

**БИОЭЛЕМЕНТОЛОГИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВЕ**

Научная статья  
УДК 636.22/.28.082.13:636.088.31  
doi:10.33284/2658-3135-107-4-31

**Влияние сезона года на элементный статус и продуктивные качества бычков**

**Алексей Николаевич Фролов<sup>1</sup>, Олег Александрович Завьялов<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

<sup>1</sup>forleh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>

<sup>2</sup>oleg-zavyalov83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

**Аннотация.** С целью изучения влияния температуры окружающей среды на продуктивные качества и элементный статус бычков чёрно-пёстрой породы в условиях СПК колхоз "Красногорский" Оренбургской области проведён научно-хозяйственный опыт. Для этого было сформировано 2 группы: I (n=20) – весеннего сезона рождения (март), II (n=20) – летнего (июнь). Продолжительность эксперимента составляла 90 суток. Температура окружающей среды для I группы в среднем составляла в дневное время +13,1 °С, в ночное – +6,3 °С, для II группы – в дневное время +28,3 °С, в ночное – +22,1 °С. Оценка влияния сезона года на продуктивные качества показала, что бычки II группы уступали своим сверстникам из I по живой массе в возрасте 1 мес. на 2,7 %, 2 мес. – 5,3 %, 3 мес. – 6,0 %; среднесуточным приростам в возрасте 0-1 мес. – на 7,5 %, 1-2 мес. – 12,4 %, 2-3 мес. – 8,5 %. Оценка активности системы антиоксидантной защиты показала снижение в летний период уровня каталазы на 17,6 %, СОД – на 11,0 % и повышение малонового диальдегида на 115,4 % по сравнению с весенним. Высокие температуры в летний период повлияли на элементный статус бычков. Так, в волосе бычков II группы были выше концентрации Hg, V, Cr, Pb, As и ниже Mg, P, K, Ca, Sr, Na, B, Mn, I по сравнению с I. Таким образом, температура окружающей среды оказывает влияние как на продуктивные качества, так и на элементный статус животного, оценённый по концентрации химических элементов в волосе. Полученные данные следует учитывать при составлении рационов кормления молодняка в летний период года.

**Ключевые слова:** бычки, чёрно-пёстрая порода, температура окружающей среды, элементный статус, продуктивность

**Благодарности:** исследование выполнено в соответствии с планом НИР на 2024-2026 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2024-0001).

**Для цитирования:** Фролов А.Н., Завьялов О.А. Влияние сезона года на элементный статус и продуктивные качества бычков // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 31-40. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-31>

**BIOELEMENTOLOGY IN ANIMAL HUSBANDRY AND CROP PRODUCTION**

Original article

**The influence of season on the elemental status and productive qualities of bulls**

**Alexey N Frolov<sup>1</sup>, Oleg A Zavyalov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

<sup>1</sup>forleh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>

<sup>2</sup>oleg-zavyalov83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

**Abstract.** In order to study the influence of ambient temperature on the productive qualities and elemental status of Black Spotted bulls in the conditions of the Krasnogorsky collective farm of the

Orenburg region, a scientific and economic experiment was conducted. For this purpose, 2 groups were formed: I (n=20) – the spring season of birth (March), II (n=20) summer (June). The duration of the experiment was 90 days. The ambient temperature for group I averaged +13.1°C during the daytime, +6.3°C at night, +28.3°C during the daytime and +22.1°C at night for group II. An assessment of the impact of the season on productive qualities showed that bulls of group II were inferior to their peers from group I in terms of live weight at the age of 1 month – by 2.7%, 2 months – 5.3 %, 3 months – 6.0%, average daily gains, at the age of 0-1 months – by 7.5%, 1-2 months – 12.4%, 2-3 months – 8.5%. Assessment of the activity of the antioxidant system protection showed a decrease in catalase levels by 17.6% in summer, SOD by 11.0%, and an increase in malondialdehyde by 115.4% compared to spring. High temperatures in the summer affected the elemental status of the bulls. Thus, the concentrations of Hg, V, Cr, Pb, As in the hair of group II gobies were higher and Mg, P, K, Ca, Sr, Na, B, Mn, I were lower compared to I. Thus, the ambient temperature affects both the productive qualities and the elemental status an animal estimated by the concentration of chemical elements in the hair. The data obtained should be taken into account when compiling feeding rations for young animals in the summer period of the year.

**Keywords:** bulls, Black Spotted breed, ambient temperature, elemental status, productivity

**Acknowledgments:** the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024-2026 FSBRI FRC BST RAS (No. FNWZ-2024-0001).

**For citation:** Frolov AN, Zavyalov OA. The influence of season on the elemental status and productive qualities of bulls. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):31-40. (In Russ). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-31>

### **Введение.**

На количество потребления корма и эффективность его использования влияют сезонные колебания температуры окружающей среды (Mujibi FDN et al., 2010). Оптимальной температурой для хорошего самочувствия и максимального потребления корма взрослым крупным рогатым скотом, которая считается термoneйтральной, является диапазон от +5 до +25 °C (Nardone A et al., 2010; Sammad A et al., 2020). Изменение температуры выше этих значений провоцирует тепловой стресс, вызывая различные терморегуляторные механизмы, проявляющиеся в снижении потребления корма, конверсии питательных веществ в пищевую продукцию, изменении скорости метаболизма, увеличении потерь воды с испарением через усиленное дыхание и потоотделение, изменении концентрации гормонов в крови и перераспределении общего кровотока (Шошин Д.Е. и др., 2024; Curtis AK et al., 2017).

При температуре окружающей среды в диапазоне +25...+27 °C происходят незначительные изменения в потреблении корма, тогда как повышение температуры выше +30 °C приводит к резкому его снижению на 20-40 % и более по сравнению с кормлением в оптимальном температурном режиме (Sanchez WK et al., 1994). Тепловой стресс нарушает гомеостаз у крупного рогатого скота, вызывая терморегуляторные реакции, которые направлены на поддержание теплового баланса, приводя к снижению продуктивности (Фролов А.Н. и др., 2023; Kim SH et al., 2022).

Сокращение потребления корма является защитной реакцией организма в ответ на высокие температуры окружающей среды, способствующей снижению выделения тепла вырабатываемой рубцовой ферментацией и метаболизмом тела, необходимой для поддержания теплового баланса (Мирошникова М.С. и Аринжанов А.Е., 2021; Zhao S et al., 2019). За процессы терморегуляции и проявление аппетита у животного отвечает гипоталамо-гипофизарная система, которая в зависимости от факторов внешней среды регулирует потребление корма (McGuire MA et al., 1991; von Borell E, 2000).

Воздействие высоких и низких температур окружающей среды изменяет потребности организма животного в минеральных веществах. Так, снижение потребления корма коровами на поздних сроках беременности при воздействии высоких температур приводит к изменению элементного статуса не только самих коров, но и их новорождённых телят (Kume S et al., 1998). Сокращение потребления корма влияет на пищеварительную функцию, а также на количество поступивших с рационом минералов, и если их концентрация в рационе не увеличивается, то это неизбежно приводит к их дефициту. В настоящее время рационы кормления крупного рогатого скота не учиты-

вают воздействие факторов внешней среды на организм животного, нет дифференцировки в потребности организма в минеральных веществах в зависимости от температурного и других факторов внешней среды. По этой причине возникает дефицит отдельных химических элементов, способных поддержать организм животного в условиях неблагоприятных факторов окружающей среды. В связи с этим нами проведено комплексное исследование по оценке влияния температуры окружающей среды на продуктивные качества и элементный статус крупного рогатого скота.

#### **Цель исследования.**

Оценка влияния сезона года получения телят на их на элементный статус и продуктивные качества.

#### **Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Бычки чёрно-пёстрой породы.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009), Руководство по работе с лабораторными животными ([http://fncbst.ru/?page\\_id=3553](http://fncbst.ru/?page_id=3553)). При проведении исследований были приняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН.

**Схема эксперимента.** Исследования проведены в условиях СПК колхоз "Красногорский" Оренбургской области на 2-х группах бычков чёрно-пёстрой породы: I (n=20) – весеннего сезона рождения (март), II (n=20) – летнего (июнь). Продолжительность эксперимента составляла 90 суток. Температура окружающей среды для I группы в среднем составляла в дневное время +13,1 °С, в ночное – +6,3 °С, для II группы – в дневное время +28,3 °С, в ночное – +22,1 °С.

Кормление и содержание были аналогичными для опытных групп. Все рационы кормления соответствовали рекомендуемым нормам для данной половозрастной группы, живого веса, продуктивности и состояли из молока, сена, сенажа и комбикорма. Содержание животных: телята находились в индивидуальных клетках первые 2 недели жизни, по истечении которых переводились на групповое содержание.

Продуктивные качества бычков оценивали по динамике живой массы путём ежемесячных индивидуальных взвешиваний, с дальнейшим расчётом абсолютного и среднесуточного приростов.

Для оценки антиоксидантного статуса и перекисного окисления липидов на основании изучения уровня каталазы, супероксиддисмутазы и малонового диальдегида нами был произведён отбор проб крови из хвостовой вены утром до кормления и поения в вакуумные пробирки.

В конце оцениваемого периода был произведён отбор волос с верхней части холки, машинкой для стрижки животных. Элементный анализ волос (Na, Mg, P, K, Ca, Mn, Co, Cu, Cr, Fe, Zn, Se, V, Ni, Ga, Ag, In, Ba, Tl, Bi, Al, Sr, Cd, Hg, Pb, As) проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и технологией Dynamic Reaction Cell (ICP-DRC-MS) на приборе Agilent 7900.

**Оборудование и технические средства.** Исследования выполнены в ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>). Весы для взвешивания телят ВСП4-ЖсО (АО «ВЕС-СЕРВИС», Россия), масс-спектрометр с индуктивно связанно плазмой Agilent 7900 (Agilent Technologies, США), весы лабораторные SE224-С (Россия), весы лабораторные ВК 3000 (Россия), центрифуга «Миниспин» (Германия), пробирки химические и центрифужные (Украина), колбы мерные, пипетки измерительные (Россия), дозатор пипеточный Биохит (Финляндия).

**Статистическая обработка.** Для обработки данных использовали пакет прикладных программ «Statistica 10.0» («StatSoftInc», США). В таблицах приведены средние значения показателей (M) и их стандартная ошибка ( $\pm m$ ).

### Результаты исследований.

Проведённая оценка влияния сезона года на продуктивные качества показала на имеющиеся существенные межгрупповые различия (табл. 1).

Таблица 1. Продуктивные качества бычков черно-пестрой породы  
Table 1. Productive qualities of Black Spotted calves

Показатель/ <i>Indicator</i>	Группа / <i>Group</i>	
	I	II
Живая масса, кг: / <i>Live weight, kg:</i>		
при рождении / <i>at birth</i>	34,5 $\pm$ 0,28	34,6 $\pm$ 0,36
1 мес. / <i>1 month.</i>	55,8 $\pm$ 0,38	54,3 $\pm$ 0,42*
2 мес. / <i>2 month.</i>	75,9 $\pm$ 0,52	71,9 $\pm$ 0,54***
3 мес. / <i>3 month.</i>	98,3 $\pm$ 0,56	92,4 $\pm$ 0,62***
Абсолютный прирост живой массы, кг / <i>Absolute increase in body weight, kg</i>	63,8 $\pm$ 1,48	57,8 $\pm$ 1,62
Среднесуточный прирост, г / <i>Average daily increase, g</i>		
0-1 мес. / <i>0-1 months</i>	687 $\pm$ 12,34	635 $\pm$ 11,82**
1-2 мес. / <i>1-2 months</i>	693 $\pm$ 13,14	607 $\pm$ 12,83***
2-3 мес. / <i>2-3 months</i>	747 $\pm$ 13,28	683 $\pm$ 12,64***
Относительный прирост, % / <i>Relative increase, %</i>	34,5 $\pm$ 0,77	32,4 $\pm$ 1,00*

Примечание: \* – при  $P \leq 0,05$ ; \*\* – при  $P \leq 0,01$ , \*\*\* – при  $P \leq 0,001$

Note: \* – at  $P \leq 0.05$ ; \*\* – at  $P \leq 0.01$ , \*\*\* – at  $P \leq 0.001$

Так, бычки II группы (летнего сезона рождения) уступали своим сверстникам из I (весеннего сезона рождения) по живой массе в возрасте 1 мес. – на 2,7 % ( $P \leq 0,05$ ), 2 мес. – 5,3 % ( $P \leq 0,001$ ), 3 мес. – 6,0 % ( $P \leq 0,001$ ); среднесуточным приростам в возрасте 0-1 мес. – на 7,5 % ( $P \leq 0,01$ ), 1-2 мес. – 12,4 % ( $P \leq 0,001$ ), 2-3 мес. – 8,5 % ( $P \leq 0,001$ ).

Оценка активности системы антиоксидантной защиты по уровню ферментов каталазы и супероксиддисмутазы выявила существенные межгрупповые различия (табл. 2).

Таблица 2. Антиоксидантный статус и продукты перекисного окисления липидов бычков различных сезонов рождения

Table 2. Antioxidant status and lipid peroxidation of bulls of different birth seasons

Показатель / <i>Indicator</i>	Группа / <i>Group</i>	
	I	II
СОД, % / <i>SOD, %</i>	62,21 $\pm$ 4,03	51,26 $\pm$ 3,47*
Каталаза, мкМ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /лхмин / <i>Catalase, mcM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/lxmin</i>	273,24 $\pm$ 26,31	193,34 $\pm$ 24,68*
Малоновый диальдегид, нм/мл / <i>Malondialdehyde, nm/ml</i>	1,56 $\pm$ 0,24	3,36 $\pm$ 0,42***

Примечание: \* – при  $P \leq 0,05$ ; \*\* – при  $P \leq 0,01$ , \*\*\* – при  $P \leq 0,001$

Note: \* – at  $P \leq 0.05$ ; \*\* – at  $P \leq 0.01$ , \*\*\* – at  $P \leq 0.001$

Так, уровень каталазы во II группе снизился на 17,6 % ( $P \leq 0,05$ ), СОД – на 11,0 % ( $P \leq 0,05$ ) по сравнению с I. Оценка малонового диальдегида как основного и наиболее изученного продукта перекисного окисления полиненасыщенных жирных кислот показала, что во II группе он был выше на 115,4 % ( $P \leq 0,001$ ) по сравнению со сверстниками I группы.

Проведённая оценка элементного статуса бычков по уровню концентраций эссенциальных и токсичных биоэлементов показала на существенные его изменения в зависимости от сезона рождения (табл. 3).

Таблица 3. Концентрация биоэлементов в волосе бычков, мг/кг  
Table 3. Concentration of bioelements in hair, mg/kg

Элемент / <i>Element</i>	Группа / <i>Group</i>	
	I	II
<b>Макроэлементы / <i>Macroelements</i></b>		
K	2597,9±111,7	1866,2±89,5*
Ca	2638,3±38,8	1761,2±51,3***
Mg	671,9±20,3	508,4±16,9**
Na	2763,2±127,5	1410,4±109,8**
P	269,7±5,6	199,5±4,5***
<b>Эссенциальные микроэлементы / <i>Essential microelements</i></b>		
Fe	188,84±12,32	229,24±10,44
Zn	107,1±1,14	101,4±1,15
Co	0,205±0,01	0,267±0,01
Cr	0,381±0,02	0,595±0,04*
Cu	5,633±0,09	6,008±0,09
I	1,44± 0,06	0,61± 0,07***
Mn	51,0± 2,88	23,5± 1,97***
Se	0,253±0,01	0,221±0,01
<b>Условно-эссенциальные микроэлементы / <i>Conditionally essential microelements</i></b>		
B	8,38±0,329	4,15±0,217***
Si	22,9±6,18	44,4±4,51
Li	0,384±0,031	0,237±0,009
Ni	0,580±0,024	0,600±0,019
V	0,540±0,032	0,851±0,034**
As	0,156±0,009	0,212± 0,006*
<b>Токсичные микроэлементы / <i>Toxic microelements</i></b>		
Al	38,1±3,30	36,2±2,09
Sr	18,62±0,430	12,04± 0,513***
Pb	0,392±0,021	0,612±0,039*
Sn	0,0150±0,0004	0,0193±0,0018
Cd	0,031±0,0022	0,024±0,0022
Hg	0,004±0,0004	0,013± 0,0009***

Примечание: \* – при  $P \leq 0,05$ ; \*\* – при  $P \leq 0,01$ , \*\*\* – при  $P \leq 0,001$

Note: \* – at  $P \leq 0.05$ ; \*\* – at  $P \leq 0.01$ , \*\*\* – at  $P \leq 0.001$

Так, высокие температуры в летний период по сравнению с весенним способствовали повышению концентраций в волосе Hg на 225,8 % ( $P \leq 0,001$ ), V – на 57,7 % ( $P \leq 0,01$ ), Cr – на 56,4 % ( $P \leq 0,05$ ), Pb – на 56,2 % ( $P \leq 0,05$ ), As – на 36,3% ( $P \leq 0,05$ ) и снижению Mg – на 24,3 % ( $P \leq 0,01$ ), P –

на 26,0 % ( $P \leq 0,001$ ), К – на 28,2 % ( $P \leq 0,001$ ), Са – на 33,2% ( $P \leq 0,001$ ), Sr – на 35,4 % ( $P \leq 0,001$ ), Na – на 49,0 % ( $P \leq 0,01$ ), В – на 50,5 % ( $P \leq 0,001$ ), Mn – на 53,9 % ( $P \leq 0,001$ ), I – на 57,9 % ( $P \leq 0,001$ ).

### **Обсуждение полученных результатов.**

Глобальное изменение климата в виде потепления создаёт серьёзные трудности для развития сельского хозяйства, и в частности, животноводства (Nawaz AH et al., 2021). Высокие температуры, превышающие способность животного рассеивать тепло в окружающую среду, приводят к тепловому стрессу. Физиологические последствия теплового стресса многогранны и включают в себя повышение температуры тела, снижение потребления корма, плохую эффективность конверсии корма в пищевую продукцию (Akbarian A et al., 2016; Wasti S et al., 2021).

Территория Оренбургской области, где проводилось данное исследование, относится к регионам с резко континентальным климатом, который характеризуется ярко выраженной сезонностью с большими амплитудами колебания температур. Характерной особенностью Оренбуржья являются суровые зимы, не редко с температурой в ночное время ниже  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и жарким, сухим летом, температура в отдельные дни превышает  $+30...+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Такие большие вариации температуры изменяют потребность организма животного в минеральных веществах. Отсутствие комплексных исследований, направленных на дифференциацию норм потребности крупного рогатого скота в минеральных веществах в зависимости от температуры окружающей среды, и побудило нас провести данный эксперимент.

Как показали результаты наших исследований, температура окружающей среды влияет на интенсивность роста молодняка. Так, бычки, выращиваемые в летний период, достоверно уступали сверстникам весеннего по интенсивности роста во все оцениваемые периоды. Это прежде всего объясняется нами снижением аппетита и потребления корма за счёт регуляторных механизмов, которые направлены на уменьшение выделения тепла в результате метаболизма. Что ранее было продемонстрировано на тёлках абердин-ангусской породы в Австралии (Beatty DT et al., 2008). Одним из путей повышения потребления корма, а следовательно, и поступления питательных и минеральных веществ с рациона в жаркую погоду, ряд авторов считает применение системы кормления, включающей порционное скармливание рациона в ночное время (Gaughan JB et al., 1996).

Окислительный стресс является следствием дисбаланса между антиоксидантной и прооксидантной защитами организма и в конечном итоге приводит к повреждению клеток и тканей. Проведённая оценка антиоксидантной защиты организма по уровню активности ферментов каталазы и супероксиддисмутазы показала, что в летний период происходит их снижение, с одновременным увеличением маркера перекисного окисления липидов – малонового диальдегида. Это объясняется, тем, что высокие температуры в течение продолжительного времени приводят к истощению антиоксидантных систем защиты организма, вследствие чего возникает окислительный стресс, который сопровождается обвальным образованием активных форм кислорода, что и продемонстрировано в нашем эксперименте (Del Rio D et al., 2005; Puppel K et al, 2015).

Дальнейшим направлением наших исследований стало изучение элементного статуса бычков в зависимости от сезона года. Как показали результаты этого эксперимента, содержание бычков при высоких температурах окружающей среды способствует изменению элементного статуса, проявляющемся в снижении целого ряда важнейших химических элементов: Mg, P, K, Ca, Sr, Na, B, Mn, I при повышении Hg, V, Cr, Pb, As. Такое изменение элементного статуса бычков объяснимо как снижением потребления корма, так и тем, что в жаркую погоду организм запускает механизмы адаптации, направленные на снижение тепловой нагрузки, которые проявляются в учащённом дыхании, сердцебиении, потоотделении. И как следствие, необходимы повышенные нормы потребления ряда химических элементов, таких как электролиты K и Na, которые отвечают за поддержание водного баланса в клетках, регулируют работу сердца, ритм сердечных сокращений, работу Na/K-насоса, проведение нервных импульсов и другого (Wildman CD et al., 2007, Wang J et al., 2020). Проведённый нами эксперимент показал, что снижение ряда эссенциальных элементов сопряжено с увеличением уровня токсичных. По-видимому, имея один путь всасывания при сниже-

нии конкуренции со стороны эссенциальных элементов, происходит большее всасывание из рациона кормления токсичных элементов. Так, свинец поглощается кальбайндином – кальций-связывающим белком, который в норме отвечает за перенос кальция к базолатеральной мембране и депонируется, как и кальций, в костной ткани (Simons TJB, 1986; Patra RC et al., 2006).

Таким образом, проведённое нами исследование показало влияние сезона года на продуктивные качества и элементный статус бычков.

### **Заключение.**

Высокая температура окружающей среды по сравнению с термонеutralной приводит к снижению живой массы бычков с рождения до 3 месяцев на 6,0 %, среднесуточных приростов – на 9,5 %, изменяя элементный профиль по 14 химическим элементам: Mg, P, K, Ca, Sr, Na, B, Mn, I, Hg, V, Cr, Pb, As из 25 изучаемых.

### **Список источников**

1. Мирошникова М.С., Аринжанов А.Е. Микробиоценоз рубца – инструмент к построению искусственных биосистем. Биореактор на основе рубца (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 3. С. 57-69. [Miroshnikova MS, Arinzhanov AE. Rumen microbiocenosis is a tool for the construction of artificial biosystems. Ruminant bioreactor (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;104(3):57-69. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-3-57
2. Стресс как лимитирующий фактор в животноводстве (обзор) / Д.Е. Шошин, Н.Г. Ерофеев, Е.А. Сизова, М.Ю. Павлова // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 3. С. 138-162. [Shoshin DE, Erofeev NG, Sizova EA, Pavlova MYu. Stress as a limiting factor in animal husbandry (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(3):138-162. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-3-138
3. Фролов А.Н., Ажмулдинов Е.А., Харламов А.В. Влияние сезона года и продолжительности предубойной выдержки на уровень окислительного стресса, убойные показатели и качественные характеристики мяса бычков // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 91-101. [Frolov AN, Azhmuldinov EA, Kharlamov AV. Effect of season and duration of pre-slaughter handling on oxidative stress levels, slaughter performance, and quality traits of steer meat. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):91-101. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-91
4. Akbarian A, Michiels J, Degroote J, Majdeddin M, Golian A, De Smet S. Association between heat stress and oxidative stress in poultry; mitochondrial dysfunction and dietary interventions with phytochemicals. *J Anim Sci Biotechnol*. 2016;7:37. doi: 10.1186/s40104-016-0097-5
5. Beatty DT, Barnes A, Taylor E, Maloney SK. Do changes in feed intake or ambient temperature cause changes in cattle rumen temperature relative to core temperature? *Journal of Thermal Biology*. 2008;33(1):12-19. doi: 10.1016/j.jtherbio.2007.09.002
6. Curtis AK, Scharf B, Eichen PA, Spiers DE. Relationships between ambient conditions, thermal status, and feed intake of cattle during summer heat stress with access to shade. *J Therm Biol*. 2017;63:104-111. doi: 10.1016/j.jtherbio.2016.11.015
7. Del Rio D, Stewart AJ, Pellegrini N. A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and biological marker of oxidative stress. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2005;15(4):316-328. doi: 10.1016/j.numecd.2005.05.003
8. Gaughan JB, Mader TL, Savage D, Young BA. Effect of feeding regimen on feed intake of cattle exposed to heat. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production*. 1996;21:223-226.
9. Kim SH, Ramos SC, Valencia RA, Cho YI, Lee SS. Heat stress: effects on rumen microbes and host physiology, and strategies to alleviate the negative impacts on lactating dairy cows. *Front Microbiol*. 2022;13:804562. doi: 10.3389/fmicb.2022.804562

10. Kume S, Toharmat T, Kobayashi N. Effect of restricted feed intake of dams and heat stress on mineral status of newborn calves. *J Dairy Sci.* 1998;81(6):1581-1590. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(98)75724-8
11. McGuire MA, Beede DK, Collier RJ, Buonomo FC, DeLorenzo MA, Wilcox CJ, Huntington GB, Reynolds CK. Effects of acute thermal stress and amount of feed intake on concentrations of somatotropin, insulin-like growth factor (IGF)-I and IGF-II, and thyroid hormones in plasma of lactating Holstein cows. *J Anim Sci.* 1991;69(5):2050-2056. doi: 10.2527/1991.6952050x
12. Mujibi FDN, Moore SS, Nkrumah DJ, Wang Z, Basarab JA. Season of testing and its effect on feed intake and efficiency in growing beef cattle. *J Anim Sci.* 2010;88(12):3789-3799. doi: 10.2527/jas.2009-2407
13. Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest Sci.* 2010;130(1-3):57-69. doi: 10.1016/j.livsci.2010.02.011
14. Nawaz AH, Amoah K, Leng QY, Zheng JH, Zhang WL, Zhang L. Poultry response to heat stress: its physiological, metabolic, and genetic implications on meat production and quality including strategies to improve broiler production in a warming world. *Front Vet Sci.* 2021;8:699081. doi: 10.3389/fvets.2021.699081
15. Patra RC, Swarup D, Sharma MC, Naresh R. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units. *J Vet Med A.* 2006;53(10):511-517. doi: 10.1111/j.1439-0442.2006.00868.x
16. Puppel K, Kapusta A, Kuczyńska B. The etiology of oxidative stress in the various species of animals, a review. *J Sci Food Agric.* 2015;95(11):2179-2184. doi: 10.1002/jsfa.7015
17. Sammad A, Wang YJ, Umer S, Lirong H, Khan I, Khan A, Ahmad B, Wang Y. Nutritional physiology and biochemistry of dairy cattle under the influence of heat stress: consequences and opportunities. *Animals (Basel).* 2020;10(5):793. doi: 10.3390/ani10050793
18. Sanchez WK, McGuire MA, Beede DK. Macromineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle: review and original research. *J Dairy Sci.* 1994;77(7):2051-2079. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77150-2
19. Simons TJB. Cellular interactions between lead and calcium. *Br Med Bull.* 1986;42(4):431-434. doi: 10.1093/oxfordjournals.bmb.a072162
20. von Borell EH. The biology of stress and its application to livestock housing and transportation assessment I. *J Anim Sci.* 2000;79(suppl\_E):E260-E267. doi: 10.2527/jas2001.79E-SupplE260x
21. Wang J, Li J, Wang F, Xiao J, Wang Y, Yang H, Li S, Cao Z. Heat stress on calves and heifers: a review. *J Anim Sci Biotechnol.* 2020;11:79. doi: 10.1186/s40104-020-00485-8
22. Wasti S, Sah N, Singh AK, Lee CN, Jha R, Mishra B. Dietary supplementation of dried plum: a novel strategy to mitigate heat stress in broiler chickens. *J Anim Sci Biotechnol.* 2021;12(1):58. doi: 10.1186/s40104-021-00571-5
23. Wildman CD, West JW, Bernard JK. Effects of dietary cation-anion difference and potassium to sodium ratio on lactating dairy cows in hot weather. *J Dairy Sci.* 2007;90(2):970-977. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(07)71581-3
24. Zhao S, Min L, Zheng N, Wang J. Effect of heat stress on bacterial composition and metabolism in the rumen of lactating dairy cows. *Animals (Basel).* 2019;9(11):925. doi: 10.3390/ani9110925

## References

1. Miroshnikova MS, Arinzhanov AE. Rumen microbiocenosis is a tool for the construction of artificial biosystems. *Ruminal bioreactor (review).* *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2022;104(3):57-69. doi: 10.33284/2658-3135-104-3-57
2. Shoshin DE, Erofeev NG, Sizova EA, Pavlova MYu. Stress as a limiting factor in animal husbandry (review). *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2024;107(3):138-162. doi: 10.33284/2658-3135-107-3-138



3. Frolov AN, Azhmuldinov EA, Kharlamov AV. Effect of season and duration of pre-slaughter handling on oxidative stress levels, slaughter performance, and quality traits of steer meat. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):91-101. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-91
4. Akbarian A, Michiels J, Degroote J, Majdeddin M, Golian A, De Smet S. Association between heat stress and oxidative stress in poultry; mitochondrial dysfunction and dietary interventions with phytochemicals. *J Anim Sci Biotechnol*. 2016;7:37. doi: 10.1186/s40104-016-0097-5
5. Beatty DT, Barnes A, Taylor E, Maloney SK. Do changes in feed intake or ambient temperature cause changes in cattle rumen temperature relative to core temperature? *Journal of Thermal Biology*. 2008;33(1):12-19. doi: 10.1016/j.jtherbio.2007.09.002
6. Curtis AK, Scharf B, Eichen PA, Spiers DE. Relationships between ambient conditions, thermal status, and feed intake of cattle during summer heat stress with access to shade. *J Therm Biol*. 2017;63:104-111. doi: 10.1016/j.jtherbio.2016.11.015
7. Del Rio D, Stewart AJ, Pellegrini N. A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and biological marker of oxidative stress. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2005;15(4):316-328. doi: 10.1016/j.numecd.2005.05.003
8. Gaughan JB, Mader TL, Savage D, Young BA. Effect of feeding regimen on feed intake of cattle exposed to heat. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production*. 1996;21:223-226.
9. Kim SH, Ramos SC, Valencia RA, Cho YI, Lee SS. Heat stress: effects on rumen microbes and host physiology, and strategies to alleviate the negative impacts on lactating dairy cows. *Front Microbiol*. 2022;13:804562. doi: 10.3389/fmicb.2022.804562
10. Kume S, Toharmat T, Kobayashi N. Effect of restricted feed intake of dams and heat stress on mineral status of newborn calves. *J Dairy Sci*. 1998;81(6):1581-1590. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(98)75724-8
11. McGuire MA, Beede DK, Collier RJ, Buonomo FC, DeLorenzo MA, Wilcox CJ, Huntington GB, Reynolds CK. Effects of acute thermal stress and amount of feed intake on concentrations of somatotropin, insulin-like growth factor (IGF)-I and IGF-II, and thyroid hormones in plasma of lactating Holstein cows. *J Anim Sci*. 1991;69(5):2050-2056. doi: 10.2527/1991.6952050x
12. Mujibi FDN, Moore SS, Nkrumah DJ, Wang Z, Basarab JA. Season of testing and its effect on feed intake and efficiency in growing beef cattle. *J Anim Sci*. 2010;88(12):3789-3799. doi: 10.2527/jas.2009-2407
13. Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest Sci*. 2010;130(1-3):57-69. doi: 10.1016/j.livsci.2010.02.011
14. Nawaz AH, Amoah K, Leng QY, Zheng JH, Zhang WL, Zhang L. Poultry response to heat stress: its physiological, metabolic, and genetic implications on meat production and quality including strategies to improve broiler production in a warming world. *Front Vet Sci*. 2021;8:699081. doi: 10.3389/fvets.2021.699081
15. Patra RC, Swarup D, Sharma MC, Naresh R. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units. *J Vet Med A*. 2006;53(10):511-517. doi: 10.1111/j.1439-0442.2006.00868.x
16. Puppel K, Kapusta A, Kuczyńska B. The etiology of oxidative stress in the various species of animals, a review. *J Sci Food Agric*. 2015;95(11):2179-2184. doi: 10.1002/jsfa.7015
17. Sammad A, Wang YJ, Umer S, Lirong H, Khan I, Khan A, Ahmad B, Wang Y. Nutritional physiology and biochemistry of dairy cattle under the influence of heat stress: consequences and opportunities. *Animals (Basel)*. 2020;10(5):793. doi: 10.3390/ani10050793
18. Sanchez WK, McGuire MA, Beede DK. Macromineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle: review and original research. *J Dairy Sci*. 1994;77(7):2051-2079. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77150-2
19. Simons TJB. Cellular interactions between lead and calcium. *Br Med Bull*. 1986;42(4):431-434. doi: 10.1093/oxfordjournals.bmb.a072162

20. von Borell EH. The biology of stress and its application to livestock housing and transportation assessment1. *J Anim Sci.* 2000;79(suppl\_E):E260-E267. doi: 10.2527/jas2001.79E-SupplE260x
21. Wang J, Li J, Wang F, Xiao J, Wang Y, Yang H, Li S, Cao Z. Heat stress on calves and heifers: a review. *J Anim Sci Biotechnol.* 2020;11:79. doi: 10.1186/s40104-020-00485-8
22. Wasti S, Sah N, Singh AK, Lee CN, Jha R, Mishra B. Dietary supplementation of dried plum: a novel strategy to mitigate heat stress in broiler chickens. *J Anim Sci Biotechnol.* 2021;12(1):58. doi: 10.1186/s40104-021-00571-5
23. Wildman CD, West JW, Bernard JK. Effects of dietary cation-anion difference and potassium to sodium ratio on lactating dairy cows in hot weather. *J Dairy Sci.* 2007;90(2):970-977. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(07)71581-3
24. Zhao S, Min L, Zheng N, Wang J. Effect of heat stress on bacterial composition and metabolism in the rumen of lactating dairy cows. *Animals (Basel).* 2019;9(11):925. doi: 10.3390/ani9110925

**Информация об авторах:**

**Алексей Николаевич Фролов**, доктор биологических наук, заведующий отделом технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532) 30-81-78.

**Олег Александрович Завьялов**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532) 30-81-78.

**Information about the authors:**

**Alexey N Frolov**, Dr. Sci. (Biology), Head of Department of Technology for Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: +7 (3532) 30-81-78.

**Oleg A Zavyalov**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher of Department of Technology for Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: +7 (3532) 30-81-78.

Статья поступила в редакцию 09.10.2024; одобрена после рецензирования 22.11.2024; принята к публикации 16.12.2024.

The article was submitted 09.10.2024; approved after reviewing 22.11.2024; accepted for publication 16.12.2024.