

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ГЕМИСИНАНТРОПНОГО ВИДА – ПОЛЕВОЙ МЫШИ (*APODEMUS AGRARIUS* PALLAS, 1771) (MURIDAE) В ПАРКАХ МОСКВЫ

© 2025 Карманова Т.Н.*, Феоктистова Н.Ю., Мещерский С.И.,
Мещерский И.Г., Суров А.В.

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Ленинский пр-т., 33, 119071, Россия
e-mail: *karmanovs94@mail.ru

Поступила в редакцию 06.05.2025. После доработки 19.07.2025. Принята к публикации 26.08.2025

Проведена оценка нейтрального генетического разнообразия (ген цитохрома *b* и 12 микросателлитных локусов) популяций гемисинантропного вида – полевой мыши (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771) в пяти парках г. Москва, расположенных на территориях с разной степенью урбанизации, и в двух точках Московской области – в окрестностях НЭБ «Черноголовка» и Звенигородской биологической станции МГУ им. М.В. Ломоносова. Показано, что генетически наиболее обособленной является популяция, представляющая собой отдельный кластер с пониженным уровнем генетического разнообразия, из парка, расположенного ближе к центру города (Нескучный сад). Уровень генетической дифференциации популяций, населяющих парки в других районах города, выражен в значительно меньшей степени. Такая картина отличается от полученной ранее для аллельного разнообразия адаптивно-значимого экзона 2 гена *DRB*, входящего в состав главного комплекса гистосовместимости. Предполагается, что скорость накопления изменений по нейтральным генам значительно ниже, чем для генов, отвечающих за формирование адаптаций, например, к паразитарной нагрузке. Полученные данные по генетическому разнообразию полевых мышей в Москве как по ядерным, так и по мтДНК-маркерам указывают на то, что состояние городских популяций полевой мыши в Москве, скорее, соответствует модели [по Miles et al., 2019] «связи между городскими изолятами», чем модели «городской фрагментации». В связи с этим, а также с потенциальной эпидемиологической опасностью следует обратить внимание на необходимость проведения постоянного мониторинга городских популяций полевой мыши как в Москве, так и в других городах, где обитает данный вид.

Ключевые слова: генетическое разнообразие, городская популяция, генетическая структура, микросателлитные локусы, цитохром *b*.

DOI: 10.35885/1996-1499-18-3-087-100

Введение

Особенностью городской среды являются фрагментация биотопов, сопровождающаяся изоляцией зелёных зон, что приводит к возникновению мозаик обычно из небольших обособленных участков (например, парков, садов, кладбищ и пр.), пригодных для обитания гемисинантропных видов. К таким видам относят виды, обычно не живущие постоянно в постройках человека как истинные синантропы, но для которых благоприятными являются именно зелёные городские территории [Кучерук, 1988, Тихонова и др., 2012]. Одним из эволюционных результатов фрагментации городской среды является снижение потока генов между отдельными малыми популяциями. Это приводит к усилению генетическо-

го дрейфа и увеличению генетической дифференциации этих популяций [Beninde et al., 2018; Lourenço et al., 2017; Munshi-South et al., 2016] и, как следствие, к потере генетического разнообразия [Knapp et al., 2021]. Гипотеза об усилении дрейфа и дивергенции городских популяций носит название «модели городской фрагментации» и считается наиболее широко распространённым следствием урбанизации [Miles et al., 2019]. Однако урбанизация может способствовать и экологическому успеху некоторых видов. В частности, такие виды, как серая крыса (*Rattus norvegicus* Berk., 1769.) и домовая мышь (*Mus musculus* L., 1758), могут процветать в городах [Carlen & Munshi-South, 2021; Rochat et al., 2017], перемещаясь между домами по

городским коммуникациям. Для этих видов характерно высокое генетическое разнообразие, что согласуется с моделью «связи между городскими изолятами» (urban facilitation model) [Miles et al., 2018, 2019]. Важно понимать, каким эволюционным потенциалом обладает каждый конкретный вид, который прошёл через «сито» городской эволюции.

Одним из широко распространённых в Москве видов является полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771). Помимо Москвы, она отмечена в Санкт-Петербурге [Ключник, Старостина, 1963], Нижнем Новгороде [Петров и др., 1980], Томске [Андреевских, 2012], Екатеринбурге [Черноусова, 1992]. В Западной части Европы полевая мышь обитает в Варшаве [Гливич, 1980; Adamczewska-Andrzejewska et al., 1988; Gortat et al., 2013, 2015, 2017], Брно [Pelikan et al., 1983; Баруш, 1980], Берлине [Knijnenburg, 1971; Klawitter, 1976], Лейпциге [Klenke, 1986] и в ряде других городов. Показано, что в природе полевые мыши легко преодолевают неблагоприятные для них биотопы и способны в течение одних суток использовать несколько изолированных благоприятных участков среды [Хляп и др., 1986]. В городах она перемещается, скорее всего, по «зелёным коридорам» на расстояние до одного километра и более, что позволяет ей проникать на новые озеленённые территории города. Поэтому по сравнению с другими менее мобильными видами она в меньшей степени подвержена антропогенному прессу [Liro, 1985]. Кроме того, полевая мышь – эврифаг, что является одним из основных условий адаптаций гемисинантропных грызунов к существованию в городах [Петров и др., 1980, Карасёва и др., 1999]. В её городской рацион по сравнению с рационом сельской местности входит больше животной пищи, в том числе разнообразные продукты питания человека (от хлеба и конфет до колбасы и картошки) [Карасёва и др., 1999; Петров и др., 1980; Babinska-Werka, 1981]. То есть в городе корма полевой мыши более калорийны, что наряду с более тёплым городским климатом, большим количеством удобных укрытий позволяет успешнее размножаться и поддерживать более высокую численность, чем за городом. Кроме того, в городе полевая мышь

более успешно переживает зимы также из-за доступности разнообразных калорийных кормов [Карасёва и др., 1999; Андреевских, 2012; Тихонова и др., 2012; наши наблюдения]. Таким образом, по целому комплексу причин этот вид является хорошей моделью для изучения процесса синурбанизации, который сопровождает инвазии млекопитающих в города [Хляп, Варшавский, 2010]. Кроме того, полевая мышь является носителем более 15 патогенов человека, среди которых возбудители геморрагической лихорадки с почечным синдромом, лептоспирозов и туляремии, она также является хозяином ряда эктопаразитов [Никитина и др., 1960; Карасёва и др., 1999; Транквилевский и др., 2016], что обуславливает необходимость пристального внимания к состоянию её городских популяций.

Полевую мышь регистрировали в окрестностях Москвы на обрабатываемых полях с конца XIX века [Сатунин, 1895]. В 1913 г. Огнев указывал на её присутствие на Воробьёвых горах и в парке Покровское-Стрешнево [Огнев, 1913]. При этом её не регистрировали в Измайловском парке и на Лосином острове [Капланов, 1928, Кузнецов, 1928, Паровщиков, 1941]. В середине прошлого века полевая мышь занимала только четвёртое место по распространённости среди других видов грызунов на территории города [Тихонова и др., 1997]. Однако к началу 2000-х гг. вид стал абсолютным доминантом на озеленённых территориях мегаполиса [Карасёва и др., 1999].

Ранее [Феоктистова и др., 2025] мы оценили аллельное разнообразие экзона 2 гена DRB, входящего в состав главного комплекса гистосовместимости, в популяциях полевой мыши, обитающей в парках Москвы, расположенных на территориях с разной степенью урбанизации. Было показано, что наиболее отличной по адаптивно-значимым генетическим особенностям является популяция, населяющая парк с наименьшей антропогенной нагрузкой (Битцевский лесопарк). Здесь отмечено наибольшее число аллелей и наибольшее разнообразие представленных в популяции индивидуальных генотипов. В районах с более высокой антропогенной нагрузкой аллельный спектр и разнообразие индивидуальных генотипов были ниже.

Основные задачи представляемого исследования заключаются в анализе генетической структуры и изменчивости городских популяций полевой мыши в Москве на основе селективно-нейтральных маркеров, в оценке связи этих параметров со степенью урбанизации территорий и в сравнении полученных результатов с данными о популяционных особенностях аллельного разнообразия адаптивно-значимого локуса экзона 2 гена DRB.

Материалы и методы

Районы исследования

Наиболее комплексной характеристикой для типизации городской среды по степени урбанизации можно считать соотношение вакантных и застроенных территорий. При характеристике зон урбанизации мы используем схему, описанную нами ранее [Феоктистова и др., 2025], в которой рассматриваются городские ландшафты по мере уменьшения

степени антропогенной нагрузки от центра к периферии [по Исакову, 1967; Тихоновой и др., 1997; Карасёвой и др., 1999]. С увеличением номера зоны уровень урбанизации снижается от очень высокого (I) до очень низкого (VI).

Отловы полевых мышей проводили в мае–июне 2023–2024 гг. В Москве места отлова были приурочены к пяти паркам города, расположенным на территориях с разной степенью антропогенной нагрузки (рис. 1).

Нескучный сад (III зона урбанизации) – наиболее урбанизированная и близкая к центру города из выбранных для исследования территорий. С одной стороны Нескучный сад граничит с Ленинским проспектом, с другой – примыкает к набережной р. Москва. Это самый крупный парк Москвы, располагающийся в пределах Третьего транспортного кольца. Территория парка характеризуется высокой степенью рекреационной нагрузки и наличием

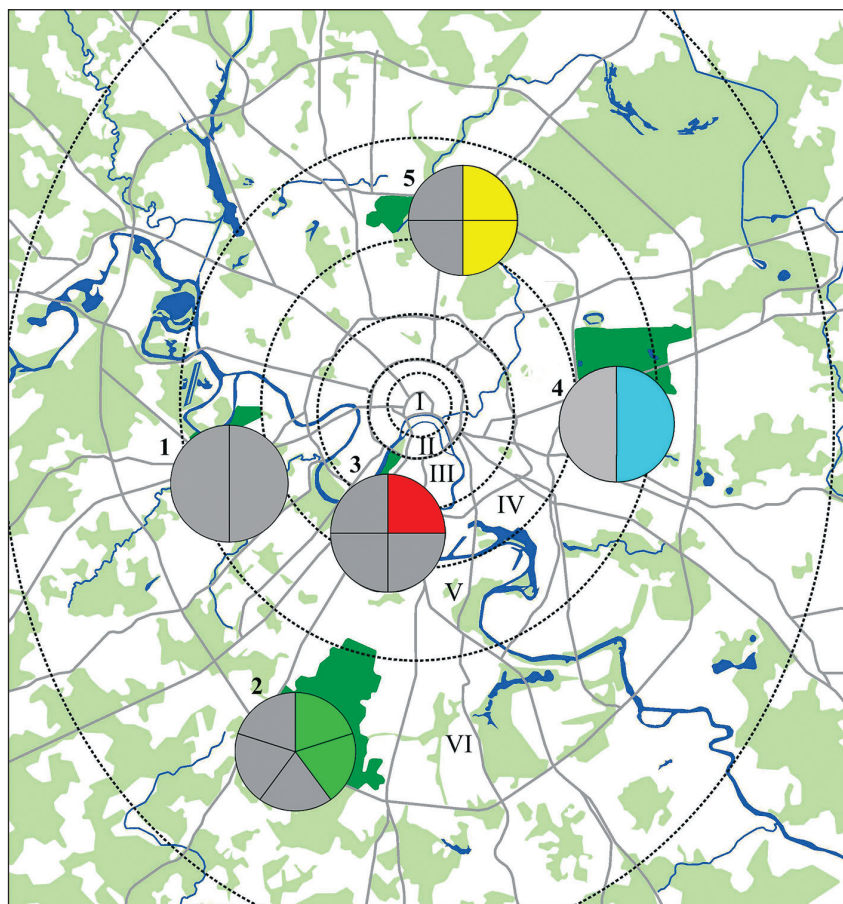


Рис. 1. Гаплотипы полевых мышей в пяти исследованных парках г. Москвы: 1 – Филевский парк; 2 – Битцевский лесопарк; 3 – Нескучный сад; 4 – Терлецкий парк; 5 – Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина; в круговых диаграммах показано количество секторов, соответствующих числу обнаруженных гаплотипов; цветные секторы обозначают уникальные для данного парка гаплотипы, серый цвет – общие гаплотипы для нескольких парков; римские цифры – зоны урбанизации (по Тихоновой и др., 2012).

ем зон для отдыха и занятий спортом. Отловы полевых мышей проводились в лесном массиве Нескучного сада паркового типа в 400 м от Ленинского проспекта.

Филевский парк (V зона урбанизации) расположен вдоль р. Москва и является частью зелёной зоны, включающей природно-исторический парк Москворецкий. За последние годы здесь были проведены работы по благоустройству: появились асфальтовые дорожки, спортивные и детские площадки. Отловы полевых мышей проводились в 50 м от Филевской набережной в нижней части парка вблизи родников.

Терлецкий парк (V зона урбанизации). Парк отличается близким расположением к жилым районам старой малоэтажной и новой многоэтажной застройки. Отловы здесь проводили в лесном массиве на парковой территории вблизи мест рекреации, детских площадок и конноспортивного комплекса. Рядом с местами отловов находится старая дубрава и парковые пруды.

Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН (ГБС) (V зона урбанизации). Одна линия ловушек здесь была размещена на территории исторической Останкинской дубравы, в которой преобладают старовозрастные дуб, липа, осина и ель. Вторая линия ловушек – на территории экспозиции Дендрария, расположенной на пологом склоне р. Лихоборка и представленной разнообразными культивируемыми видами древесных и кустарниковых растений. Обе линии на территории ГБС находились на территориях, закрытых для свободного посещения.

Битцевский лесопарк (VI зона урбанизации) – наиболее удалённая от центра города с наименьшей степенью урбанизации территория; самый крупный лесной массив в черте города из всех исследованных парков. С южной стороны лесопарк граничит с Московской кольцевой автодорогой, за которой располагается обширный Бутовский лесопарк. Животных отлавливали в южной части лесопарка, к югу от р. Городня.

Нескучный сад, Филевский парк и Битцевский лесопарк находятся на правом берегу р. Москва, а ГБС и Терлецкий парк – на левом (см. рис. 1).

Расстояние между городскими исследованными зелёными зонами составляет от 8 (Нескучный сад и Филевский парк) до 26 км (Битцевский лесопарк и ГБС) по прямой (см. рис. 1), однако они отделены друг от друга городской территорией со зданиями и густой сетью широких улиц с различной интенсивностью движения.

В Подмоскovie полевые мыши были отловлены в двух местах – на старой залежи у д. Луцино рядом со Звенигородской биостанцией МГУ им. Ломоносова (ЗБС) и на территории Научно-экспериментальной базы «Черноголовка» ИПЭЭ РАН (НЭБ «Черноголовка»). Расстояние между местами отловов в Подмоскovie составило более 100 км по прямой.

Отбор проб

Сбор материала был осуществлен в ходе неизбирательного отлова с помощью живоловок. Всего за сезон 2023–2024 гг. поймано 82 особи полевой мыши, у каждой был отобран кусочек ткани ушной раковины. Образцы ткани животных фиксировали в 96%-м этаноле для проведения дальнейшего генетического анализа.

Тотальную ДНК выделяли с использованием набора реагентов Diatomä DNA Prep 200 ООО «Лаборатория Изоген», (Москва, Россия) по инструкции производителя. Полученные растворы ДНК хранили при низкой температуре (–18°C).

Последующую постановку ПЦР осуществляли на базе смеси Mag Mix 2025 (ЗАО «Диалат», Москва, Россия). Праймеры были синтезированы в НПК «Синтол» (Москва).

Митохондриальная ДНК (мтДНК).

В качестве маркера филогенетических линий была использована последовательность гена цитохрома *b* (*cytb*). Для амплификации этого гена использованы праймеры L14115 (5'-GACATGAAAAATCATCGTTG-3') и H15300 (5'-GTTTACAAGACCAGAGTAAT-3'), рекомендованные в работе Yasuda et al., 2005. Условия ПЦР-реакции: I: 94° – 3 мин; II: (94° – 45с, 54° – 1.5 мин, 70° – 2 мин) × 30 циклов; III: 70° – 3 мин.

Полученные ПЦР-продукты очищали пересаживанием в этанол-ацетатном буфере с

промывкой 70%-м этанолом. Результат визуализировали электрофорезом в 1.5%-м агарозном геле в присутствии бромистого этидия. Очищенный ПЦР-продукт использовали в качестве матрицы для постановки терминирующих реакций на базе набора реагентов BigDye Terminator v.3.1 (Applied Biosystems, США) по инструкции производителя. Определение нуклеотидных последовательностей проводили на автоматическом анализаторе AB3500 (США). Для каждого образца определение делали дважды – с постановкой реакции с прямым и обратным праймером. Совмещение полученных индивидуальных последовательностей и их выравнивание проводили с помощью программы BioEdit v.7.0.1 [Hall et al., 2011] с коррекцией вручную.

Анализ был выполнен для 8 образцов каждой из городских выборок и для 6 образцов выборки из НЭБ «Черноголовка». Для всех образцов ($n = 46$) получены полные последовательности гена (длиной 1140 п.н., выравнивание по последовательности полного митохондриального генома полевой мыши GenBank KY851893.1). Уникальные последовательности (гаплотипы) депонированы в базе данных Генбанк с № PV636909 (Mos01), PV636910 (Mos02), PV636911 (Mos03), PV636912 (Mos04), PV636913 (Mos05), PV636914 (Mos06), PV636915 (Mos07), PV636916 (Mos08), PV636917 (Mos09), PV636918 (Mos10), PV636919 (Mos11), PV636920 (Mos12).

Ядерная ДНК. Был проанализирован аллельный состав 12 микросателлитных локусов: SFM2, SFM5, SFM6, SFM7, SFM9 [Wu et al. 2008, Gortat et al. 2015], MSAF22, [Ohnishi et al., 1998, Gortat et al. 2015], CAA2A, GTTF9A, CAGAD1A, GTTC4A, GTTD8S, TNF [Makova et al., 1998, Gortat et al., 2015].

Один из праймеров каждой пары, использованной при постановке ПЦР, был снабжен флуоресцентной меткой (FAM, R6G, ROX или TAMRA).

Амплификация проведена при следующих параметрах цикла, одинаковых для всех локусов: 94° – 15 мин; II: (94° – 30 с, 57° – 3 мин, 72° – 1 мин) × 30 циклов; III: 68° – 15 мин.

Размерный состав полученных ПЦР-продуктов определяли методом капиллярного

электрофореза на автоматическом анализаторе AB 3500 Thermo Fisher Scientific (Applied Biosystems) в присутствии размерного стандарта GeneScan 500 LIZ Size Standard (Thermo Fisher Scientific). Для расшифровки сигнала использовали программу GeneMapper v.4 Thermo Fisher Scientific (Applied Biosystems). Аллельный состав определяли путём соотношения полученных значений длин фрагментов с размерными классами, соответствующими ожидаемому мотиву локуса (два нуклеотида во всех случаях).

Статистическую обработку результатов, включающую оценку гаплотипического и нуклеотидного разнообразия и оценку различий между популяциями по индексу F_{st} (на основе частот встреченных гаплотипов) для мтДНК, оценку ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности, оценку различий между популяциями (F_{st} критерий) и оценку корреляции между генетическими дистанциями и разделяющим популяции расстоянием (тест Мантеля) для микросателлитных локусов, проводили в программе Arlequin v.3.5 [Excoffier, Licher, 2010]. Географические дистанции определяли с использованием программы Google Earth как прямое расстояние между местами, соответствующими координатам мест отлова. Показатели среднего числа аллелей, аллельного богатства (allelic richness, AR), коэффициент инбридинга (F_{IS}) и соответствие распределения частот аллелей уравнению Харди-Вайнберга определяли с использованием программы Fstat v. 2.9.3 [Goudet, 2001]. Для построения медианной сети вариантов нуклеотидных последовательностей методом Median Joining использовали программу NetWork v.4.6.1.6 [Bandelt et al. 1999].

Оценку генетической структуры населения полевой мыши проводили на основе анализа частот аллелей методом кластеризации, реализованным в программе Structure v. 2.3.4 [Pritchard et al., 2000], при 500 000 итераций основного анализа и 100 000 итераций отжига в пяти повторностях для каждой гипотезы ($K = 1-8$). Оценку результатов проводили с использованием онлайн-сервиса StructureSelector [Li, Liu, 2018], принимая во внимание выраженность изменений вероят-

Таблица 1. Разнообразие гаплотипов гена *cytb* в исследованных выборках полевых мышей из разных парков г. Москва и НЭБ «Черноголовка»

Выборка	Число особей (n)	Число гаплотипов (h)	Гаплотипическое разнообразие (H)	Нуклеотидное разнообразие (π, %)
Филевский парк	8	2	0.571	0.19
Битцевский лесопарк	8	5	0.893	0.22
Нескучный сад	8	4	0.750	0.11
Терлецкий парк	8	2	0.571	0.25
ГБС	8	4	0.750	0.29
НЭБ «Черноголовка»	6	3	0.733	0.17

ности при переходе от одной тестируемой гипотезы к следующей (показатель Delta K [Earl, von Holdt, 2011] по методу Evanno [Evanno et al., 2005] и наибольшее среднее значение показателя логарифма вероятности ($\ln P(K)$) для каждой из тестируемых гипотез.

Результаты

Митохондриальная ДНК

Для всех пойманных в Москве полевых мышей было отмечено десять гаплотипов гена *cytb* и ещё два обнаружено на территории НЭБ «Черноголовка». Минимальная дистанция между гаплотипами составляла одну, а

максимальная – семь нуклеотидных замен. В локальных выборках было отмечено от двух (Филевский и Терлецкий парки) до пяти (Битцевский лесопарк) гаплотипов. Наименьшее число гаплотипов и самые низкие значения индекса гаплотипического разнообразия обнаружены в Филевском и Терлецком парках, а самые высокие значения – в Битцевском лесопарке (табл. 1, см. рис. 1).

В Терлецком парке и Нескучном саду обнаружено по одному уникальному гаплотипу, а в Битцевском лесопарке и ГБС – по два. В Филевском парке уникальных гаплотипов обнаружено не было (см. рис. 1, 2). Кроме

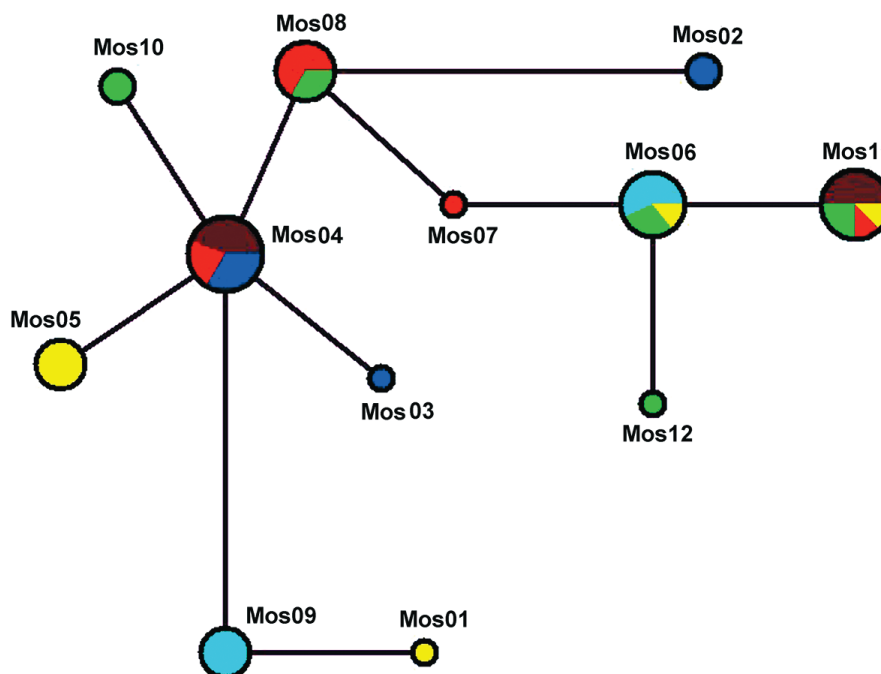


Рис. 2. Медианная сеть гаплотипов гена *cytb*, отмеченных в исследованных популяциях полевой мыши в г. Москва: размеры кружков соответствует числу гаплотипов, встреченных в выборке; минимальное расстояние между кружками соответствует одной нуклеотидной замене; красный цвет обозначает гаплотипы из Нескучного сада, зеленый – Битцевского лесопарка, голубой – Терлецкого парка, желтый – Главного Ботанического сада им. Н.В. Цицина, фиолетовый – Филевского парка, синим – гаплотипы НЭБ Черноголовка.

Таблица 2. Попарные генетические дистанции (F_{st} , %, на основе частот встречаемости гаплотипов гена *cvtb*) между выборками полевых мышей из разных парков г. Москва и НЭБ «Черноголовка»

	Филевский парк	Битцевский лесопарк	Нескучный сад	Терлецкий парк	ГБС
Филевский парк	***				
Битцевский лесопарк	21.91 P = 0.009	***			
Нескучный сад	18.68 P = 0.126	4.41 P = 0.252	***		
Терлецкий парк	42.85 P = 0.000	16.32 P = 0.045	33.92 P = 0.000	***	
ГБС	24.49 P = 0.036	12.38 P = 0.072	22.58 P = 0.000	29.52 P = 0.000	***
НЭБ «Черноголовка»	13.68 P = 0.108	18.15 P = 0.000	15.18 P = 0.072	35.47 P = 0.000	25.77 P = 0.000

уникальных гаплотипов, отмечены четыре массовых гаплотипа, встреченные сразу в нескольких парках и на территории НЭБ «Черноголовка». Наиболее широко распространённым оказался гаплотип Mos 11, который был встречен в четырёх парках города (Битцевском лесопарке, Нескучном саду, Филевском парке и в ГБС), гаплотип Mos 06 оказался распространён в трёх парках (Битцевском лесопарке, ГБС и Терлецком парке). Гаплотип Mos 04, занимающий наиболее центральное положение на сети гаплотипов, был обнаружен в Нескучном саду, Филевском парке и на НЭБ «Черноголовка», а гаплотип Mos 08 только в двух парках города – в Нескучном саду и Битцевском лесопарке (см. рис. 1, 2).

Генетические дистанции (значение индекса F_{st} , основанного на частоте встречаемости

различных гаплотипов) между выборками варьировали от 4 до 43% без выраженной связи с расстояниями между местами отлова (табл. 2).

Микросателлитные маркеры

Показатели генетического разнообразия, оцениваемого по результатам анализа микросателлитных локусов, представлены в табл. 3. Ни для одной из выборок значение F_{is} не имело достоверных отличий от нуля. Уровень ожидаемой гетерозиготности, среднее число аллелей на локус и значения индекса аллельного богатства были минимальными в Нескучном саду и Терлецком парке. Доля уникальных аллелей (*private*) минимальна в Нескучном саду, наиболее высока в выборке из НЭБ «Черноголовка», а из городских попу-

Таблица 3. Показатели генетического разнообразия городских популяций полевых мышей в разных парках Москвы и в Подмоскowie по 12 микросателлитным локусам

	Филевский парк	Битцевский лесопарк	Нескучный сад	Терлецкий парк	ГБС	НЭБ «Черноголовка»	ЗБС
n	14	10	20	8	8	15	7
A	6.000	6.000	4.833	4.667	5.250	6.500	4.833
AR	4.488	4.906	3.768	4.250	4.676	4.792	4.580
pr., %	4.170	8.330	3.450	8.93	6.350	16.67	3.450
He	0.650	0.721	0.607	0.598	0.683	0.706	0.678
F _{is}	-0.042 (P = 0.849)	0.101 (P = 0.020)	0.055 (P = 0.073)	0.016 (P = 0.420)	0.011 (P = 0.433)	0.019 (P = 0.294)	-0.037 (P = 0.798)

Примечание: n – объем выборки; A – среднее число аллелей на локус; AR – показатель аллельного богатства (*allelic richness*); pr. – доля приватных (отмеченных только в данной популяции) аллелей; He – ожидаемая гетерозиготность; F_{is} – коэффициент инбридинга с указанием вероятности соответствия полученного значения уравнению Харди-Вайнберга (критическому 5%-му уровню с учётом поправки Бонферрони соответствует величина 0.0006).

Таблица 4. F_{ST} -дистанции между исследованными городскими и сельскими популяциями полевых мышей

	Филевский парк	Битцевский лесопарк	Нескучный сад	Терлецкий парк	ГБС	НЭБ «Черноголовка»	ЗБС
Филевский парк	***						
Битцевский лесопарк	0.0650 P = 0.000	***					
Нескучный сад	0.0915 P = 0.000	0.1037 P = 0.000	***				
Терлецкий парк	0.0906 P = 0.000	0.0509 P = 0.000	0.0931 P = 0.000	***			
ГБС	0.0425 P = 0.000	0.0461 P = 0.000	0.0805 P = 0.000	0.0575 P = 0.000	***		
НЭБ «Черноголовка»	0.0629 P = 0.000	0.0695 P = 0.000	0.1068 P = 0.000	0.0730 P = 0.000	0.0465 P = 0.000	***	
ЗБС	0.0774 P = 0.000	0.0373 P = 0.00901	0.08336 P = 0.000	0.03332 P = 0.00901	0.04080 P = 0.00901	0.04533 P = 0.000	***

Таблица 5. Результат оценки популяционной структуры при анализе обобщённой выборки методом кластеризации

К	1	2	3	4	5	6	7	8
Mean LnP(K)	–3348	–3197	–3185	–3169	–3299	–3495	–3565	–3478
Delta K	n/a	218	0.889	28.37	1.743	1.237	1.335	n/a

ляций – в Битцевском лесопарке и Терлецком парке. Кроме того, в Битцевском лесопарке отмечены самые высокие значения аллельного богатства и ожидаемой гетерозиготности (табл. 3). Во всех остальных городских популяциях гетерозиготность имела сходные значения.

При оценке по F_{ST} -критерию наибольший уровень отличий (8.05–10.7%, в среднем 9.3%, табл. 4) характеризует популяцию из Нескучного сада. Уровень отличий всех остальных городских популяций между собой варьирует в пределах 4.3–9.1%, в среднем 5.9%, при отсутствии связи генетических дистанций с расположением парка в той или иной части города (Тест Мантеля $rY1 = -0.501$, $P = 0.906$). Уровень отличий двух природных популяций от городских также находится в этих пределах, составляя: 4.7–7.3%, в среднем 5.4% (4.7% без учета отличий от популяции Нескучного сада), для НЭБ «Черноголовка» и 3.3–7.7%, в среднем 5.4 и 4.7% соответственно, для ЗБС МГУ (см. табл. 4).

При анализе популяционной структуры методом кластеризации наибольшее значение показателя Delta K выявляется при тестировании гипотезы $K = 2$ (табл. 5), соответствующей

разделению обобщённой выборки на популяцию Нескучного сада и всё остальное население полевой мыши в парках Москвы и в Подмосковье (рис. 3).

Наибольшее среднее значения показателей LnP(K) и Delta K выделены жирным шрифтом (см. табл. 5).

Максимальное значение логарифма вероятности (показатель Mean LnP(K)) отмечается для гипотезы $K = 4$, соответствующей и обособленному положению полевых мышей Нескучного сада, Филевского парка и НЭБ «Черноголовка». При тестировании гипотезы $K = 6$ определённая степень обособленности проявляется также у мышей из Битцевского лесопарка. Однако дальнейшей дифференциации в выборках Терлецкого парков, ГБС и ЗБС метод кластеризации не выявляет.

Обсуждение

В настоящей работе мы впервые исследовали разнообразие гена цитохрома *b* и микросателлитных ядерных маркеров у полевой мыши в пяти парках г. Москва, расположенных на территориях с разной степенью урбанизации, а также в двух районах Подмосковья (НЭБ «Черноголовка» и ЗБС).

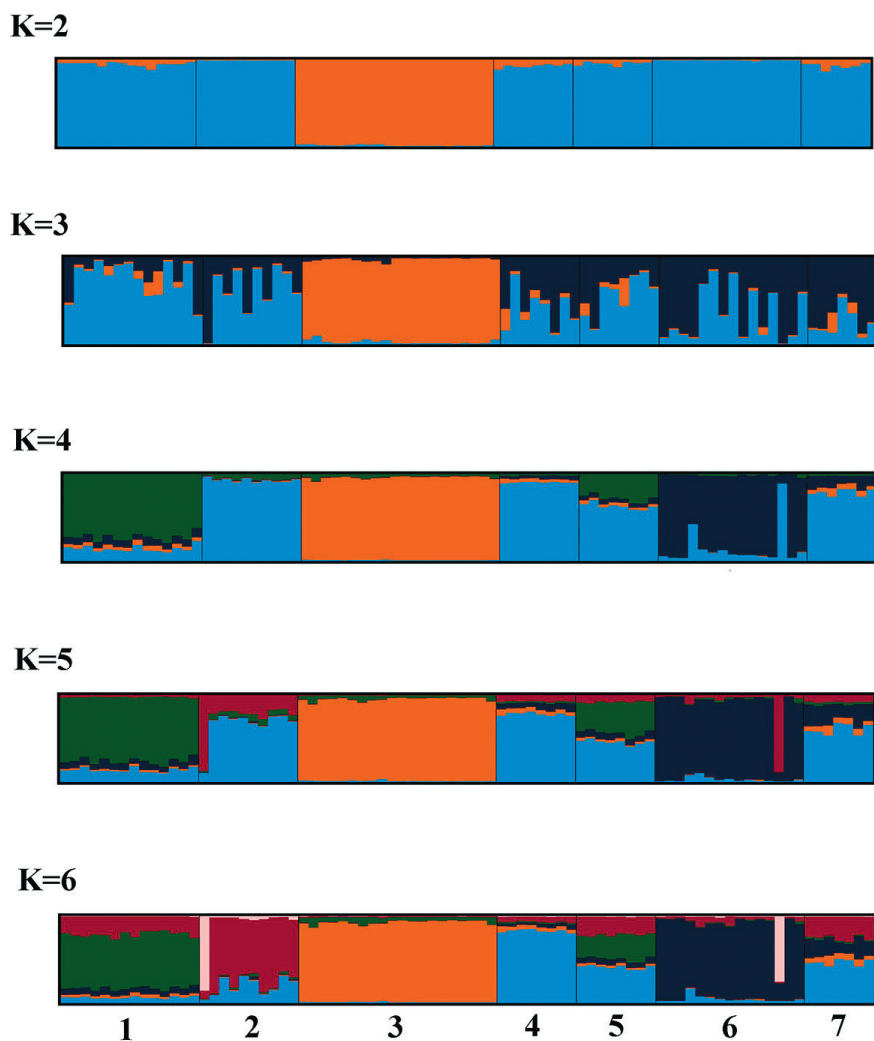


Рис. 3. Структура популяций полевых мышей, построенная на основании анализа 12 микросателлитных маркеров в программе STRUCTURE: цифры снизу соответствуют следующим популяциям полевых мышей: 1 – Филевский парк; 2 – Битцевский лесопарк; 3 – Несучинный сад; 4 – Терлецкий парк; 5 – Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина; 6 – НЭБ «Черноголовка»; 7 – Звенигородская биостанция.

Анализ распределения гаплотипов гена цитохрома *b* в разных парках Москвы и в Подмосковье показал, что из 12 обнаруженных нами гаплотипов ранее были известны только три. Два из них широко распространены от Урала до Москвы, а один обнаружен также у мышей из Чехии [Koh et al., 2014, Yalkovskaya et al., 2022]. Как эти три, так и остальные девять обнаруженных гаплотипов входят в состав клады 1, обитающей на территории от Восточной Европы до Урала [Yalkovskaya et al., 2022]. Максимальная дистанция между двумя гаплотипами, обнаруженными в Москве, составляет семь замен, что сопоставимо с дистанциями, обнаруженными между гаплотипами данной клады, встречающимися иногда на расстоянии более 3000 км друг от друга – в Восточной Европе и на Урале.

Интересно отметить, что различия по частотам встречаемости гаплотипов между парками Москвы довольно велики (F_{st} до 33–42%). Обнаруженное в городе гаплотипическое разнообразие также соответствует таковому, описанному для огромной территории от Предуралья до Алтая [Yalkovskaya et al., 2022]. На этой территории для 122 животных был обнаружен 41 гаплотип, т.е. 0.34 гаплотипа на особь. На территории Москвы обнаружено 10 гаплотипов у 40 животных, что составляет около 0.25 гаплотипа на особь. То есть разнообразие в целом на территории города высокое и близко к таковому на значительной части ареала вида.

Наибольшее гаплотипическое разнообразие отмечается в Битцевском лесопарке (см. рис. 1). Этот парк занимает краевое положение

ние в городе (VI зона урбанизации). Во всех других парках города разнообразие ниже (см. рис. 1). В парках с правого берега Москвы реки было обнаружено семь, а с левого – пять гаплотипов. Два гаплотипа оказались общими для популяций с правого и левого берега (Mos 06, Mos 11) (см. рис. 2).

Тот факт, что в настоящем исследовании мы не обнаружили значительного снижения генетического разнообразия местных популяций в Москве, свидетельствует о том, что они издавна обитали на этой территории и постепенно становились изолированными по мере роста застроенной территории и площади города. Этим ситуация в Москве может отличаться от ситуации в Варшаве, где полевые мыши появились около 100 лет назад и генетическая структура их городских популяций, вероятно, была сформирована генетическим дрейфом, а также ограниченной иммиграцией особей [Gortat et al., 2013, 2015].

Анализ микросателлитных данных показал, что наиболее обособленной в Москве является популяция Нескучного сада (III зона урбанизации) (см. рис. 3). Анализ свидетельствует о присущих ей более низких значениях показателей генетического разнообразия по сравнению с популяциями других парков города. Территория, где обитает эта популяция, расположена ближе к центру города, чем другие изученные. Она окружена густо застроенной местностью и ограничена многополосной магистралью и Москвой-рекой. Следует также отметить, что обособление этой территории как парковой зоны началось довольно давно, около 200 лет назад. Надо отметить, что ситуация с выраженной генетической обособленностью популяции Нескучного сада весьма похожа на парковую территорию (U4) в центре Варшавы [Gortat et al., 2013, 2015]. Однако наблюдаемая гетерозиготность в популяции полевой мыши из Нескучного сада выше, чем в столице Польши (0.607 против 0.475) [Gortat et al., 2013]. Это может свидетельствовать об относительном благополучии даже такой сильно обособленной городской группировки в Москве. Вероятно, численность этой популяции и её генетическое разнообразие достаточно, чтобы в ней могли сформироваться свои, специфические

адаптации к существованию в городе. Нечто сходное было показано для популяций белых хомьков (*Peromyscus leucopus*) из трёх парков Нью-Йорка, где гены, ответственные за иммунные характеристики особей (так же, как и ряд других, например, ответственных за переработку продуктов, богатых жирами), находятся под выраженным влиянием положительного отбора [Harris et al., 2013; Harris; Munshi-South J., Kharchenko K., 2010; Munshi-South, 2017].

В нашем предыдущем исследовании было отмечено, что в Нескучном саду отсутствует нейтральная изменчивость по адаптивным генам МНС – каждый из присутствовавших в популяции аллелей кодировал уникальную аминокислотную последовательность с присутствующим ей вариантом антигенсвязывающего участка [Феоктистова и др., 2025]. Однако аналогичная ситуация была характерна и для других исследованных парков города, за исключением сильно удалённого от центра Битцевского лесопарка (VI зона урбанизации), что свидетельствует о том, что определённые эволюционные изменения в исследованных нами городских популяциях по адаптивным генам уже произошли.

Популяция полевой мыши из Битцевского лесопарка характеризуется наибольшими значениями аллельного богатства и ожидаемой гетерозиготности. Кроме того, в ранее проведённом исследовании мы также показали наибольшее разнообразие этой популяции по адаптивным генам главного комплекса гистосовместимости [Феоктистова и др., 2025]. Подобная ситуация была обнаружена для популяции со сходным краевым расположением в г. Варшава [Gortat et al., 2013].

Что касается генетической дифференциации популяций полевой мыши в парках Москвы, то разделяющая их дистанция зачастую выше таковой, обнаруженной для естественных популяций, обитающих на расстоянии более 1000 км друг от друга (максимальная дистанция обнаружена между популяциями из Среднего Приамурья и Сибири + Казахстан (11%)) [Фрисман и др., 2019]. Сходная картина наблюдалась как при анализе естественных популяций всего по пяти микросателлитным локусам, так и при анализе островных и

материковых популяций полевой мыши по 13 микросателлитным локусам в национальных парках Кореи, также расположенных на значительном географическом расстоянии друг от друга [Jo et al., 2016]. При этом генетические дистанции между популяциями полевой мыши в Варшаве так же, как и в Москве, составляют от 4 до 16% [Gortat et al., 2013, 2015]. Интересно, что генетическая структура у желтогорлой мыши (*Apodemus flavicollis*, Ognev, 1922) выражена четче, хотя она заселила Варшаву всего около 30 лет [Gortat et al., 2010, Gortat et al. 2017]. Это говорит о том, что разные гемисинантропные виды с разной историей заселения города по-разному реагируют на антропогенный пресс. Подобная картина требует особого внимания к каждому конкретному виду, населяющему город. Полученные нами результаты по генетическому разнообразию полевых мышей в Москве как по ядерным, так и по мтДНК-маркерам указывают на то, что популяции этого гемисинантропного вида в городе относительно благополучны и их состояние, скорее, соответствуют модели «связи между городскими изолятами», чем модели «городской фрагментации» [Miles et al., 2018, 2019]. Этот вид может быть использован в качестве биоиндикатора как при исследовании паразитарной нагрузки [Феоктистова и др., 2025], так и при анализе загрязнения парков города тяжёлыми металлами [Беленкова и др., 2025]. В связи с потенциальной эпидемиологической опасностью следует обратить внимание на необходимость проведения регулярного мониторинга городских популяций полевой мыши.

Выводы:

1. У гемисинантропного вида – полевой мыши в Москве гаплотипическое разнообразие по гену цитохрома *b* соответствует такому на всей европейско-казахстанской части ареала вида. На территории города встречаются гаплотипы, обнаруженные на огромном расстоянии – от Чехии до Урала.

2. Генетические дистанции популяций полевой мыши в разных парках города не коррелируют с географическими расстояниями между ними и зачастую являются большими, чем между природными популяциями, распо-

ложенными на расстоянии 1000 км и более. Генетическое разнообразие минимально в расположенном ближе всех к центру города Нескучном саду – парке, который находится, скорее всего, дольше в изоляции от других территорий.

3. Адаптивное разнообразие и разнообразие по микросателлитным маркерам демонстрирует несколько разную направленность. По адаптивным маркерам сниженное генетическое разнообразие обнаруживается во всех исследованных парках, кроме занимающего краевое положение Битцевского лесопарка (VI зона урбанизации); по нейтральным – только в Нескучном саду (III зона урбанизации).

4. Полученные нами данные по генетическому разнообразию полевых мышей в Москве, скорее, соответствуют модели [по Miles et al., 2019] «связи между городскими изолятами», чем модели «городской фрагментации».

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 24-14-00025.

Конфликт интересов у соавторов

Отсутствует.

Соблюдение этических норм

Процедура сбора материала одобрена биоэтической комиссией ИПЭЭ РАН (протокол № 226, от 04.03.2024).

Литература

- Андреевских А.В. Эколого-физиологические и этологические адаптации полевой мыши (*Apodemus agrarius* Pall.) в городской среде: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск: Томский государственный университет, 2012. 24 с.
- Баруш В. Синантропизация и синурбанизация позвоночных животных как процесс формирования связей между популяциями животных и человеком // *Studia Geographica (Brno)*. 1980. Т. 71, № 1. С. 1–25.
- Беленкова В.В., Карманова Т.Н., Мещерский С.И., Суров А.В., Кацман Е.А., Феоктистова Н.Ю. Биаккумуляция тяжёлых металлов и мышьяка в тканях полевых мышей (*Apodemus agrarius*) (Muridae, RODENTIA), обитающих в парках г. Москвы // *Поволжский экологический журнал*. 2025. № 2 (в печати).

- Гливич И. Исследования процесса синурбанизации животных на примере городских популяций // *Studia Geographica (Brno)*. 1980. Т. 71, № 1. С. 95–104.
- Исаков Ю.А. Изменение условий жизни животных в Москве в связи с ростом и благоустройством города // *Животное население Москвы и Подмосковья*. 1967. С. 74–79.
- Капланов Л.Г. Очерки современной фауны зверей Измайловского заповедника. М.: Московский краевед, 1928. Вып. 5. С. 46–51.
- Карасёва Е.В., Телицына А.Ю., Самойлов Б.Л. Млекопитающие Москвы в прошлом и настоящем. М.: Наука, 1999. 246 с.
- Ключник Н.С., Старостина А.В. О несинантропных видах грызунов Ленинграда // *Зоол. журн.* 1963. Т. 42, № 10. С. 1554–1560.
- Кузнецов Б.А. Предварительный обзор стационарного распространения позвоночных в Погонно-Лосино-островском лесничестве // *Тр. по лесн. опытно. делу*. 1928. Т. 4. № 68. С. 15–36.
- Кучерук В.В. Грызуны – обитатели построек человека и населённых пунктов различных регионов СССР // *Общая и региональная териогеография*. М.: Наука, 1988. С. 165–238.
- Никитина Н.А., Шлугер И.С., Рубина М.А. Подвижность полевых мышей в связи с их значением в прокормлении клещей в предгорьях Алтая // *Мед. паразитология и паразитарные болезни*. 1960. Т. 29, № 1. С. 31–39.
- Огнев С.И. Fauna Mosquensis. Опыт описания фауны Московской губернии. Т. 1: Млекопитающие. Ч. 1: Chiroptera, Insectivora, Rodentia. М.: Изд-во Комиссии по исслед. фауны Моск. губернии, 1913. 310 с.
- Паровщиков В.Я. Очерк фауны Тимирязевской с/х академии // *Всерос. общество охраны природы*. 1941. Т. 8, ч. 2. С. 304–310.
- Петров В.С., Леонтьева М.Н., Соловьева Ю.К. и др. К изучению фауны и экологии грызунов большого города // *Грызуны: мат. V Всероссийского совещания*. М.: Наука, 1980. С. 434–435.
- Сатунин К.А. Позвоночные Московской губернии. Вып. 1: Млекопитающие // *Изв. о-ва любителей естествознания, антропологии и этнографии*. 1895. Т. 36. С. 3–16.
- Тихонова Г.Н., Тихонов И.А., Богомолов П.Л., Бодяк Н.Д., Суров А.В. Распределение мелких млекопитающих и типизация незастроенных территорий г. Москвы // *Успехи современной биологии*. 1997. Т. 117, № 2. С. 218–239.
- Тихонова Г.Н., Тихонов И.А., Суров А.В., Богомолов П.Л., Котёнкова Е.В. Экологические аспекты формирования фауны мелких млекопитающих урбанистических территорий Средней полосы России. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2012. 373 с.
- Транквилевский Д.В., Царенко В.А., Жуков В.И. Современное состояние эпизоотологического мониторинга за природными очагами инфекций в Российской Федерации // *Медицинская паразитология и паразитарные болезни*. 2016. № 2. С. 19–24.
- Феоктистова Н.Ю., Карманова Т.Н., Мещерский И.Г., Мещерский С.И., Суров А.В. Разнообразие аллелей главного комплекса гистосовместимости у полевой мыши (*Apodemus agrarius*, Pallas 1771) в парках г. Москвы // *Известия РАН. Серия биологическая*. № 2. С. 36–50.
- Фрисман Л.В., Богданов А.С., Картавцева И.В., Шереметьева И.Н., Павленко М.В., Шлюфман К.В., Ковальская Ю.М. Дифференциация континентальных изолятов полевой мыши (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771) по микросателлитным локусам // *Журнал общей биологии*. 2019. Т. 80, № 4. С. 274–285.
- Хляп Л.А., Карулин Б.Е., Альбов С.А., Фильчагов А.В. Суточные участки обитания полевых мышей // *IV съезд Всес. териол. об-ва. (тез. докл.)* Т. 1. М., 1986. С. 366–367.
- Хляп Л.А., Варшавский А.А. Синантропные и агрофильные грызуны как чужеродные млекопитающие // *Российский журнал биологических инвазий*. 2010. № 3. С. 73–91.
- Черноусова Н.Ф. Влияние урбанизации на сообщества мелких млекопитающих // *Экологические основы оптимизации урбанизированной и рекреационной среды*. Тольятти, 1992. Ч. 2. С. 51–55.
- Adamczewska-Andrzejewska K., Mackin-Rogalska R., & Nabaglo L. The effect of urbanization on density and population structure of *Apodemus agrarius* (Pallas, 1771) // *Polish ecological studies*. 1988. 14 (1-2). P. 197–211.
- Babinska-Werka J. Food of the striped field mouse in different types of urban green areas // *Acta Theriol.* 1981. 26, 285–299.
- Bandelt H.-J., Forster P., Röhl A. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular biology and evolution*. 1999. 16 (1). P. 37–48.
- Beninde J., Feldmeier S., Veith M., Hochkirch A. Admixture of hybrid swarms of native and introduced lizards in cities is determined by the cityscape structure and invasion history // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2018. Vol. 285 (1883). 20180143.
- Carlen E., Munshi-South J. Widespread genetic connectivity of feral pigeons across the Northeastern megacity // *Evolutionary Applications*. 2021. 14 (1). P. 150–162.
- Earl D.A., von Holdt B.M. STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method // *Conserv. Gen. Res.* 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s12686-011-9548-7>
- Evanno G., Regnaut S., Goudet J. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study // *Mol. Ecol.* 2005. 14. P. 2611–2620.
- Excoffier L., Lischer H.E.L. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows // *Mol. Ecol. Res.* 2010. 10. P. 564–567.
- Gortat T., Gryczynska-Siemiatkowska A., Rutkowski R., Kozakiewicz A., Mikoszewski A., Kozakiewicz M. Landscape pattern and genetic structure of a yellow-necked mouse *Apodemus flavicollis* population in north-eastern Poland // *Acta Theriol.* 2010. 55. P. 109–121.

- Gortat T., Rutkowski R., Gryczynska-Siemiatkowska A., Kozakiewicz A., Kozakiewicz M. Genetic structure in urban and rural populations of *Apodemus agrarius* in Poland // *Mamm Biol.* 2013. Vol. 78. P. 171–177.
- Gortat T., Rutkowski R., Gryczyńska-Siemiatkowska A., Kozakiewicz A., Pieniążek A., Kozakiewicz M. Anthropopressure gradients and the population genetic structure of *A. agrarius* // *Conserv Genet.* 2015. 16. P. 649–659.
- Gortat T., Rutkowski R., Gryczynska A., Kozakiewicz A. and Kozakiewicz M. The Spatial Genetic Structure of the Yellow-Necked Mouse in an Urban Environment – A Recent Invader vs. a Closely Related Permanent Inhabitant // *Urban Ecosystems.* 2017. P. 581–594.
- Goudet J., FSTAT V2.9.3, a Program to Estimate and Test Gene Diversities and Fixation Indices. 2001. <http://www.unil.ch/izea/software/fstat.html>
- Hall T., Biosciences I., Carlsbad C. BioEdit: an important software for molecular biology // *GERF Bull Biosci.* 2011. № 2. P. 60–61.
- Harris S.E., Munshi-South J., Obergfell C., O'Neill R. Signatures of rapid evolution in urban and rural transcriptomes of white-footed mice (*Peromyscus leucopus*) in the New York metropolitan area. *PLoS One.* 2013. Vol. 8. (8). e74938.
- Harris S.E., Munshi-South J. Signatures of positive selection and local adaptation to urbanization in white-footed mice (*Peromyscus leucopus*) // *Molecular Ecology.* 2017. 26 (22). P. 6336–6350.
- Jo Y.S., Kim H.N., Baccus J.T., Jung J. Genetic differentiation of the Korean striped field mouse, *Apodemus agrarius* (Muridae, Rodentia), based on microsatellite polymorphism // *Mammalia.* 2016. 81. P. 297–307.
- Knapp S., Aronson M. F., Carpenter E., Herrera-Montes A., Jung K., Kotze D.J., Frank A. La Sorte, Lepczyk C.A., MacGregor-Fors I., MacIvor J.S., Moretti M., Nilon C.H., Piana M.R., Rega-Brodsky C.C., Salisbury A., Threlfall C.G., Trisos C., Williams N.S.G., Hahs, A.K. A research agenda for urban biodiversity in the global extinction crisis // *BioScience.* 2021. 71 (3). P. 268–279.
- Knijnenburg C., Knijnenburg A. Ergänzungen zur Kenntnis der wildlebenden Kleinsäugerfauna im Tierpark Berlin // *Milu.* 1971. 3 (2). P. 203.
- Klawitter J. Zur Verbreitung der Fledermäuse in Berlin (West) von 1945–1976 // *Myotis.* 1976. № 14. S. 3–14.
- Klenke R. Ecofaunistic investigations of the small mammal populations in different habitat isles in Leipzig // *Wissenschaftliche Zeitschrift Karl-Marx-Universität Leipzig.* 1986. 35 (6). P. 607–618.
- Koh H.S., Shaner P.J., Csorba G., Wang Y., Jang K.H., Lee J.H. Comparative genetics of *Apodemus agrarius* (RODENTIA: MAMMALIA) from insular and continental Eurasian populations: cytochrome B sequence analyses // *Acta Zool. Acad. Sci. Hung.* 2014. 60. P. 73–84.
- Lourenço A., Álvarez D., Wang I.J., Velo-Antón G. Trapped within the city: Integrating demography, time since isolation and population-specific traits to assess the genetic effects of urbanization // *Molecular Ecology.* 2017. 26 (6). P. 1498–1514.
- Li Y.L., Liu J.X. StructureSelector: A web-based software to select and visualize the optimal number of clusters using multiple methods // *Molecular Ecology Resources.* 2018. 18. P. 176–177.
- Liro A. Variation in weights of body and internal organs of the field mouse in gradient of urban habitats // *Acta Theriol.* 1985. 30. P. 359–377.
- Makova K.D., Patton J.C., Krysanov E.Yu., Chesser R.K., Baker R.J. Microsatellite markers in wood mouse and striped field mouse (genus *Apodemus*) // *Mol. Ecol.* 1998. 7 (2). P. 247–249.
- Miles L.S., Dyer R.J., Verrelli B.C. Urban hubs of connectivity: Contrasting patterns of gene flow within and among cities in the western black widow spider // *Proceedings of the Royal Society B.* 2018. 285 (1884). P. 20181224.
- Miles L.S., Rivkin L.R., Johnson M.T., Munshi-South J., Verrelli B.C. Gene flow and genetic drift in urban environments // *Molecular ecology.* 2019. 28 (18). P. 4138–4151.
- Munshi-South J., Kharchenko K. Rapid, pervasive genetic differentiation of urban white-footed mouse (*Peromyscus leucopus*) populations in New York City // *Mol. Ecol.* 2010. 19. P. 4242–4254.
- Munshi-South J., Zolnik C.P., Harris S.E. Population genomics of the Anthropocene: Urbanization is negatively associated with genome wide variation in white-footed mouse populations // *Evolutionary applications.* 2016. 9 (4). P. 546–564.
- Ohnishi N., Ishibashi Y., Saitoh T., Abe S., Yoshida M.C. Polymorphic microsatellite DNA markers in the Japanese wood mouse *Apodemus argenteus* // *Mol. Ecol.* 1998. 7. P. 1431–1432.
- Pelikan J., Zeida J. Homolka M. Mammals in the urban agglomeration of Brno // *Acta sci. natur. Brno.* 1983. 9. P. 3–49.
- Pritchard J.K., Stephens M., Donnelly P. Inference of population structure using multilocus genotype data // *Genetics.* 2000. 155. P. 945–959.
- Rochat E., Manel S., Deschamps-Cottin M., Widmer I., Joost S. Persistence of butterfly populations in fragmented habitats along urban density gradients: Motility helps // *Heredity.* 2017. 119 (5). P. 328–338.
- Wu H., Zhan X.J., Yan L., Liu S.Y., Li M., Hu J.C., Wei F.W. Isolation and characterization of fourteen microsatellite loci for striped field mouse (*Apodemus agrarius*) // *Conservation Genetics.* 2008. 9. P. 1691–1693.
- Yalkovskaya L., Sibiryakov P., Borodin A. Phylogeography of the striped field mouse (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771) in light of new data from central part of Northern Eurasia. // *PLoS ONE.* 2022. Vol. 17. No 10. e0276466. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276466>
- Yasuda S.P., Vogel P., Tsuchiya K., Han S., Lin L., Suzuki H. Phylogeographic patterning of mtDNA in the widely distributed harvest mouse (*Micromys minutus*) suggests dramatic cycles of range contraction and expansion during the mid- to late Pleistocene // *Canadian Journal of Zoology.* 2005. 83 (11) P. 1411–1420.

GENETIC CHARACTERISTICS OF THE STRIPED FIELD MOUSE (*APODEMUS AGRARIUS* PALLAS, 1771) (MURIDAE) IN MOSCOW AND THE SUBURS

© 2025 Karmanova T.N.^{*}, Feoktistova N.Yu., Meschersky S.I., Meschersky I.G., Surov A.V.

A.N.Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences Russia, Moscow,
Leninsky prosp., 33, 119071,
e-mail: *karmanovs94@mail.ru

The neutral genetic diversity (cytochrome b gene and 12 microsatellite loci) was assessed for populations of semi-commensal species – striped field mouse (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771) in five parks of Moscow located in areas with different degrees of urbanization and in two suburb locations in the Moscow region. It is shown that the most genetically isolated population is the one which represents a distinct genetic cluster with a reduced level of diversity and is revealed from the park located closer to the city center (Neskuchny garden). The level of genetic differentiation of populations inhabiting other parks is much less pronounced. Such a pattern differs from the one obtained earlier for the allelic diversity of the adaptively significant exon 2 of the DRB gene (MHC). It is assumed that the rate of accumulation of changes in neutral genes is significantly lower than that for genes responsible for the formation of adaptations, for example, to a parasitic load. Our data also showed that the state of urban striped field mouse populations in Moscow is more consistent with “urban facilitation model” rather than the “model of urban fragmentation” (according to Miles et al., 2019). In connection with this, and also with the potential epidemiological risk of the striped field mouse, attention should be paid to the need for permanent monitoring of urban populations of this species in Moscow as well as in other cities of the range.

Keywords: genetic diversity, urban population, genetic structure, microsatellite loci, cytochrome b.