

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО СТРЕССА НА КАЧЕСТВО СПЕРМОПРОДУКЦИИ ХРЯКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ПОРОД И ЕЁ ОПЛОДОТВОРЯЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

М.П. Гутман, соискатель

Н.Н. Горб, кандидат ветеринарных наук

В.М. Сороколетова, кандидат биологических наук, доцент

Новосибирский государственный аграрный университет,
Новосибирск, Россия

E-mail: natalya-gorb@mail.ru

Ключевые слова: тепловой стресс, хряк, свинья, качество спермы, оплодотворяемость, породы свиней, крупная белая, ландрас, дюрок, максгро

Реферат. *Основной целью данной работы было изучение влияния теплового стресса на качество спермопродукции хряков-производителей разных пород (крупная белая, ландрас, дюрок, максгро) и её оплодотворяющую способность. В ходе исследования нами установлено, что тепловой стресс влияет на активность свиней. Стремление уменьшить производство тепла приводит к малоподвижности, вялости животных, сопровождается снижением аппетита, у отдельных особей наблюдается одышка и торможение половых рефлексов. На этом фоне возникающие в организме нарушения, подкрепленные локальным повышением температуры в мошонке, оказывают негативное влияние на качество спермы. Мы наблюдали тенденцию к уменьшению объема эякулята и снижение (у большинства пород статистически значимо) концентрации сперматозоидов в эякуляте на 11,47–34,96%, при этом органолептические показатели (цвет, консистенция, запах) не претерпевали изменений. Тепловой стресс негативно сказывается на оплодотворяемости свинок, уменьшается вероятность успешной имплантации эмбриона. Оплодотворяемость свинок, осемененных спермой, полученной от хряков в период теплового стресса, снижалась на 10,3–23,7% и до конца наблюдения так и не достигла дострессового уровня. Основываясь на результатах исследования, мы установили, что в зависимости от породной принадлежности свиньи могут переносить тепловой стресс в более тяжелой или более легкой формах. Породы свиней крупная белая и максгро менее чувствительны к повышению температуры окружающей среды (у них меньше изменялись показатели общего состояния, спермы и оплодотворяемости), чем дюрок и ландрас.*

EFFECT OF HEAT STRESS ON THE QUALITY OF SPERM PRODUCTION OF BOARS OF DIFFERENT BREEDS AND ITS FERTILITY

M.P. Gutman, Researcher

N.N. Gorb, PhD in Veterinary Sciences

V.M. Sorokoletova, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

Key words: heat stress, boar, pig, semen quality, fertility, pig breeds, Large White, Landrace, Duroc, Maxgro.

Abstract. *The primary purpose of this work is to study the heat stress on the quality of sperm production in boars of different breeds (Large White, Landrace, Duroc, Maxgro). The authors found that heat stress affects the activity of pigs. The desire to reduce heat production leads to sedentary, passive*

animals, accompanied by decreased appetite, shortness of breath and inhibition of sexual reflexes in individuals. Against this background, the disturbances arising in the body, reinforced by a local increase in scrotal temperature, harm semen quality. The authors observed a tendency for decreased ejaculate volume and a decrease (statistically significant in most breeds) in the sperm concentration in the ejaculate by 11.47-34.96%. But at the same time, the organoleptic values (colour, consistency, smell) did not change. Heat stress hurts the fertility of pigs, reducing the probability of successful embryo implantation. The fertility of sow inseminated with semen from boars during heat stress decreased by 10.3-23.7%. And also, the fertility of the sow did not reach pre-stress levels until the end of the observation. Based on the study results, the authors found that, depending on the breed, pigs can tolerate heat stress in a more severe or milder form. The species Large White and Maxgro are less sensitive to increased ambient temperature (they had fewer changes in general condition, semen and fertility) than Duroc and Landrace pigs.

Тепловой стресс – это серьезная проблема почти всех отраслей животноводства, негативно влияющая на благополучие животных [1, 2]. Когда животные подвергаются воздействию условий среды, которые превышают их термонеутральную зону, эффективность производства снижается, потому что приоритет использования питательных веществ переориентируется на эвтермию [3]. Тепловой стресс является проблемой не только тропических стран, но и стран с умеренным или резко-континентальным климатом, характеризующимся достаточно жарким летом [4]. Проблему теплового стресса обостряет генетическая селекция по показателям продуктивности (например, приросту массы тела, удою), в результате у животных снижается устойчивость к стрессу, поскольку эти показатели связаны с повышенной метаболической выработкой тепла [2, 4].

В свиноводстве экономические потери, связанные с тепловым стрессом, в основном объясняются замедленным и непостоянным ростом, снижением эффективности использования корма, качества туш (повышенное отложение липидов), плохой продуктивностью и оплодотворяемостью свиноматок, повышенной смертностью и заболеваемостью [2, 5]. Нарушение репродуктивной функции у хряков, подвергшихся тепловому стрессу, наблюдается вследствие нарушения сперматогенеза, снижения качества спермы (уменьшение концентрации сперматозоидов, их подвижности, появление большого количества аномальных спермиев) и, следовательно,

ее оплодотворяющей способности [3, 6–8]. Таким образом, тепловой стресс затрагивает практически все экономически важные показатели отрасли свиноводства.

В одном из свиноводческих племенных репродукторов, расположенных в центре европейской части России, произошел сбой работы системы кондиционирования на площадке свиноводческого племенного репродуктора и значительное повышение температуры, что и послужило поводом к проведению научного анализа.

Целью нашего исследования было изучение влияния теплового стресса на качество спермопродукции хряков-производителей разных пород (крупная белая, ландрас, дюрок, максгро) и её оплодотворяющую способность.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на площадке свиноводческого племенного репродуктора, расположенного в центре европейской части России. Анализ данных проводили с 1 июня по 3 сентября с временным интервалом 1 неделя. В опыт были взяты хряки пород крупная белая – 19 голов, ландрас – 17, дюрок – 11, максгро – 9 голов.

Материалом для анализа служили данные регистрации температуры в секторе содержания хряков-производителей, качество спермопродукции и данные об оплодотворяемости свиноматок.

Измерение температуры в помещении осуществлялось электронным термометром, подвешенным в центральной части корпуса. Данные с термометра передавались в систему вентиляции Valtonic, работающую совместно с промышленным кондиционером Ferroli FTP. Ввиду максимального повышения температуры в секторе в дневное время нами проводился анализ данных, полученных в 8:00, 12:00 и 16:30 ч.

Полученную от производителей сперму подвергали исследованию, определяя её пригодность для осеменения маток. Для всесторонней оценки качества спермы использовали методы, нашедшие широкое применение в производственных условиях. Оценка качества свежеполученной спермы проводилась по нескольким показателям: объем эякулята, цвет, консистенция, запах, концентрация, подвижность спермиев. Объем эякулята определяли по делениям на спермоприемнике, цвет, запах и консистенцию – органолептически [9]. Содержание сперматозоидов с прямолинейным поступательным движением определяли в раздавленной капле под микроскопом в проходящем свете при увеличении $\times 100-180$ [10]. Концентрацию сперматозоидов устанавливали по оптической плотности спермы фотометром Spermata Cue.

Свиноматок осеменяли разбавленной спермой с концентрацией более 2,5 млрд сперматозоидов в 1 спермодозе и подвижностью не ниже 70%, контроль супоросности проводили ультразвуковым сканером Draminski Animal Profi на 23-й день после осеменения.

Построение диаграмм и статистическую обработку данных осуществляли в программе Microsoft Excel (2016), для расчета статистической значимости результатов использовали надстройку «Анализ данных».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На формирование микроклимата в помещениях свиноводческого комплекса значительное влияние оказывают природно-климатические условия центра европейской

части России, характеризующиеся умеренно теплым климатом (с тенденцией к потеплению) со сравнительно продолжительным летом и высокой относительной влажностью воздуха [11]. Относительно постоянная температура в секторе содержания хряков на свиноводческом комплексе обеспечивается автоматизированной системой вентиляции Valtonic, работающей в комплексе с промышленным кондиционером Ferroli FTP, которые поддерживают комфортную температуру в пределах 18,0-19,0°C независимо от времени года.

Дневная температура на площадке свиноводческого племенного репродуктора в июне, до сбоя работы системы кондиционирования (с 1 по 21 июня), составляла $19,44 \pm 0,09^\circ\text{C}$. С 22 июня по 1 августа в работе автоматизированной системы вентиляции и кондиционирования наблюдали сбои, сопровождающиеся значительным повышением температуры, которая в этот период колебалась в пределах от $22,64 \pm 0,44$ до $27,68 \pm 1,36^\circ\text{C}$ (рис. 1).

Максимальная температура в помещении была зафиксирована в период с 7 по 13 июля, при этом утренняя температура (в 8:00 ч) была на $4,71 \pm 0,82^\circ\text{C}$ ниже дневной (16:30 ч). Повышение температуры было обусловлено стабильно высокой температурой окружающей среды, в результате чего происходил нагрев конструкции помещений.

Для адекватной терморегуляции необходим градиент температуры между животным и окружающей средой. При повышении температуры окружающей среды кровь перераспределяется к коже, тем самым увеличивает отделение тепла с поверхности тела. При дальнейшем повышении температуры окружающей среды (градиент температуры между животным и окружающей средой сокращается или становится отрицательным) механизмы терморегуляции затрудняются, что приводит к стрессу. У свиней мало функциональных потовых желез, кроме того, терморегулирующая способность дополнительно осложняется толстым слоем подкожного жира, что ставит свиней в зависимость от дыхательного пути отведения тепла и ведет к появлению

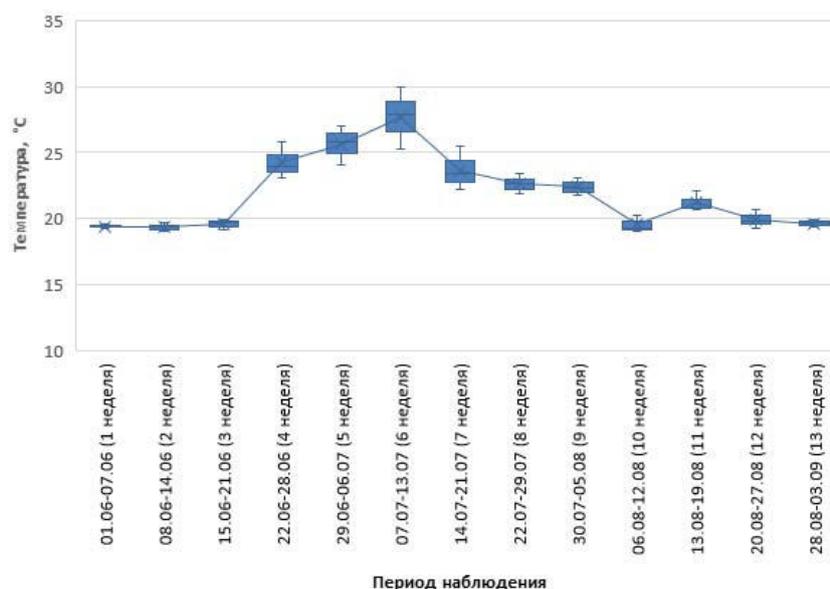


Рис. 1. Колебания дневной температуры в секторе содержания хряков-производителей племенного репродуктора
Fluctuations of daily temperature in the boar housing sector of a breeding stud farm

одышки [12, 13]. Если отведение тепла для поддержания эвтермии неадекватно, свиньи инициируют различные способы минимизации производства тепла: уменьшение потребления корма, снижение физической активности, среднесуточного прироста массы тела и т.д. [3].

Наблюдая за свиньями в период теплового стресса, мы также обратили внимание на малоподвижность, вялость животных, снижение аппетита, у некоторых свиней отмечали одышку и торможение половых рефлексов.

Растущее количество данных свидетельствует о том, что тепловой стресс негативно влияет на желудочно-кишечный тракт, нарушая целостность кишечного барьера, что вызывает местную и системную воспалительную реакцию, способствует активации иммунитета, является толчком для нарушения репродукции, роста и лактации [1]. Кроме того, повышенная температура окружающей среды оказывает прямое негативное влияние на терморегуляторную функцию мошонки, что также оказывает сильное влияние на качество спермы [14–16].

В своих исследованиях мы проводили оценку объема эякулята (рис. 2). У хряков породы дюрок объем эякулята уже в первую неделю теплового стресса (с 22 по 28 июня)

уменьшился на 15,12% относительно до-стрессовых показателей, максимальное его уменьшение (на 32,33%) фиксировали в период максимально высокой температуры среды (с 7 по 13 июля). Восстановление объема эякулята произошло к 22–29 июля. У хряков породы ландрас происходило сначала постепенное снижение объема эякулята, затем, в период с 14 по 21 июля, резкое его уменьшение (на 43,27%), а через неделю такое же резкое увеличение (на 45,52%). У хряков породы крупная белая максимальное снижение объема эякулята (на 25,23 %) наблюдали в период 7 по 13 июля. Хряки породы максгро оказались менее чувствительными к тепловому стрессу, колебания объема эякулята имели умеренный характер, максимальное он снизился на 20,16%. Следует отметить, что данные по объему эякулята не были статистически значимы ($P \geq 0,05$) на протяжении всего периода наблюдения.

Органолептическими исследованиями отклонений в качестве спермы не выявили. Сперма хряков-производителей всех пород в период исследования имела белый цвет со слегка сероватым оттенком, водянистую консистенцию и слабый специфический запах. Количество в сперме сперматозоидов с прямолинейным поступательным движе-

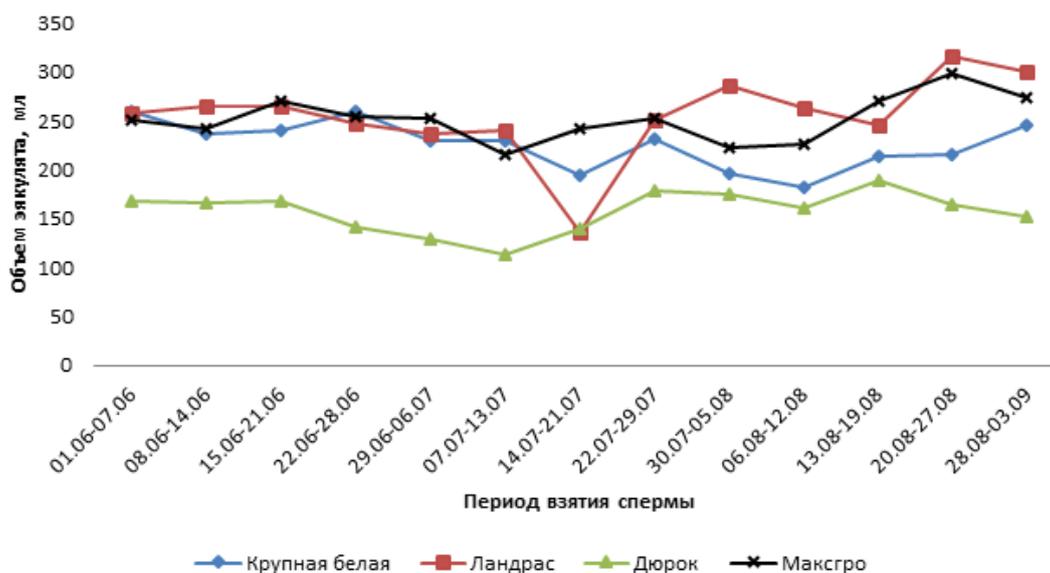


Рис. 2. Динамика изменения объема эякулята
Changes in ejaculate volume

ем колебалось в пределах 70,82–79,01% и не отличалось у хряков разных пород.

Под влиянием температурного стресса у свиней снижалась концентрация сперматозоидов. Как показано на рис. 3, снижение концентрации происходило у хряков всех пород. Наибольшее снижение концентрации сперматозоидов в эякуляте отмечали в период с 7 по 21 июля. Так, у крупной белой породы свиней концентрация сперматозоидов статистически значимо снизилась по сравнению с дострессовым периодом на 11,47%

(с $348,26 \pm 6,73$ до $308,30 \pm 7,49$ млн/мл; $P \leq 0,05$), у породы максгро – на 13,96% (с $345,39 \pm 8,57$ до $259,35 \pm 16,24$ млн/мл; $P \leq 0,05$), у породы дюрок – на 34,96% (с $388,34 \pm 10,66$ до $252,56 \pm 20,53$ млн/мл; $P \leq 0,001$), у породы ландрас – на 20,82% (с $299,10 \pm 10,71$ до $236,83 \pm 20,81$ млн/мл; $P \geq 0,05$). Таким образом, наибольший отрицательный эффект в отношении концентрации сперматозоидов в эякуляте температурный стресс оказал на породе дюрок.

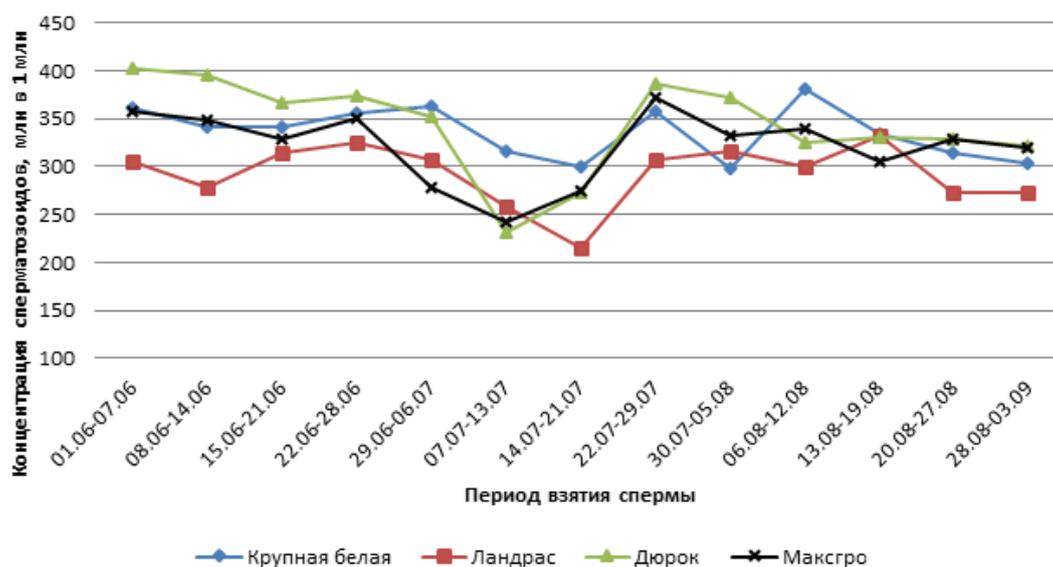


Рис. 3. Динамика изменения концентрации сперматозоидов
Evolution of spermatozoa concentration

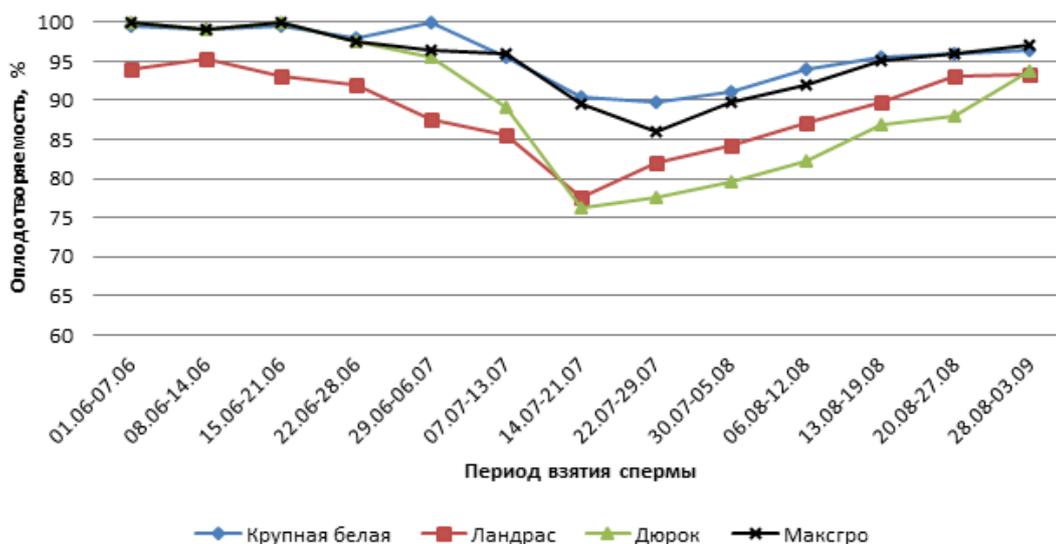


Рис. 4. Оплодотворяемость свиноматок
Fertilization rate of sows

Тепловой стресс негативно сказывается на оплодотворяемости свинок, уменьшая вероятность успешной имплантации эмбриона и ухудшая его развитие [15, 17]. Нашими исследованиями установлено, что резкое снижение оплодотворяемости произошло в период с 14 по 29 июля (рис 4). Большую чувствительность при этом проявили свинки пород дюрок и ландрас, у них оплодотворяемость снизилась на 23,7 и 17,6 % соответственно. Более устойчивыми к тепловому стрессу оказались породы максгро и крупная белая, у них оплодотворяемость снизилась на 13,9 и 10,3% соответственно. Следует отметить, что независимо от породы оплодотворяемость восстанавливалась медленно и к концу наблюдения так и не достигла дострессовых показателей.

Как показывает коэффициент корреляции, повышение температуры среды имеет слабую обратную отрицательную связь с изученными нами показателями – объемом эякулята ($r = -0,60$), концентрацией сперматозоидов ($r = -0,48$) и оплодотворяемостью ($r = -0,31$).

ВЫВОДЫ

1. Тепловой стресс влияет на активность свиной, минимизация производства тепла

приводит к малоподвижности, вялости животных, сопровождается снижением аппетита, у отдельных особей возникает одышка и торможение половых рефлексов.

2. Высокая температура окружающей среды оказывает негативное влияние на качество спермы. Наблюдается тенденция к уменьшению объема эякулята и снижению (у большинства пород статистически значимо) концентрации сперматозоидов в эякуляте на 11,47-34,96%.

3. Концентрация рекомбинантного белка и оплодотворяемость свинок, осемененных спермой, полученной от хряков в период теплового стресса, снижается на 10,3-23,7 %.

4. В зависимости от породной принадлежности свиной могут переносить тепловой стресс в более тяжелой или более легкой формах. Нами установлено, что породы свиной крупная белая и максгро менее чувствительны к повышению температуры окружающей среды (у них меньше изменялись показатели общего состояния, спермы и оплодотворяемости), чем пород дюрок и ландрас.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Biology of heat stress; the nexus between intestinal hyperpermeability and swine reproduction* / E. Mayorga, J. Ross, A. Keating [et al.] [Электронный ресурс] // *Theriogenology*. – 2020. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X20303071> (дата обращения: 13.12.2020).
2. *Baumgard L.H., Rhoads Jr R.P.* Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetic [Электронный ресурс] // *Annu. Rev. Anim. Biosci.* – 2013. – Vol. 1, N 1. – P. 311–337. – Режим доступа: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-animal-031412-103644> (дата обращения: 13.12.2020).
3. *Heat stress adaptations in pigs* / E.J. Mayorga, D. Renaudeau, B.C. Ramirez [et al.] [Электронный ресурс] // *Animal Frontiers*. – 2019. – Vol. 9, N 1. – P. 54–61. – Режим доступа: <https://academic.oup.com/af/article-abstract/9/1/54/5146740> (дата обращения: 13.12.2020).
4. *Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production* / D. Renaudeau, A. Collin, S. Yahav [et al.] [Электронный ресурс] // *Animal: an international journal of animal bioscience*. – 2012. – Vol. 6, N 5. – P. 707. – Режим доступа: http://www.academia.edu/download/42384155/Adaptation_to_hot_climate_and_strategies20160208-6190-11phpmf.pdf (дата обращения: 13.12.2020).
5. *Physiological consequences of heat stress in pigs* / J. Ross, B. Hale, N. Gabler [et al.] [Электронный ресурс] // *Animal Production Science*. – 2015. – Vol. 55, N 12. – P. 1381–1390. – Режим доступа: <http://www.publish.csiro.au/an/an15267> (дата обращения: 13.12.2020).
6. *Левин К.* Физиология и патология воспроизводства свиней. – М.: Росагропромиздат, 1990. – С. 62–65.
7. *Снижение последствий теплового стресса у хряков-производителей в жаркое время года* [Электронный ресурс] / А.Г. Нарижный, А.Ч. Джамалдинов, Н.И. Крейндлинка, А.А. Файнов // *Науково-технічний бюллетень*. – 2014. – № 112. – С. 97–102. – Режим доступа: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Ntb_2014_112_17.pdf (дата обращения: 13.12.2020).
8. *Development of predictive models for boar semen quality* / D. Kuhlitz, C. Kuhlitz, M. Aepli [et al.] [Электронный ресурс] // *Theriogenology*. – 2019. – Vol. 134. – P. 129–140. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X19301621> (дата обращения: 13.12.2020).
9. *ГОСТ Р 33827-2016 Средства воспроизводства. Сперма хряков свежеполученная разбавленная. Технические условия* [Электронный ресурс]. – М.: Стандартинформ, 2016. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200139193> (дата обращения: 13.12.2020).
10. *ГОСТ 32277-2013 Средства воспроизводства. Сперма. Методы испытаний физических свойств и биологического, биохимического, морфологического анализов*. – М.: Стандартинформ, 2014. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200105461> (дата обращения: 13.12.2020).
11. *Радцевич Г.А., Черемисинов А.А., Черемисинов А.Ю.* Исследование тенденций изменения климата на европейской части Российской Федерации за длительный период [Электронный ресурс] // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета* – 2017. – № 4 – С. 30–40. – Режим доступа: <http://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2018/04/30-40.pdf> (дата обращения: 13.12.2020).
12. *Collier R.J., Gebremedhin K.G.* Thermal biology of domestic animals [Электронный ресурс] // *Annu. Rev. Anim. Biosci.* – 2015. – Vol. 3, N 1. – P. 513–532. – Режим доступа: <https://>

- www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-animal-022114-110659 (дата обращения: 13.12.2020).
13. *Wettemann R., Bazer F.* Influence of environmental temperature on prolificacy of pigs [Электронный ресурс] // *Journal of reproduction and fertility. Supplement.* – 1985. – Vol. 33. – P. 199. – Режим доступа: <https://europemc.org/article/med/3910825> (дата обращения: 13.12.2020).
 14. *Gorski K., Kondracki S., Wysokinska A.* Effects of season on semen parameters and relationships between selected semen characteristics in Hypor boars [Электронный ресурс] // *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences.* – 2017. – Vol. 41, N 4. – P. 563–569. – Режим доступа: <https://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/abstract.htm?id=21099> (дата обращения: 13.12.2020).
 15. *Stress and its influence on reproduction in pigs: a review / S. Einarsson, Y. Brandt, N. Lundeheim, A. Madej* [Электронный ресурс] // *Acta Veterinaria Scandinavica.* – 2008. – Vol. 50, N 1. – P. 1–8. – Режим доступа: <https://actavetscand.biomedcentral.com/articles/10.1186/1751-0147-50-48> (дата обращения: 13.12.2020).
 16. *Влияние температурного фактора на спермопродукцию и воспроизводительные качества хряков-производителей / И. Рачков, В. Погодаев, Л. Кононова, Л. Смирнова, Л. Ворсина* [Электронный ресурс] // *Сельскохозяйственный журнал.* – 2020. – Т. 13, № 1. – Режим доступа: <https://ojs.fnac.center/index.php/agricultural-journal/article/view/74> (дата обращения: 13.12.2020).
 17. *Physiological mechanisms through which heat stress compromises reproduction in pigs / J.W. Ross, B.J. Hale, J.T. Seibert [et al.]* [Электронный ресурс] // *Molecular reproduction and development.* – 2017 – Vol. 84, N 9. – P. 934–945. – Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mrd.22859> (дата обращения: 13.12.2020).

REFERENCES

1. *Mayorga E., Ross J., Keating A., Rhoads R., Baumgard L., Biology of heat stress; the nexus between intestinal hyperpermeability and swine reproduction, Theriogenology, 2020, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X20303071> (December 13, 2020).*
2. *Baumgard L.H., Rhoads Jr R.P., Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetic, Annu. Rev. Anim. Biosci, 2013, Vol. 1, No. 1, pp. 311–337, available at: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-animal-031412-103644> (December 13, 2020).*
3. *Mayorga E.J., Renaudeau D., Ramirez B.C., Ross J.W., Baumgard L.H., Heat stress adaptations in pigs, Animal Frontiers, 2019, Vol. 9, No. 1, pp. 54–61, available at: <https://academic.oup.com/af/article-abstract/9/1/54/5146740> (December 13, 2020).*
4. *Renaudeau D., Collin A., Yahav S., De Basilio V., Gourdine J.-L., Collier R., Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production, Animal: an international journal of animal bioscience, 2012, Vol. 6, No. 5, pp. 707, available at: http://www.academia.edu/download/42384155/Adaptation_to_hot_climate_and_strategies20160208-6190-11phpmf.pdf (December 13, 2020).*
5. *Ross J., Hale B., Gabler N., Rhoads R., Keating A., Baumgard L., Physiological consequences of heat stress in pigs, Animal Production Science, 2015, Vol. 55, No. 12, pp. 1381–1390, available at: <http://www.publish.csiro.au/an/an15267> (December 13, 2020).*
6. *Levin K., Fiziologiya i patologiya vosproizvodstva svinei (Physiology and pathology of pig reproduction), Moscow: Rosagropromizdat, 1990, pp. 62–65.*
7. *Narizhnyi A.G., Dzhamaaldinov A.Ch., Kreindlina N.I., Fainov A.A., Naukovo-tekhnichnii byulleten', 2014, No. 112, pp. 97–102, available at: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_*

- DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Ntb_2014_112_17.pdf (December 13, 2020) (In Ukr.).
8. Kuhlartz D., Kuhlartz C., Aeppli M., Schumann B., Grossfeld R., Bortfeldt R., Jakob U., Jung M., Schulze M., Development of predictive models for boar semen quality, *Theriogenology*, 2019, Vol. 134, pp. 129–140, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X19301621> (December 13, 2020).
 9. *GOST R 33827-2016* (Means of reproduction. Boar semen freshly obtained diluted. Technical conditions), Moscow: Standartinform, 2016, available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200139193> (December 13, 2020).
 10. *GOST 32277-2013* (Reproduction means. Sperm. Methods of physical properties and biological, biochemical, morphological analyzes), Moscow: Standartinform, 2014, available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200105461> (December 13, 2020).
 11. Radtsevich G.A., Cheremisinov A.A., Cheremisinov A.Yu., *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, No. 4, pp. 30–40, available at: <http://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2018/04/30-40.pdf> (December 13, 2020) (In Russ.).
 12. Collier R.J., Gebremedhin K.G., Thermal biology of domestic animals, *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 2015, Vol. 3, No. 1, pp. 513–532, available at: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-animal-022114-110659> (December 13, 2020).
 13. Wettemann R., Bazer F., Influence of environmental temperature on prolificacy of pigs, *Journal of reproduction and fertility. Supplement*, 1985, Vol. 33, pp. 199, available at: <https://europepmc.org/article/med/3910825> (December 13, 2020).
 14. Gorski K., Kondracki S., Wysokinska A., Effects of season on semen parameters and relationships between selected semen characteristics in Hypor boars, *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 2017, Vol. 41, No. 4, pp. 563–569, available at: <https://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/abstract.htm?id=21099> (December 13, 2020).
 15. Einarsson S., Brandt Y., Lundeheim N., Madej A., Stress and its influence on reproduction in pigs: a review, *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2008, Vol. 50, No. 1, pp. 1–8, available at: <https://actavetscand.biomedcentral.com/articles/10.1186/1751-0147-50-48> (December 13, 2020).
 16. Rachkov I., Pogodaev V., Kononova L., Smirnova L., Vorsina L., *Sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*, 2020, Vol. 13, No. 1, available at: <https://ojs.fnac.center/index.php/agricultural-journal/article/view/74> (December 13, 2020) (In Russ.).
 17. Ross J.W., Hale B.J., Seibert J.T., Romoser M.R., Adur M.K., Keating A.F., Baumgard L.H., Physiological mechanisms through which heat stress compromises reproduction in pigs, *Molecular reproduction and development*, 2017, Vol. 84, No. 9, pp. 934–945, available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mrd.22859> (December 13, 2020).