

**ОЦЕНКА АЛЛЕЛОФОНДА ЯКУТСКИХ ПОРОД ЛОШАДЕЙ
ПО РАЗЛИЧНЫМ ТИПАМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ**¹Филиппова Н.П., ²Степанов Н.П., ³Додохов В.В., ⁴Марзанов Н.С.

¹Якутский научный центр комплексных медицинских проблем, Якутск, Республика Саха (Якутия); ²ГБУ Республики Саха (Якутия) "Сахаагропем", Якутск; ³Якутская государственная сельскохозяйственная академия, Якутск; ⁴ВИЖ им. Л.К. Эрнста, Подольск-Дубровицы Московской области, Российская Федерация

Цель работы – изучение генетических особенностей пород лошадей, разводимых в условиях Республики Саха (Якутия), путём анализа частот аллелей и генотипов полиморфных систем крови. По локусу трансферрина в аллелофонде изученных пород преобладает аллель TF^F (0,376...0,445), наибольшая частота встречаемости его наблюдалась у якутской породы. По локусу альбумина преобладает аллель ALB^B (P0,001), кроме лошадей приленской породы, у которых частота встречаемости этих аллелей была практически одинаковой – ALB^A (0,502) и ALB^B (0,498). В системе карбоксилэстеразы наиболее часто встречались аллели Es^G (0,560-0,656) и Es^F (0,335-0,417), при этом только у якутской породы выявлен аллель Es^I. У лошадей мегежекской породы выявлен широкий спектр аллелей по микросателлитным локусам, включая аллели, отсутствующие у двух других пород. У лошадей якутской и мегежекской пород в локусе LEX3 обнаружен аллель LEX3^G, который ранее был выявлен только у лошадей арабской породы. В мегежекской породе выявлен АНТ4^F аллель, ранее встречавшийся только у ахалтекинской породы лошадей. По исследованным микросателлитным локусам наибольшее среднее число эффективных аллелей (4,3) у мегежекской породы. Величина наблюдаемой гетерозиготности по локусам у всех пород находится практически на одном уровне 0,636-0,651. Значения коэффициента генетического сходства по локусам микросателлитов между мегежекской и якутской пород – 0,872, между приленской и мегежекской породами – 0,831, между приленской и якутской – 0,780.

Ключевые слова: якутская лошадь, полиморфизм ДНК, микросателлиты, генетическое разнообразие, генетическая дистанция

Проблемы биологии продуктивных животных. 2021, 2: 52-65

Введение

История цивилизации тесно связана с одомашниванием животных. По расчётам ученых данный процесс начался 8000-12000 лет назад. Домашние животные сыграли огромную роль в формировании человеческого общества, однако и человек своим трудом показал свои реальные возможности по преобразованию природы животных. Следствием этого по различным данным послужило создание 694 локальных пород лошадей в мире (Костер, 1998; Hodges, 1998; The Global Strategy for the Management of Farm Animal Genetic Resources, 1999; Марзанов и др., 2006; Boettcher et al., 2015).

Республика Саха (Якутия) вызывает огромный интерес со стороны академической и отраслевой науки. Во-первых, это связано с необычайной окружающей средой. Во-вторых, это уникальный животный мир. Якутия отличается резко континентальным климатом: по абсолютной величине минимальной температуры (в восточных горных системах – котловинах и впадинах до -70°C), летом до $+38^{\circ}\text{C}$. По суммарной продолжительности периода с отрицательной температурой (от 6,5 до 9 месяцев в год), регион не имеет аналогов в северном полушарии (Винокуров, 2009). Единственным способом эффективного использования обширных и малодоступных территорий Республики Саха (Якутия) является разведение приспособленных к суровым природным условиям якутских пород лошадей. Табунное коневодство является одним из важнейших составляющих сельского хозяйства, как традиционной отрасли, и остаётся основным резервом увеличения производства мяса для населения

республики. На территории Республики Саха (Якутия), преимущественно в центральных, западных и северных улусах, разводятся три породы табунных лошадей: якутская, мегежекская и приленская. По состоянию на 1 января 2017 года численность лошадей во всех категориях хозяйств составила 181,5 тыс. голов, в том числе 107 тысяч кобыл. При этом наибольший удельный вес племенного поголовья имеют якутская (65,1%), затем мегежекская (27,6%) и меньше всего приленская порода лошадей (7,3%).

В настоящее время, ввиду реализации стратегии развития мясного животноводства в Российской Федерации, для Республики Саха (Якутия) задача сохранения генофонда уникальных пород лошадей является важной государственной задачей (Ковешников, 2007; Донченко, 2008; Чугунов, 2009; Абрамов и др. 2013; Алексеев, 2013).

Цель данной работы – изучение генетических особенностей пород лошадей, разводимых в условиях Республики Саха (Якутия), путём анализа частот аллелей и генотипов полиморфных систем крови.

Материал и методы

Исследования проводили на базе лаборатории селекции и генетики Якутской ГСХА. Объект исследований – лошади разных половозрастных групп табунных лошадей якутской ($n = 723$), приленской ($n = 173$) и мегежекской ($n = 343$) породы.

Определение полиморфных систем белков в сыворотке крови лошадей проводили методом вертикального электрофореза в полиакриламидном геле (Gahne, 1966; Храброва и др., 2010). Микросателлитный анализ осуществляли в лаборатории ДНК-технологий ВНИИ племенного дела с использованием набора реагентов для мультиплексного анализа 17 микросателлитных локусов лошади (COгDISHorse, ООО «Гордиз», г. Москва).

Рассчитывали следующие генетико-статистические показатели: частоты аллелей, наблюдаемая (H_o) и ожидаемая (H_e) гетерозиготность; эффективное число аллелей в локусе (N_a); индекс фиксации F_{is} ; индексы генетического сходства и генетические дистанции (Храброва, Зайцев, 2005). Кластерный анализ проводили с использованием компьютерных программ GenAlEx (Peakall et al., 2012).

Результаты и обсуждение

Якутская порода лошадей отличается крепостью конституции, высокой приспособленностью к зимним холодам при скудности тебеневочных кормов (рис. 1). Всё это достигается благодаря большой нажировочной способности лошадей этой породы за короткое лето и осень.



Рис. 1. Лошади якутской породы

В результате многолетней селекционно-племенной работы были выведены два внутривидовых северных типа лошадей якутской породы – янский и колымский, утвержденные в 2010 г. Родоначальниками двух северных типов была небольшая группа лошадей из центральных районов Якутии, попавшие туда ещё в далекие времена, вместе с якутскими переселенцами, которые

осваивали этот край. В силу малочисленности родоначальников, северные типы характеризуются малым разнообразием мастей, однотипностью телосложения и стандартностью. Генетический потенциал по живой массе племенных лошадей якутской породы: жеребцы – 450-485 кг, кобылы – 400-420 кг (Степанов и др., 2016).

Мегежекская порода была выведена путём прилития к местным якутским лошадям крови кузнецкой породы, выведенной методами народной селекции в Сибири, во второй половине XVIII века (рис. 2).



Рис. 2. Лошади мегежекской породы

Благодаря прилитию крови кузнецких лошадей, у представителей мегежекской породы сложился определённый тип мясных животных, отличающихся крупным ростом, массивностью и удлинённым корпусом. В 50-е годы к мегежекской породе было проведено частичное прилитие крови русских тяжеловозов через помесного жеребца Хоройора. Масти у лошадей данной породы разнообразные и в основном распределяются равномерно: саврасая (19,5%), чалая (16,9%), гнедая (16,6%), серая (13,7%) и мышастая (12,3%). Генетический потенциал по живой массе племенных лошадей мегежекской породы составляет: жеребцы – 470-610 кг, кобылы – 450-580 кг (Алексеев, Степанов, 2006; Алексеев и др., 2013).

Лошади приленской породы выведены вводным скрещиванием заводских пород (орловского рысака и русского тяжеловоза) с чистопородными лошадьми якутской породы (рис. 3).



Рис. 3. Лошади приленской породы

Характерной особенностью лошадей приленской породы является удлинённость их корпуса и сравнительно высокая холка. Основные масти лошадей этой породы – мышастая, гнедая, чалая, рыжая, пегая, серая разных оттенков. Генетический потенциал по живой массе племенных лошадей приленской породы: жеребцы – 450-560 кг, кобылы – 450-530 кг.

По зоометрическим показателям трёх пород, разводимых на территории Якутии, наиболее высокие значения имеют лошади мегежекской породы. У отдельных экземпляров лошадей этой породы показатели живой массы достигают 600 кг и выше. Лошади трёх пород имеют существенные различия по живой массе кобыл и жеребцов. Значительная изменчивость показателей промеров и живой массы лошадей, разводимых в Якутии, свидетельствует о широкой возможности их усовершенствования при проведении селекционно-племенной работы в коневодстве республики. Наилучшие зоометрические показатели высоты в холке, косой длины туловища и обхвата груди имеют лошади мегежекской породы, которые значительно отличаются от лошадей якутской и приленской породам, как по женским, так и мужским особям (табл. 1).

Таблица 1. Промеры, живая масса и индексы телосложения табунных пород лошадей

Породы	n	Промеры, см			Живая масса, кг	Индексы, %		
		высота в холке	косая длина туловища	обхват груди		форма-та	мас-сивности	обхвата груди
Кобылы								
1 Якутская	117	136,0±0,4	143,6±0,6	173,3±0,5	420,9±8,3	105,1	167,7	120,7
2 Мегежекская	632	140,7±0,3 *** 2-1; **2-3	149,9±0,4 *** 2-1; **2-3	181,5±0,7 *** 2-1; **2-3	461,7±3,9 *** 2-3; 2-1	106,5	165,8	129,0
3 Приленская	347	138,0±0,8	146,2±1,3	173,9±1,3	431,9±11,2	105,9	164,8	126,1
Жеребцы-производители								
1 Якутская	24	138,7±0,6	147,4±1,3	180,5±1,9	464,5±0,9	106,2	173,3	130,1
2 Мегежекская	101	143,8±0,9 *** 2-1; **2-3	154,6±1,0 *** 2-1; **2-3	190,1±1,5 *** 2-1; **2-3	514,2±8,1 ***2-3; 2-1	107,5	173,0	132,2
3 Приленская	36	142,1±0,8	150,4±0,8	182,6±1,2	482,1±0,9	105,8	168,5	128,5

Примечания: **P<0,01, ***P<0,001 по t – критерию при сравнении показателей для пород, пронумерованных в первом столбце

Основной задачей племенного коневодства Республики Саха (Якутия) является создание структурных единиц вновь выведенных пород и типов лошадей с целью поддержания биоразнообразия, дальнейшего совершенствования их продуктивных и племенных качеств. Вторая немаловажная задача племенного коневодства – это усовершенствование воспроизводительных и приспособительных качеств лошадей товарного назначения с целью существенного (на 15-20%) увеличения производства мяса конины в Республике Саха (Якутия).

Отличные приспособительные качества лошадей табунных пород позволяют формировать хорошую мясную продуктивность, высокий убойный выход туши, что вызывает особый интерес со стороны селекционеров и пищевиков, особенно из Сибири и Дальнего Востока. Начиная с 80-х годов прошлого столетия, за пределы Республики Саха (Якутия) вывезено и распространено более 5 тысяч голов лошадей.

В этой связи, учитывая особое внимание к табунному коневодству в Республике Саха (Якутия), встал вопрос проведения масштабных исследований в области биологии лошадей в специфических условиях их разведения. В частности, для оценки генетической изменчивости и консолидации пород нами были определены задачи, по популяционно-генетической оценке, лошадей. Для проведения исследований взяты полиморфные локусы белков крови (трансферрин, карбоксилэстераза и альбумин) и микросателлиты.

Локус трансферрина. Этот металл протеин сыворотки крови является наиболее изученным белком у различных видов сельскохозяйственных животных, в том числе у лошадей. Биологическое значение трансферрина – участие в процессе переноса ионов железа в организме.

У лошадей локус трансферрина полиморфен. Так, у якутской и мегежекской пород было идентифицировано 15 генотипов трансферрина: TF^{DD}, TF^{FF}, TF^{HH}, TF^{OO}, TF^{RR}, TF^{DF}, TF^{DH}, TF^{DO}, TF^{DR},

TF^{FH} , TF^{FO} , TF^{FR} , TF^{HR} , TF^{HO} и TF^{OR} . У лошадей приленской породы было установлено 14 генотипов, поскольку лошади с генотипом TF^{DD} в ней отсутствовали (табл. 2).

Таблица 2. Частота встречаемости генотипов в локусе трансферрина (TF) у лошадей разных пород Республики Саха (Якутия) (n=1947)

Породы	n	Гт	Генотипы локуса трансферрина						
			DD	DF	DH	DO	DR	FF	FH
Якутская	1431	H	0,015	0,158	0,032	0,031	0,109	0,274	0,054
		O	0,040	0,179	0,033	0,025	0,083	0,199	0,075
Мегежекская	343	H	0,009	0,216	0,058	0,044	0,073	0,204	0,108
		O	0,051	0,189	0,053	0,044	0,063	0,177	0,099
Приленская	173	H	0	0,110	0,017	0,040	0,064	0,145	0,121
		O	0,018	0,102	0,046	0,032	0,054	0,141	0,127

Продолжение табл. 2

Породы	n	Гт	Генотипы локуса трансферрина							
			FO	FR	HH	HO	HR	OO	OR	RR
Якутская	1431	H	0,049	0,181	0,011	0,010	0,038	0,006	0,012	0,020
		O	0,056	0,183	0,007	0,011	0,035	0,004	0,026	0,042
Мегежекская	343	H	0,085	0,134	0,003	0,023	0,015	0,003	0,017	0,009
		O	0,082	0,118	0,014	0,023	0,033	0,009	0,027	0,019
Приленская	173	H	0,092	0,173	0,092	0,029	0,029	0,012	0,029	0,046
		O	0,089	0,150	0,028	0,040	0,068	0,014	0,048	0,040

Примечания: Гт – генотип; Н – наблюдаемое число генотипов; О – ожидаемое число генотипов.

К числу наиболее распространённых генотипов трансферрина в якутской породе лошадей относятся TF^{FF} (27,4%), TF^{FR} (18,1%), TF^{DF} (15,8%); редко встречаются лошади с генотипами: TF^{HO} (1%) и TF^{OO} (0,6%).

Для лошадей мегежекской породы наиболее распространены генотипы TF^{DF} (21,6%), TF^{FF} (20,4%), TF^{FR} (13,4%), реже встречались гомозиготы – TF^{OO} (0,3%), TF^{HH} (0,3%), TF^{RR} (0,9%) и TF^{DD} (0,9%). К числу распространённых типов трансферрина в приленской породе лошадей относятся TF^{FR} (17,3%), TF^{FF} (14,5%) и TF^{FH} (12,1%), к редким – TF^{OO} (1,2%), TF^{HO} , TF^{HR} и TF^{OR} по 2,9%.

По локусу трансферрина у всех изученных пород лошадей было выявлено 5 аллелей трансферрина (TF^D , TF^F , TF^H , TF^O , TF^R) (Гурьев, 1992; Филиппова и др., 2015). По локусу трансферрина у всех изученных пород лошадей было выявлено 5 аллелей трансферрина (TF^D , TF^F , TF^H , TF^O , TF^R) (Гурьев, 1992; Филиппова и др., 2015). Для всех лошадей, разводимых в Якутии, независимо от породы, отмечается высокая встречаемость TF^F (0,376...0,445). При этом у лошадей якутской породы выявлена высокая частота встречаемости аллелей TF^D (0,201), и TF^R (0,206), ответственных соответственно за «быстрый» и «медленный» типы трансферрина (табл. 3).

Таблица 3. Частота встречаемости аллелей в локусе трансферрина

Породы	n	Локус/аллель трансферрина (TF)				
		D	F	H	O	R
1. Якутская***	1431	0,201±	0,445±	0,084±	0,064±	0,206±
		0,007	0,009	0,005	0,005	0,008
2. Мегежекская**	343	0,225±	0,421±	0,117±	0,097±	0,140±
		0,016	0,019	0,012	0,011	0,013
3. Приленская***	173	0,136±	0,376±	0,169±	0,119±	0,200±
		0,018	0,026	0,020	0,017	0,022

Примечания: **, *** нарушено генетическое равновесие

Для лошадей мегежекской породы, в создании которой принимали участие представители кузнецкой и русской тяжеловозной пород, отмечается максимальная частота встречаемости аллеля TF^D (0,225).

Лошади приленской породы, созданные на основе прилития крови орловского рысака и русской тяжеловозной породы, по своей генетической структуре заметно отличаются от лошадей якутской и мегежекской пород. Характерной особенностью генетической структуры лошадей приленской породы, по сравнению с якутской и мегежекской породами, является высокая частота встречаемости аллелей, ответственных за «медленные» типы белка трансферрина в полиакриламидном поле: TF^R (0,200), TF^H (0,169) и TF^O (0,119).

Генетическое равновесие по локусу трансферрина отсутствовало у всех исследованных пород лошадей: якутской ($P < 0,001$), мегежекской ($P < 0,01$), приленской ($P < 0,001$).

Таблица 4. Характеристика локуса карбоксилэстеразы (ES) у лошадей разных пород Республики Саха (Якутия) (n=1947)

Породы	n	Гт	Генотипы локуса карбоксилэстеразы								
			ES ^{FF}	ES ^{FG}	ES ^{FH}	ES ^{FI}	ES ^{GG}	ES ^{GH}	ES ^{GI}	ES ^{HH}	ES ^{HI}
Якутская	1890	H	387	777	14	10	646	46	3	2	5
		O	328,6	882,7	28,4	7,9	592,7	38,1	10,6	0,6	0,34
Мегежекская	273	H	42	97	2	-	129	3	-	-	-
		O	30,6	120,0	1,7	-	117,5	3,2	-	0,02	-
Приленская	206	H	42	81	-	-	81	2	-	-	-
		O	33,0	98,0	0,8	-	73,0	1,2	-	0,005	-

Примечания: Гт – генотип; Н – наблюдаемое число генотипов; О – ожидаемое число генотипов; **, *** – нарушено генетическое равновесие

Продолжение табл. 4

Породы	n	Аллели локуса карбоксилэстеразы				$\sum \chi^2$	df	P
		ES ^F	ES ^G	ES ^H	ES ^I			
Якутская	1890	0,417±0,008	0,560±0,008	0,018±0,002	0,005±0,001	110	5	<0,001***
Мегежекская	273	0,335±0,020	0,656±0,020	0,009±0,004	-	9,87	2	<0,01**
Приленская	206	0,400±0,024	0,595±0,024	0,005±0,003	-	7,62	1	<0,01**

Локус карбоксилэстеразы. Карбоксилэстераза относится к ферментам класса гидролаз подгруппы эстераз, преимущественно катализирующие гидролиз алифатические и ароматические эфиры низших жирных кислот, а также эфиры молочной, янтарной и других кислот. В силу высокого полиморфизма, в коневодстве этот фермент нашёл применение при идентификации и контроле достоверности происхождения лошадей, а также при изучении аллелофонда пород и синтетических групп, полученных при скрещиваниях (Котов, 1977; Дубровская, Стародумов, 1986).

У вида *Equus ferus Caballus* выявлено девять кодоминантных аллелей этой генетической системы: ES^F, ES^G, ES^H, ES^I, ES^L, ES^M, ES^O, ES^R, ES^S (Храброва, 2005). Из них, у табунных лошадей Якутии определено четыре аллеля: ES^F, ES^G, ES^H, ES^I (табл. 4).

При этом аллель ES^I (0,018) встречается только у лошадей якутской породы. У лошадей изученных пород в основном распространены аллели ES^F (0,335...0,417) и ES^G (0,560...0,656), остальные два (ES^H и ES^I) имеют низкую частоту встречаемости.

Наибольший уровень полиморфизма в локусе карбоксилэстеразы отмечается у лошадей якутской породы, у которых выявлено 9 генотипов (ES^{FF}, ES^{FG}, ES^{FH}, ES^{FI}, ES^{GG}, ES^{GH}, ES^{GI}, ES^{HH}, ES^{HI}), у лошадей мегежекской породы в локусе карбоксилэстеразы всего 5 (ES^{FF}, ES^{FG}, ES^{FH}, ES^{GG}, ES^{GH}) и наименьшим числом обладает приленская порода лошадей, у неё определено только 4 генотипа (ES^{FF}, ES^{FG}, ES^{GG}, ES^{GH}). Чаще всего выявлялись следующие генотипы –

ES^{GG} (34,2%...47,3%), ES^{FG} (35,5%...41,1%) и ES^{FF} (15,4%...20,5%), количество которых варьировало в зависимости от породы лошадей.

В локусе карбоксилэстеразы, нарушение генетического равновесия отмечали у всех исследованных пород лошадей: якутской ($\chi^2=109,9$; $df=5$; $P<0,001$); мегежекской ($\chi^2=9,87$; $df=2$; $P<0,01$); приленской ($\chi^2=7,62$; $df=1$; $P<0,01$).

Локус альбумина. Альбумин является одним из основных компонентов и составляет до 60% от общего количества белков в плазме крови, синтезируется в печени. Его функции сводятся к поддержанию онкотического давления в сыворотке крови, транспорте различных биологически активных веществ.

У лошадей в локусе альбумина выявлено три генотипа (ALB^{AA}, ALB^{AB}, ALB^{BB}), контролируемые двумя аутосомными аллелями: ALB^A и ALB^B (табл. 5).

У лошадей якутской и мегежекской пород частота встречаемости аллеля ALB^A (0,391; 0,481) была ниже, чем ALB^B (0,609; 0,519) ($P<0,001$), в отличие от приленской породы, где частота встречаемости этих аллелей была практически одинаковой ALB^A (0,502) и ALB^B (0,498) (Чугунов и др., 2014).

В локусе альбумина также отмечали нарушение генетического равновесия во всех исследованных породах: якутской ($P<0,001$), мегежекской ($P<0,01$), приленской ($P<0,001$).

Таблица 5. Частота встречаемости генотипов и аллелей в локусе альбумина

Породы	n	Гт	Встречаемость генотипов в локусе			Встречаемость аллелей	
			ALB ^{AA}	ALB ^{AB}	ALB ^{BB}	ALB ^A	ALB ^B
Якутская***	1431	Н	304	423	704	0,360±0,009	0,640±0,009
		О	185,45	659,40	586,14		
Мегежекская**	343	Н	89	149	105	0,481±0,019	0,519±0,019
		О	79,36	171,25	92,39		
Приленская***	173	Н	63	48	62	0,502±0,027	0,498±0,027
		О	43,60	86,50	42,90		

Примечание: **, *** генетическое равновесие нарушено.

В локусе альбумина также отмечали нарушение генетического равновесия во всех исследованных породах: якутской ($\chi^2=121$; $df=10$; $P<0,001$); мегежекской ($\chi^2=27,5$; $df=10$; $P<0,01$); приленской ($\chi^2=39,4$; $df=9$; $P<0,001$).

Таким образом, в процессе проведенных исследований установлены генетические особенности у якутских пород лошадей по трём полиморфным локусам белков. По частоте встречаемости аллелей в локусе трансферрина, они отличаются от ранее полученных данных (Гурьев, 1992). Генетический мониторинг показал, что за последние двадцать лет выросла частота встречаемости аллелей TF^D (с 0,039 до 0,201) и TF^O (с 0,009 до 0,063), при этом снизилась частота встречаемости аллеля TF^H (с 0,176 до 0,084). Нарушение генетического равновесия отмечали во всех исследованных локусах полиморфных белков крови. Данную ситуацию мы связываем с проводимой жёсткой селекцией на мясность и внешними условиями среды, в которых разводятся изучаемые породы лошадей. Вместе с тем, такие частоты встречаемости аллелей, возможно, объясняются ещё и тем, что в период с 1992 по 1999 гг. в Республике Саха (Якутия) поголовье лошадей снизилось на 42,2%. С распадом СССР большинство хозяйств прекратили свое существование, а последовавший за этим массовый убой животных оставил заметный сдвиг в аллелофонде лошадей якутских пород.

Высокая доля гетерозиготных животных по узловым локусам полиморфных белков является хорошей предпосылкой генетической изменчивости в популяции. Меньший показатель наблюдаемой (Ho), чем ожидаемой (He) гетерозиготности отмечался только у лошадей приленской породы (Ho = 0,575 против He = 0,631), у остальных исследованных животных наблюдаемая превалировала над ожидаемой гетерозиготностью (табл. 6).

Сравнительная характеристика генетической структуры табунных лошадей по генам белков сыворотки крови показал, что у приленской породы отмечается незначительный дефицит гетерозиготных особей ($F_{is} = 0,048$). У мегежекской породы наблюдаемая и ожидаемая средние уровни гетерозиготности существенно не различались ($F_{is} = 0,004$). В то же время известно, что нехватка гетерозиготных генотипов говорит об их дефиците в исследуемой породе животных. А избыток гетерозигот, как в отношении якутской породы лошадей, наоборот, об их селективном преимуществе ($F_{is} = -0,001$).

Таблица 6. Сравнительная характеристика генетической структуры табунных пород лошадей, разводимых в Якутии по локусам полиморфных белков крови

Породы	<i>n</i>	<i>N_a</i>	<i>H_o</i>	<i>H_e</i>	<i>F_{is}</i>
Якутская	723	2,726	0,620	0,603	-0,001
Мегежекская	343	2,440	0,627	0,629	0,004
Приленская	173	2,890	0,575	0,631	0,048

Примечания: *n* – число исследованных животных; *N_a* – число эффективных аллелей; *H_o* – наблюдаемый уровень гетерозиготности; *H_e* – ожидаемый уровень гетерозиготности; *F_{is}* – индекс фиксации

Среднее число эффективных аллелей (*N_a*) по исследованным локусам полиморфных белков сыворотки крови выглядела следующим образом, оно было выше у лошадей приленской породы и составляла 2,89, тогда как у якутской – 2,73. Меньше всего данный показатель был у мегежекской породы лошадей – 2,44. Число эффективных аллелей является мерой генетического разнообразия исследуемой породы. В данном случае следует отметить, что полученные результаты показывают о практически высоком и одинаковом уровне генетического разнообразия у исследованных пород лошадей.

Локусы микросателлитов. В результате проведенных исследований 15 локусов микросателлитов (АНТ4, АНТ5, ASB23, СА425, HMS1, HMS2, HMS3, HMS6, HMS7, НТГ4, НТГ6, НТГ7, НТГ10, LEX3, VHL20) было установлено, что лошади якутской, мегежекской и приленской пород имеют своеобразный генетический профиль, выражаемый определённым спектром аллелей и генотипов (Филиппова и др., 2020). Общее количество аллелей по 15 изученным микросателлитным локусам лошадей составило 113, с колебаниями по локусам в интервале от 4 (НТГ7) до 10 (АНТ4). Наибольшее среднее число аллелей выявлено у лошадей мегежекской породы (7,1).

Среди трёх пород табунных лошадей широкий спектр аллелей по 15 микросателлитным локусам ($n=107$) был выявлен у лошадей мегежекской породы, включая 6 аллелей [АНТ4^F (0,022), СА425^L (0,033), HMS2^P (0,011), HMS6^L (0,011) и HMS6^N (0,011), НТГ6^N (0,185)], которые не были обнаружены у двух других пород (табл. 7).

У лошадей якутской породы было выявлено 94 аллелей, в том числе 3 из них не встречались в мегежекской и приленской породах [АНТ4^L (0,058), HMS7^P (0,012), LEX3^K (0,035)].

Низкий уровень генетического разнообразия был отмечен у лошадей приленской породы. У данной породы было выявлено 85 аллелей, из них два по встречаемости были редкими [АНТ5^M (0,071), ASB23^Q (0,071)]. У лошадей приленской породы число исследованных аллелей в локусе варьировало от 4 (НТГ4, НТГ4) до 10 (АНТ4).

Сравнительный анализ биоразнообразия микросателлитных локусов у лошадей разных пород, показал, что число аллелей в локусе АНТ4 варьировало от 5 (чистокровная верховая порода) до 9 у якутских и башкирских пород лошадей (Калашников В.В. и др., 2011).

В наших исследованиях среднее число аллелей на локус составило у лошадей мегежекской породы 7,1; якутской – 6,5; приленской – 5,5. Причём установлено существенное различие по количеству аллелей на локус у мегежекских лошадей относительно якутской и приленской пород ($P < 0,001$).

Аллелофонд в локусе АНТ5 у изученных пород был представлен практически одинаковыми вариантами: АНТ5^J, АНТ5^K, АНТ5^L и АНТ5^N, из них самым распространенным был АНТ5^K аллель, частота которого колебалась в зависимости от породы (0,302 до 0,429).

По локусу ASB23 было выявлено 8 аллелей из 16 обнаруженных у различных пород лошадей. При этом у лошадей якутской и мегежекской пород отсутствовал аллель ASB23^Q, который выявлен у лошадей приленской породы и составлял 7,1% от всех обнаруженных аллелей.

В локусе СА425 обнаружено 9 из 16 аллелей, при этом только в генотипах лошадей мегежекской породы обнаружен аллель СА425^L (0,033).

Таблица 7. Генетический спектр аллелей микросателлитных локусов

Локусы	Якутская порода (n=43)		Мегежекская порода (n=46)		Приленская порода (n=14)	
	n	Редкие аллели	n	Редкие аллели	n	Редкие аллели
АНТ4	9	АНТ4 ^J , АНТ4 ^N	10	АНТ4 ^F , АНТ4 ^P	8	АНТ4 ^G , АНТ4 ^H , АНТ4 ^M , АНТ4 ^N
АНТ5	5		5		5	
ASB23	6	ASB23 ^S , ASB23 ^T	7	ASB23 ^L	6	ASB23 ^I
СА425	8	СА425 ^I , СА425 ^K , СА425 ^M	9	СА425 ^K , СА425 ^L	6	СА425 ^O
HMS1	7	HMS1 ^I , HMS1 ^L , HMS1 ^N	6	HMS1 ^L	5	HMS1 ^I
HMS2	7	HMS2 ^O	9	HMS2 ^J , HMS2 ^P , HMS2 ^Q , HMS2 ^R	6	HMS2 ^L
HMS3	6	HMS3 ^I , HMS3 ^R	6	HMS3 ^M , HMS3 ^O	6	HMS3 ^M
HMS6	5	HMS6 ^Q	7	HMS6 ^L , HMS6 ^N	5	
HMS7	6	HMS7 ^N , HMS7 ^P	6	HMS7 ^Q	5	HMS7 ^J
HTG10	6		8	HTG10 ^I , HTG10 ^O	6	HTG10 ^N
HTG4	4	HTG4 ^K , HTG4 ^O	5	HTG4 ^P	4	HTG4 ^O
HTG6	5	HTG6 ^G , HTG6 ^I	7	HTG6 ^J , HTG6 ^N , HTG6 ^P	6	HTG6 ^P
HTG7	4		4		4	
LEX3	9	LEX3 ^G , LEX3 ^I , LEX3 ^K	9	LEX3 ^G , LEX3 ^I , LEX3 ^O	6	LEX3 ^F , LEX3 ^O
VHL20	7	VHL20 ^I	9	VHL20 ^Q	7	VHL20 ^Q
M±m	6,5± 0,1		7,1± 0,1		5,5± 0,3	

Примечание: n – число аллелей в локусе.

В локусе HMS1 при аттестации выявлено 7 аллелей, из которых HMS1^I, HMS1^J, HMS1^K, HMS1^M и HMS1^Q были типичными для лошадей трёх изученных пород. У лошадей приленской породы отсутствовали HMS1^L и HMS1^N аллели, у мегежекских также не обнаружен аллель HMS1^N.

Локус HMS2 был представлен 9 аллелями у лошадей мегежекской, 7 – у якутской и 6 – у приленской пород. В приленской породе не обнаружен HMS2^R аллель. Только у лошадей мегежекской породы выявлен редкий HMS2^P аллель (0,011).

В HMS3 локусе, из 14 известных аллелей всего было выявлено 6. Аллели HMS3^I, HMS3^M, HMS3^O, HMS3^P, HMS3^Q и HMS3^R были представлены в генофонде лошадей исследованных пород.

В HMS6 локусе у лошадей мегежекской породы было определено 7 из 9 зарегистрированных аллелей и по 5 аллелей у приленской и якутской пород лошадей. Только у лошадей мегежекской породы обнаружены редкие аллели HMS6^L (0,011) и HMS6^N (0,011).

В HMS7 локусе, у лошадей изученных пород было обнаружено 7 из 11 известных аллельных вариантов. Только у лошадей якутской породы обнаружен редкий аллель HMS7^P (0,012) и отсутствовал аллель HMS7^M.

По локусу HTG4 выявлено 5 аллелей, из них HTG4^K, HTG4^L, HTG4^M и HTG4^O были представлены во всех изученных популяциях лошадей с явным преобладанием HTG4^M аллеля, частота встречаемости которого составляла в якутской породе лошадей 74%, в приленской – 71%, в мегежекской – 61%. У лошадей якутской породы не обнаружен HTG4^P аллель. Выявлена низкая частота встречаемости аллеля HTG4^K (0,012), тогда как его частота составляет 0,141 у лошадей приленской и 0,180 – у мегежекской пород. В приленской породе не выявлен HTG4^L аллель.

В HTG6 локусе у лошадей изученных пород было выявлено 7 аллелей. Аллельный вариант HTG6^N (0,011) был обнаружен только у мегежекских лошадей. Аллель HTG6^P с невысокой частотой встречался только у приленской и мегежекской пород лошадей.

При исследовании HTG7 локуса был установлен сравнительно невысокий уровень генетического разнообразия, хотя в данном локусе было выявлено 4 действующих аллелей (HTG7^J, HTG7^M, HTG7^N и HTG7^O). Причиной явился высокий уровень встречаемости гомозиготных генотипов.

В локусе HTG10 у мегежекской породы лошадей был зарегистрирован высокий уровень генетического разнообразия, общее количество обнаруженных аллелей составило 8. При этом у лошадей якутской и мегежекской пород преобладал аллель HTG10^N (0,337 - 0,477), который редко встречался в приленской породе. Для исследованной небольшой популяции приленских лошадей по данному локусу характерна высокая встречаемость HTG10^O аллеля (0,430), который не был обнаружен у якутской породы лошадей.

LEX3 locus расположен на X-хромосоме и характеризует разнообразие популяций по материнской линии. По данному локусу был выявлен высокий уровень генетического разнообразия. При тестировании пород лошадей в этом локусе обнаружено 9 аллелей из 14 ранее выявленных. У исследованных животных трех пород были обнаружены LEX3^F, LEX3^L, LEX3^M, LEX3^N и LEX3^P аллели, что свидетельствует о наличии общей маточной формы предков для всех трех исследуемых пород лошадей. Преобладающими аллелями у трёх изученных пород были LEX3^M (0,357 - 0,488), LEX3^N (0,105 - 0,217) и LEX3^P (0,109 - 0,250). При этом аллель LEX3^K (0,035) был обнаружен только у лошадей якутской породы.

В VHL20 локусе было выявлено 9 аллелей у лошадей мегежекской породы и по 7 аллелей у якутских и приленских пород. Аллели VHL20^I, VHL20^J, VHL20^M, VHL20^O, VHL20^P и VHL20^Q были обнаружены во всех изученных породах с разной частотой встречаемости. Среди лошадей якутской породы чаще встречался VHL20^Q аллель (0,268), что касается VHL20^I аллеля, то он установлен у двух других пород: приленской (0,286) и мегежекской (0,228). При этом VHL20^L аллель (0,076) был определён только у лошадей мегежекской породы.

Среднее число эффективных аллелей (Na) по исследованным 15 микросателлитным локусам выше у лошадей мегежекской породы и составляет $4,327 \pm 0,37$. Показатель наблюдаемой гетерозиготности (Ho) по локусам у лошадей всех пород находится практически на одном уровне $0,636 - 0,651$ (табл. 8).

Таблица 8. Генетико-популяционные характеристики пород лошадей по 15 локусам микросателлитов

Породы	n	Na	Ho	He	Fis
Якутская	43	$3,62 \pm 0,34$	$0,64 \pm 0,04$	$0,69 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,04$
Мегежекская	46	$4,337 \pm 0,37$	$0,65 \pm 0,04$	$0,74 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,03$
Приленская	14	$3,66 \pm 0,25$	$0,64 \pm 0,05$	$0,70 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,06$

Во всех исследованных породах лошадей отмечается положительное значение индекса фиксации. При этом у мегежекских лошадей показатель Fis (0,124) имеет максимальное значение, что свидетельствует о недостатке гетерозиготных генотипов в исследованной популяции.

Самый высокий коэффициент генетического сходства по изученным локусам микросателлитов (0,872) имели мегежекская и якутская породы лошадей. Между приленской и мегежекской породами он был равен 0,831, между приленской и якутской – 0,780 (табл. 9).

Таблица 9. Коэффициенты генетического сходства (выше диагонали) и генетических дистанций (ниже диагонали) между породами лошадей по локусам микросателлитов

Породы	Приленская	Мегежекская	Якутская
Приленская	x	0,831	0,780
Мегежекская	0,185	x	0,872
Якутская	0,248	0,137	x

Оценка различий по показателям генетических дистанций в целом отражала закономерности, установленные при расчёте коэффициентов генетического сходства. Наименьшая генетическая дистанция по 15 локусам микросателлитов были установлены между мегежекской и якутской породами (0,137), наибольшая – 0,248 между приленской и якутской.

Сопоставление полученных данных с уже опубликованными ранее результатами изучения микросателлитных локусов лошадей (Калашников и др., 2011) выявило, что у лошадей якутской и мегежекской пород в локусе LEX3 имеется аллель LEX3^G, который ранее встречался только у лошадей арабской породы. В мегежекской породе выявлен аллель АНТ4^F, который ранее был обнаружен только у ахалтекинской породы лошадей. Видимо, такая ситуация связана с прилитием крови пород лошадей, которые оказались носителями данных аллелей. Возможна и другая гипотеза – причина данного явления может быть связана с эффектом основателя у лошадей.

Полученные нами материалы подтверждают результаты, установленные ранее (Тихонов и др., 1998). В нашем исследовании отмечено некоторое генетическое сходство по ряду признаков аборигенных якутских лошадей с животными совершенно другого экстерьерного типа, в частности, с лошадьми европейской селекции – верховыми, высоконогими, нежной конституции, и польской аборигенной, а также с животными центрально-азиатского происхождения – с ахалтекинской и некоторыми другими породами.

Заключение

Якутская, с одной стороны, ахалтекинская и арабская (ябуи) породы лошадей, с другой, – это замечательный продукт многовекового естественного отбора и длительной селекции, проходившей в весьма жёстких условиях внешней среды, под воздействием резко континентального климата, как в Северо-Восточном, Центрально-Азиатском, так и в Ближневосточном регионах. Проведенные исследования вносят определённый вклад в изучение генетической изменчивости популяций табунных лошадей. Полученные результаты имеют важное научное и практическое значение для разработки стратегических программ по сохранению уникального генофонда якутских пород лошадей и их совершенствованию на основе использования современных методов исследований.

На основании полученного набора аллелей полиморфных белков и микросателлитных локусов для каждой породы составлены молекулярно-генетические паспорта, или так называемые «генетические формулы генотипов». Предлагаемая технология тестирования (с помощью различных типов генетических маркеров) предназначена для решения таких селекционных задач, как поддержание чистоты племенного ядра в породе табунных лошадей, подборе родительских пар при проведении спариваний внутри породы, при межпородном скрещивании, регистрации новых пород, контроле генетической подлинности пород и защите прав селекционеров.

Список литературы

1. Абрамов А.Ф., Иванов Р.В., Алексеев Н.Д. Мясная продуктивность и качество мяса пород лошадей, разводимых в Якутии. Якутск: Якутский НИИ сельского хозяйства, 2013. 83с.
2. Алексеев Н.Д., Степанов Н.П. Лошадь якутской породы: внутривидовые типы, хозяйственные и биологические особенности. // Достижения науки и техники АПК. 2006. № 5. С.8-10
3. Алексеев Н.Д., Степанов Н.П., Филиппова Н.П., Халдеева М.Н. Племенная работа в коневодстве Республики Саха (Якутия). // Farm Animals. 2013. № 2. С. 64-68.
4. Винокуров И.Н. Традиционная культура народов Севера: продуктивное коневодство северо-востока Якутии. Новосибирск: Наука, 2009. 256 с.
5. Гурьев И.П. Зоотехнические и иммуногенетические особенности популяции якутской лошади: автореф. дисс... к.с.-х.н. М.: ВНИИК, 1992. 24 с
6. Додохов В.В., Филиппова Н.П., Халдеева М.Н. Генетический полиморфизм карбоксилэстеразы сыворотки крови у якутской породы лошадей. // В сб.: Мат. научно-практ. конф.: «Научно-образовательная среда, как основа развития агропромышленного комплекса регионов России». Якутск, 2017. С. 65-71.
7. Калашников В.В., Храброва Л.А., Зайцева А.М., Зайцева М.А., Калинкова Л.В. Полиморфизм микросателлитной ДНК у лошадей заводских и локальных пород. // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 2. С. 41-45.
8. Ковешников В.С., Калашников Р.В. Развитие мясного табунного коневодства в России. Методические рекомендации. М.: Росинформагротех. 2007. 176 с.

9. Котов А.С. Полиморфные белки и работоспособность. // Коневодство и конный спорт. 1977. № 3. С. 23-29.
10. Марзанов Н.С., Саморуков Ю.В., Ескин Г.В., Насибов М.Г., Марзанова Л.К., Канатбаев С.Г., Букаров Н.Г. Сохранение биоразнообразия. Генетические маркеры и селекция животных. // Сельскохозяйственная биология. 2006. № 4. С. 3-19.
11. Степанов Н.П., Мартынов М.Н., Филиппова Н.П. Племенная работа в табунном коневодстве Республики Саха (Якутия). Якутск: Сфера, 2016. 92 с.
12. Тихонов В.Н., Котрэн Е.Г., Князев С.П. Популяционно-генетические параметры аборигенных якутских лошадей в связи с филогенией современных пород домашней лошади *Equus caballus* L. // Генетика. 1998. Т. 34. № 6. С.796-809.
13. Филиппова Н.П., Степанов Н.П., Мартынов М.Н., Додохов В.В. Зоотехническая и генетическая характеристика лошадей янского типа якутской породы. // Коневодство и конный спорт. 2015. № 3. С. 34-36.
14. Филиппова Н.П., Степанов Н.П., Додохов В.В., Гаджиев А.М., Марзанов Н.С. Морфологические и генетические особенности пород лошадей Якутии. // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 4. С. 60-64. DOI:10.31857/S2500262720040146
15. Храброва Л.А. Генетический полиморфизм белков и ферментов крови у лошадей некоторых пород и возможности их использования в селекции: автореф. дисс... к.с.-х.н. Москва, 1980. 18 с.
16. Храброва Л.А., Дубровская Р.М., Гавриличева И.С., Зайцев А.М. Методы генетической сертификации лошадей по полиморфным системам крови. Дивово: ВНИИ коневодства, 2010. 70 с.
17. Донченко А.С. Стратегия развития коневодства в Сибири. // Международный конгресс по табунному коневодству. Матер. науч.-практ. конф.: «Устойчивое развитие табунного коневодства». 2008. С. 45-51.
18. Чугунов А.В. Продуктивное животноводство Якутии. М.: Колос С, 2009. 455 с.
19. Чугунов А.В., Филиппова Н.П., Степанов Н.П., Халдеева М.Н. Изменчивость полиморфизма белков крови лошадей табунных пород Якутии. // Наука и образование. 2014. № 2. С. 78-81.
20. Gahne B. Studies on the inheritance of transferrins, albumins, prealbumins and plasma esterases of horse. // Genetics. 1966. Vol. 53. nr 4. P. 680-694.
21. Hodges J. Editorial article. // EAAP News. 1998. Vol. 55. P.163-165.
22. Kester B. Introductory article. // Strategy Bulletin. Strasbourg, France. 1998. Vol. 9. P. 1-8.
23. Nei M. Genetic distance between population. // Amer. Naturalist. 1972. Vol. 106. P. 283-292.
24. Peakall R., Smouse P.E. GenA1Ex 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. // Bioinformatics. 2012. Vol. 28. P. 2537-2539.

References (for publications in Russian)

1. Abramov A.F., Ivanov R.V., Alekseev N.D. *Myasnaya produktivnost i kachestvo myasa porod loshadey, razvodimykh v Yakutii* (Meat quality and productivity of horses, bred in Yakutia). Yakutsk: GNU YaNIISKh Publ., 2013. 83 p.
2. Alekseev N.D., Stepanov N.P. [Horse of the Yakut breed: intra-breed types, economic and biological characteristics]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK - Scientific and Technological Agribusiness*. 2006. 5: 8-10.
3. Alekseev N.D., Stepanov N.P., Filippova N.P., Khaldeeva M.N. [Breeding of the horses in Republic of Sakha (Yakutia)]. *Farm Animals*. 2013. 2: 64-68.
4. Chugunov A.V. *Produktivnoe zhitovnovodstvo Yakutii* (Animal breeding in Yakutia). 2009. Moscow: KolosS Publ., 455 p.
5. Chugunov A.V., Filippova N.P., Stepanov N.P., Khaldeeva M.N. [Variability of polymorphism of blood proteins of horses of local breeds of Yakutia]. *Nauka i obrazovanie - Science and education*. 2014. 2: 78-81
6. Dodokhov V.V., Filippova N.P., Khaldeeva M.N. [Genetic polymorphism carboxyl esterases of blood serum from the Yakut horses breed]. In: *Mat. nauchno-prakt. konf.: «Nauchno-obrazovatel'naya sreda kak osnova razvitiya agropromyshlennogo kompleksa regionov Rossii»* (Mat. Conf.: Scientific and educational environment as the basis for the development of the agro-industrial complex in regions of Russia). Yakutsk: Alaas Publ., 2017. P. 65-71.
1. Donchenko A.S. [Horse breeding development strategy in Siberia] // In: *Mezhdunarodnyi kongress po tabunному konevodstvu. Mat. Conf.: "Ustoychivoe razvitie tabunnogo konevodstva"* [International Congress on Herd Horse Breeding. Mat. Conf.: Sustainable development of herd horse breeding]. Yakutsk, YaNIISKh. 2008. P. 45-51.
2. Filippova N.P., Stepanov N.P., Martynov M.N., Dodokhov V.V. [Zootechnical and genetic characteristics of Yanskiy type horses of the Yakut breed]. *Konevodstvo i konnyy sport - Horse breeding and equestrian sports*. 2015. 3: 34-36.
3. Filippova N.P., Stepanov N.P., Dodokhov V.V., Gadgiev A.M., Marzanov N.S. [Morphological and genetic characteristics of yakut horse breeds]. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka - Russian Agricultural Sciences*. 2020. 46(5): 519-524.
4. Gurev I.P. *Zootekhnicheskie i immunogeneticheskie osobennosti populyatsii yakutskoy loshadi* (Zootechnical and immunogenetic features of the population of the Yakut horse). Extended Abstract of Diss. Cand. Sci. Biol., Divo: VNIK. 1992. 24 p.

5. Kalashnikov V.V., Khrabrova L.A., Zaytseva A.M., Zaytseva M.A., Kalinkova L.V. [Polymorphism of microsatellite DNA in horses of cultural and local breeds]. *Sel'skokhosaistvennaya biologiya - Agricultural Biology*. 2011. 2: 41-45.
6. Khrabrova L.A. *Geneticheskiy polimorfizm belkov i fermentov krovi u loshadey nekotorykh porod i vozmozhnosti ikh ispolzovaniya v selektsii* (Genetic polymorphism of proteins and blood enzymes in horses of some breeds and the possibility of their use in selection). Extended Abstract of Diss. Dr. Sci. Biol. Moscow, 1980. 18 p.
7. Khrabrova L.A., Dubrovskaya R.M., Gavrilicheva I.S., Zaytsev A.M. *Metody geneticheskoy sertifikatsii loshadey po polimorfnyim sistemam krovi* (Methods of genetic certification of horses for polymorphic blood systems). Divovo: VNIIC, 2010.
8. Kotov A.S. [Polymorphic proteins and performance]. *Konevodstvo i konnyi sport - Horse breeding and equestrian sport*, 1977. 3: 23-29.
9. Koveshnikov V.S., Kalashnikov R. *Razvitie myasnogo tabunnogo konevodstva v Rossii* [Development of meat horse breeding in Russia]. Moscow: Rosinformagrotekh Publ., 2007. 176 p.
10. Marzanov N.S., Samorukov Yu.V., Eskin G.V., Nasibov M.G., Marzanova L.K., Kanatbaev S.G., Bukarov N.G. [Conservation of biodiversity. Genetic markers and selection of animals]. *Sel'skokhosaistvennaya biologiya - Agricultural Biology*. 2006. 4: 3-19.
11. Stepanov N.P., Martynov M.N., Filippova N.P. *Plemennaya rabota v tabunnom konevodstve Respubliki Sakha (Yakutiya)* (Horse breeding in the Republic of Sakha -Yakutia)]. Yakutsk: Sfera Publ., 2016.
12. Tikhonov V.N., Kotren Ye.G., Knyazev S.P. [Population and genetic parameters of aboriginal Yakut horses in connection with the phylogeny of modern breeds of the domestic horse *Equus caballus* L.]. *Genetika - Genetics*. 1998. 34(6): 796-809.
13. Vinokurov I.N. *Traditsionnaya kultura narodov Severa: produktivnoe konevodstvo severo-vostoka Yakutii*. (Traditional culture of the peoples of the North: productive horse breeding in the northeast of Yakutia). Novosibirsk: Nauka Publ., 2009. 256 p. (in Russian)

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.2.52-65

Characteristics of allele pool of Yakut breed horse using different types of genetic markers

¹Filippova N.P., ²Stepanov N.P., ³Dodokhov V.V., ⁴Marzanov N.S.

¹*Yakut Science Center of Complex Medical Problems, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation;* ²*Sakhaagroplem, Yakutsk;* ³*Yakut State Agricultural Academy, Yakutsk,* ⁴*Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Podolsk-Dubrovitsy, Moscow oblast, Russian Federation.*

ABSTRACT. The aim of this work was to study the genetic characteristics of horse breeds bred in the Republic of Sakha (Yakutia) by analyzing the frequencies of alleles and genotypes of polymorphic blood systems. According to the transferrin locus, the allele TF^F (0.376 ... 0.445) predominates in the allele pool of the studied breeds, the highest frequency of its occurrence was observed in the Yakutsk breed. At the albumin locus, the ALB^B allele ($P < 0.001$) predominates, except for horses of the Prilensk breed, in which the frequency of occurrence of these alleles was practically the same – ALB^A (0.502) and ALB^B (0.498). In the carboxylesterase system, the most frequent alleles were Es^G (0.560-0.656) and Es^F (0.335-0.417), while the Es^I allele was revealed only in the Yakutsk breed. In horses of the Megezhsk breed, a wide range of alleles at microsatellite loci was identified, including alleles that were absent in the other two Yakutsk breeds. In the horses of the Yakutsk and Megezhsk breeds, the LEX3 locus was found to have the LEX3^G allele, which had previously been identified only in the Arabian horses. In the Megezhsk breed, the ANT4F allele was identified, previously found only in the Akhal-Teke horse breed. According to the studied microsatellite loci, the Megezhsk breed has the highest average number of effective alleles (4.3). The magnitude of the observed heterozygosity for loci in all breeds is practically at the same level of 0.636-0.651. The values of the coefficient of genetic similarity at the loci of microsatellites between the Megezhsk and Yakutsk breeds are 0.872, between the Prilensk and Megezhsk breeds – 0.831, between the Prilensk and Yakutsk breeds - 0.780.

Keywords: Yakut horse, DNA polymorphism, microsatellite, genetic diversity, genetic distance

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology, 2021, 2: 52-65

Поступило в редакцию: 11.03.2021

Получено после доработки: 15.06.2021

Филиппова Наталья Павловна, к.б.н., доцент, с.н.с., т. 8(914)303-43-95; inniah1970@list.ru
Степанов Николай Прокопьевич, к.с.-х.н., зам. рук., т. 8(964)415-74-05; nikprok74@mail.ru
Додохов Владимир Владимирович, к.б.н., ст. преп., 8(964)422-02-78; dodoxv@mail.ru
Марзанов Нурбий Сафарбиевич, д.б.н., проф., г.н.с., 8(915)353-45-72; nmarzanov@yandex.ru