

**ПОЛИМОРФИЗМ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ КРОВИ ТАБУННЫХ ЛОШАДЕЙ
(*EQUUS FERUS CABALLUS*) ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ**

¹Т.Н. Хаамируев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

¹Б.З. Базарон, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

²Г.М. Гончаренко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник

²Н.Б. Гришина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

¹Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири – филиал СФНЦА РАН, Чита, Россия

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий, р.п. Краснообск Новосибирской обл., Россия

E-mail: gal.goncharenko@mail.ru

Ключевые слова: лошади, забайкальская порода, типы белков, полиморфизм, генотип, аллель, частота, индекс сходства, кластер.

Реферат. Представлены результаты изучения генетического разнообразия забайкальской породы лошадей по полиморфизму сывороточных белков TF, Es, ALB в четырёх табунах Забайкальского края. Забайкальская лошадь относится к древним аборигенным породам и наиболее приспособлена к местным климатическим условиям сухого жаркого лета и малоснежной морозной зимы, неприхотливая, выносливая, имеет крепкую конституцию. Исследования направлены на сохранение генетического разнообразия породы путём изучения полиморфных вариантов сывороточных белков, являющихся надёжными генетическими маркерами благодаря их кодоминантному наследованию и широкому полиморфизму. В локусе альбумина выявлено 2 аллеля и 3 генотипа, в локусе эстеразы – 6 аллелей и 13 генотипов, в трансферриновом локусе – 7 аллелей и 18 генотипов, встречающихся с разной частотой в исследуемых табунах, что позволяет характеризовать их генотипические особенности. К числу редко встречаемых генотипов локуса трансферрина (менее 10%) относятся 8 генотипов: TF^{DD}, TF^{DH}, TF^{DI}, TF^{DR}, TF^{FI}, TF^{FM}, TF^{FR}, TF^{RR}; локуса эстеразы – 6 генотипов: Es^{GI}, Es^{HH}, Es^{HI}, Es^{HO}, Es^I, Es^{GI}. По частоте генотипов и аллелей рассчитана гомозиготность по каждой системе сывороточных белков и в целом по выборке из табуна, уровень которой находится в пределах от 7,87 до 12,25%. Показатель общей гомозиготности варьирует от 34,35 до 43,36%, число эффективных аллелей (Na) во всех табунах практически одинаковое (2,30–2,91). Генетическая изменчивость варьирует в пределах 56,96–63,74%. Индекс генетического сходства между табунами находится на уровне 0,8439–0,9058. Анализируемые табуны образуют два подкластера: в первый вошли лошади СПК Племязавода им. Калинина и СПК «Рассвет», во второй – животные из СПК «Племязавод «Родина»» и АК «Тантанай».

POLYMORPHISM OF SERUM BLOOD PROTEINS OF HERD HORSES (*EQUUS FERUS CABALLUS*) OF THE TRANSBAIKAL BREED

¹T.N. Khamiruev, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher

¹B.Z. Bazaron, PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher

²G.M. Goncharenko, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher

²N.B. Grishina, PhD in Biological Sciences, Senior Researcher

¹Research Institute of Veterinary Medicine of Eastern Siberia - the branch of the SFSAC RAS, Chita, Russia

²Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies, pos. Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

E-mail: gal.goncharenko@mail.ru

Keywords: horse, Transbaikal breed, protein types, polymorphism, genotype, allele, frequency, similarity index, cluster.

Abstract. The results of a study of the genetic diversity of the Transbaikal horse breed based on the polymorphism of whey proteins TF, Es, and ALB in four herds of the Transbaikal region are presented. The Transbaikal horse belongs to the ancient aboriginal breeds and is most adapted to the local climatic conditions of dry, hot summers and frosty winters with little snow. It is unpretentious, hardy, and has a strong constitution. Research is aimed at preserving the breed's genetic diversity by studying polymorphic variants of whey proteins,

which are reliable genetic markers due to their codominant inheritance and comprehensive polymorphism. In the albumin locus, two alleles and three genotypes were identified. In the esterase locus, there are six alleles and 13 genotypes. In the transferrin locus - 7 alleles and 18 genotypes occur with different frequencies in the studied herds, which makes it possible to characterise their genotypic characteristics. Rarely encountered genotypes of the transferrin locus (less than 10%) include eight genotypes: TFDD, TFDH, TFDI, TFDR, TFFI, TFFM, TFOR, TFR; esterase locus - 6 genotypes: EsGI, EsHH, EsHI, EsHO, EsII, EsGI. Based on the frequency of genotypes and alleles, homozygosity was calculated for each whey protein system and for the entire sample from the herd, the level of which ranges from 7.87 to 12.25%. The overall homozygosity rate varies from 34.35 to 43.36%, and the number of effective alleles (N_a) in all herds is almost the same (2.30–2.91). Genetic variability ranges from 56.96–63.74%. The index of gene similarity between herds is at the level of 0.8439–0.9058. The analysed herds form two subclusters: the first includes horses from the APC (Agricultural Production Cooperative) Livestock Breeding Farm named after Kalinin and SPK "Rassvet". In the second - animals from APC (Agricultural Production Cooperative) "Livestock Breeding Farm "Rodina" and AC (Agricultural Cooperative) "Taptanay".

В Забайкальском крае с исторически сложившимся животноводством издавна разводили местную породу аборигенных лошадей – забайкальскую. По своему происхождению она относится к монгольскому корню. К началу XIX в. на территории современного Забайкалья образовалась популяция степных лошадей, несущая экстерьерные и биологические особенности с доминированием качеств монгольских предков: неприхотливости, крепости конституции, выносливости [1].

По хозяйственному назначению забайкальских лошадей относят к верхово-упряжным, по экологическому типу – к степным, по происхождению – к аборигенным (местные, локальные), по методу разведения – к табунным. Основное направление их использования – мясное [2].

В проблеме сохранения малочисленных аборигенных пород сельскохозяйственных животных, адаптированных к местным природно-климатическим условиям и устойчивых к заболеваниям [3], важную роль играет поддержание их генетического разнообразия, формирование оптимальной генетической структуры популяции для дальнейшего совершенствования генофонда [4, 5]. С целью контроля этих процессов в качестве эффективного инструментария используются генетические маркеры разных типов, в том числе сывороточные белки и ферменты крови животных, которые благодаря кодоминантному характеру наследования, легкости определения генотипов по фенотипу используются при оценке степени генетического разнообразия и родства пород, выявлении генетической внутривидовой дифференциации [6–8]. Так, например, в исследованиях полиморфизма белков пушных зверей установлена

высокая стабильность частот генотипов полиморфных локусов, однако в локусах постальбумина, посттрансферрина и гемоглобина наблюдалось превышение гомозиготных генотипов, что, вероятно, связано с направлением отбора или адаптивностью животных [9]. Кроме того, иммуногенетический и белковый полиморфизм может использоваться при изучении эволюционных взаимоотношений у млекопитающих и их связи с некоторыми показателями продуктивности сельскохозяйственных животных, качеством продукции, воспроизводительной способностью, иммунным ответом на меняющиеся условия среды [10–12].

Изучение генотипической структуры стада или популяции табунных лошадей с использованием полиморфных сывороточных белков позволяет выявлять редкие уникальные аллели и в дальнейшем проводить селекцию на их сохранение, что будет способствовать разнообразию генофонда локальных пород лошадей и обеспечит повышение эффективности ведения племенной работы в табунном коневодстве [13–15].

В настоящее время для генотипирования животных всё чаще используют микросателлиты или SNP (однонуклеотидные замены), однако в сравнительном аспекте отдалённых репродукций, или длительного временного мониторинга, в качестве релевантного метода может использоваться анализ полиморфизма белков сыворотки крови или иммуногенетический анализ. Эти маркеры имеют хороший полиморфизм и чёткое наследование, благодаря чему долгое время использовались в коневодстве для установления достоверности

происхождения животных и решения других селекционно-генетических вопросов.

Цель исследования заключалась в оценке генетического разнообразия разных табунов лошадей забайкальской породы по полиморфизму сывороточных белков крови.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Образцы сыворотки крови были отобраны у лошадей забайкальской породы в СПК–Племзавод им. Калинина Агинского, СПК «Рассвет» Ононского, СПК «Племзавод “Родина”» и АК «Таптанай» Дульдургинского районов Забайкальского края. Всего было исследовано 363 лошади. Анализ полиморфизма сывороточных белков крови проведен в лаборатории иммуногенетической экспертизы КГУ «Агинская окружная ветеринарная лаборатория».

Генетическую структуру (частоту антигенных факторов) вычисляли по формуле М. Нея:

$$P_i = n_i / N,$$

где P_i – частота антигена в выборке; n_i – число животных–носителей данного антигена; N – общее число животных в выборке.

Уровень гомозиготности рассчитывали по формуле А. Робертсона (1956):

$$Ca = \Sigma P^2,$$

где Ca – уровень гомозиготности по одному локусу; P – частота аллеля в локусе.

Число эффективных аллелей вычисляли по формуле

$$Na = 1 / Ca,$$

где Na – число эффективных аллелей; Ca – уровень гомозиготности.

Степень генетической изменчивости популяции (V) выражается через коэффициент (по А. Робертсону):

$$V = 1 - Ca / 1 - 1 / N \times 100,$$

где: N – количество животных; Ca – коэффициент гомозиготности.

Индекс генетического сходства вычисляли по формуле К. Majala, G. Lindstrom (1966):

$$r = \frac{\Sigma(x_i \times y_i)}{\sqrt{\Sigma x_i^2 \times y_i^2}},$$

где r – индекс генетического сходства; x_i и y_i – частоты аллелей в сравниваемых табунах.

Генетические дистанции между популяциями определяли по формуле М. Нея:

$$DN = -\ln r;$$

где DN – генетическая дистанция; \ln – логарифм натурального числа; r – индекс генетического сходства.

Для графического отображения генетических связей между изученными табунами построили дендрограмму генетических дистанций с помощью прикладной программы PAST version 3.25 [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Климат региона резко-континентальный. Зима с низкими температурами, слабыми ветрами, небольшим количеством осадков. Высота снежного покрова составляет от 3–6 до 10 см. Среднемесячная температура: января $-22...-26^{\circ}\text{C}$ (абсолютный минимум -51°C), июля $+16...+20^{\circ}\text{C}$ (абсолютный максимум $+37^{\circ}\text{C}$). Лето жаркое: первая половина – сухая, вторая – дождливая. Vegetационный период продолжается от 120 до 150 дней. Распределение осадков неравномерное и составляет 200–250 мм/год с колебаниями от 130 до 400 мм.

С целью выявления генетического разнообразия лошадей забайкальской породы проведён сравнительный анализ генотипической структуры по частоте генотипов белков трансферрина, эстеразы, альбумина в 4 хозяйствах Забайкальского края (табл. 1).

Результаты типирования показали, что табуны имеют генетическое сходство, обусловленное одной породной принадлежностью, и различия, связанные с индивидуальными особенностями. В локусе трансферрина в породе выявлено 7 аллелей и 18 генотипов, частота которых формирует профиль табуна. Следует отметить, что по встречаемости большинства генотипов различий не наблюдается. К редко встречаемым, менее 10%, или к невыявленным, относятся 8 генотипов: TF^{DD} , TF^{DH} , TF^{DI} , TF^{DR} , TF^{FI} , TF^{FM} , TF^{OR} , TF^{RR} , однако частота некоторых генотипов имеет сильную неравномерность. Так, в табуне АК «Таптанай» у 17,1 % животных определён генотип TF^{DF} , тогда как в других стадах он встречается крайне редко.

Частота генотипов полиморфных локусов белков крови лошадей
Frequency of genotypes of polymorphic loci of equine blood proteins

Генотип	ZAB1, n=98	ZAB2, n=128	ZAB3, n=102	ZAB4, n=35
<i>TF^{DD}</i>	0,0	5,50 ± 2,02	0,0	0,0
<i>TF^{DF}</i>	0,0	6,30 ± 2,15	1,00 ± 0,98	17,10 ± 6,36
<i>TF^{DH}</i>	0,0	2,30 ± 1,32	8,80 ± 2,80	8,60 ± 4,73
<i>TF^{DI}</i>	0,0	1,56 ± 1,11	0,0	0,0
<i>TF^{DO}</i>	0,0	0,80 ± 0,79	0,0	2,90 ± 2,84
<i>TF^{DR}</i>	0,0	3,10 ± 1,53	0,0	2,90 ± 2,84
<i>TF^{FF}</i>	2,00 ± 1,41	14,80 ± 9,85	6,80 ± 2,49	0,0
<i>TF^{FH}</i>	20,40 ± 4,07	17,20 ± 11,13	25,5 0 ± 4,32	11,40 ± 5,370
<i>TF^{FI}</i>	0,0	9,40 ± 2,58	0,0	0,0
<i>TF^{FM}</i>	0,0	0,0	1,00 ± 0,98	0,0
<i>TF^{FO}</i>	43,90 ± 5,01	17,20 ± 11,13	21,60 ± 4,07	20,00 ± 6,76
<i>TF^{FR}</i>	9,20 ± 2,92	3,10 ± 1,53	2,90 ± 1,66	0,0
<i>TF^{HH}</i>	15,30 ± 3,64	15,60 ± 3,21	14,70 ± 3,51	0,0
<i>TF^{HO}</i>	8,20 ± 2,77	3,10 ± 1,53	13,70 ± 3,40	20,00 ± 6,76
<i>TF^{HR}</i>	1,00 ± 1,00	0,0	2,00 ± 1,39	0,0
<i>TF^{OO}</i>	0,0	0,0	0,0	11,40 ± 5,37
<i>TF^{OR}</i>	0,0	0,0	1,00 ± 0,98	2,90 ± 2,84
<i>TF^{RR}</i>	0,0	0,0	1,00 ± 0,98	2,90 ± 2,84
<i>Es^{FF}</i>	28,60 ± 4,56	30,50 ± 4,07	0,0	11,40 ± 5,37
<i>Es^{FG}</i>	0,0	26,50 ± 3,90	18,60 ± 3,88	20,00 ± 6,76
<i>Es^{FH}</i>	12,20 ± 3,31	3,90 ± 1,71	18,60 ± 3,88	8,60 ± 4,73
<i>Es^{FI}</i>	47,90 ± 5,05	18,00 ± 3,40	16,70 ± 3,72	8,60 ± 4,73
<i>Es^{GI}</i>	0,0	0,0	0,0	5,70 ± 3,92
<i>Es^{HH}</i>	5,10 ± 2,22	1,60 ± 1,11	6,90 ± 2,49	0,0
<i>Es^{HI}</i>	3,10 ± 1,75	0,0	3,90 ± 1,94	0,0
<i>Es^{HO}</i>	0,0	0,0	1,00 ± 0,98	0,0
<i>Es^{II}</i>	3,06 ± 1,75	4,70 ± 1,87	1,00 ± 0,98	0,0
<i>Es^{GG}</i>	0,0	5,50 ± 2,02	2,90 ± 1,66	14,30 ± 5,92
<i>Es^{GH}</i>	0,0	2,30 ± 1,32	15,70 ± 3,63	22,90 ± 7,10
<i>Es^{GI}</i>	0,0	7,00 ± 2,26	14,70 ± 3,51	5,70 ± 3,92
<i>Es^{GI}</i>	0,0	0,0	0,0	2,90 ± 2,84
<i>ALB^{AA}</i>	8,16 ± 2,77	16,00 ± 3,27	28,40 ± 4,49	22,90 ± 7,10
<i>ALB^{AB}</i>	53,00 ± 5,04	45,30 ± 4,40	60,80 ± 4,81	65,70 ± 8,02
<i>ALB^{BB}</i>	38,80 ± 4,92	38,30 ± 4,30	10,80 ± 3,10	11,40 ± 5,37

Примечание. Здесь и далее: ZAB1 – СПК – Племязавод им. Калинина; ZAB2 – СПК «Рассвет»; ZAB3 – СПК «Племязавод “Родина”»; ZAB4 – АК «Таптанай».

Note. Here and below is ZAB1 – SPK Plemzavod named after. Kalinina; ZAB2 – SEC “Rassvet”; ZAB3 – SPK “Plemzavod “Rodina””; ZAB4 - AK “Taptanay”.

При этом следует отметить, что часть генотипов локуса трансферразы относятся к числу часто встречаемых. Так, генотип TF^{FH} встречается в табунах с частотой от 11,4 до 25,5%, генотип TF^{FO} – от 17,2 до 43,9, генотип TF^{HH} – от 14,7 до 15,6%, за исключением табуна АК «Таптанай», где этот генотип не выявлен.

Схожие результаты были получены в исследованиях по изучению полиморфизма сыворотки крови лошадей якутской породы [17, 18]. Авторы сообщают, что у якутских лошадей редко встречаются особи – носители генотипов TF^{RR} (3–5%), TF^{DD} (0,5–2,7%), TF^{OR} (0–0,6%). При этом часто встречаются лошади с генотипами TF^{FF} (23,88%), TF^{FH} (13,43%), TF^{FO} (10,45%) что согласуется с нашими результатами.

В локусе эстеразы у лошадей забайкальской породы выявлено 6 аллелей и 13 генотипов с разной частотой в исследуемых табунах. К редко встречаемым генотипам локуса эстеразы можно отнести генотипы Es^{HI} , Es^{HO} , Es^{II} , Es^{GI} , частота которых в табунах не превышает 6%. Наиболее существенные различия наблюдаются по генотипу Es^{FF} . У лошадей СПК – Племзавод им. Калинина и СПК «Рассвет» численность животных с этим генотипом составляет около 30%, тогда как в СПК «Племзавод “Родина”» таких особей не выявлено. Существенные различия

выявлены и по генотипу Es^{FI} , частота которого в табунах варьирует от 47,9% (СПК – Племзавод им. Калинина) до 8,6% (АК «Таптанай»). Разнообразие в частотах наблюдается и по генотипам Es^{GG} , Es^{GH} , Es^{GI} (от 0,0 до 22,9%).

При анализе частот генотипов локуса альбуминов обращает на себя внимание повышенная частота гетерозигот по сравнению с гомозиготами. Наиболее высокий их уровень наблюдается в табуне АК «Таптанай» – 65,7%, что выше, чем СПК «Рассвет», на 20,4% ($p \leq 0,05$).

Анализ частот аллелей трансферринового локуса сывороточных белков у лошадей забайкальской породы позволил выявить 7 аллелей, среди которых к наиболее распространённым во всех табунах можно отнести два – TF^F и TF^H , при этом наиболее высокая частота TF^F аллеля наблюдается у лошадей СПК «Рассвет», а TF^H – у животных СПК «Племзавод “Родина”». Превышение в сравнении АК «Таптанай» составляет 0,171 и 0,197 соответственно ($p \leq 0,001$, $p \leq 0,01$) (табл. 2).

Характерной особенностью табуна АК «Таптанай» является повышенная частота аллеля TF^O – 0,343, что превышает этот показатель в табунах СПК «Рассвет и СПК «Племзавод “Родина”» на 0,238 и 0,162 соответственно ($p \leq 0,001$, $p \leq 0,01$).

Таблица 2

Частота аллелей полиморфных локусов белков крови лошадей
Allele frequency of polymorphic equine blood protein loci

Аллель	ZAB1, n=98	ZAB2, n=128	ZAB3, n=102	ZAB4, n=35
TF^D	0,000	0,125 ± 0,022	0,049 ± 0,017	0,157 ± 0,044
TF^F	0,388 ± 0,036	0,414 ± 0,032	0,329 ± 0,033	0,243 ± 0,052
TF^H	0,301 ± 0,033	0,270 ± 0,028	0,397 ± 0,035	0,200 ± 0,048
TF^I	0,000	0,055 ± 0,020	0,000	0,000
TF^M	0,000	0,000	0,005 ± 0,010	0,000
TF^O	0,260 ± 0,032	0,105 ± 0,020	0,181 ± 0,028	0,343 ± 0,057
TF^R	0,051 ± 0,017	0,031 ± 0,014	0,039 ± 0,014	0,057 ± 0,028
Es^F	0,587 ± 0,036	0,547 ± 0,032	0,270 ± 0,032	0,400 ± 0,059
Es^G	0,000	0,234 ± 0,026	0,274 ± 0,032	0,329 ± 0,056
Es^H	0,127 ± 0,024	0,047 ± 0,014	0,265 ± 0,032	0,157 ± 0,044
Es^I	0,286 ± 0,033	0,172 ± 0,024	0,186 ± 0,028	0,071 ± 0,032
Es^J	0,000	0,000	0,000	0,043 ± 0,024
Es^O	0,000	0,000	0,005 ± 0,010	0,000
ALB^A	0,347 ± 0,035	0,391 ± 0,032	0,588 ± 0,035	0,557 ± 0,060
ALB^B	0,653 ± 0,035	0,609 ± 0,032	0,442 ± 0,035	0,443 ± 0,060

В локусе эстеразы выявлено 6 аллелей с разной частотой, среди которых к наиболее распространённым относится Es^f , концентрация которого в табунах СПК – Племязавод им. Калинина и СПК «Рассвет» СПК составляет 0,587 и 0,547, немного ниже в АК «Таптанай» – 0,400, тогда как в СПК «Племязавод “Родина”» частота этого аллеля 0,270.

Отмечена также неравномерность распределения частот аллелей Es^h и Es^l . Необходимо отметить, что для забайкальской породы лошадей характерна низкая частота Es^j и Es^o .

При анализе аллельного профиля локуса альбумина можно условно разделить табуны на две группы со сходной частотой аллелей. К

первой группе относятся СПК – Племязавод им. Калинина и СПК «Рассвет» ко второй – СПК «Племязавод “Родина”» и АК «Таптанай».

При этом необходимо отметить, что по частотам аллелей белков альбумина и эстеразы лошади забайкальской породы значительно отличаются от русской тяжеловозной породы [19].

На основании частоты генотипов и аллелей локусов TF , Es и ALB рассчитана гомозиготность по каждому локусу и её общее значение по всем локусам, а также число эффективных аллелей и уровень генетической изменчивости (табл. 3).

Таблица 3

Гомозиготность, число эффективных аллелей и уровень генетической изменчивости, %
Homozygosity, number of effective alleles and level of genetic variability, %

Показатель	ZAB1, n=98	ZAB2, n=128	ZAB3, n=102	ZAB4, n=35
<i>Гомозиготность локусов</i>				
<i>TF</i>	31,14 ± 4,68	12,10 ± 2,88	30,28 ± 4,55	24,48 ± 7,27
<i>Es</i>	44,26 ± 5,02	38,58 ± 4,30	25,30 ± 4,30	30,00 ± 7,75
<i>ALB</i>	54,68 ± 5,03	52,38 ± 4,41	54,12 ± 4,93	50,66 ± 8,45
<i>Популяционно-генетические параметры</i>				
<i>Ca</i>	43,36 ± 5,00	34,35 ± 4,19	36,56 ± 4,76	35,04 ± 8,06
<i>SH</i>	12,25 ± 3,31	7,87 ± 2,38	11,66 ± 3,18	8,31 ± 4,66
<i>Na</i>	2,30 ± 1,51	2,91 ± 1,48	2,73 ± 1,61	2,82 ± 2,79
<i>V</i>	56,96 ± 5,00	57,09 ± 4,37	64,01 ± 4,75	63,74 ± 8,12

В трансферриновом локусе наиболее низкий уровень гомозиготности наблюдается в табуне СПК «Рассвет» – 12,10 %, что меньше, чем в СПК – Племязавод им. Калинина и СПК «Племязавод “Родина”», на 19,04 и 18,18 % соответственно ($p \leq 0,001$). По локусу Es наиболее высокая гомозиготность отмечена в табуне Племязавода им. Калинина (44,26%), а наиболее низкая (25,30 %) – в табуне СПК «Племязавод “Родина”». Превышение составляет 18,96 % ($p \leq 0,01$). Различий по локусу альбумина и общей гомозиготности между табунами не выявлено.

Уровень общей гомозиготности (Ca) варьирует от 34,35 до 43,36%, число эффективных аллелей (Na) во всех табунах практически одинаковое (2,30–2,91). Уровень генетической

изменчивости варьирует в пределах 56,96–63,74 %.

Одним из показателей генетического разнообразия породы может служить индекс генетического сходства между стадами, рассчитанный по любым генетическим маркерам, наследование которых можно проследить фенотипически (табл. 4).

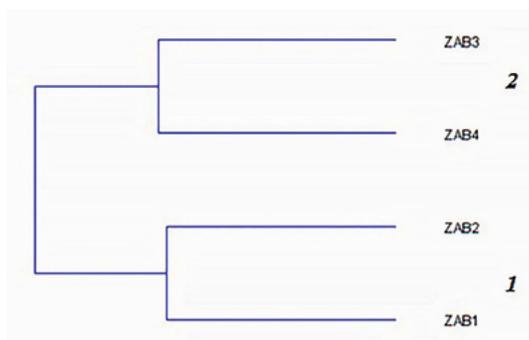
Нашими исследованиями установлено, что по генотипической структуре ближе всего СПК «Рассвет» и СПК – Племязавод им. Калинина, а также АК «Таптанай» и СПК «Племязавод “Родина”», индекс генетического сходства которых находится на уровне 0,9035 и 0,9058 соответственно. Несколько ниже сходство между табунами СПК «Племязавод “Родина”» и СПК «Рассвет» (0,8439), а также АК «Таптанай» и СПК «Рассвет» (0,8794).

Матрица генетических расстояний
Genetic Distance Matrix

Порода	ZAB1	ZAB2	ZAB3	ZAB4
ZAB1		0,9035 ± 0,0420	0,8468 ± 0,0376	0,8716 ± 0,0325
ZAB2	0,1015		0,8439 ± 0,0528	0,8794 ± 0,0454
ZAB3	0,1663	0,1697		0,9058 ± 0,0284
ZAB4	0,1374	0,1285	0,0989	

Примечание. Над диагональю – индексы генетического сходства (r), под диагональю – генетические дистанции (DN).

Note. Above the diagonal are genetic similarity indices (r), and below the diagonal are genetic distances (DN).



Дендрограмма генетических дистанций
Dendrogram of genetic distances

На рисунке представлена дендрограмма генетических дистанций между сравниваемыми табунами лошадей.

Выявленные сходства и различия между табунами, представленные в виде дендрограммы, показывают, что по генотипической структуре более близки между собой лошади СПК – Племязавод им. Калинина и СПК «Рассвет», которые образуют первый кластер. На объединение лошадей в один кластер, видимо, оказало влияние формирование табуна СПК «Рассвет» за счёт приобретения племенных животных из СПК Племязавод им. Калинина.

Второй кластер образуют лошади из СПК «Племязавод “Родина”» и АК «Таптанай», что можно объяснить некоторым обменом произ-

водителями внутри одного Дульдургинского района.

ВЫВОДЫ

1. Исследования генетических особенностей лошадей забайкальской породы по полиморфизму сывороточных белков крови *TF*, *Es*, *ALB* показали их сходство, обусловленное породной принадлежностью и различия, связанные с предшествующей селекцией.

2. На основании частот генотипов и аллелей рассчитаны индекс генетического сходства и генетические дистанции между исследуемыми табунами, что можно учитывать при составлении перспективных планов по работе с породой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пространственная структура и двигательная активность лошадей забайкальской породы / Г.М. Шкуратова, Т.Н. Хамируев, Б.З. Базарон, С.М. Дашинимаев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 4. – С. 42–52. – doi.org/10.26898/0370-8799-2021-4-5.*
2. *Хамируев Т.Н., Монгуш Б.М., Базарон Б.З. Сравнительная оценка экстерьера тувинской и забайкальской пород лошадей // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 9 (191). – С. 89–93.*

3. *Полиморфизм* генотипов STR-локусов основных линий жеребцов аборигенной кыргызской лошади / Б.И. Токтосунов, Д.А. Баймуканов, А.Х. Абдурасулов, С.Д. Монгуш // Вестник Чувашского ГАУ. 2022. – № 3. – С. 74–82. – DOI: 10.48612/vch/np59-6mmp-xrxn.
4. *Попов Р.Г., Попова Н.В.* Полиморфизм белков молока и крови якутской породы скота // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 7 (172). – С. 92–99. – DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-92-99.
5. *Selionova M.I., Plakhtyukova V.R.* Polymorphism of the CAPN1 and GH genes and its relationship with the productivity of cattle of the kazakh white-headed breed // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management, Baicsem 2020”. – 2020. – P. 012131. – DOI: 10.1088/1755-1315/613/1/012131.
6. *Мусаева И.В., Алиева Е.М.* Иммуногенетический полиморфизм крови крупного рогатого скота АО «Кизлярагрокомплекс» // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № (3) 68. – С. 94–102. – DOI: 10.24412/2078-1318-2022-3-94-102.
7. *Allelic variation of marker genes of hereditary diseases and economically important traits in breeding cattle population / A.G. Koshchayev, I.V. Shchukina, A.V. Garkovenko [et al.]* // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2018. – Vol. 10, N. 6. – P.1566–1572.
8. *Use of holstein bulls in improvement of black pied cattle / N.L. Ignatieva, I.V. Voronova, E.Yu. Nemtseva, G.M. Toboev* // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “International AgroScience Conference, AgroScience 2021”. – 2021. – P. 012025. – DOI: 10.1088/1755-1315/935/1/012025.
9. *О возможности* использования полиморфизма белков крови как показателя отбора в пушном звероводстве / Е.А. Тинаева, Л.Г. Маркович, В.В. Конкина, Е.А. Семикрасова // Вестник ВОГиС. – 2007. – Т. 11, № 1. – С. 122–130.
10. *Haemoglobin polymorphism in wild and cultured African catfish (Clarias gariepinus Burchell, 1822) / M.Y. Diyaware, A.B. Ahmed, A.A. Akinyemi, S.B. Suleiman* // Ife Journal of Science. – 2017. – N 19 (2). – P. 293–301. – DOI: <https://doi.org/10.4314/ijjs.v19i2.9>.
11. *Холодова Л.В., Новоселова К.С.* Использование иммуногенетики в селекции молочного стада Республики Марий Эл // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2018. – Т.4, № 3. – С. 69–77. – DOI: 10.30914/2411-9687-2018-4-3-69-76.
12. *Генотипы* EAF-системы групп крови в селекции крупного рогатого скота на продуктивность / Д.Н. Кольцов, В.И. Дмитриева, В.А. Багиров [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 10. – С. 58–61. – DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11013.
13. *Изменчивость* полиморфизма белков крови лошадей табунных пород Якутии / А.В. Чугунов, Н.П. Филиппова, М.Н. Халдеева, Н.П. Степанов // Наука и образование. – 2014. – № 2 (74). – С. 78–81.
14. *Оценка* генетического разнообразия в популяциях тувинских лошадей по локусам систем крови и микросателлитным ДНК / Р.Б. Чысыма, Л.А. Храброва, А.М. Зайцев [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52, № 4. – С. 679–685. – DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.679 rus.
15. *Блохина Н.В., Царева М.А.* Анализ генетической структуры новоалтайской породы лошадей с учетом аллелофонда базовых пород // Агрзоотехника. – 2019. – Т. 2, № 2. – С. 4. – DOI: 10.15838/alt.2019.2.2.4.
16. *Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D.* PAST: Palaeontological Statistics software for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. – 2001. – N 4 (1). – P. 9.
17. *Додохов В.В., Филиппова Н.П.* Полиморфизм белков сыворотки крови лошадей якутской породы // Потенциал современной науки. – 2015. – № 4 (12). – С. 70–75.
18. *Изучение* особенностей аллелофонда по полиморфным системам крови молодняка якутских лошадей ООО «Хоробут» / В.К. Евсюкова, С.И. Степанова, С.Р. Плотников, С.А. Герасимов // Агрэкоинфо. – 2022. – № 1. – С. 6.
19. *Блохина Н. В., Зайцев А.М., Храброва Л.А.* Внутрипопуляционная дифференциация лошадей русской тяжеловозной породы по полиморфным белкам и эритроцитарным антигенам // Вестник РГАУ. – 2019. – № 33. – С. 15–19.

REFERENCES

1. SHkuratova G.M., Hamiruev T.N., Bazaron B.Z., Dashinimaev S.M., *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*, 2021, No. 4, pp. 42–52, doi.org/10.26898/0370-8799-2021-4-5. (In Russ.)
2. Hamiruev T.N., Mongush B.M., Bazaron B.Z., *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 9 (191), pp. 89–93. (In Russ.)
3. Toktosunov B.I., Bajmukanov D.A., Abdurasulov A.H., Mongush S.D., *Vestnik CHuvashskogo GAU*, 2022, No. 3, pp. 74–82, DOI: 10.48612/vch/np59-6mmp-xpxn. (In Russ.)
4. Popov R.G., Popova N.V., *Vestnik KrasGAU*, 2021, No. 7 (172), pp. 92–99, DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-92-99. (In Russ.)
5. Selionova M.I., Plakhtyukova V.R., Polymorphism of the CAPN1 and GH genes and its relationship with the productivity of cattle of the kazakh white-headed breed, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. “International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management, Baicsem 2020”, 2020, P. 012131, DOI: 10.1088/1755-1315/613/1/012131.
6. Musaeva I.V., Alieva E.M., *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, No. (3) 68, pp. 94–102, DOI: 10.24412/2078-1318-2022-3-94-102. (In Russ.)
7. Koshchaev A.G. Shchukina I.V., Garkovenko A.V., Ilnitskaya E.V., Radchenko V.V., Bakharev A.A., Khrabrova L.A., *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2018, Vol. 10, No. 6, pp. 1566–1572.
8. Ignatieva N.L., Voronova I.V., Nemtseva E.Yu., Toboev G.M., Use of holstein bulls in improvement of black pied cattle, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. “International AgroScience Conference, AgroScience 2021”, 2021, pp. 012025, DOI: 10.1088/1755-1315/935/1/012025.
9. Tinaeva E.A., Markovich L.G., Konkina V.V., Semikrasova E.A., *Vestnik VOGiS*, 2007, Vol. 11, No. 1, pp. 122–130. (In Russ.)
10. Diyaware M.Y., Ahmed A.B., Akinyemi A.A., Suleiman S.B., *Haemoglobin polymorphism in wild and cultured African catfish (Clarias gariepinus Burchell, 1822)*, *Ife Journal of Science*, 2017, No. 19 (2), pp. 293–301, DOI: <https://doi.org/10.4314/ij.s.v19i2.9>.
11. Holodova L.V., Novoselova K.S., *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skohozyajstvennye nauki. Ekonomicheskie nauki»*, 2018, Vol. 4, No. 3, pp. 69–77, DOI: 10.30914/2411-9687-2018-4-3-69-76. (In Russ.)
12. Kol'cov D.N., Dmitrieva V.I., Bagirov V.A., Gontov M.E., Onufriev V.A., Tatueva O.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2019, Vol. 33, No. 10, pp. 58–61, DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11013. (In Russ.)
13. CHugunov A.V., Filippova N.P., Haldeeva M.N., Stepanov N.P., *Nauka i obrazovanie*, 2014, No. 2 (74), pp. 78–81. (In Russ.)
14. CHysyma R.B., Hrabrova L.A., Zajcev A.M., Makarova E.YU., Fedorov YU.N., Ludu B.M., *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, 2017, Vol. 52, No. 4, pp. 679–685, DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.679rus. (In Russ.)
15. Blohina N.V., Careva M.A., *Agrozootekhnika*, 2019, Vol. 2, No. 2, pp. 4, DOI: 10.15838/alt.2019.2.2.4. (In Russ.)
16. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D., *Palaeontologia Electronica*, 2001, No. 4 (1), pp. 9.
17. Dodohov V.V., Filippova N.P., *Potencial Sovremennoj nauki*, 2015, No. 4 (12), pp. 70–75. (In Russ.)
18. Evsyukova V.K., Stepanova S.I., Plotnikov S.R., Gerasimov S.A., *Agroekoinfo*, 2022, No. 1, pp. 6. (In Russ.)
19. Blohina N.V., Zajcev A.M., Hrabrova L.A., *Vestnik RGATU*, 2019, No. 33, pp. 15–19. (In Russ.)