

университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Қазақстан, 110000, г.Костанай, ул. Маяковского 99/1, тел.8-747-016-93-55, e-mail: aigerisha1203@mail.ru.

Шайкамал Гулшат Иманжанкызы – кандидат сельскохозяйственных наук, тренинг-менеджер, ТОО «Adhara», Қазақстан, 050010, г. Алматы, проспект Абая, 8, тел. 8-705-411-5171, e-mail: gulshat_kos@mail.ru.

Папуша Наталья Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, и.о. ассоциированного профессора кафедры продовольственной безопасности и биотехнологии, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Қазақстан, 110000, г. Костанай, ул. Маяковского 99/1, тел. 8-775-890-49-85, e-mail: natali.p82@inbox.ru.

Айтжанова Индира Нурлановна – доктор PhD, и.о. заместителя начальника управления науки и коммерциализации, старший преподаватель кафедры продовольственной безопасности и биотехнологии, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Қазақстан, 110000, г.Костанай, ул. Маяковского 99/1, тел. 8-702-797-26-38, e-mail: www.indira.rz@mail.ru.

Кажиякбарова Айгерим Тулегеновна* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасының постдокторанты, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Маяковский к-сі 99/1, тел.8-747-016-93-55, e-mail: aigerisha1203@mail.ru.

Шайкамал Гулшат Иманжанкызы – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, тренинг-менеджері, «Adhara» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Абай даңғылы 8, тел. 8-705-411-51-71, e-mail: gulshat_kos@mail.ru.

Папуша Наталья Владимировна азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасы қауымдастырылған профессорының м.а., Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Маяковский к-сі 99/1, тел: 8-775-890-49-85, e-mail: natali.p82@inbox.ru.

Айтжанова Индира Нурлановна – PhD докторы, ғылым және коммерцияландыру басқармасы бастығының орынбасарының м.а., азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасының аға оқытушысы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Маяковский к-сі 99/1, тел. 8-702-797-26-38, e-mail: www.indira.rz@mail.ru.

Kazhiyakbarova Aigerim Tulegenovna* – Master of Agricultural Sciences, Postdoctoral Fellow of the Department of food safety and biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan, 110000 Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str., tel.: 8-747-016-93-55, e-mail: aigerisha1203@mail.ru.

Shaikamal Gulshat Imanzhankyzy –Candidate of Agricultural Sciences, Training Manager of Adhara LLP, Republic of Kazakhstan, 050010 Almaty, 8 Abai Str., tel.: 8-705-411-51-71, e-mail: gulshat_kos@mail.ru.

Papusha Natalya Vladimirovna – Candidate of Agricultural Sciences, acting Associate Professor of the Department of food security and biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan, 110000 Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str., tel. 8-775-890-49-85, e-mail: natali.p82@inbox.ru.

Aitzhanova Indira Nurlanovna – PhD, acting Deputy Head of the Department of science and commercialization, Senior Lecturer of the Department of food security and biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan, 110000 Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str., tel. 8-702-797-26-38, e-mail: www.indira.rz@mail.ru.

УДК 631.523.5

МРНТИ 34.23.59

https://doi.org/10.52269/22266070_2024_1_58

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ СОБАК КАЗАХСКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ ПОРОДЫ ТОБЕТ ЮЖНОГО РЕГИОНА КАЗАХСТАНА

Перфильева А.В. – к.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики Республиканского государственного предприятия «Институт генетики и физиологии» Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК, г. Алматы, Қазақстан.

Беспалова К.Б.* – PhD-докторант, научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики Республиканского государственного предприятия «Институт генетики и физиологии» Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК, г. Алматы, Қазақстан.

Бегманова М.О. – магистр, научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики Республиканского государственного предприятия «Институт генетики и физиологии» Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК, г. Алматы, Қазақстан.

Кузовлева Е.Б. – старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики Республиканского государственного предприятия «Институт генетики и физиологии» Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК, г. Алматы, Казахстан.

В данной статье впервые дана оценка современного состояния генофонда казахской национальной породы собак Тобет из Южного региона РК с использованием микросателлитного анализа. На основании полученных частот аллелей 19 микросателлитных локусов, рекомендованных Международным обществом генетики животных для собак, определены основные показатели генетической изменчивости в исследованной выборке и проанализированы в сравнительном аспекте с другими породами собак. Процент полиморфных локусов составил 100%, с 5-10 аллелями на локус. Оценка равновесия Харди-Вайнберга показала отклонение для двух локусов AHT137 и AHT260. Среднее количество аллелей и среднее эффективное число аллелей у Тобетов были выше, чем у других молоссоидных пород собак. Уровень полиморфизма PIC превышал 60% для всех локусов. Полученное значение параметра наблюдаемой гетерозиготности свидетельствует о наличии процессов метизации в исследованной выборке. В целом, показано, что для собак Тобет Южного региона РК характерны высокие уровни основных параметров генетического разнообразия и низкий уровень инбридинга. Проведенное исследование предоставляет ценные данные о генетической структуре казахских Тобетов, что является важным шагом в понимании и сохранении этой уникальной породы.

Ключевые слова: Тобет; генофонд; микросателлитный локус, инбридинг, генетическое разнообразие.

ASSESSMENT OF THE GENETIC DIVERSITY OF THE KAZAKH NATIONAL DOG BREED TOBET IN THE SOUTHERN REGION OF KAZAKHSTAN

Perfilyeva A.V. – Candidate of Biological Sciences, Leading researcher of the Laboratory of Molecular Genetics of the Republican State Enterprise “Institute of Genetics and Physiology” of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Bespalova K.B.* – PhD student, Researcher of the Laboratory of Molecular Genetics of the Republican State Enterprise “Institute of Genetics and Physiology” of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Begmanova M.O. – Master, Researcher of the Laboratory of Molecular Genetics of the Republican State Enterprise “Institute of Genetics and Physiology” of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Kuzovleva Y.B. – Senior Researcher of the Laboratory of Molecular Genetics of the Republican State Enterprise “Institute of Genetics and Physiology” of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Republic of Kazakhstan.

This article is the first to assess the status of the gene pool of the Kazakh national dog breed Tobet from the Southern region of the Republic of Kazakhstan using microsatellite analysis. Based on the determined allele frequencies of 19 microsatellite loci recommended by the International Society of Animal Genetics for dogs, the main indicators of genetic variability in the studied sample were determined and analysed in comparison with other dog breeds. The percentage of polymorphic loci was 100%, with 5-10 alleles per locus. The Hardy-Weinberg equilibrium analysis showed a deviation for two loci AHT137 and AHT260. The average number of alleles and the average effective number of alleles were higher in Tobet dogs than in other Molossus dog breeds. The degree of PIC polymorphism was above 60% for all loci. The obtained value of the observed heterozygosity parameter indicates the presence of crossbreeding processes in the analyzed sample. In general, it has been found, that Tobet dogs in the Southern region of the Republic of Kazakhstan are characterized by a high level of the main parameters of genetic diversity and a low level of inbreeding. This study provides valuable data on the genetic structure of Kazakh Tobets, which is an important step towards understanding and preserving this unique breed.

Key words: Tobet; gene pool; microsatellite locus, inbreeding, genetic diversity.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК АЙМАҒЫНДАҒЫ ҚАЗАҚТЫҢ ҰЛТТЫҚ ТӨБЕТ ИТТЕРІНІҢ ГЕНЕТИКАЛЫҚ ӘРТҮРЛІЛІГІН БАҒАЛАУ

Перфильева А.В. – б.ғ.к., Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің Республикалық мемлекеттік кәсіпорнының «Генетика және физиология институты» молекулалық генетика зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Беспалова К.Б.* – PhD-доктор, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің Республикалық мемлекеттік кәсіпорнының «Генетика және физиология институты» молекулалық генетика зертханасының ғылыми қызметкері, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Бегманова М.О. – магистр, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің Республикалық мемлекеттік кәсіпорнының «Генетика және физиология институты» молекулалық генетика зертханасының ғылыми қызметкері, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Кузовлева Е.Б. – Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің Республикалық мемлекеттік кәсіпорнының «Генетика және физиология институты» молекулалық генетика зертханасының аға ғылыми қызметкері, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Бұл микросателиттік талдау арқылы ҚР Оңтүстік өңірінен алынған қазақтың ұлттық төбет ит тұқымының генофондының қазіргі жағдайына баға берілген алғашқы мақала. Халықаралық жануарлар генетикасы қоғамы иттер үшін ұсынған 19 микросателиттік локустан алынған аллельдік жиіліктер негізінде зерттелетін үлгідегі генетикалық өзгергіштіктің негізгі көрсеткіштері анықталды және басқа ит тұқымдарымен салыстырмалы түрде талданды. Полиморфты локустардың пайызы 100% құрады, бір локусқа 5-10 аллель бар. Харди-Вайнберг екі локус АНТ137 және АНТh260 үшін ауытқуды көрсетті. Төбеттерде аллельдердің орташа саны мен аллельдердің орташа тиімді саны басқа молоссоидты ит тұқымдарына қарағанда жоғары болды. PIC полиморфизм деңгейі барлық локустар үшін 60%-дан асты. Бақыланатын гетерозиготалық параметрлердің алынған мәні зерттелетін үлгіде будандастыру процестерінің бар екендігін көрсетеді. Жалпы, ҚР Оңтүстік аймағындағы төбет иттері генетикалық әртүрліліктің негізгі параметрлерінің жоғары деңгейімен және инбридингтің төмен деңгейімен сипатталатыны көрсетілген. Жүргізілген зерттеу қазақ Төбеттерінің генетикалық құрылымы туралы құнды деректер береді, бұл осы бірегей тұқымды түсіну мен сақтаудағы маңызды қадам болып табылады.

Түйінді сөздер: Төбет; генофонд; микросателиттік локус, инбридинг, генетикалық әртүрлілік.

Введение

Глобальная тенденция в сфере биоразнообразия влечет за собой ряд потенциальных угроз. Одна из них – это сокращение генофондов аборигенных пород, которые полностью сформировались внутри определенных регионов и демонстрируют множество адаптаций ко всем местным условиям вследствие уникальных генетических особенностей. Данная тенденция не обошла стороной и Казахстан, который столкнулся не только с исчезновением видов дикой природы, но и сокращением и метизацией поголовья местных пород вплоть до полного их исчезновения, в числе которых с наибольшей тревогой в последние годы обсуждается состояние казахской национальной породы собак Тобет.

Тобет представляет собой не только уникальный генетический ресурс, но и древний культурный и исторический символ нашей страны. На протяжении многих веков собаки Тобет непревзойденно выполняли свои функции по охране стад кочевников от волков, лисиц, и даже служили хозяевам в качестве рабочей силы. Однако, несмотря на свою богатую историю, чистокровные представители породы Тобет находятся на грани исчезновения. Множество факторов, таких как сокращение пастбищных угодий, изменение масштабов овцеводства, использование других пород и нежелательные практики разведения, угрожают сохранению этой уникальной породы. Сложившаяся ситуация требует немедленных усилий по сохранению породы Тобет.

В настоящее время такие усилия получили государственную поддержку. Успешность этих мероприятий зависит от проведения систематизированной племенной работы, которая обязательно должна базироваться на научных генетических исследованиях, внедрение которых будет способствовать прогрессу в работе с породой.

Традиционно и исторически первыми в ряду таких исследований стоят генетические маркерные исследования, основанные на высокополиморфных микросателлитных локусах. Микросателлиты, также известные как короткие tandemные повторы (short tandem repeats, STR), представляют собой участки ДНК, состоящие из коротких повторяющихся последовательностей нуклеотидов (обычно 1-6 оснований). STR локусы кодоминантны по своей природе, очень полиморфны, легко генотипируются и наследуются по менделевскому признаку, что делает их эффективными для изучения структуры популяций и анализа родословной, а также для обнаружения различий между близкородственными видами [1, с.808]. С их помощью дана оценка генетической изменчивости в популяциях самых различных пород собак [2, с.1065]. Проведенный микросателлитный анализ для казахской национальной породы собак Тазы показал, что потеря генетического разнообразия не угрожает ее будущему существованию, и, кроме того, она имеет значительный уровень генетического деления популяции [3,

с.4]. Однако, до настоящего времени анализ STR маркеров не применялся при работе с казахской национальной породой Тобет.

Исходя из вышесказанного целью данной работы было применение микросателлитного анализа для оценки современного состояния генофонда породы казахский Тобет. Исследование включало выборку, включающую собак Тобет из Алматинской и Жетысуской областей РК.

Для достижения цели были выделены следующие задачи: проведение сбора биоматериалов от собак, соответствующих стандарту породы Тобет и приближенных к нему, в Алматинской и Жетысуской областях РК, выделение ДНК из собранного биоматериала, проведение микросателлитного анализа, биоинформатическая обработка полученных данных.

Материалы и методы

Исследование получило одобрение Биоэтической комиссии РГП на ПХВ «Институт молекулярной биологии и биохимии им. М.А.Айтхожина» КН МНВО РК (Протокол №1 от 18 августа 2023 г.).

Объектом исследования были собаки, предположительно соответствующие породе Тобет. Отбор собак для исследования проводился в Алматинской и Жетысуской областях РК в рамках экспедиционных выездов, а также на выставках и специальных мероприятиях. При отборе проводилась экспертиза на соответствие породным качествам экспертами-кинологами ПРАОООиСОХ «КАНСОНАР» г. Алматы. Основным документом проведения экспертизы и определение их степени породности, которым руководствовались эксперты, являлся стандарт породы Казахский Тобет, утвержденный приказом Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 30 марта 2023 года № 101 "Об утверждении стандартов казахских пород собак". Практически полное исчезновение чистокровных Тобетов в Казахстане привело к тому, что собак, полностью соответствующих стандарту, в Республике не осталось. Поэтому для исследования проводился отбор собак, не только соответствующих стандарту, но и приближенных к нему. Всего было отобрано 18 собак.

В качестве биоматериала была использована периферическая кровь, которая собиралась с помощью вакуумной системы в количестве не более 50 мл в пробирки с ЭДТА из вены голени у собак опытным ветеринаром. Были соблюдены все критерии стерильности.

Сбор биоматериала сопровождался фотосъемкой собак и анкетированием их владельцев. Анкета включала сведения о владельце, возрасте, поле, происхождении, месте проживания собаки, ее описание, промеры. Анкетные данные были обработаны и внесены в электронную базу данных. Помимо анкетирования проводилось также оформление информированного согласия владельца на проведение генетического исследования его собаки.

Выделение ДНК из собранного биоматериала проводилось с использованием готового набора "QIAamp Fast DNA Tissue Kit" (Qiagen, Германия) в соответствии с прилагаемым протоколом. Определение качественных и количественных характеристик выделенной ДНК проводилось на Qubit4.0 (Invitrogen, США) или 2100 Expert (Agilent Technologies, США).

Микросателлитный анализ проводился на генетическом анализаторе Applied Biosystems 310 Genetic Analyzer с использованием набора Canine Genotypes Panel 1.1 (Thermo Fisher Scientific, США), который включал 19 рекомендованных ISAG для собак локусов (AHTk211, CXX279, REN169O18, INU055, REN54P11, INRA21, AHT137, REN169D01, AHTTh260, AHTk253, INU005, INU030, Amelogenin, FH2848, AHT121, FH2054, REN162C04 AHTTh171 and REN247M23).

Генетическую оценку по частотам микросателлитных аллелей проводили с помощью программы GenAlEx 6.5 [4, с.2537] и Cervus [5, с.1100]. Оценивали такие показатели, как коэффициент полиморфизма (polymorphic information content, PIC), среднее (Na) и эффективное (Ne) число аллелей, наблюдаемая (Ho) и ожидаемая (He) гетерозиготность, несмещенная ожидаемая гетерозиготность (uHe) и соответствие распределению Харди-Вайнберга. Богатство аллельных вариантов (allelic richness, AR) было подсчитано в программном пакете PopGenReport [6, с.385]. Также оценивался коэффициент инбридинга (F) по следующей формуле:

$$F = 1 - (Ho / He) \quad (1)$$

где He – ожидаемая гетерозиготность при панмиксии;
Ho – наблюдаемая гетерозиготность.

Значение F колеблется в пределах от -1 до 1. Значение F, равное 0, указывает на то, что популяция в целом находится в равновесии Харди-Вайнберга (HWE), то есть размножается случайным образом. Отрицательное значение F, равное -1,0, указывает на то, что каждый представитель популяции генетически отличается, в то время как значение F, равное +1,0, указывает, что все представители популяции генетически идентичны.

Для визуализации генетической структуры был проведен анализ главных компонентов (PCA), основанный на межиндивидуальной генетической дистанции в GenAlEx 6.5.

Результаты и обсуждение

Микросателлитный анализ является традиционным мощным инструментом для изучения генетической структуры, родства и разнообразия ценных пород животных [7, с.2017]. Его результаты

могут быть использованы для повышения эффективности мероприятий по сохранению, восстановлению и управлению популяциями.

В рамках данного исследования микросателлитный анализ был проведен для 18 собак, соответствующих стандарту породы Тобет и приближенных к нему, из Алматинской и Жетысуской областей РК. Фотокаталог исследованных собак представлен на Рисунке 1.

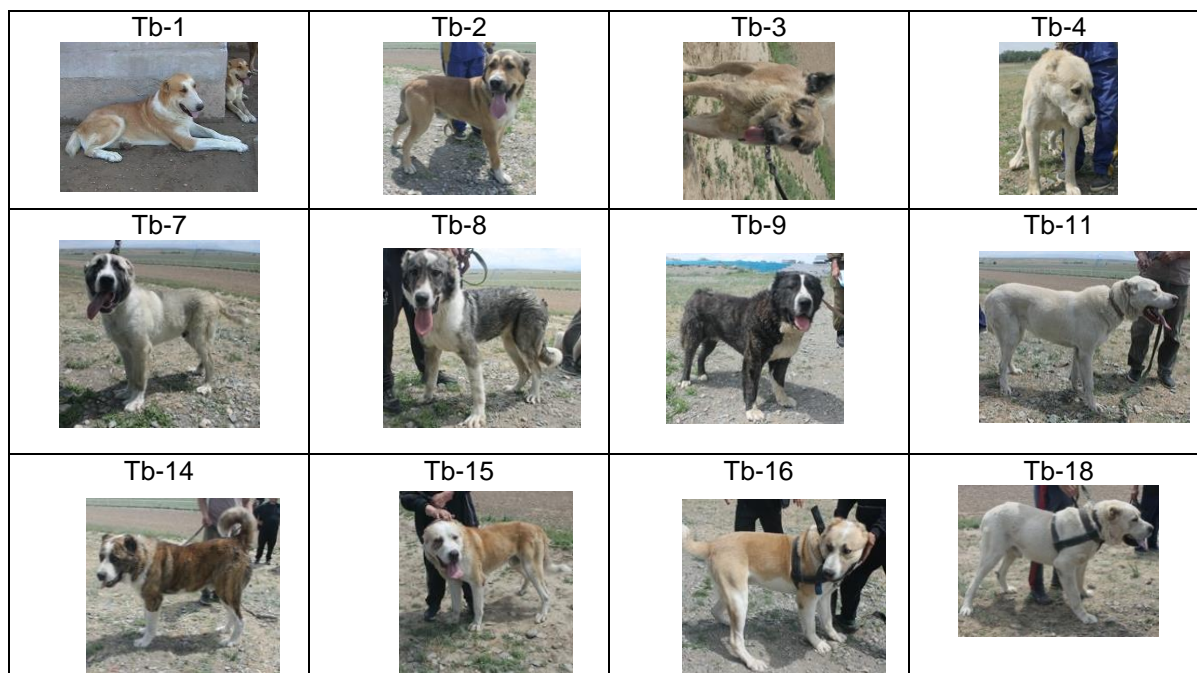


Рисунок 1 – Собаки, соответствующие стандарту породы Тобет и приближенные к нему, из Алматинской и Жетысуской областей РК

На основании полученных аллельных частот локусов были определены основные показатели генетической изменчивости в исследованной выборке (Таблица 1).

Таблица 1 – Значения основных показателей генетической изменчивости исследованных собак Тобет

Locus	Na	Ne	PIC	Ho	He	uHe	AR	F
AHTk211	5	3,057	0,622	0,556	0,673	0,692	4,741	0,174
CXX0279	8	5,355	0,790	0,778	0,813	0,837	7,658	0,044
REN169O18	7	5,492	0,792	0,889	0,818	0,841	6,694	-0,087
INU055	7	4,872	0,768	0,778	0,795	0,817	6,733	0,021
REN54P11	7	4,563	0,750	0,944	0,781	0,3	6,671	-0,209
INRA21	6	3,146	0,635	0,944	0,682	0,702	5,450	-0,385
AHT137	10	7,535	0,854	0,833	0,867	0,892	9,604	0,039
REN169D01	8	5,400	0,792	0,944	0,815	0,838	7,624	-0,159
AHTh260	5	3,057	0,617	0,556	0,673	0,692	4,883	0,174
AHTk253	5	3,640	0,684	0,611	0,725	0,746	4,975	0,157
INU005	7	3,028	0,639	0,556	0,670	0,689	6,435	0,171
INU030	6	4,947	0,768	0,778	0,798	0,821	5,938	0,025
FH2848	8	5,492	0,794	0,944	0,818	0,841	7,446	-0,155
AHT121	9	6,612	0,833	0,833	0,849	0,873	8,663	0,018
FH2054	7	4,596	0,751	0,778	0,782	0,805	6,494	0,006
REN162C04	7	5,838	0,806	0,833	0,829	0,852	6,960	-0,006
AHTh171	10	7,902	0,860	0,889	0,873	0,898	9,564	-0,018
REN247M23	6	3,014	0,624	0,556	0,668	0,687	5,450	0,169
Mean	7,111	4,864	0,743	0,778	0,774	0,796	6,777	-0,001
Standard Error (SE)	0,361	0,360	0,084	0,035	0,017	0,018	1,470	0,036

Процент полиморфных локусов составил 100%, было выявлено от 5 до 10 аллелей на локус. Оценка равновесия Харди – Вайнберга (HWE), показала отсутствие равновесия для двух локусов (АНТ137 и АНТh260 на уровне $P < 0,05$).

Среднее количество аллелей на локус Na для всей изученной популяции составило $7,111 \pm 0,361$, а среднее эффективное число аллелей Ne $4,864 \pm 0,360$. При сравнении данных показателей с аналогичными для других пород собак из группы молоссов, в которую входят пастушьи собаки, догообразные (потомки боевых и травильных собак) и гуртовые собаки, показатели Тобет были ниже, чем у Тибетского мастифа (Na=7,7, панель из 10 STR-локусов [8, с.1103]), которого некоторые авторы называют в качестве возможного предка Казахского Тобета [9], но выше, чем у Английского бульдога (Na=6,455 и Ne=2,722; панель из 33 STR-локусов [10, с.8]), Французского бульдога и Золотистого ретривера (Na=5,1; Ne=2,9 и Na=4,4; Ne=2,6, соответственно; аналогичная панель STR-локусов [11, с.5]).

Наблюдался высокий уровень полиморфизма PIC, не менее 60% для всех локусов. Самый высокий PIC (более 80%) был определен для локусов АНТh171, АНТ137, АНТ121 и REN162C04, самый низкий полиморфизм (61,7%) – для локуса АНТh260. Рассчитанное среднее значение коэффициента полиморфизма PIC составило $0,743 \pm 0,084$, что было выше значений, полученных на основе аналогичной панели для таких молоссоидов, как Золотистый ретривер и Французский бульдог (0,5135 и 0,5602 [11, с.4]). О менее высоких значениях PIC сообщалось также для Татранской овчарки (0,6598) [12, с.255]. Аналогичные высокие уровни полиморфизма в литературе встречались для Корейского джиндо (0,88), для Английской борзой в Корее (0,73) [13, с.245].

Средняя наблюдаемая гетерозиготность N_o в изученной выборке Тобет была равна 0,778, и немного превышала ожидаемую гетерозиготность N_e (0,774). Известно, что при равных значениях этих двух показателей, скрещивание в популяции происходит практически случайно. Если значение N_o меньше значения N_e , то популяция инбредная, и наоборот. По-видимому, в исследованной выборке Тобет система случайного скрещивания преобладает над инбридингом, о чем также свидетельствовало отрицательное среднее значение коэффициента инбридинга F (-0,001). Высокие значения инбридинга ($F > 0,1$) были оценены для пяти из 18 исследованных локусов (или 28%, выделено жирным шрифтом в Таблице 1), что позволяют предположить, что эти локусы подвергались сильному положительному отбору с момента развития породы. Однако эти высокие уровни уравниваются другими локусами со значениями F около нуля или ниже, что приводит к тому, что средний уровень инбридинга для исследованной когорты ниже нуля.

Кроме того, полученное значение N_o указывает на высокую степень гетерозиготности (свыше 77%). Генетический анализ, который проводился на основе панели из 10-STR маркеров, показал более низкие значения для пород из группы молоссов: для Боксера, Стаффордширского Бультерьера и Ротвейлера ($N_o = 0,51, 0,63$ и $0,47$, соответственно) при анализе панели из 15 маркеров [14, с.94], для Тибетского мастифа, Французского бульдога и Золотистого ретривера ($N_o = 0,694-0,76, 0,6077$ и $0,5922$, соответственно) при анализе панели из 10 маркеров [15, с.1214]. Тем не менее, похожие свыше 70% значения наблюдаемой гетерозиготности были получены для других пород собак, не принадлежащих к молоссоидам: для корейской абригенной исчезающей породы собак Донгёнги ($N_o = 0,7266$) при анализе 10 микросателлитных локусов [16, с.1360], для Итальянской Легавой и Поденко ($N_o = 0,723$ и $0,710-0,718$, соответственно) при анализе аналогичной панели из 19 микросателлитных локусов [17, с.6], для Йоркширского терьера ($N_o = 0,73$) при анализе 15 STR-маркеров [14, с.94]. Также, ранее мы получили похожие высокие показатели N_o для другой национальной казахской породы Тазы, которая принадлежит к группе борзых ($N_o = 0,748$) [8]. Как правило, при генетической характеристике пород с использованием микросателлитных маркеров уровень гетерозиготности может быть использован в качестве стандартного значения при оценке того, какая часть изучаемой породы смешивается с другой породой. Следовательно, низкое значение гетерозиготности характерно для чистопородных собак, в то время как высокое – для смешанной породы. Именно поэтому самые высокие значения гетерозиготности характерны для деревенских собак ($N_o = 0,729-0,799$) [18, с.241]. Таким образом, полученное высокое значение параметра N_o исследованной группировки Тобет свидетельствует о наличии процессов метизации в породе.

Помимо гетерозиготности оценивали также показатель богатства аллельных вариантов AR. Полученное среднее значение AR для исследованных Тобет составило 6,777, что было выше, чем у таких аборигенных пород, как Бергамские овчарки, Бельгийские овчарки, Сибирские хаски, Аляскинские маламуты, Чехословацкие волчи собаки, Немецкие овчарки, Бордер-колли, Кане ди Оропа и овчарки Лупино дель Гиганте (AR=3,91-5,75) [19, с.1923]. Такой высокий показатель AR указывает на высокие уровни основных параметров генетического разнообразия и низкий уровень инбридинга (Рис.2).

Изучение генетической структуры изучаемой выборки с использованием PCA также подтверждает данное предположение (Рисунок 2).

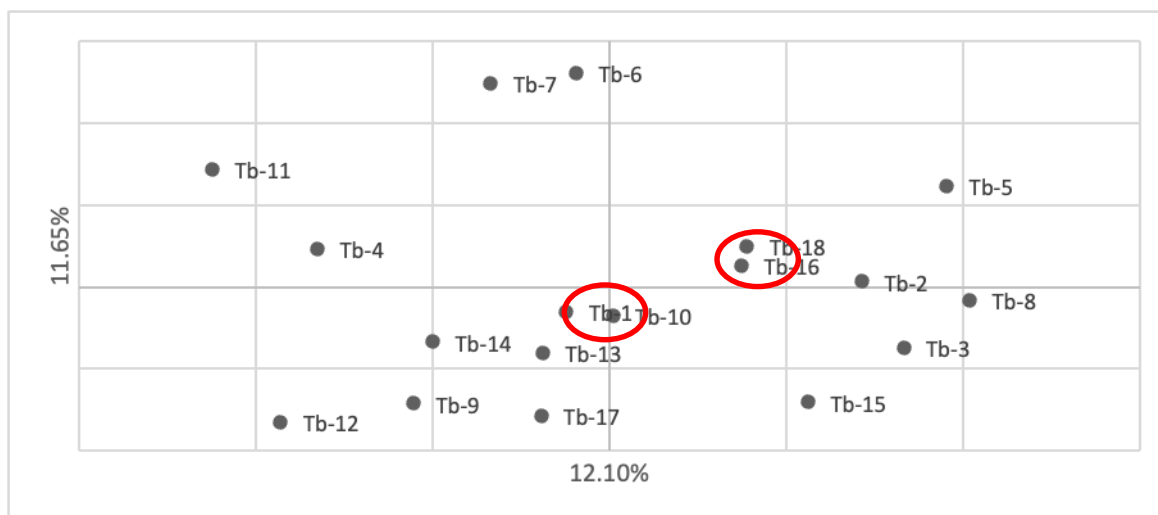


Рисунок 2 – График PCA породы Тобет из Алматинской и Жетысуской областей РК, полученный на основе данных микросателлитного анализа. Красным цветом отмечены генетически близкие особи

Как известно, PCA измеряет генетическое родство особей внутри популяции. Как видно на графике, популяция Тобет из Алматинской и Жетысуской областей сформировала одну группу со значительным разнообразием, на что указывают диффузное распределение по оси Y и генетические выбросы. Вместе с тем, на графике наблюдалось несколько пар генетически сходных особей.

Заключение

Таким образом, высокие уровни основных параметров генетического разнообразия и низкий уровень инбридинга, количественно оцененные с использованием микросателлитных локусов, рекомендованных Международным Обществом генетики животных, свидетельствуют о метизации породы, а также о том, что система случайного скрещивания в исследованной популяции собак породы Тобет Алматинской и Жетысуской областей Южного региона РК преобладает над инбридингом. Сохранится ли выявленная картина изменчивости при расширении массива данных, станет ясно в более масштабном исследовании после вовлечение в исследование собак Тобет из других регионов Казахстана на следующем этапе исследования.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках Программы BR21881977, 2023-2025, номер госрегистрации 0123PK01136.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Wenne R. Microsatellites as Molecular Markers with Applications in Exploitation and Conservation of Aquatic Animal Populations** [Text] / R. Wenne // *Genes* (Basel). – 2023. – Vol. 14(4). – P. 808-843.
2. **Mabunda R.S., Makgahlela M.L., Nephawe K.A., Mtileni B. Evaluation of Genetic Diversity in Dog Breeds Using Pedigree and Molecular Analysis: A Review** [Text] / R.S. Mabunda, M.L. Makgahlela, K.A. Nephawe, B. Mtileni // *Diversity*. – 2022. – Vol. 14. – P.1054-1078.
3. **Perfilyeva A., Bepalova K., Bepalov S., Begmanova M., Kuzovleva Y., Zhaniyazov Z., et al. Kazakh national dog breed Tazy: What do we know?** [Text] / A. Perfilyeva et al. // *PLoS One*. – 2023. – Vol. 18(3). – P.1-16.
4. **Peakall R., Smouse P.E. GenALEX 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update** [Text] / R. Peakall, P.E. Smouse // *Bioinformatics*. – 2012. – Vol. 28. – P. 2537-2539.
5. **Kalinowski S.T., Taper M.L., Marshall T.C. Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment** [Text] / S.T. Kalinowski, M.L. Taper, T.C. Marshall // *Mol Ecol*. – 2007. – Vol. 16. – P.1099-1106.
6. **Adamack A.T., Gruber B. PopGenReport: Simplifying basic population genetic analyses in R** [Text] / A.T. Adamack, B. Gruber // *Methods Ecol Evol*. – 2014. – Vol. 5. – P. 384-387.
7. **Olschewsky A, Hinrichs D. An Overview of the Use of Genotyping Techniques for Assessing Genetic Diversity in Local Farm Animal Breeds** [Text] / A. Olschewsky, D. Hinrichs // *Animals* (Basel). – 2021. – 11(7). – P.2016-2033.
8. **Ye J.H., Ren D.R., Xie A.F., Wu X.P., Xu L., Fu P.F., et al. Microsatellite-based genetic diversity and evolutionary relationships of six dog breeds** [Text] / J.H. Ye et al. // *Asian-Australas J Anim Sci*. – 2009. – Vol. 22. – P. 1102-1106.

9. **Кожухметов А.Д. От вымыслов к реальности** / А.Д. Кожухметов // журнал “Твоё Собачье Дело” – [Электронный ресурс] URL: <http://www.petsinform.com/sd/sd6-02/krealnosti.html> (дата обращения 15.10.2023 г.)
10. **Pedersen N.C., Pooch A.S., Liu H. A genetic assessment of the English bulldog** [Text] / N.C. Pedersen, A.S. Pooch, H. Liu // *Canine Genet Epidemiol.* – 2016. – Vol. 3. – P.1-16.
11. **Radko A., Podbielska A. Microsatellite dna analysis of genetic diversity and parentage testing in the popular dog breeds in Poland** [Text] / A. Radko, A. Podbielska // *Genes (Basel).* – 2021. – Vol.12. – P.1-11.
12. **Radko A., Rubiś D., Szumiec A. Analysis of microsatellite DNA polymorphism in the Tatra Shepherd Dog** [Text] / A. Radko, D. Rubiś, A. Szumiec // *Indian Journal of Animal Research.* – 2017. – Vol. 46. – P.254–256.
13. **Kang B.T., Kim K.S., Min M.S., Chae Y.J., Kang J.W., Yoon J., et al. Microsatellite loci analysis for the genetic variability and the parentage test of five dog breeds in South Korea** [Text] / B.T. Kang et al. // *Genes Genet Syst.* – 2009. – Vol. 84. – P. 245–251.
14. **Mellanby R.J., Ogden R., Clements D.N., French A.T., Gow A.G., Powell R., et al. Population structure and genetic heterogeneity in popular dog breeds in the UK** [Text] / R.J. Mellanby et al. // *Veterinary Journal.* – 2013. – Vol. 196. – P. 92-97.
15. **Ren D.R., Yang Q.Y., Ye J.H., Xu L., Zhao H.A., Wu X.P. Strong heterozygote deficit in Tibetan Mastiff of China based on microsatellite loci** [Text] / D.R. Ren et al. // *Animal.* – 2009. – Vol. 3. – P.1213–1215.
16. **Lee E.W., Choi S.K., Cho G.J. Molecular genetic diversity of the Gyeongju Donggyeong dog in Korea** [Text] / E.W. Lee, S.K. Choi, G.J. Cho // *Journal of Veterinary Medical Science.* – 2014. – Vol. 76. – P. 1359-1365.
17. **García L.S.A., Vergara A.M.C., Herrera P.Z., Puente J.M.A., Barro Á.L.P., Dunner S., et al. Genetic Structure of the Ca Rater Mallorquí Dog Breed Inferred by Microsatellite Markers** [Text] / L.S.A. García et al. // *Animals.* – 2022. – Vol. 12. – P.1-13.
18. **Pedersen N., Liu H., Theilen G., Sacks B. The effects of dog breed development on genetic diversity and the relative influences of performance and conformation breeding** [Text] / N. Pedersen, H. Liu, G. Theilen, B. Sacks // *Journal of Animal Breeding and Genetics.* – 2013. – Vol. 130. – P. 236-248.
19. **Bigi D., Marelli S.P., Randi E., Polli M. Genetic characterization of four native Italian shepherd dog breeds and analysis of their relationship to cosmopolitan dog breeds using microsatellite markers** [Text] / D. Bigi, S.P. Marelli, E. Randi, M. Polli // *Animal.* – 2015. – Vol. 9. – P. 1921-1928.

REFERENCES:

1. **Wenne R. Microsatellites as Molecular Markers with Applications in Exploitation and Conservation of Aquatic Animal Populations.** *Genes (Basel)*, 2023, vol. 14(4), pp. 808-843.
2. **Mabunda R.S., Makgahlela M.L., Nephawe K.A., Mtileni B. Evaluation of Genetic Diversity in Dog Breeds Using Pedigree and Molecular Analysis: A Review.** *Diversity*, 2022, vol.14, pp. 1054-1078.
3. **Perfilyeva A., Bepalova K., Bepalov S., Begmanova M., Kuzovleva Y., Zhaniyazov Z., et al. Kazakh national dog breed Tazy: What do we know? *PLoS One*, 2023, vol. 18, pp. 1-16.**
4. **Peakall R., Smouse P.E. GenALEX 6.5: Population genetic software for teaching and research-an update.** *Bioinformatics*, 2012, vol. 28, pp. 2537–2539.
5. **Kalinowski S.T., Taper M.L., Marshall T.C. Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment.** *Mol Ecol*, 2007, vol. 16, pp. 1099–1106.
6. **Adamack A.T., Gruber B. PopGenReport: Simplifying basic population genetic analyses in R.** *Methods Ecol Evol*, 2014, vol. 5, pp.384-387.
7. **Olschewsky A, Hinrichs D. An Overview of the Use of Genotyping Techniques for Assessing Genetic Diversity in Local Farm Animal Breeds.** *Animals (Basel)*, 2021, vol. 11(7), pp. 2016-2033.
8. **Ye J.H., Ren D.R., Xie A.F., Wu X.P., Xu L., Fu P.F., et al. Microsatellite-based genetic diversity and evolutionary relationships of six dog breeds.** *Asian-Australas J Anim Sci*, 2009, vol. 22, pp.1102-1106.
9. **Kozhakhmedov A.D. Ot vy'my'slov k realnosti [From fiction to reality]. *Journal “Your Dog Business”*, available at: <http://www.petsinform.com/sd/sd6-02/krealnosti.html> (accessed 15 October 2023). (In Russian).**
10. **Pedersen N.C., Pooch A.S., Liu H. A genetic assessment of the English bulldog.** *Canine Genet Epidemiol*, 2016, vol. 3, pp.1-16.
11. **Radko A., Podbielska A. Microsatellite DNA analysis of genetic diversity and parentage testing in the popular dog breeds in Poland.** *Genes (Basel)*, 2021, vol. 12, pp. 1-11
12. **Radko A., Rubiś D., Szumiec A. Analysis of microsatellite DNA polymorphism in the Tatra Shepherd Dog.** *Indian Journal of Animal Research*, 2017, vol. 46, pp. 254–256.

13. Kang B.T., Kim K.S., Min M.S., Chae Y.J., Kang J.W., Yoon J., et al. **Microsatellite loci analysis for the genetic variability and the parentage test of five dog breeds in South Korea.** *Genes Genet Syst*, 2009, vol. 84, pp. 245–251.
14. Mellanby R.J., Ogden R., Clements D.N., French A.T., Gow A.G., Powell R., et al. **Population structure and genetic heterogeneity in popular dog breeds in the UK.** *Veterinary Journal*, 2013, vol. 196, pp.92-97.
15. Ren D.R., Yang Q.Y., Ye J.H., Xu L., Zhao H.A., Wu X.P. **Strong heterozygote deficit in Tibetan Mastiff of China based on microsatellite loci.** *Animal*, 2009, vol.3, pp.1213–1215.
16. Lee E.W., Choi S.K., Cho G.J. **Molecular genetic diversity of the Gyeongju Donggyeong dog in Korea.** *Journal of Veterinary Medical Science*, 2014, vol. 76, pp.1359-1365.
17. García L.S.A., Vergara A.M.C., Herrera P.Z., Puente J.M.A., Barro Á.L.P., Dunner S., et al. **Genetic Structure of the Ca Rater Mallorquí Dog Breed Inferred by Microsatellite Markers.** *Animals*, 2022, vol. 12, pp.1-13.
18. Pedersen N., Liu H., Theilen G., Sacks B. **The effects of dog breed development on genetic diversity and the relative influences of performance and conformation breeding.** *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 2013, vol. 130, pp.236-248.
19. Bigi D., Marelli S.P., Randi E., Polli M. **Genetic characterization of four native Italian shepherd dog breeds and analysis of their relationship to cosmopolitan dog breeds using microsatellite markers.** *Animal*, 2015, vol. 9, pp.1921-1928.

Сведения об авторах:

Перфильева Анастасия Викторовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, Республиканское государственное предприятие «Институт генетики и физиологии» Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК, Республика Казахстан, 050060, г. Алматы, ул. Аль-Фараби 93, тел. 87471394906, e-mail: nastypaper2009@mail.ru.

Беспалова Кира Булатовна* – PhD-докторант, научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, Республиканское государственное предприятие «Институт генетики и физиологии» Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК, Республика Казахстан, 050060, г. Алматы, ул. Аль-Фараби 93, тел. 87058316787, e-mail: kira.b.bespalova@gmail.com.

Бегманова Мамура Оракбаевна – магистр, научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, Республиканское государственное предприятие «Институт генетики и физиологии» Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК, Республика Казахстан, 050060, г. Алматы, ул. Аль-Фараби 93, тел. 87021018723, e-mail: bmamura@mail.ru.

Кузовлева Елена Борисовна – старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, Республиканское государственное предприятие «Институт генетики и физиологии» Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК, Республика Казахстан, 050060, г. Алматы, ул. Аль-Фараби 93, тел. 87071168503, e-mail: vkeb1@mail.ru.

Perfilyeva Anastassiya Viktorovna – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Molecular Genetics of the Republican State Enterprise “Institute of Genetics and Physiology” of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, 050000, Almaty, 93 Al-Farabi Str., tel.: 87471394906, e-mail: nastypaper2009@mail.ru.

Bespalova Kira Bulatovna* – PhD student, Researcher of the Laboratory of Molecular Genetics of the Republican State Enterprise “Institute of Genetics and Physiology” of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, 050060, Almaty, 93 Al-Farabi Str., tel.: 87058316787, e-mail: kira.b.bespalova@gmail.com.

Begmanova Mamura Orakbayevna – Master, Researcher of the Laboratory of Molecular Genetics of the Republican State Enterprise “Institute of Genetics and Physiology” of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, 050060, Almaty, 93 Al-Farabi Str., tel.: 87021018723, e-mail: bmamura@mail.ru.

Kuzovleva Yelena Borisovna – Senior Researcher of the Laboratory of Molecular Genetics of the Republican State Enterprise “Institute of Genetics and Physiology” of the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, 050060, Almaty, 93 Al-Farabi Str., tel.: 87071168503, e-mail: vkeb1@mail.ru.

Перфильева Анастасия Викторовна – биология ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің «Генетика және физиология институты» республикалық мемлекеттік қазыналық кәсіпорны Молекулалық генетика зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Қазақстан Республикасы, 050000, Алматы қ., ст. әл-Фараби 93, тел. 87471394906, e-mail: nastypaper2009@mail.ru.

Беспалова Кира Булатовна – PhD-докторанты, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің «Генетика және физиология институты» республикалық мемлекеттік қазыналық кәсіпорны Молекулярлық генетика зертханасының ғылыми қызметкері, Қазақстан Республикасы, 050000, Алматы қ., ст. әл-Фараби 93, тел. 87058316787, e-mail: kira.b.bespalova@gmail.com.*

Бегманова Мамура Оракбаевна – магистр, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің «Генетика және физиология институты» республикалық мемлекеттік қазыналық кәсіпорны Молекулярлық генетика зертханасының ғылыми қызметкері, Қазақстан Республикасы, 050000, Алматы қ., ст. әл-Фараби 93, тел. 87021018723, e-mail: btamura@mail.ru.

Кузовлева Елена Борисовна – Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің «Генетика және физиология институты» республикалық мемлекеттік қазыналық кәсіпорны Молекулярлық генетика зертханасының аға ғылыми қызметкері, Қазақстан Республикасы, 050000, Алматы қ., ст. әл-Фараби 93, тел. 87071168503, e-mail: vkeb1@mail.ru.