Муниципальное бюджетное образовательное учреждение
Елизовская средняя школа № 9

Моделирование определения частоты встречаемости некоторых аллелей в популяции городских кошек

Учебно-исследовательская работа

Выполнил Шейгеревич Чеслав
ученик 9 «А» класса МБОУ ЕСШ № 9
Руководитель Коптелова Н.К.,
учитель биологии МБОУ ЕСШ № 9

г. Елизово
2022 г.

Содержание

Введение…….…..3
1.1. От чего зависит окраска кошек……...4
1.2. Цели и задачи исследования……..…….……..…7
2. Материалы и методы…….....8
3. Результаты наблюдений …….……...11
3.1. Выявленные окрасы кошек……...11
3.2. Частота встречаемости аллеля *a*……...13
3.3. Частота встречаемости аллеля *l*……..……..…13
4. Выводы…….……..15
5. Список использованных источников…….…….....16
Приложение ……...17

Введение

Кошка (*Felis catus*)- одно из первых одомашненных животных. Кошка в доме создает не только уют и радость, но и благотворно влияет на формирование характера детей, на их воспитание. Кошки скрашивают одиночество пожилых и молодых людей, взамен этого не требует к себе ничего, кроме любви и заботы, особенно в период заболевания. Существуют опасные для человека болезни, передающиеся от кошек, например бешенство плотоядных, токсоплазмоз и хламидиоз, стригущий лишай и глистные инвазии [7].

Кошки, как и человек, страдают от наследственных заболеваний, у кошек было выявлено 250 наследуемых генетических расстройств, многие из которых схожи с человеческими. Высокий уровень сходства в метаболизме млекопитающих позволяет диагностировать эти наследственные болезни кошек, используя генетические тесты, которые были первоначально получены для диагностирования наследственных болезней человека, а также использовать кошек в исследованиях человеческих болезней [3].

Средой обитания кошки, как домашнего животного, является жилище человека. В зависимости от условий содержания, избранных для кошки её хозяином, кошки делятся на тех, которые никогда не покидают жилище человека, и тех, которые имеют доступ за пределы дома [4]. Однако даже в городской среде обитания на кошек продолжали действовать факторы естественного отбора: внешние- неблагоприятные погодные условия, недостаток мест для выведения потомства, нехватка корма; и внутрипопуляционные — накопление генетического груза, большая плотность особей своего вида и др.

Наиболее изученными являются гены окраса шерсти кошек [8], и это не удивительно, так как селекция кошек очень популярна и приносит доход. Известно, что многие гены окраски обладают плейотропными эффектами, которые могут оказаться приспособительными в различных ситуациях [4, 9].

1.1. От чего зависит окраска и длина шерсти у кошек

В период одомашнивания окраска шерсти стала для вида кошка домашняя мощным приспособительным фактором: человек отдавал предпочтение редким и необычным окрасам, кошки этих окрасов получали кров и еду от человека, а также преимущество в размножении.

Каждая кошка, будь она беспородной или чистокровной, домашней или выведенной в питомнике, имеет свой особенный цвет шерсти, или окрас, который зависит от генотипа. В русском языке понятие «окрас» шерсти

кошки объединяет как сам цвет шерсти животного, так и «рисунок» из полос или пятен. У пегих кошек, на шёрстном покрове которых располагаются неокрашенные пятна белого цвета, различают и соотношение расположения белых и цветных пятен. Также понятие окраса описывает степень окрашенности каждого отдельного волоса шерсти кошки. Кроме того, выделяются кошки с разными формами альбинизма, что отражается на окрашенности шёрстного покрова и также охватывается понятием окраса. Окрас кошки определяется набором генов, от которых зависит содержание и тип меланина в шерсти. Сероватый цвет шерсти обычно называют «голубым» (например, порода «русская голубая»), а рыжий — «красным» [3].

Цвет кожи и волос у кошек (у людей и других млекопитающих) зависит от типа пигмента меланина, который синтезируется в меланоцитах кожи. Меланоциты – единственные клетки, синтезирующие меланин из предшественников и накапливающие его в коже, волосяных фолликулах и пигментном эпителии сетчатки глаза. Это клетки с многогранным телом и длинными отростками-дендритами, разветвляющимися между клетками эпидермиса на границе с дермой [5]. По своим отросткам меланоциты транспортируют пигмент в другие клетки и в волосяные фолликулы. За разнообразие окрасок кошки отвечают два пигмента: феомеланин- от красного до желтого, и эумеланин – от коричневого до черного [4].

Какой именно из пигментов будут производить меланоциты и как они будут распределены по кошачьему телу, отвечает множество генов, которые могут действовать параллельно, усиливать работу друг друга или, наоборот, конкурировать. Например, как ген Orange влияет на агути, не оставляя шансов вырастить однотонно рыжего питомца [3].

Окрасы различают следующие:

Табби — напоминает окрас диких кошек. Встречается в виде узких полос, мелких пятен по всему корпусу или особому рисунку. Среди этой группы окрасов кошек выделяют: абиссинский табби, табби-макрель (он же тигровый), пятнистый табби и мраморный (классический) табби.

Одноцветный, или *сплошной* окрас, когда цвет шерсти одинаков по всему телу кошки.

Дымчатый окрас, когда окрашены только кончики волос шерсти. Окрас кошки называется шиншилловым, если у неё окрашена 1/8 волоса.

Колорпойнт (от англ. *Colour* — цвет и *point* — пятно), или акромеланические окрасы. Для этой группы окрасов характерны слабо окрашенное, светлое (от белого до кремового) тело и более тёмные лапы, хвост, морда и уши.

Би-колорные — на шёрстном покрове по всему корпусу на белом фоне расположенные окрашенные пятна без определённого соотношения.
Черепаховый окрас, а также голубокремовый, ситец — кошка раскрашена сочетаниями чёрного (голубого) и рыжего (кремового) цветов. Такие кошки, как правило, всегда являются самками, так как этот окрас является следствием кодоминирования или неполного доминирования сцепленного с полом гена в генотипе самок [6]. Кодоминантный ген, определяющий красную и чёрную окраску у кошек, находится в половой хромосоме X, поэтому кошки красного окраса (XX) встречаются реже, чем коты красного окраса (XY), а черепахового (красно-чёрного или кремово-голубого) окраса бывают только кошки, но не коты. Наличие черепахового окраса у кота свидетельствует о генетических нарушениях, было описано несколько случаев трёхцветных котов, черепаховый окрас которых был обусловлен набором половых хромосом XXY. Также считается, что такие коты бесплодны [6]
Агути - явление зонированного окрашивания волоса. Каждый волос разделен на несколько зон, каждая из которых окрашена в свой цвет: одни зоны окрашены черным пигментом, другие - красным (при его наличии) или не окрашены вовсе (белые). К группе агути-окрасов у кошек относятся окрасы табби, затушеванные, «шиншиллы» [7]. Типичная для кошек серая полосатая или пятнистая окраска (агути) возникает за счёт последовательного распределения двух форм пигмента по длине волоса. Основание и кончик нормального волоса содержат чёрный пигмент, а в его средней части чёрные пигментные кольца чередуются с зонами, наполненными оранжевым пигментом. Рецессивная мутация не-агути (Non-agouti - символ *a*), приводит к удалению из волоса жёлтых колец, и весь волос оказывается заполненным чёрным пигментом. Этот аллель широко распространён в кошачьих популяциях. Например, что в городах Великобритании чёрных кошек, как правило, гораздо больше, чем в сельской местности [2].

Длина шерсти - важная морфологическая черта, которая варьируется между разными породами кошек. Длинная шерсть (аллель "L") является следствием мутации в гене *FGF5* и наследуется как рецессивный признак. Для проявления признака длинной шерсти необходимо, чтобы кошка была гомозиготной по аллелю длинной шерсти (генотип L/L). Гомозиготы по аллелю короткой шерсти (генотип S/S), а также носители аллеля длинной шерсти (генотип S/L), являются короткошерстными [7].

Из учебника биологии 9 класса [11], я узнал новые понятия, связанные с генетикой.

Ген - структурная и функциональная единица наследственности живых организмов. *Аллели* – это разные формы одного и того же гена, расположенные в одинаковых локусах парных хромосом, которые определяют вариативность развития определенных признаков. *Гомозиготным* называют организм, где аллели в одном и том же гене одинаковые. Если аллели разные этот организм будет называться *гетерозиготным*. *Генотип* - наследственная основа организма, совокупность всех наследственных задатков – генов данной клетки или организма, всех наследственных факторов организма.

Фенотип - совокупность биологических свойств и признаков организма, сложившаяся в процессе взаимодействия его генотипа и условий внешней среды обитания, в ходе индивидуального развития.

Под понятием «*популяция кошек*» принимается совокупность всех кошек данной территории продолжительное время (несколько поколений), проживающих на данной территории, свободно скрещивающихся и дающих плодовитое потомство.

В своем учебном исследовании на примере домашних кошек мы попытались смоделировать ситуацию в панмиктической популяции и применить к ней расчеты по определению частоты встречаемости некоторых аллелей.

Актуальность работы заключается в важности изучения домашних животных, которые являются компонентами среды обитания человека и оказывают на него, человека, влияние. Изучая распределение, частоту встречаемости некоторых окрасов кошек, живущих в городской среде, сравнивая частоты окрасов кошек в районах города, различающихся по степени урбанизации: плотности, высотности застройки, вносим свой вклад в изучение модельного объекта, в этом заключается научная значимость работы.

Объект исследования - домашняя кошка (Felis catus), семейство Кошачьи (Felidae), отряд Хищные (Carnivora).

Предмет исследования – разнообразие окрасок и их наследование.

1.2. Цель и задачи работы

Цель исследовательской работы: оценить частоту аллеля черной (Non-agouti) окраски и аллелей гена L, определяющего длину шерсти, в популяции непородистых кошек, обитающих в микрорайоне «Военный городок», города Елизово, Камчатского края и сравнить полученные данные с опубликованными результатами таких же исследований, проведённых в других регионах.

Задачи:

1. Выяснить какие окрасы встречаются у кошек в микрорайоне «Военный городок»
2. Провести расчеты частоты аллеля *Non-agouti* и аллеля *L* по формуле Харди-Вайнберга.
3. Сравнить результаты исследования окрасов в нашей популяции с другими.

2. Материалы и методы

Исследование проводили в период с 7 ноября по 2 декабря 2022 года, в микрорайоне «Военный городок» города Елизово Камчатского края (Рис.1).

Микрорайон характеризуется маловысотными постройками – 4-5-этажными домами. Часть микрорайона представлена частными постройками, но в данной работе мы не учитывали разделение на типы построек. Автомобильное движение не очень активное.

Рисунок 1. Район исследования (источник фото: Google карты)

При изучении фенотипа свободно скрещивающихся кошек должен применяться метод типирования, заключающийся в визуальном наблюдении кошек на улицах и во дворах домов [1].

Для сбора материала – информации об окрасах кошек нужно ходить по улицам и фотографировать всех встреченных беспородных кошек (Рис. 2). Породистых кошек: сиамских, бирманских, мейн-кунов, ангорских и прочих – не фотографировать, поскольку они лишены свободы, а часто и вообще возможности скрещивания и поэтому не могут считаться представителями дикой популяции (Рис. 3).

Рисунок 2. Объект наблюдения.

Рисунок 3. Не учитывающийся объект.

Поиск кошек происходил на улице. Через несколько дней после начала наблюдений мы столкнулись с проблемой: выпал снег, и кошек на улице стало значительно меньше. Проведя первые два дня наблюдений, мы выяснили, что гуляющих на улице кошек не просто отыскать в виду приближающейся зимы. Тогда мы решили подключить к поискам друзей, родных, знакомых и даже школьников в школе № 9. Поэтому, в качестве материала для работы использовали фотографии домашних кошек, фото которых присылали учащиеся нашей школы и знакомые, проживающие в пределах исследуемого района.

Всего было обработано 70 фотографий котов и кошек. Отсеяв фото породистых котов (например, Рис. 3), проанализировали 55 фотографий – 57 котов/кошек (пол не учитывали). Полученные фото сводили в таблицу кошачьих фенотипов и предполагаемых генотипов.

Носителем генотипа *aa* считается черная кошка (Рис. 4), которая либо полностью чёрная, либо голубая (без тёмных полос и пятен), либо имеет чёрные или голубые пятна на любом другом фоне – белом, рыжем, или кремовом. Всех остальных кошек, кроме чисто рыжих или абсолютно белых, классифицировали как носителей доминантного аллеля *A* [2].

При подсчетах не учитывали рыжих и белых кошек, потому что эти окраски эпистатичны по отношению к чёрной агути, т.е. глядя на рыжую кошку, нельзя сказать, чёрная она или серая, потому что она рыжая (так же и с абсолютно белыми).

Черепаховую (трехцветную окраску – Рис. 5) учитывали, у неё, кроме рыжих пятен на шкурке, есть либо серые (агути), либо чёрные пятна.

Окраску колор-пойнт учитывали как носителей аллеля *a,* но, т.к. пока еще не не хватает знаний про наследование всех типов окраса, то в результатах рассмотрели два варианта с учетом окраса колор-пойнт и без данного окраса.

Частоту генотипов в популяции определяли по уравнению Харди – Вайнберга: $p^2(AA)+2pq(Aa)+q^2(aa)=1$, где p и q — частоты аллелей A и a соответственно.

Сделав допущение, что популяция находится в равновесии, частоту аллеля определяли как квадратный корень из частоты гомозигот по рецессивному аллелю.

Частоту аллеля *a* находили по формуле:

$q\ (a) = \sqrt{aa}$

Следующий этап – сравнение изучаемой популяции по частоте исследуемого аллеля с другими популяциями, других регионов. Найти эти данные можно в поисковой системе “Академия Google”: https://scholar.google.com/ (ключевые слова: cat, population, allele frequency).

Рисунок 4. Фенотип - не агути

Рисунок 5. Фенотип - черепаховая

Аналогично определяли частоту аллеля длинной шерсти (аллель *l*) при этом учитывали всех котов на фотографиях, в том числе полностью белых и рыжих.

3. Результаты

3.1. Выявленные окрасы кошек

По результатам анализа фотографий в нашей выборке присутствовало несколько типов окрасов, которые мы сгруппировали и представили в виде диаграммы (Рис. 7). Под пегим окрасом подразумеваются окрасы с белыми пятнами, таких вариантов выявили- два рыжепятнистые и белопятнистые.

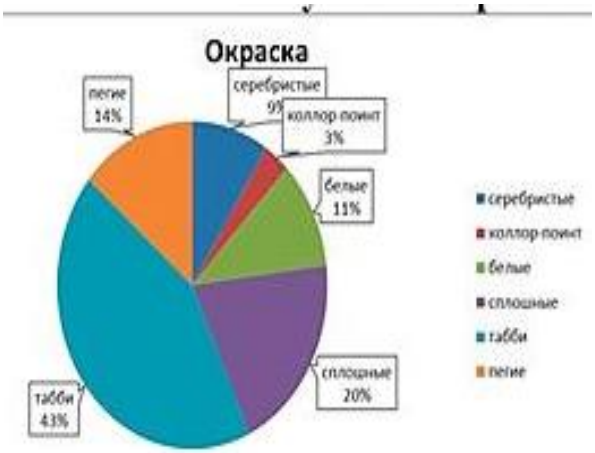

Рисунок 6. Варианты окрасов у кошек в Подмосковье [10]

Рисунок 7. Варианты окрасов кошек в микрорайоне г. Елизово

Сравнив свои наблюдения с работой [9], выполненной в Подмосковье (Рис. 6, 2019 год) разнообразие окрасов в нашей выборке такое же - 6 вариантов, но в нашем случае присутствует черепаховый окрас, и нет серебристого окраса.

Совсем белый окрас встретился лишь один раз (1,8%) а в сравниваемом регионе он составляет 11% встреченных животных.

Наиболее встречающимся окрасом является и в Елизово, и в Подмосковье является окрас табби - наличие разнообразных полос. Но в исследуемом микрорайоне табби составляет 33,3%, а в Подмосковье 43%. Окрас табби – самый древний, характерен для диких родственников, и вероятно, играет эволюционно выигрышную роль. Наименее встречающийся окрас в сравниваемой работе - колор-пойнт составляет 3%, в наших наблюдения – 10,5%.

В ходе анализа фотографий 54 котов выяснилось, что соотношение окрасов с рисунком (Рис. 4, 5, 10) и сплошных окрасов (Рис. 9) одинаково, по 50% каждого (Рис. 8).

Рисунок 8. Рисунок окраса: сплошной (агути) – несплошной (не агути)

Встречаемость сплошного черного окраса составляет 14 %, для сравнения в работе, выполненной в Подмосковье, черная окраска встречается у 20%, но это по деревенским кошкам. Бородин П.М. (2022 г.) упоминает большую встречаемость черных окрасов в городах, чем в сельской местности на примере Великобритании.

Рисунок 9. Сплошной окрас.

Рисунок 10. Не сплошной, агути, табби.

3.2. Частота встречаемости аллеля *a*

Локус А отвечает за распределение пигмента по каждому волоску кошки. В этом локусе встречается несколько аллелей. Классически выделяют два основных аллеля:

- аллель "А" (агути). Доминантный, отвечает за окрашивание каждого волоса в равномерно чередующиеся тёмные и светлые поперечные полоски. Позволяет проявляться окрасам типа "табби" (полоски, круги на теле).
- аллель "а" (не агути). Рецессивный (внешне проявляется только при наличии двух аллелей "а", генотип а/а). Окрашивает волос в равномерный цвет (формируются сплошные окрасы типа "солид"), не позволяет проявляться окрасам типа "табби". Исключением являются кошки рыжего (кремового) окраса, на которых локус *A* не влияет [2, 7], поэтому в своем исследовании и не учитывали полностью рыжих котов.

Частоту встречаемости аллеля а определяли по формуле:

$$p^2(AA)+2pq(Aa)+q^2(aa)=1.$$

где q^2(аа) – частота генотипа аа.

Находим частоту генотипа неагути (фенотип черный, голубой, пегий, черепаховый) которых в наблюдении встречено 27 особей, что составляет 0,5 (50% от выборки кошек) следовательно частота аллеля *a*:

$q(a)=\sqrt{aa}$ Находим частоту аллелея а $=\sqrt{0,5}=0,71$

Находим частоту аллеля *A* по формуле $p(A)+q(a)=1$, $p(A)=1-q(a)=0,29$

Таким образом, частота аллеля *a* составляет 0, 71, а частота аллеля *A* 0,29

3.3. Частота встречаемости аллеля *L*

Находим частоту генотипа кошек с длинной шерстью, которых в наблюдении встречено 19 особей, что составляет 33,33%.

Короткошёрстные кошки составили 66,67% (Рис. 11).

Рисунок 11. Соотношение встреченных кошек по длине шерсти.

Частота генотипа *ll* (для удобства обозначим рецессивный аллель длинной шерсти прописной буквой, а не заглавной) составляет 0.33.

Находим частоту аллея *l:* $q(l) = \sqrt{0,33} = 0,57$

Находим частоту аллеля *L* по формуле: $p(L)+q(l)= 1$, следовательно

$p(L)= 1- q(l) = 0,43$

Хочется сказать, что за короткой шерстью легче ухаживать, менее энергозатратно, возможно это и дает преимущества кошкам.

Стандарт породы кошки регламентирует окрас, при этом в некоторых породах допускается наличие только одного окраса. Тогда как у «метисов» или беспородных нет никаких регламентов, кроме естественного отбора и окрас – пигмент будет влияет на выживаемость в естественной среде или на предпочтения человека.

Нам удалось смоделировать ситуацию и рассчитать частоту встречаемости двух аллелей, отвечающих за распределение пигмента и длину волоса.

4. Выводы:

1. В микрорайоне «Военный городок» у беспородных кошек встречаются 6 вариантов окрасов из них преобладают окрасы табби, пегие и сплошной.
2. Частота аллеля Non-agouti в наблюдаемой популяции составляет 0,71.

   Частота аллеля *l* (длинная шерсть) в наблюдаемой популяции составляет 0,57.
3. Сравнив популяцию кошек нашего микрорайона с исследованием выполненным в Подмосковье наблюдаем схожие окрасы, но в разных соотношениях, по частоте исследуемых аллелей сравнение не удалось провести.

Заключение

В ходе работы нам удалось смоделировать определение частоты встречаемости аллелей «не агути» и «*L*» на небольшой выборке объектов. Выборку следует увеличить, для повышения её репрезентативности, и получения более полной картины, точно отражающей ситуацию в популяции непородистых кошек города Елизово, а для этого необходимо провести наблюдение в летний период.

Изучать наследование окрасов кошек увлекательно, выбрав хорошо отличимые рецессивные признаки это посильно.

5. Список использованных источников и литературы

1. Бородин П.М. Кошки и гены/ Изд. 3-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. — 136 с.
2. Бородин П.М., Воронина Е.Н. Практическая молекулярная генетика для начинающих: практическое пособие. — М.: Просвещение, 2022.-271с.
3. Бруман С. Откуда берутся цвета и узоры на кошачьей шкуре https://nplus1.ru/material/2021/10/08/on-cat-stripes
4. Голубева Н.А. Частоты генов окраса, длины шерсти и спектр врожденных аномалий в современных популяциях кошек/ Автореферат диссертации по теме ВАК РФ 03.00.15, Генетика
5. Кичигина Т.Н., Грушин В.Н., Беликова И.С., Мяденец О.Д. Меланоциты: строение, функции, методы выявления, роль в кожной патологии. Вестник ВГМУ, Том 6, №4, 2007,
6. Кошка. Википедия. Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Кошка_Генетика_кошки
7. Окрас кошек агути. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.33cats.ru/guide/item/328-aguti-okras-koshek.html
8. Окрасы и длина шерсти кошек. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://vetgenomics.ru/cat_colors
9. Генетика кошки. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://studfile.net/preview/9265408/page:9/
10. Изучение окраски уличных кошек. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://profil.mos.ru/med/proekty/izuchenie-okraski-ulichnykh-koshek.html
11. Учебник по биологии. 9 класс. Пономарева И.Н., Корнилова О. А. и Чернова Н.М., 2019

Приложение

Примеры фотографий котов

№	Фото	Фенотип
1.		Неагути, пегий с белым пятном, длинная шерсть
2.		Агути, длинная шерсть
3.		Агути, шерсть нормальной длины