для комплексной оценки метаболического статуса в данной работе были выбраны ключевые макро- микроэлементы: кальций и фосфор как основные регуляторы костной ткани и энергетического обмена; натрий, отражающий состояние водно-солевого баланса; железо – незаменимый компонент гемоглобина, играющего центральную роль в кроветворении и кислородном обмене.

Показано влияние генотипа и породной принадлежности на содержание минеральных веществ в органах и тканях крупного рогатого скота, выращенного в экологически благополучных зонах Западной Сибири [8, 9]. С другой стороны, биохимические показатели крови животных, содержащихся круглогодично под открытым небом, могут также зависеть и от кратковременного действия средовых факторов, таких как температурный стресс [10]. Данные литературы свидетельствуют о связи гематологических и биохимических маркеров с особенностями метаболизма, способностью к адаптации и стрессоустойчивости крупного рогатого скота, а также к поддержанию достаточного уровня продуктивности в неблагоприятных условиях [11]. В наших предшествующих исследованиях было показано влияние года рождения и, как следствие, условий среды на рост и развитие молодняка герефордской породы [12], однако, интересным является

изучение различий между животными разных поколений по некоторым показателям крови.

Цель исследований – изучить различия в содержании фосфора, кальция, натрия и железа в сыворотке крови коров и нетелей герефордской породы, относящихся к двум смежным поколениям при пастбищном содержании.

Задачи исследований:

- оценка содержания фосфора, кальция, натрия и железа в сыворотке крови животных материнского и дочернего поколений;
- анализ и сравнение различий в концентрации этих элементов между двумя группами;
- расчет и анализ коэффициентов корреляции между содержанием элементов;
- применение многомерного статистического анализа (РСА) для выявления скрытых закономерностей и визуализации различий в минеральном статусе.

Научная новизна – комплексная оценка минерального профиля у коров и нетелей герефордской породы, подобранных по принципу «мать-дочь». Такой подход позволяет частично нивелировать генетические различия и более точно выявить возрастные закономерности метаболизма в условиях круглогодичного содержания под открытым небом при зимовке на площадках в резко континентальном климате. Применение многомерного статистического анализа, в свою очередь, дает возможность выявить скрытые взаимосвязи между элементами, которые не очевидны при простом попарном сравнении.

Понимание возрастных особенностей метаболизма необходимо для разработки целенаправленных стратегий кормления, позволяющих корректировать рационы и состав премиксов. Это, в свою очередь, способствует профилактике метаболических нарушений и повышению продуктивного долголетия животных, что представляет несомненный практический интерес для хозяйств, занимающихся разведением мясного скота.

Материал и методы. Объектом исследования служили коровы (материнское поколение, $n = 79$) и нетели (дочернее поколение, $n = 79$) герефордской породы, подобранные по принципу «мать-дочь». Животные принадлежали племенному репродуктору, расположенному в предгорной зоне Новосибирской области. На момент взятия крови возраст коров материнского поколения составлял 3–5 отелов, возраст нетелей дочернего поколения – 18–19 месяцев. Все животные были клинически

здоровы, с различиями в живой массе внутри каждой группы не более 3 %.

Условия содержания и кормления. Животные обеих групп содержались в одинаковых условиях. Предшествующий пастбищный период длился 5 месяцев (с мая по сентябрь), в течение которых животные находились на естественных предгорных пастбищах. Дополнительно к пастбищному корму животные получали ячменную дерть в количестве 1 кг на голову в сутки. Сбалансированные комбикорма и минеральные премиксы в рационе отсутствовали, что позволяет связывать выявленные различия в минеральном статусе преимущественно с возрастными особенностями метаболизма, а не с внешними источниками минералов.

Взятие и обработка проб. Образцы крови для исследования брали из хвостовой вены в стандартные вакуумные пробирки в период формирования гуртов для зимовки. Пробы доставляли в лабораторию в термоконтейнере при температуре +2...+4 °С. Сыворотку получали путем центрифугирования при скорости вращения 3500 оборотов в минуту в течение 10 минут.

Биохимический анализ. Концентрацию кальция, фосфора, натрия и железа в сыворотке крови определяли фотометрическим методом на биохимическом анализаторе PCE-90VET (Hight Technology Inc, США) с использованием стандартизированных наборов реагентов «Ольвекс-Диагностикум» (Россия).

Статистический анализ. Поскольку распределение большинства показателей отличалось от нормального (что было проверено с помощью теста Андерсена-Дарлинга, AD), для описания данных использовали медиану (Me), первый (Q1) и третий (Q3) квартили. Для сравнения независимых выборок (материнского и дочернего поколений) применяли непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Для оценки взаимосвязей между концентрациями элементов рассчитывали коэффициенты ранговой корреляции Спирмена. Для выявления скрытых закономерностей и визуализации различий в минеральном профиле был проведен анализ главных компонент (РСА). Критический уровень статистической значимости (p) при проверке всех гипотез принимался равным 0,05.

Результаты и их обсуждение. Общая характеристика минерального статуса животных. Медианные значения концентраций

основных минеральных элементов, а также их вариативность в сыворотке крови коров-матерей и нетелей-дочерей представлены в таблицах 1 и 2. В целом, средние уровни фосфора и кальция в обеих группах находились в пределах физиологической нормы [13],

принятой для крупного рогатого скота. Это свидетельствует об отсутствии у обследованных животных выраженных признаков клинической минеральной недостаточности на момент взятия проб, что подтверждает адекватность условий их содержания.

Таблица 1 – Содержание минеральных веществ в крови коров (материнское поколение, n = 79), ммоль/л / Table 1 – Content of minerals in the blood of cows (maternal generation, n = 79), mmol/L

Признак / Indicator	Me	Q1	Q3	IQR	AD	AD.p
Фосфор / Phosphorus	1,68	1,23	2,07	0,843	7,821	0,001
Кальций / Calcium	2,08	1,59	3,77	2,18	6,033	0,001
Кальций/Фосфор / Calcium/Phosphorus	1,42	0,841	2,88	2,04	3,924	0,001
Натрий / Sodium	179,70	144,40	189,20	45,00	2,931	0,001
Железо / Iron	22,80	16,40	26,70	10,30	1,559	0,001

Примечания: здесь и далее Me – медиана; Q1 – первый квартиль; Q3 – третий квартиль; IQR – межквартильный размах, AD – тест Андерсена-Дарлинга, AD.p – достоверность критерия Андерсена-Дарлинга /

Notes: here and further Me – median; Q1 – first quartile; Q3 – third quartile; IQR – interquartile range; AD is the Andersen-Darling test; AD.p is the reliability of the Andersen-Darling criterion

Таблица 2 – Содержание минеральных веществ в крови нетелей (дочернее поколение, n = 79), ммоль/л / Table 2 – Mineral content in the blood of heifers (daughter generation, n = 79), mmol/L

Признак / Indicator	Me	Q1	Q3	IQR	AD	AD.p
Фосфор / Phosphorus	2,08	1,59	2,69	1,13	3,959	0,001
Кальций / Calcium	2,65	2,10	3,15	1,05	0,745	0,093*
Кальций/Фосфор / Calcium/Phosphorus	1,20	0,86	1,82	0,95	12,10	0,001
Натрий / Sodium	144,60	127,70	166,60	38,80	0,865	0,090*
Железо / Iron	18,40	14,30	26,50	12,20	3,426	0,001

* $p > 0,05$ (для критерия Андерсена-Дарлинга $p > 0,05$ означает, что распределение соответствует нормальному) /

* $p > 0,05$ (for the Andersen-Darling criterion, $p > 0,05$ means that the distribution corresponds to normal)

Анализ минерального состава крови между поколениями. Сравнение показателей между группами выявило статистически значимые различия в содержании ключевых элементов, что указывает на возрастные

особенности метаболизма (табл. 3). Так как тест Андерсена-Дарлинга (AD.p) показал несоответствие распределения нормальному, для определения достоверности различий был использован U-критерий Манна-Уитни.

Таблица 3 – Достоверность различий содержания минеральных веществ в крови животных материнского и дочернего поколений (n = 79) /

Table 3 – Reliability of differences in the content of minerals in the blood of animals of the maternal and daughter generations (n = 79)

Признак / Indicator	U-статистика / U-statistics	p-значение / p-value
Фосфор / Phosphorus	955,5	0,0036
Кальций / Calcium	1536,0	0,8629
Кальций/Фосфор / Calcium/Phosphorus	2013,0	0,0094
Натрий / Sodium	2316,0	0,0001
Железо / Iron	1590,2	0,655

Содержание фосфора в крови нетелей было достоверно выше, чем у их матерей (2,08 ммоль/л против 1,68 ммоль/л; $p = 0,0036$). Этот результат согласуется с данными других исследований [13, 14] и является физиологически обоснованным, поскольку молодые, интенсивно растущие животные характеризуются более активными процессами остеосинтеза и общего метаболизма, требующими повышенного участия фосфора.

Концентрация кальция статистически значимо не различалась ($p = 0,8629$), что объясняется наличием в организме жестких гомеостатических механизмов, поддерживающих его уровень в крови в узком диапазоне. Тем не менее, как следствие высокого уровня фосфора, соотношение Ca/P у нетелей было достоверно ниже (1,20), чем у коров (1,42; $p = 0,0094$). Это соотношение является важнейшим маркером сбалансированности рациона и метаболизма как для мясного, так и для молочного скота.

При этом несмотря на то, что в формировании соотношения Ca/P основной вклад фосфора, размах изменчивости по этим признакам у животных двух групп различается. Так как распределение значений не соответствовало нормальному, для оценки изменчивости использовали деление данных выборки на квартили (Q) и межквартильный размах (IQR = $Q_3 - Q_1$). Таким образом, как по содержанию кальция в сыворотке крови, так и по соотношению Ca/P IQR для выборки дочернего поколения составил 1,05 и 0,95 соответственно, для материнского поколения – 2,18 и 2,04, что показывает значительно большее разнообразие вариантов для взрослых животных. Учитывая содержание исследуемых групп в одинаковых условиях, а также генетические связи между материнским и дочерним поколениями, значимые различия как в содержании фосфора, так и в соотношении Ca/P и изменчивости признаков обусловлены влиянием возраста животных.

Наиболее выраженные различия были зафиксированы по натрию. Содержание натрия в крови является одним из важных показателей обмена веществ как в нормальных условиях, так и при значимых нарушениях кормления и содержания, включая реакцию на тепловой стресс у животных [15]. Его концентрация в крови коров-матерей была значительно выше (179,7 ммоль/л), чем у молодых нетелей (144,60 ммоль/л; $p = 0,0001$). Натрий – ключевой регулятор водно-электролитного баланса и осмотического давления. Такие существенные

различия могут отражать возрастные особенности гормональной регуляции (например, системы ренин-ангиотензин-альдостерон) и функциональной активности почек. Достоверность различий в концентрации макроэлементов и микроэлементов между животными разных возрастов подтверждается литературными данными [14], и обуславливается в том числе возрастной потребностью животных в различных минеральных веществах, а также особенностями обмена веществ.

Аналогичным образом, содержание железа в крови животных является одним из важнейших параметров, связанных с кроветворной функцией, включая количество как гемоглобина, так и непосредственно эритроцитов [16]. Достоверных различий в содержании железа, необходимого для кроветворения, между группами обнаружено не было ($p = 0,655$).

Для выявления внутренних взаимосвязей между элементами был проведен корреляционный анализ (табл. 4, 5). Достоверной корреляции между содержанием кальция и фосфора в обеих группах не выявлено. Это может объясняться тем, что сложные гомеостатические системы маскируют прямые линейные зависимости этих элементов в периферической крови.

Интересной находкой стала умеренная положительная корреляция между содержанием железа и натрия, статистически значимая в обеих группах (0,39, $p < 0,01$ – для группы матерей и 0,35; $p < 0,001$ – для группы дочерей). Хотя натрий и железо не являются прямыми антагонистами или синергистами [17], такая связь может указывать на наличие сопряженных метаболических путей или общих регуляторных механизмов, заслуживающих дальнейшего изучения.

Наличие генетической составляющей в концентрации микроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота [18] позволяет рассматривать корреляции между содержанием разных элементов в крови как дополнительный критерий при оценке элементного статуса животных. Существующие модели распределения микро- и макроэлементов учитывают разный набор факторов, определяющих концентрацию элементов в тканях в условиях одной геохимической провинции, включая не только их взаимозамещение в организме, но и действие разнообразных генетических факторов. К ним относят межпородные различия, влияние производителя и уровня гомозиготности исследуемой популяции [3].

Таблица 4 – Корреляция между содержанием отдельных минеральных веществ в крови животных материнского поколения (n = 79) /

Table 4 – Correlation between the content of individual minerals in the blood of animals of the maternal generation (n = 79)

<i>Признак / Indicator</i>	<i>Фосфор / Phosphorus</i>	<i>Кальций / Calcium</i>	<i>Натрий / Sodium</i>	<i>Железо / Iron</i>
Фосфор / Phosphorus	-	-	-	-
Кальций / Calcium	-0,0549	-	-	-
Натрий / Sodium	-0,08254	0,120471	-	-
Железо / Iron	-0,10379	0,039041	0,387274**	-

** p<0,01

Таблица 5 – Корреляция между содержанием отдельных минеральных веществ в крови животных дочернего поколения (верхний регистр, n = 79) /

Table 5 – Correlation between the content of individual minerals in the blood of animals of the daughter generation (upper case, n = 79)

<i>Признак / Indicator</i>	<i>Фосфор / Phosphorus</i>	<i>Кальций / Calcium</i>	<i>Натрий / Sodium</i>	<i>Железо / Iron</i>
Фосфор / Phosphorus	-	0,145582	0,117115	0,055516
Кальций / Calcium	-	-	-0,18291	0,166299
Натрий / Sodium	-	-	-	0,347835***
Железо / Iron	-	-	-	-

*** p<0,001

Применение анализа главных компонент позволило выявить скрытые закономерности и визуализировать многомерные различия в минеральном статусе между поколениями

(табл. 6, 7; рис.). Первые две главные компоненты (PC1 и PC2) совместно объясняли 60,4 % общей дисперсии данных.

Таблица 6 – Собственные значения и доля объясненной дисперсии каждой главной компоненты /
Table 6 – Eigenvalues and proportion of explained variance retained by each principal component

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>	<i>PC3</i>	<i>PC4</i>
Собственное значение / Eigenvalue	1,698733751	1,318921	0,996633	0,666918
Объясненная доля / Explained share	0,33974675	0,263784	0,199327	0,133384
Совокупная доля / Total share	0,33974675	0,603531	0,802858	0,936241

Таблица 7 – Факторные нагрузки на главные компоненты /
Table 7 – Factor loadings on principal components

<i>Признак / Indicator</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>	<i>PC3</i>	<i>PC4</i>
Фосфор / Phosphorus	-0,20893	-0,04589	-0,35969	0,033506
Кальций / Calcium	0,306338	-0,1614	-0,2066	-0,03442
Кальций/Фосфор / Calcium/Phosphorus	0,376599	-0,11312	0,019462	0,029755
Натрий / Sodium	0,11807	0,322329	-0,0844	-0,24244
Железо / Iron	0,141535	0,313687	-0,06517	0,247039

Первая главная компонента (PC1), или «ось кальций-фосфорного обмена», характеризовалась сильными положительными нагрузками от Ca и соотношения Ca/P и отрицательной – от P. Вторая главная компонента (PC2), «ось натрий-железистого баланса», определялась положительными нагрузками от Na и Fe.

Рисунок наглядно демонстрирует смещение эллипса концентрации для нетелей вправо вдоль оси PC1, что визуально подтверждает их тенденцию к более интенсивному обмену фосфора и кальция. Эллипс для коров-матерей смещен вверх вдоль оси PC2, отражая

более высокие концентрации натрия и железа в этой группе.

Важно отметить, что несмотря на смещение центров, эллипсы двух групп значительно перекрываются. Это свидетельствует о выраженной индивидуальной вариабельности минерального профиля. Данный факт показывает: помимо возраста, на минеральный гомеостаз влияет значительный комплекс других факторов (генетических, индивидуально-физиологических), что требует дальнейшего изучения.

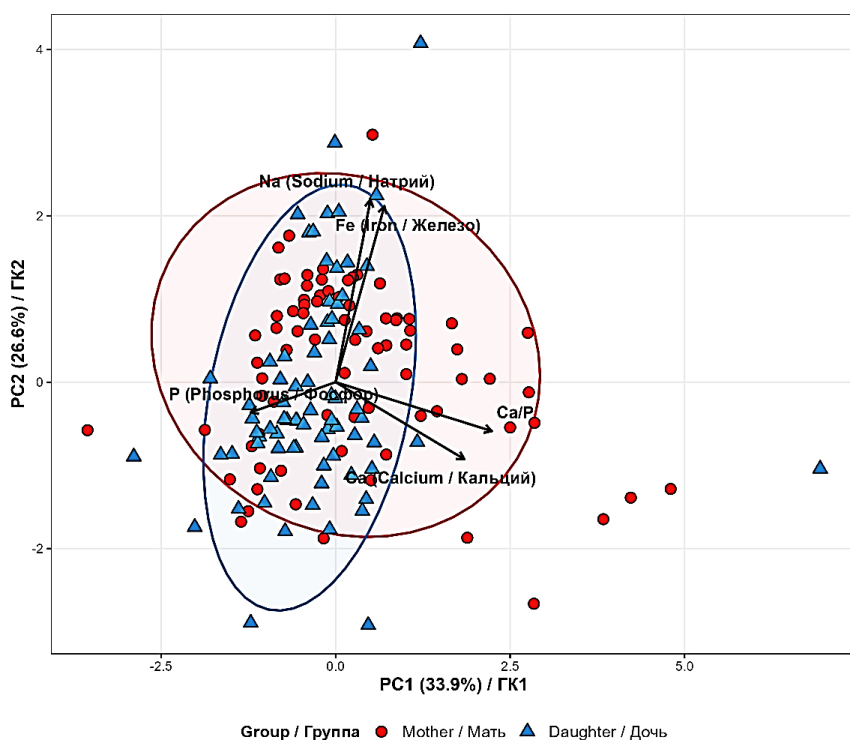


Рис. Распределение содержания минеральных элементов у животных материнского и дочернего поколения в пространстве главных компонент /

Fig. Distribution of mineral element content in animals of the maternal and daughter generation in the principal component space

Заключение. Результаты проведенного исследования убедительно демонстрируют наличие достоверных и разнонаправленных различий в концентрации жизненно важных минеральных элементов в крови крупного рогатого скота герефордской породы в смежных поколениях (мать-дочь), содержащихся в одинаковых условиях. На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что у молодых, растущих животных в сыворотке крови выше содержание фосфора (2,08 по сравнению с 1,68 ммоль/л,

$p = 0,0036$) и, как следствие, ниже соотношение Ca/P по сравнению со взрослыми коровами-матерями. Это отражает повышенную потребность молодого организма в фосфоре для процессов роста и формирования костной ткани.

2. У взрослых коров материнского поколения отмечается значительно более высокая концентрация натрия, что указывает на существенные возрастные различия в регуляции водно-электролитного баланса.

3. Несмотря на выявленные четкие возрастные тенденции, анализ главных компонент

и значительное перекрытие эллипсов концентраций свидетельствуют о существенной роли индивидуальной изменчивости в формировании минерального профиля. Это говорит о том, что на содержание элементов в крови, помимо возраста, влияет значительный комплекс других факторов (генетических, физиологических).

Полученные результаты могут и должны служить научной основой для разработки и корректировки рационов и состава минеральных премиксов для крупного рогатого скота герефордской породы. Выявленная необходимость в разном уровне потребления фосфора и натрия у нетелей и взрослых коров диктует целесообразность применения дифференцированного подхода к минеральному

питанию разных половозрастных групп. Это особенно актуально для хозяйств, практикующих пастбищное содержание, где контроль за полноценностью кормления затруднен. Внедрение таких скорректированных рационов позволит не только предотвратить метаболические нарушения, связанные с дисбалансом минералов, но и в полной мере реализовать генетический потенциал продуктивности и повысить продолжительность использования животных. Дальнейшие исследования, направленные на изучение генетических маркеров, ассоциированных с минеральным обменом, позволят еще глубже понять закономерности его формирования и разработать более персонализированные рекомендации.

Список литературы

1. Дускаев Г. К., Харламов А. В., Левахин Г. И., Ажмулдинов Е. А., Амерханов Х. А., Мирошников С. А., Рысаев А. Ф. Краткий обзор систем производства говядины в России и мире (обзор). Животноводство и кормопроизводство. 2022;105(3):78–94. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-78> EDN: IBFJGM
2. Явнов М. В., Фролов А. Н., Соболева Н. В. Влияние различных способов дорастивания на интенсивность роста, убойные качества и экономическую эффективность выращивания бычков казахской белоголовой породы. Животноводство и кормопроизводство. 2024;107(3):99–107. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-99> EDN: VYWSIK
3. Калашников В. В., Багиров В. А., Зайцев А. М., Калинин Л. В., Калашникова Т. В., Блохина Н. В. и др. Содержание макро- и микроэлементов в конском волосе как характеристика элементного статуса лошадей заводских и локальных пород в разных регионах России. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(6):1234–1243. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.6.1234rus> EDN: YLSVFX
4. Wang S., Li Q., Peng J., Niu H. Effects of Long-Term Cold Stress on Growth Performance, Behavior, Physiological Parameters, and Energy Metabolism in Growing Beef Cattle. *Animals*. 2023;13(10):1619. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13101619>
5. Барсукова М. А. Динамика численности и продуктивности племенного скота породы герефорд в Новосибирской области. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024;(5):79–84. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208224050162> EDN: ZSCMIS
6. Николаев С. В. Раннее прогнозирование интенсивности прироста живой массы у телят с использованием биохимических маркеров крови. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):548–554. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.548-554> EDN: XYMTKJ
7. Byrne L., Murphy R. A. Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. *Animals*. 2022;12(15):1981. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12151981>
8. Стрижкова М. В., Коновалова Т. В., Короткевич О. С., Петухов В. Л., Осинцева Л. А. Содержание фосфора в волосе потомков быков голштинской породы. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2025;(1(78)):154–159. DOI: <https://doi.org/10.34655/bgsha.2025.78.1.019> EDN: ROQDVH
9. Narozhnykh K. N., Petukhov V. L., Konovalova T. V., Sebezkhko O. I., Korotkevich O. S. Interbreed differences in iron concentration in cattle organs and tissues, *Journal of King Saud University. Science*. 2024;36(4):103581. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103581>
10. Kim W.-S., Ghassemi Nejad J., Lee H.-G. Impact of Cold Stress on Physiological, Endocrinological, Immunological, Metabolic, and Behavioral Changes of Beef Cattle at Different Stages of Growth. *Animals* 2023;13(6):1073. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13061073>
11. Yang Y., Yang S., Tang J., Ren G., Shen J., Huang B. et al. Comparisons of Hematological and Biochemical Profiles in Brahman and Yunling Cattle. *Animals*. 2022;12(14):1813. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12141813>
12. Барсукова М. А., Иванова О. А., Афанасьева И. А., Кочнева М. Л., Нарожных К. Н. Мониторинг живой массы племенного скота герефордской породы в условиях пастбищного содержания. Инновации и продовольственная безопасность. 2024;(1(43)):10–19. DOI: <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2023-43-1-10-19> EDN: GZSOHO

13. Чысыма Р. Б., Прокудин А. В., Сергеева О. К. Накопление тяжелых металлов мелкими млекопитающими Норило-Пясиной экосистемы. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024;(4(73)):280–289. DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-280-289> EDN: AQYEQH
14. Counotte G., Holzhauser M., Carp-van Dijken S., Muskens J., Van der Merwe D. Levels of trace elements and potential toxic elements in bovine livers: A trend analysis from 2007 to 2018. PLoS One. 2019;14(4):e0214584. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214584>
15. Chauhan S. S., Rashamol V. P., Bagath M., Sejian V., Dunshea F. R. Impacts of heat stress on immune responses and oxidative stress in farm animals and nutritional strategies for amelioration. International Journal of Biometeorology. 2021;65:1231–1244. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02083-3>
16. Mondal B., Parvez M., Rana M. M., Rahman L., Zahan R., Pal K. C., Khan W. A. Status of Red Blood Cell Indices in Iron Deficiency Anemia and β Thalassemia Trait: A Comparative Study. Dhaka Shishu (Children) Hospital Journal. 2022;37(1):9–14. DOI: <https://doi.org/10.3329/dshj.v37i1.59087>
17. Arthington J. D., Ranches J. Trace Mineral Nutrition of Grazing Beef Cattle. Animals. 2021;11(10):2767. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11102767>
18. Стрижкова М. В., Коновалова Т. В., Короткевич О. С., Петухов В. Л., Зайко О. А., Желтиков А. И., Кочнева М. Л. Влияние генотипа быков-производителей голштинской породы на содержание фосфора в печени потомков. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024;(4):272–279. DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-272-279> EDN: GUPBDV

References

1. Duskaev G. K., Kharlamov A. V., Levakhin G. I., Azhmuldinov E. A., Amerkhanov Kh. A., Miroshnikov S. A., Risaev A. F. Brief overview of beef production systems in Russia and the world. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* = Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(3):78–94. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-78>
2. Yavnov M. V., Frolov A. N., Soboleva N. V. Influence of different rearing methods on growth rate, slaughter qualities and economic efficiency of growing kazakh white-headed bulls. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* = Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(3):99–107. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-99>
3. Kalashnikov V. V., Bagirov V. A., Zaytsev A. M., Kalinkova L. V., Kalashnikova T. V., Blokhina N. V. et al. Hair macro- and microelement levels as estimates of mineral status in horses of stud and local breeds from different Russian regions. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(6):1234–1243. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.6.1234rus>
4. Wang S., Li Q., Peng J., Niu H. Effects of Long-Term Cold Stress on Growth Performance, Behavior, Physiological Parameters, and Energy Metabolism in Growing Beef Cattle. *Animals*. 2023;13(10):1619. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13101619>
5. Barsukova M. A. Dynamics of the number and productivity of hereford breeding cattle in the Novosibirsk region. *Vestnik rossiyской selskokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2024;(5):79–84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208224050162>
6. Nikolaev S. V. The use of biochemical blood markers for early prediction of the intensity of live weight gain of calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):548–554. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.548-554>
7. Byrne L., Murphy R. A. Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. *Animals*. 2022;12(15):1981. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12151981>
8. Strizhkova M. V., Konovalova T. V., Korotkevich O. S., Petukhov V. L., Osintseva L. A. Phosphorus content in the hair of holstein bulls' offspring. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova* = Bulletin of Buryat State Academy of Agriculture. 2025;(1(78)):154–159. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34655/bgsha.2025.78.1.019>
9. Narozhnykh K. N., Petukhov V. L., Konovalova T. V., Sebezhenko O. I., Korotkevich O. S. Interbreed differences in iron concentration in cattle organs and tissues, *Journal of King Saud University. Science*. 2024;36(4):103581. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103581>
10. Kim W.-S., Ghassemi Nejad J., Lee H.-G. Impact of Cold Stress on Physiological, Endocrinological, Immunological, Metabolic, and Behavioral Changes of Beef Cattle at Different Stages of Growth. *Animals*. 2023;13(6):1073. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13061073>
11. Yang Y., Yang S., Tang J., Ren G., Shen J., Huang B. et al. Comparisons of Hematological and Biochemical Profiles in Brahman and Yunling Cattle. *Animals*. 2022;12(14):1813. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12141813>
12. Barsukova M. A., Ivanova O. A., Afanaseva I. A., Kochneva M. L., Narozhnykh K. N. Monitoring the live weight of hereford breeding cattle under pasture conditions. *Innovatsii i prodovolstvennaya bezopasnost* = Innovations and Food Safety. 2024;(1(43)):10–19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2023-43-1-10-19>

13. Chysyma R. B., Prokudin A. V., Sergeeva O. K. Accumulation of heavy metals in small mammals of the NoriloPyasinsky ecosystem. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet) = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2024;(4):280–289. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-280-289>

14. Counotte G., Holzhauser M., Carp-van Dijken S., Muskens J., Van der Merwe D. Levels of trace elements and potential toxic elements in bovine livers: A trend analysis from 2007 to 2018. *PLoS One*. 2019;14(4):e0214584.

DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214584>

15. Chauhan S. S., Rashamol V. P., Bagath M., Sejian V., Dunshea F. R. Impacts of heat stress on immune responses and oxidative stress in farm animals and nutritional strategies for amelioration. *International Journal of Biometeorology*. 2021;65:1231–1244. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02083-3>

16. Mondal B., Parvez M., Rana M. M., Rahman L., Zahan R., Pal K. C., Khan W. A. Status of Red Blood Cell Indices in Iron Deficiency Anemia and β Thalassaemia Trait: A Comparative Study. *Dhaka Shishu (Children) Hospital Journal*. 2022;37(1):9–14. DOI: <https://doi.org/10.3329/dshj.v37i1.59087>

17. Arthington J. D., Ranches J. Trace Mineral Nutrition of Grazing Beef Cattle. *Animals*. 2021;11(10):2767. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11102767>

18. Strizhkova M. V., Konovalova T. V., Korotkevich O. S., Petukhov B. L., Zaiko O. A., Zheltikov A. I., Kochneva M. L. The effect of the genotype of holstein bulls on the phosphorus content in the liver of descendants. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet) = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2024;(4):272–279. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-272-279>

Сведения об авторах

✉ **Барсукова Мария Андреевна**, кандидат биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7022-6011>, e-mail: mariabar23@yandex.ru

Нарожных Кирилл Николаевич, кандидат биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1519-697X>

Иванова Оксана Александровна, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9891-4726>

Information about the authors

✉ **Maria A. Barsukova**, PhD in Biology, Novosibirsk State Agrarian University, 160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7022-6011>, e-mail: mariabar23@yandex.ru

Kirill N. Narozhnykh, PhD in Biology, Novosibirsk State Agrarian University, 160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1519-697X>

Oksana A. Ivanova, senior lecturer, Novosibirsk State Agrarian University, 160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9891-4726>

✉ – Для контактов / Corresponding author