ӘӨЖ 636.082.12;636.1;636.03 ***DOI 10.52578/2305-9397-2025-2-5-133-143***
ҒТАХР 34.23.59

**Сейсенова Ж. М.,** 7М05101 – Биология мамандығы бойынша 2-курс магистранты, **негізгі автор**, https://orcid.org/0009-0005-5721-1866
Әль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан, Республикасы, Аль-Фараби даңғылы 71; ҚР ҒЖБМ ҒК «Генетика және физиология институты», Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы, Аль-Фараби даңғылы, 93, zhannelya.seisenova@gmail.com
**Қапасұлы Т.,** докторант, 3 курс, https://orcid.org/0000-0002-6698-7894
Әль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан, Республикасы, Аль-Фараби даңғылы 71; ҚР ҒЖБМ ҒК «Генетика және физиология институты», Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы, Аль-Фараби даңғылы 93.Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми зерттеу институты, Алматы қаласы, Қазақстан, Республикасы, Жандосова 51, tilek.kapas@mail.ru
**Ахметов У.,** докторант, 3 курс, https://orcid.org/0009-0004-9399-6763
Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми зерттеу институты, Алматы қаласы, Қазақстан, Республикасы, Жандосова 51, ualihan_-_97@mail.ru
**Қожанов Ж. Е.,** ветеринария ғылымдарының магистрі, https://orcid.org/0000-0002-7102-3221 Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми зерттеу институты, Алматы қаласы, Қазақстан, Республикасы, Жандосова 51, zhassulan_888@mail.ru
**Досыбаев Қ. Ж.,** PhD, аға оқытушы, https://orcid.org/0000-0003-1136-833X
Әль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан, Республикасы, Аль-Фараби даңғылы 71; ҚР ҒЖБМ ҒК «Генетика және физиология институты», Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы, Аль-Фараби даңғылы 93. Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми зерттеу институты, Алматы қаласы, Қазақстан, Республикасы, Жандосова 51, kairat1987_11@mail.ru
**Төреханов А. Ә.,** ауылшаруашылық ғылымдарының докторы, профессор, https://orcid.org/0000-0002-3237-3683
Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми зерттеу институты, Алматы қаласы, Қазақстан, Республикасы, Жандосова 51, torehanov.aibyn@mail.ru
**Бекманов Б. О.,** биология ғылымдарының кандидаты, профессор, https://orcid.org/0000-0002-2232-0481
Әль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан, Республикасы, Аль-Фараби даңғылы 71; ҚР ҒЖБМ ҒК «Генетика және физиология институты», Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы, Аль-Фараби даңғылы 93, bobekman@rambler.ru

**Seisenova Zh. M.,** 2nd year Master's student in the specialty «7M05101 - Biology», **the main author**, https://orcid.org/0009-0005-5721-1866
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan Republics, Al Farabi Avenue 71. «Institute of Genetics and Physiology» SC MSHE RK, Almaty, Kazakhstan Republics, Al Farabi Avenue 93, zhannelya.seisenova@gmail.com
**Kapassuly T.,** PhD doctoral student, 3 rd year, https://orcid.org/0000-0002-6698-7894
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan Republics, Al Farabi Avenue 71. «Institute of Genetics and Physiology» SC MSHE RK, Almaty, Kazakhstan Republics, Al Farabi Avenue 93. Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production, Almaty, Kazakhstan Republics, Zhandosova 51, tilek.kapas@mail.ru
**Akhmetov U.,** PhD doctoral student, 3 rd year, https://orcid.org/0009-0004-9399-6763
Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production, Almaty, Kazakhstan Republics, Zhandosova 51, ualihan_-_97@mail.ru
**Khozhanov Zh. E.,** master of veterinary sciences, https://orcid.org/0000-0002-7102-3221
Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production, Almaty, Kazakhstan Republics, Zhandosova 51, zhassulan_888@mail.ru
**Dossybaev K. Zh.,** doctor PhD, senior lecturer, https://orcid.org/0000-0003-1136-833X
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan Republics, Al Farabi Avenue 71. «Institute of Genetics and Physiology» SC MSHE RK, Almaty, Kazakhstan Republics, Al Farabi Avenue 93; Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production, Almaty, Kazakhstan Republics, Zhandosova 51, kairat1987_11@mail.ru

**Torekhanov A. A.,** doctor of agricultural sciences, professor, https://orcid.org/0000-0002-3237-3683
Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production, Almaty, Kazakhstan Republics, Zhandosova 51, torehanov.aibyn@mail.ru
**Bekmanov B. O.,** candidate of Biological Sciences, Professor, https://orcid.org/0000-0002-2232-0481
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan Republics, Al Farabi Avenue 71.«Institute of Genetics and Physiology» SC MSHE RK, Almaty, Kazakhstan Republics, Al Farabi Avenue 93, bobekman@rambler.ru

# АДАЙ ЖЫЛҚЫ ТҰҚЫМЫНЫҢ ГЕНЕТИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫН SNP МАРКЕРЛЕРІ АРҚЫЛЫ ТАЛДАУ
# ANALYSIS OF THE GENETIC STRUCTURE OF THE ADAI HORSE BREED USING SNP MARKERS

## АННОТАЦИЯ

Біздің елімізде жылқы шаруашылығының алатын орны ерекше, оның ішінде Адай жылқы тұқымы маңызды болып табылады. Ұзақ жылдар бойы жүргізілген селекциялық жұмыстардың нәтижесінде Адай жылқысы тұқым ретінде қалыптасты. 2023 жылы патент беріліп, тұқым ретінде бекітілді. Осы бірегей жылқы тұқымын өсіру, сақтау және көбейту мақсатындағы генетикалық зерттеулер өте аз деңгейде жүргізілген. Осыған байланысты, бұл зерттеу жұмысындағы негізгі мақсаты бірнуклеотидті полиморфизм (*single nucleotide polymorphism*, *SNP*) негізінде Адай жылқы тұқымының генетикалық құрылымын сипаттау және оны басқа да жылқы тұқымдарымен салыстырмалы талдау жүргізу болып табылады. Зерттеу нәтижелері жылқылардың әрбір тұқымы негізгі компоненттерді талдау (*principal component analysis*, *PCA*) графигінде бөлек кластерге жіктелетінін және филогенетикалық шежіреде жеке топ құратынын көрсетті. Бұл, өз кезегінде Адай жылқы тұқымының бірегей генетикалық құрылымға ие екендігін және басқа жылқы тұқымдарымен салыстырғанда генетикалық дербестігін көрсетеді. Сонымен қатар, зерттеуге алынған жылқы тұқымдарының ішінде Адай және Моңғол жылқы тұқымдарының арасында генетикалық ұқсастықтардың болатындығы анықталды. Зерттеуден алынған нәтижелерді келесі ретте генетикалық және селекциялық жұмыстарда қолдануға болады.

## ANNOTATION

Horse breeding, including the Adai horse, occupies a special place in our country. As a result of many years of breeding work, the Adai horse was formed as a breed. In 2023, a patent was granted and approved as a breed. Genetic research for the purpose of breeding, preserving and reproducing this unique breed of horses was carried out at a very small level. In this regard, the main purpose of this research work was to describe the genetic structure of the Adai horse breed based on single nucleotide polymorphism (SNP) and to conduct a comparative analysis of it with other horse breeds. The results of the study showed that each horse breed is classified into a separate cluster on the principal component analysis (PCA) graph and forms a separate group in the phylogenetic genealogy. This, in turn, indicates that the Adai horse breed has a unique genetic structure and genetic isolation compared to other horse breeds. In addition, genetic similarities were found between the breeds of Adai and Mongolian horses. The results of the study can be used in the following genetic and breeding work.

***Кілт сөздер:*** *жылқы тұқымдары, SNP, генетикалық әртүрлілік, LD decay, PCA, филогенетикалық шежіре.*
***Key words:*** *Horse breeds, SNP, genetic diversity, LD decay, PCA, phylogenetic dendrogram.*

**Кіріспе.** Ежелгі уақыттан бері жылқы малы (*Equus caballus* L.) ел экономикасының маңызды бөліктерінің бірі ретінде саналады [1]. Соның ішінде, Қазақстан Республикасы үшін де жылқы малының орны ерекше. Оның үстіне, 5 мың жыл бұрын Орталық Азия аймағында орналсқан Ботай тайпасы жылқы малын алғаш болып қолға үйреткен деп есептеледі [2-4]. Көптеген тарихи деректер бойынша жылқы малын Сібір, Қазақстан және Моңғолия көшпенділері алғаш болып қолға үйреткен [5].

Қазақ халқының мәдениеті мен тұрмыс-тіршілігі жылқы жануарымен байланысты болды. Қазақ халқында жылқы малы ұлттық мәдениеттің шыңы ретінде есептелетін «Жеті қазына» құрамына да кіреді. Жеті қазына ертеректе көшпенді халықтың күнделікті тұрмыс-тіршілігіне байланысты қалыптасқан және қазақ халқы оны ер жігіттің өмірімен байланыстырған. Осыған орай жүйрік атты «ер жігіттің қанаты» ретінде сипаттаған және жылқы малына ерекше мән берген. Қазіргі уақытта Қазақстан аумағында жылқылардың жалпы саны 3 миллионнан асқан. [6]. Біріккен Ұлттар Ұйымының Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымы (ФАО) деректер қорында

Қазақстан Республикасындағы жылқы малының сегіз тұқымы ресми түрде тіркелген: Ахалтеке, Адай, Жебе, Көшім, Қазақ, Қостанай, Қарабайыр, Мұғалжар [**6-7**].

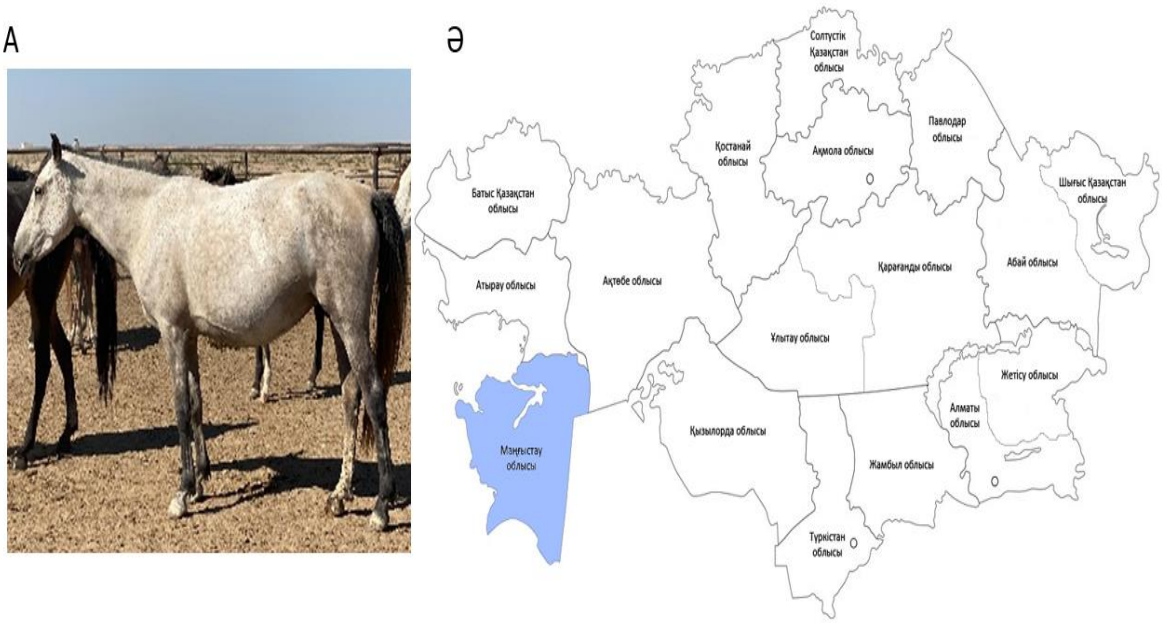
Осы аталған жылқы тұқымдарының ішінде Адай жылқысы («Маңғыстау тұлпары» деп те аталады) Қазақстанның оңтүстік-батысында мекендейтін жергілікті жылқы тұқымы болып табылады. Бұл жылқы тұқымы осыдан екі ғасыр бұрын Қазақстанның батысында қазақ жылқыларының сапасын жақсарту мақсатында түркімен (Иомуд, Ахал-Теке) жылқы тұқымдарымен шағылыстыру арқылы алынған және қазіргі кезге дейін еш өзгеріссіз сақталған [**8**-10]. Сондай-ақ, Адай жылқыларының қалыптасуына азиялық тұқымдар (моңғол, қарабайыр және араб) да әсер етті деген болжамдар бар.

Адай жылқысының негізгі таралу аймағы - Каспий мен Арал теңіздерінің арасындағы шөл-далалы аймақтар. Адай тұқымы өз атауын Орталық Азия тарихында белгілі қазақтың жауынгер руы ретінде сипатталатын «Адай» руынан алған деп есептеледі [11]. Адай жылқы тұқымы қазақ даласының ыстық ауа-райына мейлінше бейімделген, ерекше төзімді жылқы тұқымы болып табылады. Басқа жергілікті тұқымдардан ерекшелігі, бұл жылқылар епті және шөлді құм аймақтарда ұзақ қашықтықты оңай және жылдам еңсере алатын қасиетке ие [12-13]. Сонымен қатар, Адай жылқыларының тұяқтары жергілікті тасты-топырақты аймаққа бейімделген. Адай жылқылары табындап өсіруге қолайлы жылқылардың бірі, себебі, бірнеше күн бойы сусыз жүре алады және өте қатты шөппен қоректене алады. Адай жылқыларының сыртқы түрі өте қарапайым: мойны едәуір ұзын, түзу және алдыңғы жағына қарай сәл көлбеу келеді. Арқасы қысқа және түзу, басы пропорционалды, биіктігі 135-140 см болады. Бұлшық еттері айқын, кеудесі терең және кең болып келеді. Аяқтары ұзын, жіңішке және аяқ сіңірлері жақсы дамыған. Бұл өз кезегінде Адай жылқысының алыс қашықтықты еңсеруіне көмегін тигізеді. Адай жылқы тұқымы «мініс» жылқы тұқымдарына жатады. Негізгі түстері ақ, торы, алтын, аққұла, жирен және құла. Мінезі бойынша Адай жылқылары сабырлы, ақылды және мейірімді болып келеді [14-16].

Қазіргі таңдағы елдегі маңызды экономикалық рөліне қарамастан қазақ жылқыларының, соның ішінде, Адай жылқысының молекулалық-генетикалық шығу тегін анықтауға бағытталған зерттеулер саны шектеулі. Ең көп қолданылатын молекулалық құралдардың бірі - бір нуклеотидті полиморфизмдер (SNP). Мысалы, SNP маркерлерін жылқылардың популяциялық құрылымын және генетикалық өзгергіштігін анықтау үшін қолданылған зерттеулер бар [17-20].

Бұл зерттеу жұмысында Адай жылқы тұқымын генетикалық сипаттау мақсатында кеңгеномды SNP мәліметтерін қолдану арқылы талдаулар жүргізу болды. Сонымен қатар, генетикалық қорда сақталған басқа да мініс жылқы тұқымдарының SNP мәліметтерімен салыстыра отырып, олардың арасындағы филогенетикалық ұқсастықтары мен айырмашылықтарына қысқаша сипаттама беру болып табылады.

**Зерттеу материалдары мен әдістемелері.** *Үлгілерді жинау және ДНҚ молекуласын бөліп алу.* Зерттеуге Маңғыстау облысында өсірілетін шаруа қожалықтарынан іріктелген Адай жылқы тұқымының (58) жалы мен құйрықтарынан жиналған қылшық түктері пайдаланылды. Төмендегі суретте Адай жылқы тұқымы және үлгілер жиналған аймақ көрсетілген (сурет 1).

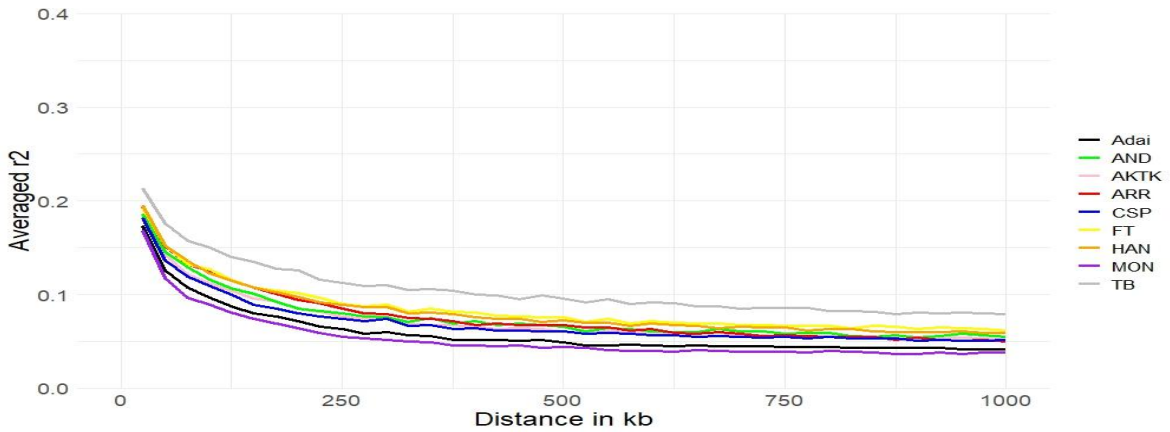



Сурет 1 –А) Адай жылқы тұқымы (bossagro.kz/glossary/adaevskaya-loshad/). Ә) Адай жылқы тұқымы үлгілері жиналған аймақ (Маңғыстау облысы).

Геномдық ДНҚ молекуласын бөліп алу арнайы коммерциялық жиынтық *DNeasy Blood & Tissue Kit* (#69516, *Qiagen*, Германия) арқылы жүзеге асырылды [21]. Бөлініп алынған геномдық ДНҚ молекуласының концентрациясы *Nanodrop OneC* (*ThermoScientific*, АҚШ) спектрофотометр көмегімен, ал бөліну сапасы 1,2% агарозды гель электрофорез арқылы анықталды.

*SNP-генотиптеу және SNP деректерін талдау.* SNP генотиптеу *EquineSNP50* (*Illumina*, АҚШ) микрочиптері арқылы өндіруші фирманың нұсқаулығымен *iScan* (*Illumina*, АҚШ) жүйесінде жүзеге асырылды. Алынған SNP мәліметтері келесі ретте *GenomeStudio* (*Illumina*, АҚШ) бағдарламасы арқылы алғашқы өңдеулерден өткізілді. Сонымен қатар, генетикалық салыстырмалы талдаулар жүргізу үшін *Dryad* (*https://datadryad.org/*) қорында сақталған төрт еуропалық (Андалусия, Ганновер, Француз және Асыл тұқымды ағылшын мініс жылқылары) және төрт азиялық (Ахал-Теке, Монғол, Каспий және Асыл тұқымды Араб жылқылары) жылқы тұқымдарының SNP мәліметтері жүктеліп алынды. Бұл мәліметтер *Plink* v.1.09 бағдарламасы арқылы Адай жылқы тұқымының SNP мәліметтерімен біріктіріліп, «сапалық тазалаудан» өткізілді. Мұндағы қолданылған негізгі талаптар: (1) Харди-Вайнберг теңдігіне дәл сәйкес келетін SNP мәліметтерін іріктеу (--hwe 0,01); (2) Минорлық аллельдер жиілігі бар SNP мәліметтерін іріктеу (--maf 0,01); (3) SNP анықтау жиілігі (--geno 0,01); (4) Жұптық генотиптік ассоциациялары бар SNP мәліметтерін жою (r2) > 0,2. Жалпы саны 185 жылқы үлгілерінде тазалаудан кейін 29,250 аутосомды SNP мәліметтері болды. Негізгі компоненттерді талдау (PCA) *Plink* v.1.09 бағдарламасы арқылы орындалды және R бағдарламасында «*ggplot2*» пакетінде визуализацияланды [22-23]. Филогенетикалық шежіре «жақын көршілер» (*neighbor-joining*) әдісімен жүзеге асырылды және Tassel v.5.0 және FigTree v.1.4.4 бағдарламалары көмегімен жүргізілді.

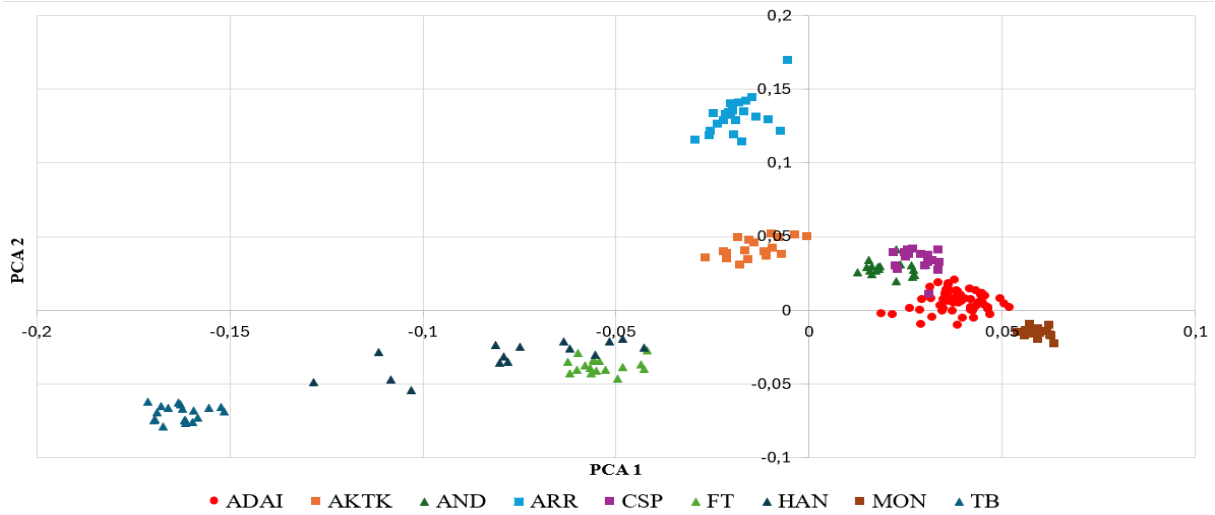
**Нәтижелер және оларды талқылау.** Бұл жұмыста біздің іріктеген Адай жылқы тұқымына жататын Маңғыстау аймағынан жиналған 58 үлгіге жүргізілген SNP мәліметтерін төрт еуропалық және үш азиялық мініс жылқы тұқымдарының генетикалық қорда бар қолжетімді SNP мәліметтерімен біріктіру арқылы талдаулар жүргізілді. Мұндағы алғашқы талдау зерттеуге алған популяциялар арасындағы тіркесу тепе-теңсіздігін бағалау (*Linkage Disequilibrium*, LD) болды. Бұл талдаулар R бағдарламасының көмегімен жүзеге асырылды [24]. Нәтижелері төмендегі суретте көрсетілген (сурет 2).




Сурет 2 – Тіркесу тепе-теңсіздігі графигі. Adai – Адай тұқымы, АКТК – Ахал-Теке тұқымы, AND – Андалусия тұқымы, ARR – Араб тұқымы, CSP – Каспий тұқымы, FT – Француз мініс жылқы тұқымы, HAN – Ганновер тұқымы, MON – Монғол тұқымы, ТВ – ағылшын мініс тұқымы

Тіркесу тепе-теңсіздігінің ыдырауын талдау (LD) негізінде зерттеуге алынған популяциялар арасында айқын заңдылықтардың барын көрсетті (Сурет 2). Ағылшын мініс жылқы популяциясы (ТВ) тіркесу тепе-теңсіздігінің ең жоғары жалпы деңгейін және 1000 кб қашықтықта $r^2$ орташа мәнін ($r^2$ = 0,079) сақтай отырып, ыдырау жылдамдығының төмен деңгейін көрсетті. Монғол жылқы популяциясы (MON), керісінше, LD мәнінің ең төмен екендігін көрсетті, және 1000 кб қашықтығында $r^2$ айтарлықтай төмен мәнге ие болды ($r^2$ = 0,038). Қалған популяциялар (ADAI, AND, AKTK, ARR, CSP, FT және HAN) LD ыдырауының орташа көрсеткіштеріне ие болды. Моңғол жылқыларында LD мәндері басқа шетелдік тұқымдарға қарағанда Адай жылқыларына жақын болды. Алынған LD нәтижелері Адай жылқы тұқымында генетикалық рекомбинация жиілігінің жоғары екенін көрсетті.

Келесі реттегі талдаулар зерттеуге іріктелген жылқы тұқымдары арасындағы негізгі компоненттерді талдау (PCA) және филогенетикалық шежіре арқылы сипаттауға бағытталды. PCA талдауы Адай жылқы тұқымы, еуропалық және азиялық жалпы саны сегіз мініс жылқы тұқымдарының SNP мәліметтеріне жүргізілді. Нәтижелер төмендегі суретте көрсетілген (сурет 3).

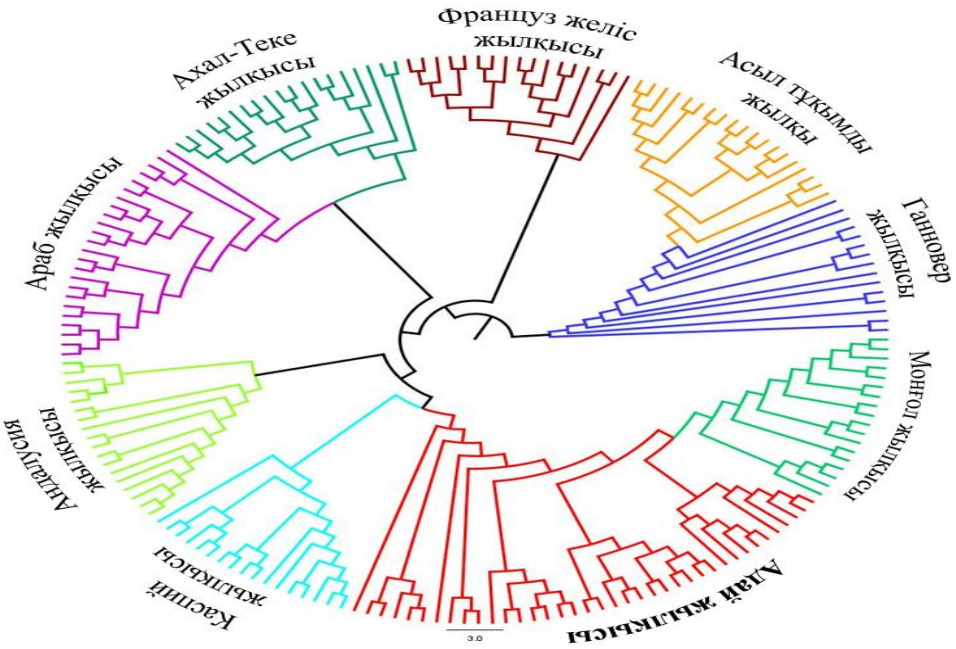



Сурет 3 – Адай жылқы тұқымының генетикалық құрылымын шет елдік 9 жылқы тұқымының деректерімен салыстырмалы түрде талдау. Жылқылар жеке SNP генотиптерін қолдана отырып, PCA негізінде кластерленген. Жылқы тұқымдары: ADAI – Адай тұқымы, АКТК – Ахал-Теке тұқымы, AND – Андалусия тұқымы, ARR – Араб тұқымы, CSP – Каспий тұқымы, FT – Француз мініс жылқы тұқымы, HAN – Ганновер тұқымы, MON – Монғол тұқымы, ТВ – ағылшын мініс тұқымы

PCA графигі кеңістіктік орналасу принципі негізінде таңдалған жылқы тұқымдарының арасындағы айырмашылықтар мен ұқсастықтарды көрсетеді. PCA талдауы жылқы тұқымдарының бірнеше кластерлерге нақты бөлінуін көрсетеді (сурет 3). PCA графигінде Адай жылқы тұқымы (қызыл түс) жеке топталған кластер құрып тұрғанын көруге болады. Яғни, Адай жылқы тұқымының басқа жылқы тұқымдарынан жеке генетикалық дербестігін көрсетеді және бірегей генқорын құрып тұрғанын байқауға болады. Сонымен қатар, Адай жылқы тұқымының кластерінде үлгілердің белгілі бір дисперсиясы байқалады, бұл популяцияның өзінде генетикалық әртүрліліктің болуын растайды. Мұндай әртүрлілік тұқымның қоршаған орта жағдайларына бейімделуін көрсетеді. Сондай-ақ, зерттеудегі басқа да жылқы тұқымдары, мысалы, Ахал-Теке тұқымы (қызыл-сары түс) графиктің ортасында топтасқан жеке кластер құрайды және Адай жылқы тұқымынан алыс орналасқан. Бұл Ахал-Теке жылқы тұқымының Азия тұқымдар топтамасына жатқанына қарамастан Адай жылқы тұқымы арасындағы генетикалық айырмашылықтарын көрсетеді. Дегенмен Араб, Француз мініс жылқы және Ганновер тұқымдарына қарғанда Ахал-Теке жылқысы Адай жылқы тұқымна жақын екені анықталды. Сонымен қатар, Адай жылқы тұқымына генетикалық жақын тұқымдар, ол Андалусия (қанық жасыл түс), Каспий жылқысы (күлгін түс) тұқымдарымен бірге класстер құрғаны байқалды. Ал Моңғол жылқысы (қоңыр түс) зерттеуге алынған жылқы тұқымдарынан жеке бөлініп, бірақ Адай жылқысына жақын екенін көрсетті. Бұл аталған тұқымдардың арасында белгілі бір дәрежеде тектік байланыстардың бар екендігін немесе ұқсас климаттық жағдайларға бейімделгендігін көрсетеді. Тарихи мәліметтерге сүйенсек, Каспий жылқы тұқымдары Азия аумағында өмір сүрген жабайы жылқыларды қолға үйрету нәтижесінде алынған [24]. Осыған орай, Адай және Каспий жылқы тұқымдарының Каспий теңізінің айналасында кең тараған ортақ ата-тегі арқылы туыстық байланыстары бар деген болжам жасауға болады. Андалусия жылқы тұқымдарының Адай тұқымдарымен өзара ұқсастығы олардың араб жылқы тұқымдарының қиылысуына байланысты болуы мүмкін [25-26].

Моңғол және Адай жылқыларының жалпы шығу тегі мен Орталық Азияның қатал жағдайларына бейімделуіне байланысты айтарлықтай генетикалық байланысы бар екенін біздің зерттеу нәтижелері көрсетті. Бұл туыстықты олардың генетикалық құрылымында да, тіршілік ету ортасында да байқауға болады [27].

Зерттеудегі 185 жылқы үлгілерінің 29,250 аутосомды SNP мәліметтері негізінде ары қарай филогенетикалық шежіре құрылды. Филогенетикалық шежіре құрастыру арнайы Tassel 5.0 бағдарламасы арқылы өңдеулерден өткізіліп, Figtree 1.4.4 бағдарламасында визуализацияланды (сурет 4).




Сурет 4 – SNP маркерлері арқылы құрастырылған филогенетикалық шежіре. Жылқы тұқымдарының 185 үлгісі негізінде 29,250 аутосомды SNP маркерлерін қолдана отырып иерархиялық кластерлеу арқылы жасалған.

SNP маркерлеріне негізделген жылқы тұқымдарының арасындағы филогенетикалық қатынастарды талдау Адай жылқы тұқымы мен басқа сегіз мініс жылқы тұқымдарының эволюциялық тарихын қайта құрастыруға мүмкіндік берді. PCA графигі үшін пайдаланылған мәліметтер негізінде құрастырылған филогенетикалық шежіреде әрбір тұқымның салыстырмалы түрде жеке кластер құратынын және тығыз топта болатындығын анық көруге болады. Бұл олардың генетикалық жағынан айырмашылықтарын көрсетеді (сурет 4). Мұндағы Адай жылқы тұқымының кластеріне Моңғол жылқы тұқымының жеке бір топтама құра отырып енуі қызығушылық танытады. Бұл сипаттама Моңғол жылқы тұқымының Адай жылқы тұқымымен ортақ SNP мәліметтерінің басқа жылқы тұқымдарымен салыстырғанда өте көп болатындығын көрсетеді. Сонымен бірге, мұндай жақындық белгілі бір деңгейдегі генетикалық алмасудың немесе ортақ ата-тектік байланыстардың болғандығын білдіреді деп болжауға болады. Каспий және Андалусия тұқымдары да Адай жылқы тұқымына жақын орналасқан. Бұл жылқы тұқымдарымен де Адай жылқы тұқымының арасында ұқсастықтардың көптеп болуын көрсетеді [28-29]. Сондықтан біздің алған нәтижелер эволюциялық тұрғыдан тереңірек ары қарай зерттеуге қызығушылық танытады.

Зерттеудегі басқа жылқы тұқымдары, мысалы, асыл тұқымды Араб жылқысы, Ахал-Теке, Француз желіс жылқысы, асыл тұқымды мініс жылқысы және Ганновер жылқысы Адай жылқы тұқымынан алыстау кластерде біріктірілген. Осыдан Бұл жылқы тұқымдарының Адай жылқы тұқымы арасында ортақ генетикалық байланыстардың аз екенін көрсетеді (сурет 4).

**Қорытынды.** Зерттеу нәтижелерін қорытындылай келе, осы жүргізілген жұмыстан қазақтың жергілікті Адай жылқы тұқымының генетикалық құрылымы туралы қысқаша ақпарат алуға болады. Яғни, Адай жылқы тұқымының генетикалық әртүрлілігі жоғары болатындығын және оның басқа да мініс жылқыларымен салыстырғанда өзінің жеке тұқым ретіндегі ерекшелігін көруге болады. Бұл зерттеулерден алынған мәліметтер келесі ретте Адай жылқы тұқымының геномдық деңгейде жүргізілетін селекциялық жұмыстарда маңызды роль атқарады. Сонымен қатар, жүргізілген PCA және филогенетикалық шежіре талдаулары Адай жылқысына Монғол жылқы тұқымының генетикалық ұқсастығы болатындығын және олардың арасында белгілі бір дәрежеде генетикалық алмасудың немесе ортақ ата-тектік сипаттардың болуы туралы болжам жасауға мүмкіндік береді.

**Алғыс.** Бұл жұмыс ҚР Ауылшаруашылық министрлігі тарапынан қаржыландырылған «BR22885681 «Совершенствование существующих приемов управления генетическими ресурсами адайских и кустанайских лошадей с сохранением генофонда кустанайской породы» жобасы аясында орындалды.

## ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Pozharskiy A., Beishova I., Nametov A., Shamshidin A., Ulyanova T., Kovalchuk A. and etc. Genetic composition of Kazakh horses of Zhabe type evaluated by SNP genotyping [Text] // Heliyon. – 2025. – Vol.11. – №1. – DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e41173.

2 Абсаттаров Р., Шалтыков А. Ботай: место и роль в мировой цивилизации [Текст] // Вестник КазНПУ имени Абая – 2021. – Выпуск 70. – №2. – 290–301 стр. – DOI: 10.51889/2020-2.1728-8940.42.

3 Косорыгина, К.Ю., Тарасова, Л.В. Теория и методика конного спорта // Смоленск: ФГБОУ ВО «СГУС», 2024. – 265 стр. – [Электронный ресурс]. // – URL: https://sgus.ru/nauka/izdatelskaya-deyatelnost/pdf/2024/koni2024.pdf (Жүгінген күні: 29.12.2024).

4 Outram A., Bendrey R., Evershed R.P., Orlando L., Zaibert V.F. Rebuttal of taylor and barron-ortiz ′ 2021 rethinking the evidence for early horse domestication at botai [Text] // https://doi.org/10.5281/zenodo.5142604, 2021.

5 Админ. Лошадь: описание, виды, образ жизни // редакция сайта – 2021. – [Электронный ресурс] // – URL: https://planetanimal.ru/loshad/ (Жүгінген күні: 01.01.2025).

6 Orazymbetova Z., Ualiyeva D., Dossybayev K., Torekhanov A., Sydykov D., Mussayeva A., Baktybayev G. Genetic Diversity of Kazakhstani *Equus caballus* (Linnaeus, 1758) Horse Breeds Inferred from Microsatellite Markers [Text] // Veterinary Sciences. – 2023. – Vol.10. – №10. –DOI: 10.3390/vetsci10100598.

7 Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. Второй краткий отчет о состоянии мировых генетических ресурсов животных для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства // Рим, 2015. – 2-562 стр. – [Электронный ресурс] // – URL: https://www.fao.org (Жүгінген күні: 01.01.2025).

8 Дюсегалиев М.Ж. Генотипы табунных лошадей Западного региона Казахстана. // Сельское хозяйство и экосистемы в современном мире: региональные и межстрановые исследования [Текст] – 2022. – Выпуск 1. – №2. – 33-43 стр. – DOI: 10.53315/2949-1231-2022-1-2-33-43.

9 Породы лошадей. Иомудская порода лошадей // редакция сайта – 2022. – [Электронный ресурс] // – URL: https://direct.farm/post/iomudskaya-porodaloshadey-9449 (Жүгінген күні: 02.01.2025).

10 Найманов Д.К., Турабаев А.Т., Бактыбаев Г.Т., Селеуова Л.А. Табунное коневодство // Учебное пособие, Костанай. – 2018. – Т.2. – 234 стр. [Электронный ресурс]. // – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44871323 (Жүгінген күні: 03.01.2025).

11 Википедия. Адаев (Лошадь) // Википедия свободная энциклопедия. – 2025. – [Электронный ресурс] // – URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.07058188-67b1b5be-2ea81c37-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Adaev_(horse) (Жүгінген күні: 02.01.2025).

12 Neotmb. Аборигенные лошадки: лучшие местные породы // Конный клуб Звезда – 2022. – [Электронный ресурс] // – URL: https://ksk-zvezda.ru/2022 /08/8142/ ?ysclid=m5mtv4ls96222290789 (Жүгінген күні: 03.01.2025).

13 *Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. Адаевская лошадь официально признана самостоятельной породой* // gov.kz – 2023. – [Электронный ресурс] // – URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/press/news/details/680590 (Жүгінген күні: 03.01.2025).

14 Орлов. Адаевская порода лошадей: фото, описание, история происхождения // Сайт о лошадях KoHuKu.ru – 2012. – [Электронный ресурс] // – URL: https://kohuku.ru/porodi/verhovo-upryajnie/788-adaevskaya-poroda-loshadey-html (Жүгінген күні: 03.01.2025).

15 Админ. Адаевская порода лошадей // Stroy podskazka – [Электронный ресурс] // – URL: https://stroy-podskazka.ru/loshadi/porody/adaevskaya/?ysclid=m5mw29t62z207724637 (Жүгінген күні: 03.01.2025).

16 Бейшова И.С., Шәмшідін Ә.С., Кужебаева У.Ж., Ульянов В.А., Ульянова Т.В., Бекова Г.С., Салимова Д.К. Формирование выборки и отбор отечественных пород лошадей для проведения полногеномного ресеквенирования [Текст] // Ғылым және білім. – 2024. – Т.76. - № 3-2. – 140-150 стр. – DOI: 10.52578/2305-9397-2024-3-2-140-149.

17 Grilz-Seger G., Druml T., Neuditschko M., Dobretsberger M., Horna M., Brem G. High-resolution population structure and runs of homozygosity reveal the genetic architecture of complex traits in the Lipizzan horse [Text] // BMC Genom. – 2019. – Vol.20. – №174. – 1-17 p. – DOI: 10.1186/s12864-019-5564-x.

18 Zhang C., Ni P., Ahmad H.I., Gemingguli M., Baizilaitibei A., Gulibaheti D., Fang Y., Wang H., Asif A.R., Xiao C. et al. Detecting the Population Structure and Scanning for Signatures of Selection in Horses (Equus caballus) From Whole-Genome Sequencing Data [Text] // Evol. Bioinform. – 2018. – Vol.14. – №1176934318775106. – DOI: 10.1177/1176934318775106.

19 Ma H., Wang S., Zeng G., Guo J., Guo M., Dong X., Hua G., Liu Y., Wang M., Ling Y. et al. The Origin of a Coastal Indigenous Horse Breed in China Revealed by Genome-Wide SNP Data [Text] // Genes – 2019. – Vol.10. – №3. – 241 p. – DOI: **10.3390/genes10030241**.

20 Pozharskiy A., Abdrakhmanova A., Beishova I., Shamshidin A., Nametov A., Ulyanova T., Bekova G., Kikebayev N., Kovalchuk A., Ulyanov V., Turabayev A. and etc. Genetic structure and genome-wide association study of the traditional Kazakh horses [Text] // Animal. – 2023. – vol.17. – №9. – DOI: 10.1016/j.animal.2023.100926.

21 Qiagen. DNeasy Blood & Tissue Kit // Qiagen – 2025. – [Электронный ресурс] // – URL: https://www.qiagen.com/us/products/discovery-and-translational-research/dna-rna-purification/dna-purification/genomic-dna/dneasy-blood-and-tissue-kit (Жүгінген күні: 06.01.2025).

22 Уикхэм Х. Пакет 'ggplot2': Элегантная графика для анализа данных // Springer-Verlag. – Нью-Йорк, 2016. – 2-ое издание. – [Электронный ресурс] // - URL: https://ggplot2-book.org/ (Жүгінген күні: 05.01.2025).

23 Galili T. Dendextend: Пакет R для визуализации, корректировки и сравнения деревьев иерархической кластеризации // Биоинформатика – 2015. – vol.31. – №22. – DOI: 10.1093/биоинформатика / btv428.

24 Соня Боровских. Не пони, а миниатюрная лошадь // Конники России – 2022. – [Электронный ресурс] // – URL: https://dzen.ru/a/Y4N1Ti7fk1-FFIUM (Жүгінген күні: 10.01.2025).

25 Асанбаев, Т.Ш., Омашев, К.Б. Использование мирового генофонда сельско-хозяйственных животных // Павлодар. – Торайгыров университет, 2023 — 312 с. – [Электронный ресурс]. // - URL: https://textbook.tou.edu.kz/books/253/0.html# (Жүгінген күні: 12.01.2025).

26 Дышеков А. Андалузская лошадь // Социум – 2020. – [Электронный ресурс] // – URL: https://kbpravda.ru/node/5025 (Жүгінген күні: 13.01.2025).

27 Калашников В.В. Монгольская лошадь // Большая Российская энциклопедия. – 2022. – [Электронный ресурс] // – URL: https://bigenc.ru/c/mongol-skaia-loshad-2df7a2 (Жүгінген күні: 15.01.2025).

28 Исхан Қ., Акимбеков А., Мукинов Х., Мукинов Е. Создание бескарагайского заводского типа и линий шойынкара и байторы казахской породы лошадей [Текст] // Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния. – 2024. – 272-281 – DOI: 10.52754/16948696_2024_2(7)_31.

29 Сафронова Н. Древние монгольские лошади оказались генетически близкими лошадям из Средней Азии, Китая и Италии // Научная Россия. – 2021. – [Электронный ресурс] // – URL: https://scientificrussia.ru/articles/drevnie-mongolskie-loshadi-okazalis-geneticheski-blizkimi-loshadyam-iz-srednej-azii-kitaya-i-italii (Жүгінген күні: 15.01.2025).

**REFERENCES**

1 Pozharskiy A., Beishova I., Nametov A., Shamshidin A., Ulyanova T., Kovalchuk A. and etc. Genetic composition of Kazakh horses of Zhabe type evaluated by SNP genotyping // Heliyon. – 2025. – Vol.11. – №1. – DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e41173.

2 Absattarov R., Shaltykov A. Botaj: mesto i rol' v mirovoj civilizacii // Vestnik KazNPU imeni Abaja – 2021. – Vypusk 70. – №2. – 290–301 str. – DOI: 10.51889/2020-2.1728-8940.42 [in Russian]

3 Kosorygina, K.Ju., Tarasova, L.V. Teorija i metodika konnogo sporta // Smolensk: FGBOU VO «SGUS», 2024. – 265 ctr. – [Jelektronnyj resurs]. // – URL: https://sgus.ru/nauka/izdatelskaya-deyatelnost/pdf/2024/koni2024.pdf (Zhygingen kyni: 29.12.2024)

4 Outram A., Bendrey R., Evershed R.P., Orlando L., Zaibert V.F. Rebuttal of taylor and barron-ortiz ´ 2021 rethinking the evidence for early horse domestication at botai. https://doi.org/10.5281/zenodo.5142604, 2021.

5 Admin. Loshad': opisanie, vidy, obraz zhizni // redakcija sajta – 2021. – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://planetanimal.ru/loshad/ (Zhygingen kyni: 01.01.2025)

6 Orazymbetova Z., Ualiyeva D., Dossybayev K., Torekhanov A., Sydykov D., Mussayeva A., Baktybayev G. Genetic Diversity of Kazakhstani *Equus caballus* (Linnaeus, 1758) Horse Breeds Inferred from Microsatellite Markers. // Veterinary Sciences. – 2023. – Vol.10. – №10. –DOI: 10.3390/vetsci10100598.

7 Prodovol'stvennaja i sel'skohozjajstvennaja organizacija Ob#edinennyh Nacij. Vtoroj kratkij otchet o sostojanii mirovyh geneticheskih resursov zhivotnyh dlja proizvodstva prodovol'stvija i vedenija sel'skogo hozjajstva // Rim, 2015. – 2-562 str. – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://www.fao.org (Zhygingen kyni: 01.01.2025)

8 Djusegaliev M.Zh. Genotipy tabunnyh loshadej Zapadnogo regiona Kazahstana. // Sel'skoe hozjajstvo i jekosistemy v sovremennom mire: regional'nye i mezhstranovye issledovanija. – 2022. – Vypusk 1. – №2. – 33-43 str. – DOI: 10.53315/2949-1231-2022-1-2-33-43

9 Porody loshadej. Iomudskaja poroda loshadej // redakcija sajta – 2022. – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://direct.farm/post/iomudskaya-porodaloshadey-9449 (Zhygingen kyni: 02.01.2025)

10 Najmanov D.K., Turabaev A.T., Baktybaev G.T., Seleuova L.A. Tabunnoe konevodstvo // Uchebnoe posobie, Kostanaj. – 2018. – T.2. – 234 str. [Jelektronnyj resurs]. // – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44871323 (Zhygingen kyni: 03.01.2025)

11 Vikipedija. Adaev (Loshad') // Vikipedija svobodnaja jenciklopedija. – 2025. – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.07058188-67b1b5be-2ea81c37-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Adaev_(horse) (Zhygingen kyni: 02.01.2025)

12 Neotmb. Aborigennye loshadki: luchshie mestnye porody // Konnyj klub Zvezda – 2022. – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://ksk-zvezda.ru/2022/08/8142/?ysclid=m5mtv4ls96222290789 (Zhygingen kyni: 03.01.2025)

13 Ministerstvo sel'skogo hozjajstva Respubliki Kazahstan. Adaevskaja loshad' oficial'no priznana samostojatel'noj porodoj // gov.kz – 2023. – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/press/news/details/680590 (Zhygingen kyni: 03.01.2025)

14 Orlov. Adaevskaja poroda loshadej: foto, opisanie, istorija proishozhdenija // Sajt o loshadjah KoHuKu.ru – 2012. – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://kohuku.ru/porodi/verhovo-upryajnie/788-adaevskaya-poroda-loshadey-html (Zhygingen kyni: 03.01.2025)

15 Admin. Adaevskaja poroda loshadej // Stroy podskazka – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://stroy-podskazka.ru/loshadi/porody/adaevskaya/?ysclid=m5mw29t62z207724637 (Zhygingen kyni: 03.01.2025)

16 Bejshova I.S., Shəmshidin Ə.S., Kuzhebaeva U.Zh., Ul'janov V.A., Ul'janova T.V., Bekova G.S., Salimova D.K. Formirovanie vyborki i otbor otechestvennyh porod loshadej dlja provedenija polnogenomnogo resekvenirovanija // Ғylym zhəne bilim. – 2024. – T.76. - № 3-2. – 140-150 str. – DOI: 10.52578/2305-9397-2024-3-2-140-149 [in Russian]

17 Grilz-Seger G., Druml T., Neuditschko M., Dobretsberger M., Horna M., Brem G. High-resolution population structure and runs of homozygosity reveal the genetic architecture of complex traits in the Lipizzan horse // *BMC Genom.* – 2019. – Vol.20. – №174. – 1-17 p. – DOI: 10.1186/s12864-019-5564-x.

18 Zhang C., Ni P., Ahmad H.I., Gemingguli M., Baizilaitibei A., Gulibaheti D., Fang Y., Wang H., Asif A.R., Xiao C. et al. Detecting the Population Structure and Scanning for Signatures of Selection in Horses (*Equus caballus*) From Whole-Genome Sequencing Data. // *Evol. Bioinform.* – 2018. – Vol.14. – №1176934318775106. – DOI: 10.1177/1176934318775106.

19 Ma H., Wang S., Zeng G., Guo J., Guo M., Dong X., Hua G., Liu Y., Wang M., Ling Y. et al. The Origin of a Coastal Indigenous Horse Breed in China Revealed by Genome-Wide SNP Data. // *Genes* – 2019. – Vol.10. – №3. – 241 p. – DOI: **10.3390/genes10030241**.

20 Pozharskiy A., Abdrakhmanova A., Beishova I., Shamshidin A., Nametov A., Ulyanova T., Bekova G., Kikebayev N., Kovalchuk A., Ulyanov V., Turabayev A. and etc. Genetic structure and genome-wide association study of the traditional Kazakh horses // Animal. – 2023. – vol.17. – №9. – DOI: 10.1016/j.animal.2023.100926.

21 Qiagen. DNeasy Blood & Tissue Kit // Qiagen – 2025. – [Электронный ресурс] // – URL: https://www.qiagen.com/us/products/discovery-and-translational-research/dna-rna-purification/dna-purification/genomic-dna/dneasy-blood-and-tissue-kit (Жүгінген күні: 06.01.2025).

22 Uikhjem H. Paket 'ggplot2': Jelegantnaja grafika dlja analiza dannyh // Springer-Verlag. – N'ju-Jork, 2016. – 2-oe izdanie. – [Jelektronnyj resurs]. // - URL: https://ggplot2-book.org/ (Zhүgingen kүni: 05.01.2025)

23 Galili T. Dendextend: Paket R dlja vizualizacii, korrektirovki i sravnenija derev'ev ierarhicheskoj klasterizacii // Bioinformatika – 2015. – vol.31. – №22. – DOI: 10.1093/bioinformatika / btv428

24 Sonja Borovskih. Ne poni, a miniatjurnaja loshad' // Konniki Rossii – 2022. – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://dzen.ru/a/Y4N1Ti7fk1-FFIUM (Zhүgingen kүni: 10.01.2025) [in Russian]

25 Asanbaev, T.Sh., Omashev, K.B. Ispol'zovanie mirovogo genofonda sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh // Pavlodar. – Torajgyrov universitet, 2023 — 312 c. – [Jelektronnyj resurs]. // - URL: https://textbook.tou.edu.kz/books/253/0.html# (Zhүgingen kүni: 12.01.2025) [in Russian]

26 Dyshekov A. Andaluzskaja loshad' // Socium – 2020. – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://kbpravda.ru/node/5025 (Zhүgingen kүni: 13.01.2025)

27 Kalashnikov V.V. Mongol'skaja loshad' // Bol'shaja Rossijskaja jenciklopedija. – 2022. – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://bigenc.ru/c/mongol-skaia-loshad-2df7a2 (Zhүgingen kүni: 15.01.2025)

28 Ishan Қ., Akimbekov A., Mukinov H., Mukinov E. Sozdanie beskaragajskogo zavodskogo tipa i linij shojynkara i bajtory kazahskoj porody loshadej // Vestnik Oshskogo gosudarstvennogo universiteta. Sel'skoe hozjajstvo: agronomija, veterinarija i zootehnija. – 2024. – 272-281 – DOI: 10.52754/16948696_2024_2(7)_31

29 Safronova N. Drevnie mongol'skie loshadi okazalis' geneticheski blizkimi loshadjam iz Srednej Azii, Kitaja i Italii // Nauchnaja Rossija. – 2021. – [Jelektronnyj resurs] // – URL: https://scientificrussia.ru/articles/drevnie-mongolskie-loshadi-okazalis-geneticheski-blizkimi-loshadyam-iz-srednej-azii-kitaya-i-italii (Zhүgingen kүni: 15.01.2025)

## РЕЗЮМЕ

Особое место в нашей стране занимает коневодство, в том числе Адайская лошадь. В результате многолетней селекционной работы Адайская лошадь сформировалась как порода. В 2023 году был выдан патент и утвержден как порода. Генетические исследования с целью разведения, сохранения и размножения этой уникальной породы лошадей проводились на очень небольшом уровне. В связи с этим основной целью в этой исследовательской работе было описание генетической структуры породы лошадей Адай на основе однонуклеотидного полиморфизма (*single nucleotide polymorphism*, SNP) и проведение сравнительного анализа ее с другими породами лошадей. Результаты исследования показали, что каждая порода лошадей классифицируется в отдельный кластер на графике анализа основных компонентов (*principal component analysis*, PCA) и образует отдельную группу в филогенетической генеалогии. Это, в свою очередь, указывает на то,

что порода лошадей Адай имеет уникальную генетическую структуру и генетическую обособленность по сравнению с другими породами лошадей. Кроме того, было обнаружено генетическое сходство между породами Адайских и монгольских лошадей. Результаты исследования могут быть использованы в следующих генетических и селекционных работах.