

## ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО СТРЕССА У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН\*

Е.О. Крупин, кандидат ветеринарных наук

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН,  
420059, Казань, ул. Оренбургский тракт, 48  
E-mail: e.krupin@knc.ru

*Цель исследования – оценка характера изменения регионального климата и степени вовлеченности животных в состояние теплового стресса. Использованы массивы данных температуры и влажности воздуха на метеостанциях Республики Татарстан №27595; №28506; №28704 за период 1996-2015 гг. Расчет температурно-влажностного индекса (ТВИ) выполнен по J. West (1994), степени теплового стресса классифицированы в соответствии с LPHSI (1990). Результаты указывают на относительную выравненность температур воздуха в весенний и осенний периоды ( $5,30 \pm 0,21$  и  $5,36 \pm 0,18$  °С). Тренд средних температур зимних периодов имел тенденцию к увеличению на 43,25% в 2010 году относительно 2001 года, а летних – к увеличению на 27,04%. Средняя температура зимы 1996 года превышала таковую зимы 2010 года на 0,41 °С, а зима 2015 года оказалась самой теплой, средняя температура составила минус 7,13 °С. Средняя температура лета 1996 года составила 18,48 °С, что на 0,32 °С ниже среднего многолетнего значения. Средняя температура лета 2015 года оказалась на 0,50 °С ниже, чем среднее многолетнее значение. На основании проведенных расчетов ТВИ установлено, что в 64,02% случаев в летний период крупный рогатый скот не испытывал теплового стресса, а 35,98% – был подвержен тепловому стрессу разного уровня, причем более всего – крайне тяжелому (24,62%). Отмечено наибольшее влияние температуры на показатель ТВИ ( $r = 0,995$  ( $p < 0,01$ ) и  $R^2 = 0,9899$ ).*

## EVALUATION OF HEAT STRESS AT CATTLE USING ANALYSIS OF METEOROLOGICAL VALUES

Krupin E.O.

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences  
420059, Kazan, ul. Orenburgskij tract, 48  
E-mail: e.krupin@knc.ru

*The purpose of the study is to assess the nature of regional climate change and the degree of animal involvement in heat stress. Datasets of temperature and humidity were used at weather stations of the Republic of Tatarstan No. 27595; No. 28506; No. 28704 for the period 1996-2015. The temperature-humidity index (THI) was calculated according to J. West (1994), the degrees of heat stress are classified in accordance with LPHSI (1990). The results indicate a relative uniformity of air temperatures in the spring and autumn periods ( $5.30 \pm 0.21$  and  $5.36 \pm 0.18$  °C). The trend of average winter temperatures tended to increase by 43.25% in 2010 relative to 2001, and summer ones - to increase by 27.04%. The average temperature of the winter of 1996 exceeded that of the winter of 2010 by 0.41 °C, and the winter of 2015 was the warmest, the average temperature was minus 7.13 °C. The average summer temperature of 1996 was 18.48 °C, which is 0.32 °C lower than the long-term average. The average summer temperature of 2015 turned out to be 0.50 °C lower than the long-term average. Based on the calculations made by THI, it was found that in 64.02% of cases in the summer, cattle did not experience heat stress, and 35.98% were exposed to heat stress of various levels, and most of all it was extremely severe (24.62%). The greatest effect of temperature on THI was noted ( $r = 0.995$  ( $p < 0.01$ ) and  $R^2 = 0.9899$ ).*

**Ключевые слова:** климат, тепловой стресс, крупный рогатый скот, температурно-влажностный индекс

**Key words:** climate, heat stress, cattle, temperature-humidity index

Происходящие изменения климата существенно влияют на отрасли животноводства и растениеводства. При увеличении температуры воздуха и уменьшении количества осадков снижается содержание сырого протеина в кормах, что требует дополнительного обеспечения животных высокобелковыми кормовыми средствами. Общая оценка затрат только по этому показателю составляет в США 1,9 миллиардов долларов в год. Кроме того, темпы улучшения адаптационных способностей животных при использовании традиционных методов селекции гораздо медленнее, чем темпы изменения климата [1-3]. Даже если рацион кормления животных будет детально сбалансирован, сложно адекватно оценить его продуктивное действие, так как при увеличении температуры окружающей среды снижается потребление корма, его усвояемость, а время нахождения кормовых масс в желудочно-кишечном тракте животных во время теплового стресса может возрастать [4].

Воздействие климатических факторов на крупный рогатый скот во многом будет зависеть от региона разведения и уровня продуктивности [5]. Реакция животных на стресс обычно сопровождается снижением

интенсивности роста и развития, уменьшением удоев. Количество недополученного молока может составлять от 35 до 210 л на корову в год [6]. Прогнозируется, что молочная промышленность США к 2030 году из-за снижения молочной продуктивности животных в результате теплового стресса, обусловленного изменением климата, недополучит от 0,60% до 1,35% молока, а в южных штатах – 2,0% и более [7]. Суммарные годовые потери от теплового стресса оцениваются от 1,69 до 2,36 миллиардов долларов в год, из которых 900 миллионов приходится на отрасль животноводства [8, 9]. Риск уменьшения поголовья животных мясного и молочного направления от теплового стресса составляет 3,2% и 2,3% соответственно [10].

Молочный скот сильнее подвергается тепловому стрессу, чем другие породы крупного рогатого скота, из-за высокого уровня метаболизма во время лактации. Особенно чувствительны высокопродуктивные животные [11, 12]. Например, тепловой стресс у дойных коров сопровождается снижением секреции глюкокортикоидов, тироксина, соматотропина, увеличением секреции адреналина, лептина, инсулина [13]. Количество и сила сокращений рубца при тепловом стрессе

\* Исследование выполнено в рамках государственного задания АААА-А18-118031390148-1 в ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН.

снижаются, температура внутри рубца может возрастать, жвачка становится редкой, количество жевательных движений уменьшается [14]. Однако, наблюдаемые изменения обратимы [15].

Изменение климата затрагивает не только животноводство, его влияние на социальные и экономические сферы огромно. Республика Татарстан занимает лидирующие позиции в РФ по производству молока, однако адекватно оценить масштабы воздействия теплового стресса на скотоводство в связи с изменениями регионального климата так и не удалось.

Цель исследований – оценка характера изменения регионального климата и степени вовлеченности животных в состояние теплового стресса.

**Методика.** Для оценки изменения климата были использованы массивы данных температуры и влажности воздуха за период 1996-2015 гг. на трех метеостанциях Республики Татарстан: №27595, №28506, №28704, расположенных в различных агроклиматических зонах региона, по анализу показаний которых можно получить объективные средние данные. Координаты метеостанции №27595: 55°80' северной широты,

49°30' восточной долготы; координаты метеостанции №28506: 55°80' северной широты, 52°10' восточной долготы; координаты станции №28704: 54°50' северной широты, 50°40' восточной долготы [16].

На основании исследований А.М. Marciniak (2014) [17] было предположено, что используя температурно-влажностный индекс (ТВИ) возможно установить, в какие периоды и на сколько сильно животные на территории Республики Татарстан подвергались тепловому стрессу с учетом условий их содержания в животноводческих помещениях.

Расчет ТВИ выполнен по J. West (1994) [18]:

$$ТВИ = (9/5 \times T_{(°C)} + 32) - [((0,55 - (0,55 \times H/100)) \times ((9/5 \times T_{(°C)} + 32) - 58,8))] ,$$

где  $T_{(°C)}$  – температура воздуха, °C;  $H$  – влажность воздуха, %.

Степени теплового стресса классифицированы в соответствии с LPHSI (1990) [19] на основании ТВИ для крупного рогатого скота: если ТВИ менее 82 – отсутствует тепловой стресс; более 82, но менее 84 – умеренный; более 84, но менее 86 – тяжелый; более 86 – крайне тяжелый тепловой стресс. Анализ массивов данных, расчет коэффициентов корреляции, построение круговой диаграммы и диаграмм рассеяния с диаграммами размаха выполнены с использованием программы Microsoft Excel (Microsoft Corporation, USA) и SPSS 17.0 (IBM, USA).

**Результаты и обсуждение.** G.L. Hahn et. al. (2003) сообщили, что зона комфортной температуры для крупного рогатого скота находится в пределах от 5,0 до 15,0 °C, а по мнению R.E. McDowell (1972), при температуре больше 25,0 °C потребление корма животными существенно сокращается [20, 21]. Ранее нами была

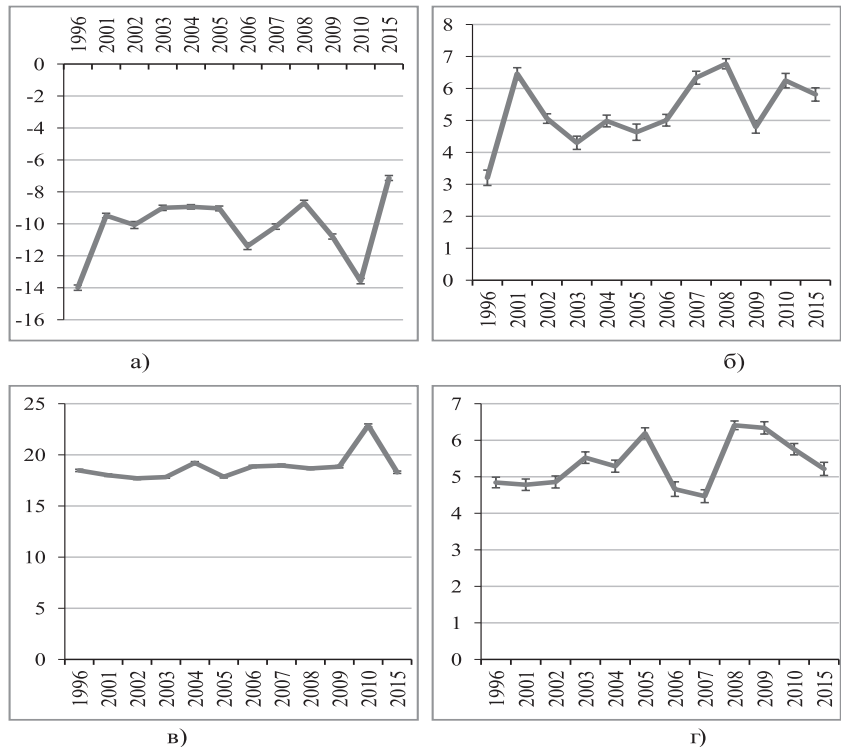


Рис. 1. Динамика средней температуры воздуха в 1996, 2001-2010 и 2015 годах (°C) по сезонам: а) зима, б) весна, в) лето, з) осень.

проанализирована динамика среднегодовых температур воздуха на территории Республики Татарстан за период 1977-2017 гг. [22]. С 2001 по 2010 годы упомянутый показатель составил 4,9 °C, а в более широких временных границах с 1996 по 2015 год – 4,8 °C. Изменение средней температуры воздуха по сезонам года представлено на рисунке 1.

Результаты указывают на относительную выравненность температур воздуха в весенний и осенний периоды. Средняя температура этих сезонов составила соответственно 5,30±0,21 и 5,36±0,18 °C при коэффициенте вариации 19,77 и 12,69% и в разрезе изучаемых лет имела тенденцию к увеличению. Повышение средних температур в зимние периоды с 2001 по 2010 годы составило 43,25%. Однако стоит отметить, что средняя температура зимы 1996 года превышала таковую зимы 2010 года на 0,41 °C, а зима 2015 года оказалась самой теплой, ее средняя температура составила минус

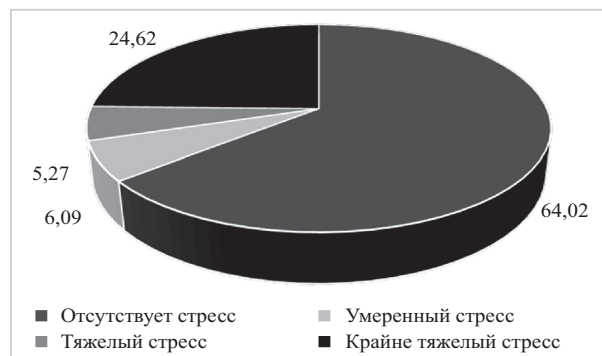


Рис. 2. Наличие теплового стресса у животных в летний сезон за период 1996-2015 гг., % времени наблюдения.

**Табл. 1. Уровень теплового стресса у животных, % времени наблюдения**

Уровень теплового стресса	Год											
	1996	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015
Отсутствует	69,6	72,8	68,5	73,9	58,7	71,7	66,3	56,5	59,8	67,4	34,8	76,1
Умеренный	3,3	4,3	2,2	9,8	10,9	5,4	5,4	6,5	8,7	7,6	7,6	4,3
Тяжелый	4,3	2,2	4,3	2,2	8,7	4,3	6,5	3,3	5,4	7,6	3,3	1,1
Крайне тяжелый	22,8	20,7	25,0	14,1	21,7	18,5	21,7	33,7	26,1	17,4	54,3	18,5

**Табл. 2. Корреляционные связи между изучаемыми показателями в летний сезон за период 1996-2015 гг.**

Показатель	Температура воздуха	Влажность воздуха	ТВИ
Температура воздуха	1,000	-	-
Влажность воздуха	-0,579**	1,000	-
ТВИ	0,995**	-0,513**	1,000

\*\* p < 0,01

7,13 °С. Коэффициент вариации многолетнего значения составил 19,69%. В летние периоды с 2001 по 2010 годы установлено увеличение средней температуры на 27,04%. Изучаемый показатель летом 1996 года составил 18,48 °С, что на 0,32 °С ниже среднего многолетнего значения. Средняя температура лета 2015 года оказалась на 0,50 °С ниже, чем среднее многолетнее значение. Величина коэффициента вариации изучаемого показателя составила 7,33%. Таким образом, средние летние температуры региона являются некомфортными для крупного рогатого скота, отличаясь от указанных выше оптимальных значений.

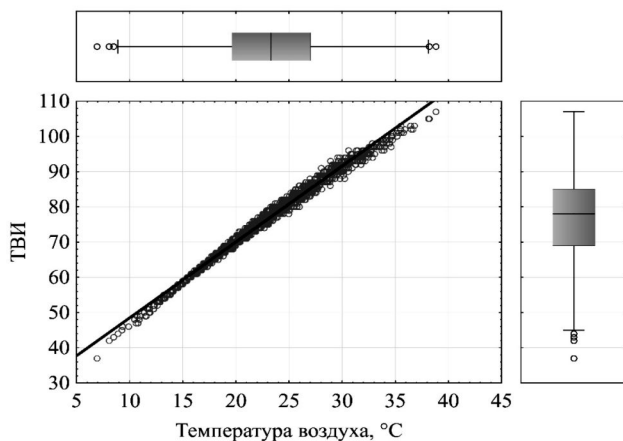
С целью выявления теплового стресса у животных был рассчитан ТВИ для летних сезонов за период 1996-2015 гг. Данный показатель по мнению Н.Н. Kibler (1964) является подходящей мерой оценки теплового стресса у крупного рогатого скота [23]. На основании проведенных расчетов ТВИ установлено, что в 64,02% случаев в летний период животные не испытывали теплового стресса, а в 35,98% случаев были ему подвержены (рис. 2), причем более всего – крайне тяжелого уровня (24,62%).

Результаты, представленные в таблице 1, указывают, что максимальное количество времени тепловому стрессу крайне тяжелой степени крупный рогатый

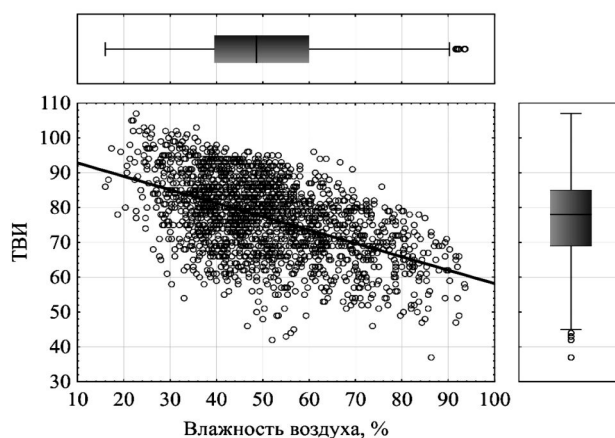
скот подвергался в 2010 году (54,35%). Продолжительность теплового стресса указанной степени в 2007 и 2008 годы также превышала среднее многолетнее значение за изучаемый период. Наиболее длительный тепловой стресс тяжелой степени наблюдался в 2004 году – 8,70% летнего времени. Кроме того, показатели продолжительности теплового стресса выше среднего многолетнего значения были характерны для 2006, 2008 и 2009 годов. Максимально продолжительным тепловым стрессом умеренной степени был в 2004 году – 10,87% изучаемого времени. В 2003 году, а также с 2008 по 2010 год, его продолжительность была выше средней многолетней. Также 2003 год характеризовался наибольшей продолжительностью периода, когда животные не подвергались стрессу. В 1996 году продолжительность теплового стресса у животных составила 30,43%, что на 6,53% больше среднего значения за период с 2001 по 2010 годы. В 2015 году животные находились в состоянии теплового стресса в течении 23,91% летнего времени. Выявленную тенденцию следует рассматривать как благоприятную.

Необходимо отметить, что в работах J.H. Du Preez, W.H. Giesecke, P.J. Hattingh (1990) предлагается использовать иные величины значений ТВИ для классификации уровня теплового стресса. Авторами отмечается, что минимальным значением ТВИ, при превышении которого у животных наблюдается тепловой стресс, является 72. При использовании данной градации нами могли бы быть получены более высокие значения продолжительности теплового стресса и иные значения его уровня [24].

Рассчитанные и представленные в таблице 2 коэффициенты корреляции указывают, что за 20 лет по шкале Чеддока между температурой и влажностью воздуха на территории Республики Татарстан установлена достоверная средняя отрицательная связь ( $r = -0,579$ ,  $p < 0,01$ ). Температура воздуха в большей степени влияет



**Рис. 3. Диаграмма рассеяния с диаграммами размаха для температуры воздуха и ТВИ в летний сезон за период 1996-2015 гг.**



**Рис. 4. Диаграмма рассеяния с диаграммами размаха для влажности воздуха и ТВИ в летний сезон за период 1996-2015 гг.**

на значение ТВИ – установлена высокая достоверная корреляционная связь между изучаемыми показателями ( $r = 0,995$ ,  $p < 0,01$ ). Между влажностью воздуха и ТВИ установлена достоверная средняя отрицательная связь ( $r = -0,513$ ,  $p < 0,01$ ). В целом полученные данные согласуются с результатами S. Dikmen et al. (2008) [25].

Подтверждает указанную выше взаимосвязь между температурой воздуха и ТВИ рисунок 3, демонстрирующий характер связи как сильную положительную линейную при значении величины достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) равной 0,9899 ( $y = 2,1556x + 26,947$ ).

Аналогичные диаграммы, построенные для влажности воздуха и ТВИ (рис. 4), демонстрируют характер связи как среднюю отрицательную линейную с  $R^2 = 0,2626$  ( $y = -0,3843x + 96,651$ ), что в полной мере согласуется с результатами, приведенными в таблице 2.

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлена продолжительность воздействия теплового стресса в летний период на крупный рогатый скот в Республике Татарстан, составляющая в среднем 35,98%. Уровень теплового стресса был преимущественно крайне тяжелым. Выявлено наибольшее влияние температуры на показатель температурно-влажностного индекса.

#### Литература

- Rosenzweig C., Elliott J., Deryng D., Ruane A.C., Müller C., Arneth A., Boote K.J., Folberth C., Glotter M., Khabarov N., Neumann K., Piontek F., Pugh T.A., Schmid E., Stehfest E., Yang H., Jones J.W. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2014. – Vol. 111. – № 9. – P. 3268-3273.
- Hayes B.J., Lewin H.A., Goddard M.E. The future of livestock breeding: genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation // *Trends in Genetics*. – 2013. – Vol. 29. – № 4. – P. 206-214.
- Craine J.M., Elmore A.J., Angerer J.P. Long-term declines in dietary nutritional quality for North American cattle // *Environmental Research Letters*. – 2017. – Vol. 12. – № 4. – P. 1-8.
- Kadzere C.T., Murphy M.R., Silanikove N., Maltz E. Heat stress in lactating dairy cows: a review // *Livestock Production Science*. – 2002. – Vol. 77. – № 1. – P. 59-91.
- Sejian V., Kumar D., Gaughan J.B., Naqvi S.M. Effect of multiple environmental stressors on the adaptive capability of Malpura rams based on physiological responses in a semi-arid tropical environment // *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*. – 2017. – Vol. 17. – P. 6-13.
- Kassahn K.S., Crozier R.H., Pörtner H.O., Caley M.J. Animal performance and stress: responses and tolerance limits at different levels of biological organization // *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*. – 2009. – Vol. 84. – № 2. – P. 277-292.
- Key N., Sneeringer S. Potential effects of climate change on the productivity of U.S. dairies // *American Journal of Agricultural Economics*. – 2014. – Vol. 96. – № 4. – P. 1136-1156.
- Baumgard L.H., Seibert J.T., Kvidera S.K., Keating A.F., Ross J.W., Rhoads R.P. Production, biological, and genetic responses to heat stress in ruminants and pigs // *Journal of Animal Science*. – 2016. – Vol. 94. – № 5. – P. 194-195.
- Polsky L., von Keyserlingk, M.A.G. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare // *Journal of Dairy Science*. – 2017. – Vol. 100. – № 11. – P. 8645-8657.
- Eisler M.C., Lee M.R., Tarlton J.F., Martin G.B., Beddington J., Dungait J.A., Greathead H., Liu J., Mathew S., Miller H., Misselbrook T. *Agriculture: steps to sustainable livestock // Nature*. – 2014. – Vol. 507. – № 7490. – P. 32-34.
- Gauly M., Bollwein H., Breves G., Brügemann K., Dänicke S., Daş G., Demeler J., Hansen H., Isselein J., König S., Lohölter M. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe – a review // *Animal*. – 2013. – Vol. 7. – № 5. – P. 843-859.
- Dunshie F.R., Leury B.J., Fahri F., DiGiacomo K., Hung A., Chauhan S., Gaughan J.B. Amelioration of thermal stress impacts in dairy cows // *Animal Production Science*. – 2013. – Vol. 53. – № 9. – P. 965-975.
- Conte G., Ciampolini R., Cassandro M., Lasagna E., Calamari L., Bernabucci U., Abeni F. Feeding and nutrition management of heat-stressed dairy ruminants // *Italian Journal of Animal Science*. – 2018. – Vol. 17. – № 3. – P. 604-620.
- Soriani N., Panella G., Calamari L. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production // *Journal of Dairy Science*. – 2013. – Vol. 96. – № 8. – P. 5082-5094.
- Rhoads R.P., Baumgard L.H., Suagee J.K., Sanders S.R. Nutritional interventions to alleviate the negative consequences of heat stress // *Advances in Nutrition*. – 2013. – Vol. 4. – № 3. – P. 267-276.
- Бульгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных>.
- Marciniak A.M. The use of temperature-humidity index (THI) to evaluate temperature-humidity conditions in free-stall barns // *Journal of Central European Agriculture*. – 2014. – Vol. 15. – № 2. – P. 73-83.
- West J. Interactions of energy and bovine somatotropin with heat stress // *Journal of Dairy Science*. – 1994. – Vol. 77. – № 7. – P. 2091-2102.
- LPHSI, *Livestock and Poultry Heat Stress Indices Agriculture Engineering Technology Guide*. – Clemson University, Clemson, SC 29634, USA, 1990. – 4 p.
- Hahn G.L., Mader L., Eigenberg A. Perspective on development of thermal indices for animal studies and management // *EAAAP Technical Series*. – 2003. – Vol. 7. – P. 31-44.
- McDowell R.E. The animal body in warm environment. In: *Improvement of livestock production in warm climates*. – San Francisco (CA): W.H. Freeman and Co, 1972. – 65 p.
- Krupin E.O. Climate change as a possible influence on genetic diversity of plants and animals // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2019. – Vol. 10. – № 2. – P. 1525-1536.
- Kibler H.H. Environmental physiology and shelter engineering. LXVII. Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses // *Research Bulletin of the Missouri Agricultural Experiment Station*. – 1964. – Vol. 862. – P. 40.
- Du Preez J.H., Giesecke W.H., Hattingh P.J. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions. I. Temperature-humidity index mean values during the four main seasons // *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*. – 1990. – Vol. 57. – № 1. – P. 77-86.
- Dikmen S., Alava E., Pontes E., Fear J.M., Dikmen B.Y., Olson T.A., Hansen P.J. Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating holstein cows in response to acute heat stress // *Journal of Dairy Science*. – 2008. – Vol. 91. – № 9. – P. 3395 – 3402.

Поступила в редакцию 05.02.19  
После доработки 25.02.20  
Принята к публикации 28.02.20