

<https://doi.org/10.31043/2410-2733-2020-2-3-9>

УДК 636.1:636.082:591.463.15:591.11:575

Л. А. Храброва, В. А. Науменкова, М. М. Атрощенко

Антигенный состав систем групп крови и качество спермы жеребцов разных пород

Аннотация. Искусственное осеменение кобыл криоконсервированной спермой достаточно широко распространено в практике коневодства и способствует повышению эффективности генетического улучшения и сохранения пород. Цель наших исследований — изучение ассоциаций систем эритроцитарных антигенов с качеством спермы жеребцов до и после замораживания, проведенное с учетом их породной принадлежности. Проведена оценка спермопродукции 141 жеребца, протестированного по А, С, D и K системам групп крови, включающим 13 эритроцитарных антигенов (Aa, Ad, Ca, Da, Db, Dc, Dd, De, Dg, Dh, Dk, Dm и Ka). Оценку криоконсервированной спермы проводили по средним показателям активности спермиев в баллах и времени выживаемости в часах. Подвижность свежеполученной спермы жеребцов варьировала в интервале 1,2–8,5 баллов при среднем значении 4,45 балла и незначительными различиями между представителями разных породных типов. Лучшие показатели активности (2,24 балла) и выживаемости (77 ч) криоконсервированной спермы имели жеребцы отечественных тяжелоупряжных пород. Выявлено влияние А системы групп крови ($F=3,023$, $P=0,006$) на активность свежей спермы. Сравнительно хорошим качеством криоконсервированной спермы выделялись производители верховых пород с наличием антигенов Dc, Dg и Dm, орловские рысистые жеребцы с Ca, K⁺, Dg и Dk, а также представители призовых и тяжелоупряжных пород с Dd. Полученные результаты свидетельствуют, что в породах разных направлений под влиянием селекции формируются специфические генные комплексы и ассоциации с продуктивными признаками, что необходимо учитывать в методологии научных исследований.

Ключевые слова: группы крови, жеребцы, качество спермы, криоконсервация, эритроцитарные антигены.

Авторы:

Храброва Людмила Александровна — доктор сельскохозяйственных наук, профессор; e-mail: l.khrabrova@yandex.ru;

Науменкова Валентина Алексеевна — кандидат биологических наук; e-mail: naumenkova00@mail.ru;

Атрощенко Михаил Михайлович — кандидат биологических наук; e-mail: atromiks-77@mail.ru.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства»; 391105, Россия, Рязанская область, Рыбновский р-он, п. Дивово.

Введение. Разработка метода искусственного осеменения, а затем и технологии криоконсервации семени сельскохозяйственных животных, стала основой биотехнологии воспроизводства и существенно повысила эффективность племенной работы в животноводстве [1, 2]. В настоящее время плодovitость производителей является важным экономическим фактором развития коневодства, особенно в условиях малочисленности пород. Исследователями установлено, что на качество спермы жеребцов и ее пригодность к замораживанию влияет множество факторов, включая возраст, на-

следственность, гормональную регуляцию, рацион, условия содержания и др. [3, 4, 5, 6].

Связь эритроцитарных антигенов с показателями качества спермы практически не изучена, хотя имеются публикации, посвященные влиянию групп крови и их сочетаемости на процессы воспроизводства. В работе Lazary S. et.al. [7] показана возможность повышения оплодотворяемости кобыл с учетом иммуногенетических маркеров, однако связь этих маркеров с показателями спермы не изучалась. Установлено, что степень различий между жеребцами и матками по антигенам

групп крови оказывает влияние на показатели воспроизводства [8].

Иммуногенетические факторы, несомненно, играют важную роль в процессах оплодотворения, имплантации и вынашивания плода [9, 10]. У лошадей описаны семь систем групп крови, при этом несовместимость кобылы и приплода по некоторым антигенам (Aa, Ca, Pa и Qa) может стать причиной гемолитической болезни и гибели новорожденных жеребят [11, 12]. С помощью молекулярно-генетических методов изучения генома млекопитающих установлено, что на продукцию фертильных сперматозоидов оказывает влияние более чем 200 генов. У жеребцов выявлены генетические маркеры *CRISP3*, *SPATA1* и *INHBA*, ассоциированные с уровнем зажеребляемости кобыл [13, 14].

В последние годы появились новые данные, подтверждающие связь антигенного состава групп крови жеребцов с показателями качества их спермопродукции [15, 16], но данные исследования выполнены на небольшом поголовье производителей без учета геномных особенностей разных пород.

Цель исследований — изучение влияния антигенного состава эритроцитов на качество свежеполученной и криоконсервированной спермы жеребцов-производителей с учетом их породных особенностей.

Материалы и методы. Материалом для исследований служила база данных качества свежей и криоконсервированной спермы жеребцов-производителей ($n=141$) разных пород, полученных из Биоресурсной коллекции «Криобанк генетических ресурсов» ФГБНУ «ВНИИ коневодства», собранной в течение 30 лет. От каждого жеребца получено как минимум 3 эякулята, в среднем по всем группам этот показатель составил 17,6. Возраст жеребцов в периоды взятия спермы колебался в интервале 4–20 лет при среднем значении 10,3 года. Сперму жеребцов получали на искусственную вагину по общепринятой методике с интервалом 1–3 раза в неделю и оценивали ее качественные показатели, включая активность в баллах. Полученные эякуляты разбавляли ЛХЦЖ средой в соотношении 1:3 и замораживали в соответствии с рекомендациями [17]. Оценку замороженно-оттаянной спермы проводили по показателям активности спермиев в процентах и времени выживаемости в часах (при температуре 4°C). Исследования качества спермы жеребцов проводили с использованием оборудования ЦКП «ВНИИ коневодства». Анализ качества спермы жеребцов осуществляли по средним показателям оценочных параметров.

Иммуногенетическое тестирование лошадей проводили в лаборатории генетики ВНИИ коневодства по A, C, D и K системам групп крови, включающим 13 эритроцитарных антигенов (Aa, Ad, Ca, Da, Db, Dc, Dd, De, Dg, Dh, Dk, Dm, Ka) [18]. Используемые сыворотки-реагенты неоднократно успешно прошли сравнительные испытания (Horse Comparison Test), проводимые Международным обществом генетики животных (ISAG).

Жеребцы-производители были разделены на 4 группы с учетом породных особенностей и антигенного спектра групп крови [19]. Первая группа включала жеребцов верховых и верхово-упряжных пород (арабской, ахалтекинской, буденновской, ганноверской, тракененской, чистокровной верховой и т.д.), 2-я — орловских рысаков, 3-я — рысаков призовых пород (американской стандарт-бредной, русской и французской рысистых), 4-я — представителей тяжелоупряжных пород (русской и советской тяжеловозной).

Биометрическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 12 (Stat Soft Statistica), рассчитывали средние значения, их стандартные ошибки, F- критерий Фишера и уровень его достоверности. Для определения различий значений показателей между выборками применяли алгоритм Дункана.

Результаты и их обсуждение. Активность свежеполученной спермы жеребцов варьировала в интервале 1,2–8,5 баллов при среднем значении 4,45 балла. Сравнительная оценка активности спермиев в свежеполученных эякулятах жеребцов разных групп показала, что при среднем значении 4,45 балла вариабельность этого показателя составляла 4,34–4,70 балла ($P<0,95$). Наиболее высокая подвижность спермиев была отмечена у рысаков призовых пород (3 группа), сравнительно невысокий показатель активности спермы был определен в наиболее многочисленной группе верховых жеребцов (табл. 1).

Лучшие показатели активности и выживаемости замороженной спермы имели жеребцы-производители 4-й группы, представленной советскими и русскими тяжеловозами. Очевидно, что тяжелоупряжные породы лошадей отечественной селекции характеризуются не только крепостью конституции, но и хорошими воспроизводительными качествами, чем выгодно отличаются от тяжело-возов зарубежных пород, характеризующихся невысоким качеством спермопродукции [2].

Сравнительный анализ качества спермы жеребцов с разными генотипами по A-системе групп крови показал, что наличие антигена Aa оказывает неоднозначное влияние на подвижность сперматозоидов до и после криоконсервации (табл. 2).

Таблица 1. Показатели качества свежей и замороженной спермы жеребцов-производителей разных пород

Породная группа	N	Средний возраст	Свежая сперма	Замороженно-оттаянная сперма	
			Активность	Активность	Выживаемость
1. Верховые	77	10,5±0,55	4,34±0,119	1,81±0,080	68,31±3,58
2. Орловская рысистая	30	9,8±0,68	4,51±0,123	1,67±0,106	70,00±5,78
3. Призовые рысаки	22	10,7±0,73	4,70±0,143	1,85±0,121	76,14±5,20
4. Тяжелоупряжные	12	9,3±1,53	4,55±0,306	2,24±0,179	77,00±6,68
Итого	141	10,3±0,38	4,45±0,078	1,83±0,056	70,63±2,51

При этом во всех анализируемых группах жеребцы с антигеном Аа имели более низкие показатели выживаемости спермиев, хотя различия между альтернативными группами не были статистически значимыми ($P < 0,05$).

Данные, приведенные в таблице 2, свидетельствуют о сравнительно высокой частоте встречаемости фактора Аа у жеребцов верховых и рысистых пород. Следует отметить и значительную индивидуальную вариабельность выживаемости спермы жеребцов всех четырех групп, особенно при отсутствии антигена Аа.

Влияние двухаллельных систем групп крови С и К на показатели как свежеполученной, так и замороженной спермы было очень незначительным (табл. 3). Наличие антигена Са ассоциировалось с более низкой активностью свежей и оттаянной спермы у жеребцов верховых пород, тогда как орловские рысаки с данным фактором имели несколько лучшие показатели свежей и криоконсервированной спермы. Разнонаправленные векторы влияния фактора Ка на качество спермы жеребцов зарегистрированы во 2 и 3 группах рысаков, при этом у орловских рысистых жеребцов, в отличие от стандартбредных и французских рысистых, наблюдалось снижение показателей ак-

тивности и выживаемости криоконсервированной спермы.

Оценка влияния факторов D системы групп крови на качество криоконсервированной спермы жеребцов была связана с определенными сложностями, обусловленными породной специфичностью аллелофонда и большим разнообразием аллелей и гаплотипов. Так, например, антиген Da и гаплотип Dad встречался фактически только у орловских рысистых жеребцов, тогда как эритроцитарные факторы Db, Dc, Dd, De, Dg, Dh, Dm присутствовали у жеребцов всех четырех групп.

Среди верховых жеребцов 1-ой группы сравнительно хорошим качеством криоконсервированной спермы выделялись производители с наличием антигенов Dc, Dg и Dm, образующих гаплотип Dcgm (активность 1,94 балла, выживаемость 74,2 ч), тогда как особи с отсутствием факторов Dd и De имели самые низкие показатели в своей группе.

У орловских рысистых жеребцов наблюдали положительную ассоциацию антигенов Dg и Dk с показателями качества свежей и криоконсервированной спермы, тогда как в 3-ей группе призовых пород лучшими оказались производители с факторами Dd и Dk.

Таблица 2. Показатели качества спермы жеребцов в зависимости от наличия антигена Аа в генотипе

Группа жеребцов	Наличие антигена ЕААа	n	Возраст	Активность свежей спермы	Активность оттаянной спермы	Выживаемость оттаянной спермы
1	А-	4	9,5	3,70±1,072	1,68±0,536	84,50±27,281
	Аа	73	10,5	4,38±0,113	1,81±0,060	67,43±3,520
2	А-	2	7,5	5,00±0,00	2,00±0,000	84,00±36,00
	Аа	28	10,0	4,48±0,130	1,65±0,113	69,00±5,867
3	А-	1	16,0	4,50	2,00	96,00
	Аа	22	10,4	4,70±0,150	1,85±0,536	75,19±5,365
4	А-	6	11,5	4,72±0,295	2,25±0,262	80,00±10,583
	Аа	6	7,2	4,38±0,560	2,23±0,268	74,00±8,889
Итого	А-	13	10,6	4,43±0,355	2,02±0,201	83,23±9,84
	Аа	128	10,3	4,45±0,079	1,81±0,058	69,35±2,563

Жеребцы тяжелоупряжных пород с антигенами Dd имели лучшие по группе качественные показатели свежеполученной и замороженно-оттаянной спермы по сравнению со всеми другими генетическими вариантами, но различия между ними не были статистически значимыми.

Дисперсионный анализ влияния эритроцитарных антигенов A, C, D и K системам групп крови на качество спермы жеребцов (табл. 3) показал, что только фактор EAAa оказывает небольшое и достоверное влияние на активность свежеполученной спермы ($F=3,023$, $P=0,006$). По нашим данным определенное влияние на показатели качества спермопродукции оказывал возраст жеребцов ($F=2,17$, $P=0,041$).

Среди трех других систем групп крови на активность свежеполученной спермы в наибольшей степени влияло наличие антигена Ka ($F=2,277$, $P=0,065$), достоверность которого приближалась к статистически значимой величине. Ассоциация антигенного состава эритроцитов систем крови с показателями активности и выживаемости замороженной спермы была менее значимой ($F=2,031-0,504$) и недостоверной ($P=0,083-0,830$).

Проведенный анализ взаимосвязи таких факторов, как породный тип и возраст жеребцов с качественными показателями свежеполученной и криоконсервированной спермы в целом подтвердил рабочую гипотезу, что геномные особенности конских пород могут оказывать значительное влияние на выраженность и достоверность ассоциаций генов с отдельными хозяйственно-ценными признаками, включая качество спермопродукции жеребцов-производителей. По нашим данным на ба-

зе F-статистики только антиген Aa оказывал достоверное влияние на активность свежей спермы жеребцов ($F=3,023$, $P=0,006$). Величина влияния антигенов трех других систем крови (C, D и K) на качественные параметры свежей и криоконсервированной спермы варьировала в интервале 0,08–2,28 и была недостоверной ($P<0,95$). Обращает на себя внимание и тот факт, что антигены D-системы групп крови, ассоциированные с высокими качественными показателями спермы, были характерны для генетической структуры данной группы пород.

Недавно полученные данные полногеномного ассоциативного анализа (GWAS) качества криоконсервированной спермы жеребцов с использованием компьютерного анализатора CASA свидетельствуют о достоверном влиянии генов, локализованных на 1 и 4 хромосомах [20, 21]. Очевидно, что гены с другой хромосомной локализацией, к которым относятся и изучаемые антигенные эритроцитарные факторы, не могут оказывать существенного влияния на активность спермиев.

По нашим данным определенное влияние на показатели качества спермопродукции оказывал возраст жеребцов ($F=2,17$, $P=0,041$), что подтверждают и другие исследования [2, 22]. В наших исследованиях средний возраст жеребцов разных групп варьировал в узком интервале 9,3–10,7 лет. По этому показателю сравниваемые выборки были достаточно выровненными, а полученные результаты вполне сопоставимыми.

Закключение. Анализ взаимосвязи показателей спермы жеребцов с антигенным составом групп крови выявил достоверное влияние A системы

Таблица 3. Влияние антигенов систем групп крови на показатели спермы жеребцов

Система групп крови / эритроцитарные антигены	Активность свежей спермы		Активность оттаянной спермы		Выживаемость оттаянной спермы	
	F	P	F	P	F	P
EAAa	3,023**	0,006	1,108	0,361	0,076	0,451
EACa	1,474	0,209	0,921	0,473	2,030	0,086
EAKa	2,277	0,065	1,055	0,399	1,565	0,192
EADa	1,022	0,407	0,401	0,847	0,527	0,755
EADb	1,690	0,116	1,363	0,225	1,365	0,224
EADc	0,702	0,648	0,927	0,478	1,909	0,083
EADd	1,064	0,390	1,418	0,202	0,972	0,454
EADe	0,864	0,537	0,821	0,571	0,504	0,830
EADg	1,165	0,326	0,922	0,492	0,943	0,475
EADh	1,522	0,164	1,518	0,166	1,386	0,215
EADk	0,755	0,590	1,135	0,345	1,346	0,341
EADm	0,763	0,600	1,165	0,328	1,382	0,225

Примечание: F- критерий Фишера, P — достоверность влияния F-критерия.

групп крови ($F=3,023$, $P=0,006$) на активность свежей спермы, при этом преимущество носителей фактора Aa было отмечено в основном у представителей верховых пород. Сравнительно хорошим качеством криоконсервированной спермы выделялись производители верховых пород с наличием антигенов Dc, Dg и Dm, тогда как у орловских рысистых жеребцов наблюдали положительную ассоциацию с антигенами Dg и Dk. Среди жеребцов призовых и тяжелоупряжных пород

лучшими по качеству спермопродукции были носители фактора Dd, при этом различия между производителями с разными генотипами были незначительными и недостоверными. Полученные результаты свидетельствуют, что в конских породах разных направлений продуктивности под влиянием селекции формируются специфические генные комплексы и ассоциации с продуктивными признаками, что необходимо учитывать в методологии научных исследований.

Литература

1. Курбатов А. Д., Платов Е. М., Корбан Н. В., Мороз Л. Г., Наук В. А. Криоконсервация спермы сельскохозяйственных животных. ВО Агропромиздат, 1988. — 256 с.
2. McKinnon A. O., Squires E. L., Vaala W. E., Varner D. D. Equine Reproduction. Second ed. Wiley-Blackwell. Iowa, 2011. 3132.
3. Atroshchenko M. M. Change in the ultrastructure of stallion spermatozoa under the effect of cryopreservation / M. M. Atroshchenko, E. E. Bragina // Russian Agricultural Sciences. — 2011. — № 37(2). — P. 175–178. doi: 10.3103/S1068367411020029.
4. Науменкова В. А. Оптимальный возраст жеребцов для эффективной криоконсервации спермы / В. А. Науменкова // Коневодство и конный спорт. — 2016. — № 6. — С. 13–15.
5. Науменкова В. А. Динамика качественных показателей спермы жеребцов в смежных поколениях / В. А. Науменкова, В. В. Калашников, А. В. Зайцев, М. М. Атрощенко, Т. В. Калашникова // Коневодство и конный спорт. — 2018. — № 2. — С. 32–35.
6. Федосова О. А. Мониторинг динамики половых гормонов у лошадей по сезонам года / О. А. Федосова, А. А. Терехина, О. В. Баковецкая // Коневодство и конный спорт. — 2010. — № 2. — С. 29–30.
7. Lazary S. Equine leukocyte antigen system / S. Lazary, A. L. de Weck, S. Bullen, R. Straub, H. Gerber // I. Serological studies. Transplantation. — 1980. — № 30(3). — P. 203–209.
8. Дубровская Р. М. Генетический полиморфизм белков и групп крови лошадей в аспекте повышения их плодовитости и работоспособности / Р. М. Дубровская, И. М. Стародумов // Иммуногенетика и селекция с.-х. жив-х. — М., 1986. — С. 93–100.
9. Емельяненко П. А. Иммунология животных в период внутриутробного развития. М. Агропромиздат. 1987.
10. Сердюк Г. Н. Группы крови и их значение в организме млекопитающих / Г. Н. Сердюк // Генетика и разведение животных. — 2018. — №2. — С. 94–100. doi: 10.31043/2410-2733-2018-2-94-100.
11. Nicholas, F. M. Introduction to veterinary genetics. 2nd ed. Blackwell Publishing, Oxford Univ. Press, 2008. — 282 с.
12. Храброва Л. А. Профилактика гемолитической болезни новорожденных жеребят / Л. А. Храброва // Коневодство и конный спорт. — 2017. — № 1. — С. 33–34.
13. Leeb T. The horse genome project—sequence based insights into male reproductive mechanisms / T. Leeb // Reprod. Domest. Anim. — 2007. — № 42 (2). — P. 45–50. doi: 10.1111/j.1439-0531.2007.00597.x.
14. Giesecke K. Infertility and candidate gene markers for fertility in stallions: a review / K. Giesecke, H. Sieme, O. Distl // Vet. J. — 2010. — № 185 (3). — P. 265–271. doi: 10.1016/j.tvjl.2009.07.024.
15. Tkachev A. V. Physiological relationship of erythrocyte antigens with indicators of horse spermogram / A. V. Tkachev, V. I. Sheremeta, O. L. Tkacheva, V. I. Rossokha // Fiziol. Zh. — 2017. — № 63(1). — P. 84–90. doi : 10.15407/fz63.01.084.
16. Ткачев А. В. Ассоциированность эритроцитарных антигенов с характеристиками спермы жеребцов после криоконсервирования / А. В. Ткачев, О. Л. Ткачева, В. И. Россоха // Сельскохозяйственная биология. — 2018. — Т. 53. — № 4. — С. 735–742. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.735rus.
17. Рекомендации по взятию, разбавлению и замораживанию спермы жеребцов. Дивово, 2006; 23 с.
18. Храброва Л. А., Зайцев А. М., Гавриличева И. С. Методы генетической сертификации лошадей по полиморфным системам крови. ФГБНУ «ВНИИ коневодства», 2018. — 72 с.
19. Храброва Л. А. Оценка аллелофонда заводских и местных пород лошадей / Л. А. Храброва, Л. П. Готлиб, Т. И. Орехова, О. И. Коршунова // Коневодство и конный спорт. — 2011. — № 1. — С. 11–14.

20. Kudinov A. A. Late-breaking: GWAS analysis show QTL in horses which are characterized by sperm resistance to freezing / A. A. Kudinov, N. Dementieva, E. Nikitkina, M. Atroshchenko, A. Musidray // Animal Science. 2019. — Vol.97. — Issue Suppl. 3. — P. 119-120. doi.org/10.1093/jas/skz258.247.
21. Никиткина Е. В. Поиск генетических ассоциаций с криорезистентностью спермы жеребцов / Е. В. Никиткина, А. А. Мусидрай, М. М. Атрощенко, А. А. Кудинов, Н. В. Дементьева // Современные достижения и актуальные проблемы в коневодстве: Сб. докл. Межд. науч-практ. конф. Дивово, 2019. — С. 196–199.
22. Kandiel M. M. M. Evaluation of semen characteristics, oxidative stress, and biochemical indices in Arabian horses of different ages during the hot summer season / M. M. M. Kandiel, A. R. M. Khawagan // Iran. J. Vet. Res. — 2018. — Vol. 19. — № 4. — P. 270–275.

Khrabrova L., Naumenkova V., Atroshchenko M.

Antigenic composition of blood group systems and sperm quality of stallion of different breeds

Abstract. Artificial insemination of mares with cryopreserved sperm is quite widespread in horse breeding practice and contributes to the efficiency of genetic improvement and preservation of breeds. The purpose of our research was to study the associations of erythrocyte antigen systems with the quality of stallions' sperm before and after freezing, taking into account their breed affiliation. Our studies evaluated the sperm production of 141 stallions tested on A, C, D, and K blood group systems that included 13 red blood cell antigens (Aa, Ad, Ca, Da, Db, Dc, Dd, De, Dg, Dh, Dk, Dm, and Ka). The evaluation of cryopreserved sperm was performed based on the average indicators of sperm activity in points and survival time in hours. The mobility of the newly obtained sperm of stallions varied in the range of 1.2-8.5 points with an average value of 4.45 points and minor differences between representatives of different breed types. The best indicators of activity (2.24 points) and survival (77 hours) of cryopreserved sperm were stallions of domestic heavy-strain breeds. The influence of a system of blood groups ($F=3,023$, $P=0,006$) on the activity of fresh sperm was revealed. The relatively good quality of cryopreserved sperm was distinguished by sires of riding breeds with the presence of Dc, Dg and Dm, Orlov Trotter stallions with Ca, K, Dg and Dk, as well as representatives of prize and heavy-duty breeds with Dd. The results obtained show that specific gene complexes and associations with productive traits are formed in horse breeds of different directions under the influence of selection, which should be taken into account in the methodology of scientific research.

Keywords: blood groups, stallions, sperm quality, cryopreservation, red blood cell antigens.

Authors:

Khrabrova L. A. — Dr. Habil. (Agr. Sci.), Professor; e-mail: l.khrabrova@yandex.ru;

Naumenkova V. A. — PhD (Biol. Sci.); e-mail: naumenkova00@mail.ru;

Atroshchenko M. M. — PhD (Biol. Sci.); e-mail: atomiks-77@mail.ru.

«All-Russian Research Institute for Horse Breeding»; 391105, Russia, Ryazan Region, Rybnoe District, Divovo.

References

1. Kurbatov A. D., Platov E. M., Korban N.V., Moroz L.G., Nauk V.A. Cryopreservation of sperm of farm animals. VO Agropromizdat, 1988. 256 p.
2. McKinnon A. O., Squires E. L., Vaala W. E., Varner D. D. Equine Reproduction. Second ed. Wiley-Blackwell. Iowa, 2011. 3132.
3. Atroshchenko M. M. Change in the ultrastructure of stallion spermatozoa under the effect of cryopreservation / M. M. Atroshchenko, E. E. Bragina // Russian Agricultural Sciences. — 2011. — № 37(2). — P. 175-178. doi: 10.3103/S1068367411020029.

4. Naumenkova V. A. Optimal age of stallions for effective cryopreservation of sperm / V. A. Naumenkova // Horse breeding and equestrian sport. — 2016. — № 6. — P. 13–15.
5. Naumenkova V. A. Dynamics of qualitative indicators of semen stallions in adjacent generations / V. A. Naumenkova, V. V. Kalashnikov, A. V. Zaitsev, M. M. Atroshchenko, T. V. Kalashnikova // Horse breeding and equestrian sport. — 2018. — № 2. — P. 32–35.
6. Fedosova O. A. Monitoring the dynamics of sex hormones in horses by the seasons of the year / O. A. Fedosova, A. A. Terekhina, O. V. Bakovetskaya // Horse breeding and equestrian sport. — 2010. — № 2. — P. 29–30.
7. Lazary S. Equine leukocyte antigen system / S. Lazary, A. L. de Weck, S. Bullen, R. Straub, H. Gerber // I. Serological studies. Transplantation. — 1980. — №30(3). — P. 203–209.
8. Dubrovskaya R. M. Genetic polymorphism of proteins and blood groups of horses in the aspect of increasing their fertility and working capacity / R. M. Dubrovskaya, I. M. Starodumov // Immunogenetics and selection of agricultural alive's. — P. M., 1986. — P. 93–100.
9. Emelianchenko P. A. Animal immunology during fetal development. M. Agropromizdat. 1987.
10. Serdyuk G. N. Blood groups and their importance in the body of mammals / G. N. Serdyuk // Genetics and animal breeding. — 2018. — No. 2. — S. 94–100. doi: 10.31043 / 2410-2733-2018-2-94-100.11. Nicholas, F. M. Introduction to veterinary genetics. 2nd ed. Blackwell Publishing, Oxford Univ. Press, 2008. — 282.
12. Khrabrova L. A. Prevention of hemolytic disease of newborn foals / L. A. Khrabrova // Horse breeding and equestrian sport. — 2017. — № 1. — P. 33–34.
13. Leeb T. The horse genome project-sequence based insights into male reproductive mechanisms / T. Leeb // Reprod. Domest. Anim. — 2007. — №42 (2). — P. 45–50. doi: 10.1111/j.1439-0531.2007.00597.x.
14. Giesecke K. Infertility and candidate gene markers for fertility in stallions: a review / K. Giesecke, H. Sieme, O. Distl // Vet. J. — 2010. — № 185 (3). — P. 265–271. doi: 10.1016/j.tvjl.2009.07.024.
15. Tkachev A. V. Physiological relationship of erythrocyte antigens with indicators of horse spermogram / A. V. Tkachev, V. I. Sheremeta, O. L. Tkacheva, V. I. Rossokha // Fiziol. Zh. — 2017. — № 63(1). — P. 84–90. doi : 10.15407/fz63.01.084.
16. Tkachev A. V. Association of erythrocyte antigens with sperm characteristics of stallions after cryopreservation / A. V. Tkachev, O. L. Tkacheva, V. I. Rossokha // Agricultural Biology. — 2018. — V. 53. — № 4. — P. 735–742. doi: 10.15389 / agrobiology.2018.4.735rus.
17. Recommendations for taking, diluting and freezing the semen of stallions. Divovo, 2006; 23 p.
18. Khrabrova L. A., Zaitsev A. M., Gavrilicheva I. S. Methods of genetic certification of horses in polymorphic blood systems. Federal State Budgetary Institution «Research Institute of Horse Breeding», 2018. — 72 p.
19. Khrabrova L. A. Assessment of the alfofund of factory and local horse breeds / L. A. Khrabrova, L. P. Gottlieb, T. I. Orekhova, O. I. Korshunova // Horse breeding and equestrian sport. — 2011. — № 1. — P. 11–14.
20. Kudinov A. A. Late-breaking: GWAS analysis show QTL in horses which are characterized by sperm resistance to freezing / A. A. Kudinov, N. Dementieva, E. Nikitkina, M. Atroshchenko, A. Musidray // Animal Science. 2019. — Vol. 97. — Issue Suppl. 3. — P. 119–120. doi.org/10.1093/jas/skz258.247.
21. Nikitkina E. V. Search for genetic associations with cryoresistance of semen stallions / E. V. Nikitkina, A. A. Musidray, M. M. Atroshchenko, A. A. Kudinov, N.V. Dementieva // Modern achievements and current problems in horse breeding: Sat. doc. Int. scientific and practical. conf. Divovo, 2019. — P. 196–199.
22. Kandiel M. M. M. Evaluation of semen characteristics, oxidative stress, and biochemical indices in Arabian horses of different ages during the hot summer season / M. M. M. Kandiel, A. R. M. Khawagan // Iran. J. Vet. Res. — 2018. — Vol. 19. — № 4. — P. 270–275.