

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2022-8-15

Краткое сообщение

Популяционная генетика домашней кошки
(*Felis catus* L., 1758) острова КунаширС.К. Холин , Ю.Н. Сундуков 

Аннотация: Для определения частот мутантных аллелей проведены исследования фенотипов домашних кошек на о. Кунашир и для сравнения в г. Холмск (о. Сахалин). Генетические профили сравнивали с профилями других дальневосточных популяций. Высокая доля бобтейлов (65.2 %) в популяции о. Кунашир отличает ее от остальных популяций Российской Федерации. Популяция острова в большей степени сходна с другими прибрежными популяциями Дальнего Востока России, чем с популяциями о. Хоккайдо (Япония). Показано, что в формировании генетической структуры кунаширской популяции значительную роль играл эффект основателя и бутылочного горлышка.

Ключевые слова: частоты мутантных аллелей; популяционная генетика; домашняя кошка; остров Кунашир.

Благодарности: Авторы признательны профессору П.М. Бородину (ИЦИГ СО РАН, Новосибирск) за консультации по частной генетике домашней кошки, а также выражают благодарность Л.А. Сундуковой, оказавшей неоценимую помощь в сборе материала.

Для цитирования: Холин С.К., Сундуков Ю.Н. Популяционная генетика домашней кошки (*Felis catus* L., 1758) острова Кунашир. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;8(3):255-259. DOI 10.18699/LettersVJ-2022-8-15

Short message

Population genetics of the domestic cat
(*Felis catus* L., 1758) of Kunashir IslandS.K. Kholin , Y.N. Sundukov 

Abstract: To determine mutant allele frequencies, surveys of phenotypes of domestic cats were conducted in Kunashir Island and for comparison in Kholmsk City (Sakhalin Island). The genetic profiles were compared to those from other Far Eastern populations. The high proportion of Bobtails (65.2 %) in the Kunashir population distinguishes it from the rest of the Russian Federation. The population of island is more similar to other littoral populations of Far East of Russia than to such of Hokkaido Island (Japan). It is shown that initially in the formation of the genetic structure of the Kunashir Island population, the founder effect played an important role, and then the bottleneck effect.

Key words: mutant allele frequencies; population genetics; domestic cat; Kunashir Island.

For citation: Kholin S.K., Sundukov Y.N. Population genetics of the domestic cat (*Felis catus* L., 1758) of Kunashir Island. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;8(3):255-259. DOI 10.18699/LettersVJ-2022-8-15 (in Russian)

Генетический полиморфизм по окраске и длине шерсти делает домашнюю кошку (*Felis catus* L., 1758) подходящим объектом для исследований по популяционной генетике (Todd, 1977). К настоящему времени проведено значительное число подобных работ практически по всему миру (Холин, 2018).

На Дальнем Востоке России первые исследования, посвященные популяционной генетике домашней кошки, относятся к концу 1970-х – началу 1980-х гг. и проведены в материковой части региона (Borodin et al., 1978; Манченко, 1981). Островные популяции этого региона впервые изучены в двух городах южного Сахалина в середине 1980-х гг.

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

 h.axyridis@mail.ru Холин С.К., Сундуков Ю.Н., 2022

(Холин, 1990). В результате отмечена их относительно слабая дифференциация по частотам большинства мутантных аллелей от материковых недалежневосточных популяций кошек. Исключение составила частота аллеля ta^b , которая оказалась высокой и сравнимой с таковой в популяциях портовых городов Юго-Восточной Азии (Todd, 1983). Согласно миграционно-исторической гипотезе, выдвинутой N. Todd (1977, 1983), частота этого аллеля в популяциях домашних кошек связана с особенностями расселения людей в недавнем прошлом и торговлей посредством морского транспорта.

Исторические особенности развития российского Дальнего Востока позволяют предположить более сложное формирование популяций домашних кошек этого региона, на что обращали внимание ранее (Холин, 1990, 2012). Так, Курильские острова, как и южная половина острова Сахалин, долгое время входили в состав Японии (Высоков и др., 2008). С точки зрения популяционной генетики кошек на Дальнем Востоке РФ особый интерес представляют изолированные островные популяции домашней кошки Южных Курил. Одно присутствие здесь так называемых курильских бобтейлов уже выделяет эти популяции среди прочих в России (Кочеткова, 2007) (рис. 1).

Цель данной работы – описание и сравнительный анализ генетического профиля популяции домашней кошки пгт Южно-Курильск (о. Кунашир, Сахалинская область) с популяциями соседних регионов (юга Дальнего Востока РФ и Японии).

Исследование проведено в мае – ноябре 2017 г. Наблюдениями охвачен весь Южно-Курильск и его окрестности. Животных фотографировали с помощью цифрового фотоаппарата. Такой метод при камеральной обработке позволяет более точно идентифицировать фенотип животного. Фиксировали только уличных и свободно гуляющих домашних кошек.

Популяция домашних кошек г. Холмск (о. Сахалин) ранее уже была обследована (Холин, 1990, 2013, 2016). Однако, учитывая, что в генетике окраски домашней кошки произошли изменения (Eizirik et al., 2010; David et al., 2014; Montague et al., 2014), для более объективного сравнения двух островных популяций в мае – июне того же года получены новые данные по этой популяции. Использована описанная выше методика сбора материала.

Определены частоты аллеля O , сцепленного с полом локуса Orange (рис. 2, а, б), а также аллелей пяти аутосомных локусов: Agouti (a) (см. рис. 1, а, рис. 2, а), Tabby (ta^b) (см. рис. 1, б), Ticked (Ti^A)¹, Dilution (d), Long hair (l). Аллель I контролирует длину шерсти, остальные определяют тип окраски и рисунка шерстного покрова². Характер фенотипического проявления и наследования генов описан Р. Робинсоном (1993а, б). Кроме того, выявлены частоты трех мутантных аллелей одного аутосомного локуса (ген KIT), отвечающих



Рис. 1. Курильский бобтейл: а – неагути, пегий (генотип $aaW^{S?}$); б – мраморный (генотип $Ti^{+?}ta^bta^b$)

Fig. 1. The Kurilian Bobtail: а, non-agouti, piebald spotting (genotype $aaW^{S?}$); б, blotched tabby (genotype $Ti^{+?}ta^bta^b$)

за тип белой окраски шерсти: Glowing (w^g), Piebald spotting (W^S) (см. рис. 1, а, рис. 2, а, б) и Dominant White (W)³. Частота встречаемости короткохвостости (бобтейл) выражена в процентах⁴. Всего зарегистрировано 146 кошек в Южно-Курильске и 113 в Холмске. Число животных, проанализированных по каждому локусу, указано в табл. 1 и 2.

Поскольку пол животных не определен, частота аллеля O и ее ошибка оценены методом максимального правдоподобия (Adalsteinsson, Blumenberg, 1984). Формулы нахождения ожидаемых численностей генотипов по локусу Orange взяты из (Robinson, Silson, 1969). Расчет частот аллелей других локусов и их ошибок проведен стандартным спо-

¹ Установлено, что кошек с так называемой абиссинской окраской следует рассматривать как носителей доминантного аллеля Ti^A (локус Ticked) (Eizirik et al., 2010).

² В обеих популяциях также, возможно, обнаружены особи-носители аллеля I локуса Melanin inhibitor. Однако для подтверждения требуется осмотр животного (Робинсон, 1993а).

³ Этот тип наследования белой окраски кошек подтвержден недавними исследованиями (David et al., 2014; Montague et al., 2014).

⁴ Недавно выяснен характер наследования короткохвостости у японских бобтейлов (Pollard et al., 2015). Данный признак демонстрирует простой аутосомно-доминантный тип наследования с переменным выражением длины хвоста. Вероятно, курильские кошки имеют аналогичную природу наследования.

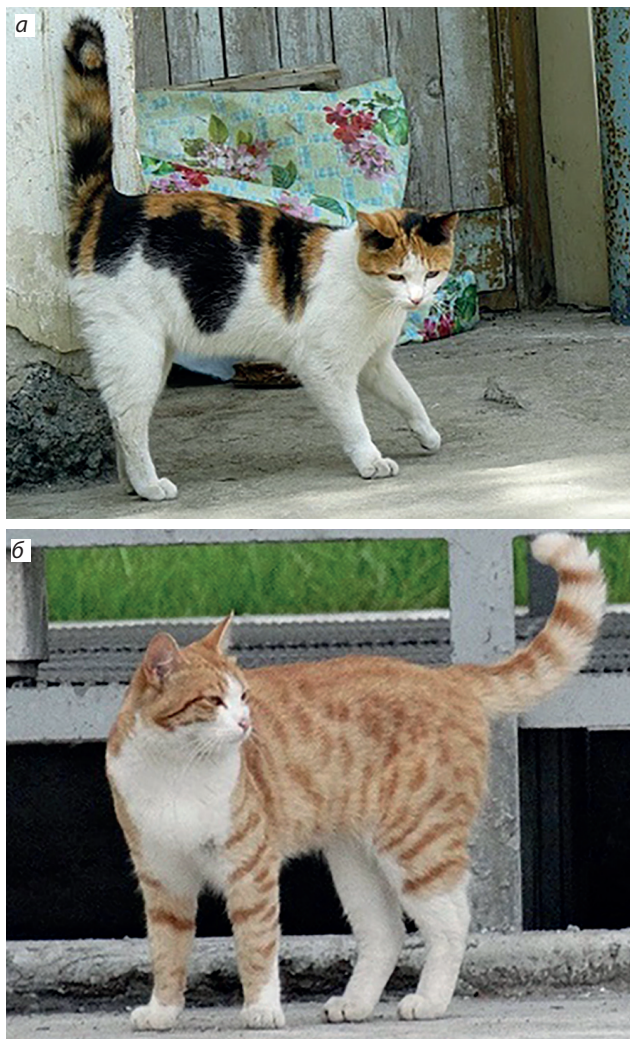


Рис. 2. Не бобтейл: а – черепаховая, пегая самка с слегка укороченным хвостом (генотип $aaOoW^{S?}$, возможно, $ta^b ta^b$); б – рыжий, пегий, с разорванными полосами самец с нормальным хвостом (генотип $Ti^{+?}Ta?OYW^{S?}$)

Fig. 2. Not bobtail: a, tortoiseshell, piebald spotting female with slightly shortened tail (genotype $aaOoW^{S?}$, probably $ta^b ta^b$); b, orange, piebald spotting, broken mackerel male with normal tail (genotype $Ti^{+?}Ta?OYW^{S?}$)

собом (Гончаренко и др., 1985). В случае тестирования на панмиксию использован критерий χ^2 (Животовский, 1983). Попарное сравнение популяций по отдельным локусам

выполнено с помощью критерия χ^2 с применением arcsin-преобразования частот аллелей (Животовский, 1991).

Обобщенное сравнение генетического сходства исследованных популяций с таковыми соседних регионов проведено методом главных координат на основе дистанции Нея (Животовский, 1983) в программе Past v. 3.26 (Hammer et al., 2001).

В табл. 1 представлены результаты проверки на панмиксию по локусу Orange и оценка частоты аллеля O в исследованных популяциях. В обоих случаях отмечено соответствие наблюдаемых и ожидаемых частот генотипов ($p > 0.50$ и $p > 0.20$ соответственно). В этой ситуации возможна оценка частот других аутосомных аллелей. Частота этого аллеля в популяции Южно-Курильска ниже, чем в сахалинской, однако различия между ними статистически недостоверны ($p > 0.15$).

В табл. 2 приведены частоты аллелей в двух исследованных популяциях, рассчитанные в предположении панмиксии, и результаты их попарного сравнения. Сравнение частот аллелей показало высокое сходство популяций ($p = 0.114\text{--}0.940$). Только частота аллеля d статистически достоверно ниже в популяции Холмска ($p < 0.02$).

Из 132 кошек в выборке из Южно-Курильска 86 были бобтейлами ($65.2 \pm 4.1\%$). В популяции Холмска бобтейлов наблюдали ранее (Холин, 2013). В выборке, рассматриваемой в данной работе, из 97 особей 7 были бобтейлами ($7.2 \pm 2.6\%$), что статистически значимо ниже, чем в курильской выборке ($p < 0.00001$). Наблюдаемая доля бобтейлов в популяции кошек Южно-Курильска выше в два раза ($p < 0.00005$), чем в популяциях соседнего о. Хоккайдо (Япония) ($32.0 \pm 2.3\%$, $n = 8$) (Nozawa, Kawamoto, 2013).

В табл. 3 представлены генетические профили изученных популяций и популяций о. Хоккайдо и г. Владивосток как наиболее географически близких из других исследованных популяций. Так, популяции о. Хоккайдо имеют относительно низкие частоты аллелей ta^b и I. Сравнение популяций по частоте этих аллелей показало статистически достоверные отличия японских популяций от прочих изученных ($p < 0.05$). Кроме того, частота аллеля d в популяциях Курильска и Владивостока достоверно выше, чем в популяциях о. Хоккайдо ($p < 0.025$).

На рис. 3 представлены результаты анализа матрицы генетических дистанций на основе данных табл. 3 между популяциями методом главных координат. Как видно из диаграммы, популяции домашних кошек располагаются в

Таблица 1. Наблюдаемое и ожидаемое соотношение генотипов локуса Orange, проверка на панмиксию (χ^2) и оценка частоты аллеля O ($q(O)$)

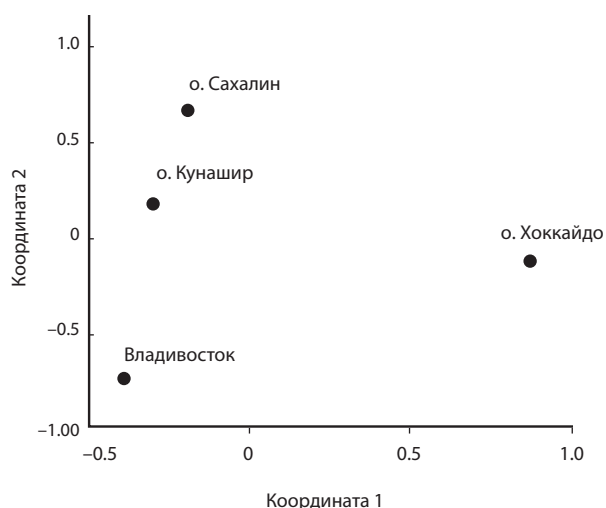
Table 1. Observed and expected genotype ratio at the Orange locus, testing for panmixia, and estimation of the O allele frequency ($q(O)$)

Соотношение генотипов	Генотип			$\chi^2, df = 1$	q(O) ± SE
	O/?	O/+	+/+		
Южно-Курильск					
Наблюдаемое	17	18	107	0.424	0.178 ± 0.027
Ожидаемое	14.91	20.80	106.30		
Холмск					
Наблюдаемое	20	16	73	1.131	0.250 ± 0.035
Ожидаемое	16.99	20.41	71.60		

Здесь и в табл. 2: ? – состояние второго аллеля неизвестно.

Таблица 2. Наблюдаемое соотношение фенотипов (Obs.), оценка частот мутантных аллелей (q) и χ^2 -тест на однородность
Table 2. Observed phenotype ratio (Obs.), estimation of mutant allele frequencies (q) and χ^2 -test of heterogeneity

Генотип	Южно-Курильск		Холмск		χ^2	p
	Obs.	q $\pm$ SE	Obs.	q $\pm$ SE		
a/a	65/127	0.715 $\pm$ 0.031	48/89	0.734 $\pm$ 0.036	0.095	0.758
+/?	62/127		41/89			
ta ^b /ta ^b	9/77	0.342 $\pm$ 0.054	8/66	0.348 $\pm$ 0.058	0.006	0.940
+/?	68/77		58/66			
Ti ^A /?	2/79	0.013 $\pm$ 0.009	1/67	0.007 $\pm$ 0.007	0.135	0.713
+/?	77/79		66/67			
d/d	17/137	0.352 $\pm$ 0.040	5/108	0.215 $\pm$ 0.047	5.655	0.017
+/?	110/137		103/108			
w ^g /w ^g	10/77	0.360 $\pm$ 0.053	13/52	0.500 $\pm$ 0.060	2.500	0.114
+/?	67/77		35/52			
W ^S /?	65/142	0.264 $\pm$ 0.028	56/108	0.306 $\pm$ 0.035	0.532	0.466
+/?	77/142		52/108			
W/?	2/146	0.007 $\pm$ 0.005	4/113	0.018 $\pm$ 0.009	0.658	0.417
+/?	144/146		109/113			
I/I	31/146	0.461 $\pm$ 0.037	22/112	0.443 $\pm$ 0.042	0.083	0.773
+/?	115/146		90/112			

**Рис. 3.** Распределение дальневосточных популяций домашней кошки в пространстве первых двух главных координат на основе анализа матрицы генетических дистанций
Fig. 3. Distribution of Far Eastern populations of the domestic cat in the space of the first two principal coordinates, based on the analysis of genetic distance matrix**Таблица 3.** Частоты мутантных аллелей в популяциях домашних кошек Дальнего Востока
Table 3. Mutant allele frequencies in domestic cat populations of Far East

Аллель	о. Кунашир	о. Сахалин	Владивосток*	о. Хоккайдо**
O	0.178	0.250	0.182	0.151
a	0.715	0.734	0.689	0.694
ta ^b	0.342	0.348	0.479	0.159
Ti ^A	0.013	0.007	–	0.007
d	0.352	0.215	0.352	0.199
W***	0.007	0.018	0.016	0.026
I	0.461	0.443	0.419	0.141

* неопубликованные данные С.К. Холина; ** средние значения по данным К. Nozawa и Y. Kawamoto (2013); *** данные по другим аллелям этого локуса для Владивостока и о. Хоккайдо отсутствуют.

пространстве координат в соответствии со своим географическим положением и наблюдаемыми различиями по частоте мутантных аллелей.

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что популяция домашней кошки Южно-Курильска генетически более близка к другим популяциям российского Дальнего Востока, чем к популяциям о. Хоккайдо. Единственный факт, указывающий на связь популяции кошек Южно-Курильска с японскими популяциями, это высокая доля бобтейлов. В настоящее время Южные Курилы – единственное место в Российской Федерации с высоким процентом кошек бобтейлов. Три основные причины могли повлиять на современную генетическую структуру рассматриваемой популяции. Во-первых, популяция домашней кошки Южно-Курильска немногочисленна и относительно изолирована. Во-вторых, имеет значение двойное происхождение этой популяции. До Второй мировой войны на месте Южно-Курильска было небольшое японское рыболовецкое селение. Интенсивно поселок начал развиваться только после окончания войны. Становление популяции кошек происходило уже без влияния японских популяций. В-третьих, повлияло разрушительное цунами 1994 г., в результате которого численность популяции кошек резко снизилась. Таким образом, изначально значительную роль играл эффект основателя, затем – бутылочного горлышка. В результате в популяции домашней кошки Южно-Курильска сложилась своеобразная генетическая структура, отличающая ее от таковых соседних регионов.

Список литературы / References

- Высоков М.С., Василевский А.А., Костанов А.И., Ищенко М.И. История Сахалина и Курильских островов с древнейших времен до начала XXI столетия. Южно-Сахалинск: Сахалинское книжное издательство, 2008.
[Vysokov M.S., Vasilevsky A.A., Kostanov A.I., Ishchenko M.I. History of Sakhalin and the Kuril Islands from ancient times to the beginning of the XXI century. Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalinskoye Knizhnoye Izdatelstvo, 2008. (in Russian)]

- Гончаренко Г.Г., Лопатин О.Е., Манченко Г.П. Мутантные гены окраски в популяциях домашних кошек средней Азии и европейской части СССР. *Генетика*. 1985;21(7):1151-1158.
[Goncharenko G.G., Lopatin O.E., Manchenko G.P. Coat colour mutant genes in domestic cat populations of Middle Asia and European part of the USSR. *Genetika (Moscow)*. 1985;21(7):1151-1158. (in Russian)]
- Животовский Л.А. Статистические методы анализа частот генов в природных популяциях. В: Итоги науки и техники. Общая генетика. М.: ВИНТИ, 1983;8:76-104.
[Zhivotovsky L.A. Statistical methods for analyzing gene frequencies in natural populations. In: Results of science and technology. General genetics. Moscow: VINITI Publ., 1983;8:76-104. (in Russian)]
- Животовский Л.А. Популяционная биометрия. М.: Наука, 1991.
[Zhivotovsky L.A. Population biometry. Moscow: Nauka Publ., 1991. (in Russian)]
- Кочеткова Н.В. Курильский бобтейл. М.: ООО «Аквариум принт», 2007.
[Kochetkova N.V. Kurilian bobtail. Moscow: Akvarium Print Publ., 2007. (in Russian)]
- Манченко Г.П. Новые данные о частотах мутантных генов окраски у домашних кошек СССР. *Генетика*. 1981;17(12):2195-2202.
[Manchenko G.P. New data on the mutant genes frequencies in the domestic cats of the USSR. *Genetika (Moscow)*. 1981;17(12):2195-2202. (in Russian)]
- Робинсон Р. Генетика окрасок. В: Генетика кошки. Новосибирск: Наука, 1993а;44-53.
[Robinson R. Genetics of colors. In: Cat genetics. Novosibirsk: Nauka Publ., 1993а;44-53. (in Russian)]
- Робинсон Р. Генетика структуры шерсти. В: Генетика кошки. Новосибирск: Наука, 1993б;53-57.
[Robinson R. Coat structure genetics. In: Cat genetics. Novosibirsk: Nauka Publ., 1993б;53-57. (in Russian)]
- Холин С.К. Частоты мутантных генов в двух популяциях домашних кошек южного Сахалина. *Генетика*. 1990;26(12):2200-2206.
[Kholin S.K. Coat colour mutant gene frequencies in two domestic cat populations of south Sakhalin Island. *Genetika (Moscow)*. 1990;26(12):2200-2206. (in Russian)]
- Холин С.К. Частоты мутантных генов окраски шерсти в популяциях домашних кошек населенных пунктов Приморского края. *Генетика*. 2012;48(5):655-659. DOI 10.1134/S1022795412050122.
[Kholin S.K. Coat colour mutation gene frequencies in domestic cat populations of Primorskii krai, Russia. *Rus. J. Genet.* 2012;48(5):558-561. DOI 10.1134/S1022795412050122]
- Холин С.К. Новые данные о частотах мутантных аллелей в популяции домашних кошек г. Холмск (о. Сахалин). *Амурский зоологический журнал*. 2013;5(4):473-475.
[Kholin S.K. New data on the mutant alleles frequencies in the domestic cat population of Kholmsk (Sakhalin Island). *Amurskii Zoologicheskii Zhurnal*. 2013;5(4):473-475. (in Russian)]
- Холин С.К. Динамика частот мутантных аллелей в популяции домашней кошки (*Felis catus* L., 1758) г. Холмск (о. Сахалин). *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН*. 2016;3:104-107.
[Kholin S.K. Dynamics of mutant allele frequencies in the cat population (*Felis catus* L., 1758) in the city of Kholmsk, Sakhalin Island. *Bulletin of the North-East Science Center*. 2016;3:104-107. (in Russian)]
- Холин С.К. Библиография по популяционной генетике домашней кошки (*Felis catus* L.). Владивосток: ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН, 2018.
[Kholin S.K. Bibliography on the population genetics of a domestic cat (*Felis catus* L.). Vladivostok: Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity Publ., 2018. (in Russian)]
- Adalsteinsson S., Blumenberg B. Simultaneous maximum likelihood estimation of the frequency of sexlinked orange and the male ratio in the cat. *Carnivore Genet. Newsl.* 1984;4:68-77.
- Borodin P.M., Bochkarev M.N., Smirnova I.S., Manchenko G.P. Mutant allele frequencies in domestic cat populations of six Soviet cities. *J. Hered.* 1978;69(3):169-174. DOI 10.1093/oxfordjournals.jhered.a108918.
- David V.A., Menotti-Raymond M., Wallace A.C., Roelke M., Kehler J., Leighty R., Eizirik E., Hannah S.S., Nelson G., Schäffer A.A., Connelly C.J., O'Brien S.J., Ryugo D.K. Endogenous retrovirus insertion in the KIT oncogene determines *White* and *White spotting* in domestic cats. *G3 (Bethesda)*. 2014;4(10):1881-1891. DOI 10.1534/g3.114.013425.
- Eizirik E., David V.A., Buckley-Beason V., Roelke M.E., Schäffer A.A., Hannah S.S., Narfström K., O'Brien S.J., Menotti-Raymond M. Defining and mapping mammalian coat pattern genes: Multiple genomic regions implicated in domestic cat stripes and spots. *Genetics*. 2010;184(1):267-275. DOI 10.1534/genetics.109.109629.
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 2001;4(1):1-9.
- Montague M.J., Li G., Golfi B., Warren W.C. Comparative analysis of the domestic cat genome reveals genetic signatures underlying feline biology and domestication. *PNAS*. 2014;111(48):17230-17235. DOI 10.1073/pnas.1410083111.
- Nozawa K., Kawamoto Y. Genetic polymorphisms in coat color and other morphological traits of the Japanese feral cats – The 4th compilation of mainland data. *Rep. Soc. Res. Native Livestock*. 2013;26:105-139.
- Pollard R.E., Koehne A.L., Peterson C.B., Lyons L.A. Japanese Bobtail: vertebral morphology and genetic characterization of an established cat breed. *J. Feline Med. Surg.* 2015;17(8):719-726. DOI 10.1177/1098612X14558147.
- Robinson R., Silson M. Mutant gene frequencies in cats of Southern England. *Theor. Appl. Genet.* 1969;39(7):326-329. DOI 10.1007/BF00281914.
- Todd N.B. Cats and commerce. *Sci. Am.* 1977;237(5):100-107.
- Todd N.B. Cat population genetics on the littoral of the Indian Ocean and South China Sea: a preliminary assessment. *Carnivore Genet. Newsl.* 1983;4(7):248-262.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 22.08.2022. После доработки 30.08.2022. Принята к публикации 05.09.2022.