

Оригинальная статья

УДК 598.115.31

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-4-400-414>

ВЛИЯНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛАНДШАФТА И ФАКТОРА БЕСПОКОЙСТВА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОР ОБЫКНОВЕННОГО ХОМЯКА (*CRICETUS CRICETUS* L., 1758) (RODENTIA: CRICETIDAE) В УСЛОВИЯХ ПАРКОВОЙ ЗОНЫ ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЯ

Е. А. Кацман ^{1✉}, А. С. Саян ¹, П. Л. Богомолов ¹, А. Б. Румянцев ^{1,2}

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33

² Институт водных проблем РАН
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3

Поступила в редакцию 20.09.2022 г., после доработки 22.10.2022 г., принята 22.10.2022 г.

Аннотация. На основе анализа многолетних (2015 – 2021 гг.) наблюдений, проводившихся на учетной площадке в парке им. Ю. А. Гагарина (г. Симферополь, Крым) выявлены закономерности пространственного распределения нор обыкновенного хомяка (*Cricetus cricetus* L., 1758) в зависимости от состояния древесного и кустарникового яруса, а также факторов беспокойства. Показано, что ведущим фактором, влияющим на пространственное распределение нор, является расположение деревьев, а на общее число нор – проективное покрытие кустарниками, данные факторы были выделены в результате кластерного анализа для пространственно-географической постановки задачи и анализа кросс-корреляций. Предполагается, что использование пространственного моделирования дает возможность выявлять факторы среды, включая растительные сообщества, влияющие на выбор и эксплуатацию животными микроместообитаний, а также находить подходы к анализу реализации поведенческих паттернов при освоении и эксплуатации участка обитания.

Ключевые слова: обыкновенный хомяк, древесно-кустарниковая растительность, норостроение, пространственная модель местообитания

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы государственного задания Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН по теме «Экология и биоразнообразие водных сообществ» (№ АААА-А18-118042490059-5, 0089-2021-0006).

Для цитирования. Кацман Е. А., Саян А. С., Богомолов П. Л., Румянцев А. Б. Влияние трансформации ландшафта и фактора беспокойства на распределение нор обыкновенного хомяка (*Cricetus cricetus* L., 1758) (Rodentia: Cricetidae) в условиях парковой зоны города Симферополя // Поволжский экологический журнал. 2022. № 4. С. 400 – 414. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-4-400-414>

✉ Для корреспонденции. Лаборатория экологии водных сообществ и инвазий Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН.

ORCID и e-mail адрес: Кацман Елена Александровна: <https://orcid.org/0000-0003-2899-2454>, elenkz05@gmail.com; Саян Александра Сергеевна: ssgss70@gmail.com; Богомолов Павел Леонидович: <https://orcid.org/0000-0001-8574-8795>, bogomolov.pl@gmail.com; Румянцев Алексей Борисович: <https://orcid.org/0000-0001-9426-5410>, hexotron@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема существования видов-синурбистов в городской среде отмечалась многими авторами. Исследованы особенности структуры городских популяций и изменения поведенческих и физиологических параметров, например, циркадных ритмов, циклов размножения, зараженности паразитами и т.д. (Карасева и др., 1999; Тихонова и др., 2012; Карманова и др., 2021; Карманова, Горелышева, 2022; Luniak, 2004; Francis, Chadwick, 2012 и др.). Высокая степень антропогенной трансформации обуславливает изменения в популяционных характеристиках видов-синурбистов, в их поведении, кормовой и средообразующей деятельности. Характерно, что эти изменения происходят значительно быстрее, чем в более устойчивой природной ненарушенной среде.

В связи с постоянным преобразованием человеком городских ландшафтов возникают изменения, прежде всего, в структуре древесно-кустарниковой растительности, в то время как именно этот элемент городской среды плотно связан с жизнедеятельностью животных, особенно грызунов и насекомых, заселяющих разнообразные городские местообитания (Жигарев, 2005). Подобные изменения могут затрагивать как синантропные виды, такие как серая и черная крысы и домовая мышь, наиболее плотно взаимодействующие с человеком и являющиеся единственными представителями грызунов в местах плотной городской застройки, так и гемисинантропов, таких как обыкновенная и восточноевропейские полевки, полевая, лесная и малая лесная мыши, различные виды землероек, которые заселяют газоны, бульвары, скверы, парки, лесопарки, городские сады полосы отчуждения транспортных артерий и берега водоемов. Деградация древесно-кустарниковой растительности затрагивает эти виды гемисинантропных мелких млекопитающих, заставляет их менять свою кормодобывающую и норостроительную деятельность. К этой группе гемисинантропов относится и обыкновенный хомяк (*Cricetus cricetus* L., 1758) – вид, ставший объектом настоящего исследования (Карманова и др., 2021; Feoktistova et al., 2013; Surov et al., 2016).

Для выявления закономерностей формирования новых экологических ниш в городской среде необходимо применение определенного математического аппарата, который позволит объективно описать структуру городского ландшафта и привязать к нему параметры, обеспечивающие жизнедеятельность животных, включая кормовую базу и возможность устройства убежищ. Методы кластерного анализа в комплексе со статистическими методами кросс-корреляционного анализа до сих пор не применялись при исследовании пространственного распределения нор грызунов, включая *C. cricetus*, несмотря на то, что в других экологических исследованиях они применяются достаточно часто. Разработка подходов к унифицированному описанию городской среды и моделированию происходящих процессов позволит оптимизировать городское зеленое строительство, а также обеспечить мониторинг и контроль численности видов, потенциально опасных для населения города.

Целью данной работы было создание геоинформационной модели, позволяющей проанализировать особенности распределения нор обыкновенного хомяка в условиях городского парка.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На учетной площадке, расположенной в центральной части города Симферополя в парке им. Юрия Гагарина (44.97° с.ш., 34.10° в.д.), исследовали различные формы жизнедеятельности обыкновенного хомяка (Surov et al., 2019). Одним из центральных аспектов исследования был анализ распределения и количества нор, что косвенно отражает численность популяции и особенности использования пространства. Площадка была заложена в 2015 г. на площади 3.5 га. В 2016 – 2017 гг. на ней был проведен учет всех деревьев и кустарников с их таксономической идентификацией. Для этого с помощью лазерного дальномера была произведена подеревная съемка, в результате которой местоположение каждого дерева было нанесено на крупномасштабный план, который был разбит на пространственную сетку размером 10×10 м. На деревья были нанесены идентифицирующие метки, отражающие их местоположение внутри ячейки сетки.

Древесно-кустарниковая растительность площадки включает элементы регулярно посаженных 50 – 60 лет назад аллей и участки с бессистемно расположенными растениями (Katzman et al., 2018). За 6-летний период исследований территория парка претерпела значительные изменения в результате проводимой рекультивации и строительства дополнительных объектов садово-парковой инфраструктуры. На момент начала наблюдений на площадке насчитывалось около 500 стволов деревьев со средней плотностью около 3 стволов на 100 м². Фоновое проективное покрытие кустарников составляло около 30%, но на отдельных участках оно достигало 70%. Наибольшее число нор было приурочено к участкам с высокой плотностью зарастания кустарниками и составляло 5 – 7 нор на 100 м².

В процессе проводимой в парке рекультивации, пик которой пришелся на конец 2020 г., кустарниковый ярус на основной части учетной площадки был полностью уничтожен, осталось несколько небольших участков с проективным покрытием около 30%. Значительные изменения коснулись зон расположения основной массы нор хомяка. В 2015 – 2017 гг. площадка была покрыта достаточно слитным кустарниковым покровом, а к 2021 г. произошла почти полная вырубка этого яруса. Древесный ярус не подвергался столь значительным изменениям, продолжали вырубаться больные и аварийные деревья, а посадка новых экземпляров не проводилась, поэтому древесный ярус утратил около 10% стволов наиболее массовых для этого участка парка видов деревьев. Корневые системы деревьев при этом не выкорчевывались, поэтому при проведении расчетов учитывались в том числе срубленные деревья, поскольку именно корневая система оказывает решающее значение на норостроение. В изучаемый период, параллельно с проводимой рекультивацией, наблюдалось уменьшение общего числа нор. К завершению рекультивации в 2021 г. их число снизилось приблизительно на 30%. Для установления структурно-пространственных связей между объектами древесно-кустарникового яруса и норами была проведена кластеризация пространственных объектов, которая показала, что пространственное расположение нор обыкновенного хомяка, несмотря на изменения, которые претерпела древесно-кустарниковая растительность, в целом осталось относительно неизменным.

Сбор материала для данного исследования проводили в парке им. Ю. А. Гагарина в 2018 (март, июнь, октябрь), 2019 (январь, май, август) и 2021 (сентябрь) гг. Были получены первичные данные о расположении и статусе нор *S. cricetus* в данном городском парке, составлены карты расположения нор, на картографической основе, представляющей крупно-масштабный план, с нанесенными границами парка, произрастающей там древесной и кустарниковой растительностью, искусственными объектами, находящимися в парке (аллеи, скамейки, здания и сооружения). Первичная обработка данных проводилась в ПО QGIS (<https://github.com/qgis>). Данные о проективном покрытии кустарникового яруса собирались трижды – в марте 2018 г., в мае 2019 г., в сентябре 2021 г.

Создание геоинформационной модели. Основной задачей моделирования была кластеризация точек в слоях, представлявших норные элементы. Модель при кластеризации учитывала статус нор (старая или новая) и расположение нор относительно друг друга (рис. 1).

Алгоритм модели был следующим: во входящем слое с данными о норных элементах выполнялся поиск минимального расстояния между элементами, затем слой кластеризовался методом DBSCAN (Sander et al., 1998), причем в качестве расстояния кластеризации принималось минимальное расстояние, умноженное на 1.5, а минимальным желаемым размером кластера принималось значение 3. Далее, исходя из классификации, присвоенной методом DBSCAN, производилось построение площадных элементов выпуклых многоугольников, отображающих площади, занимаемые на местности кластерами норных элементов.

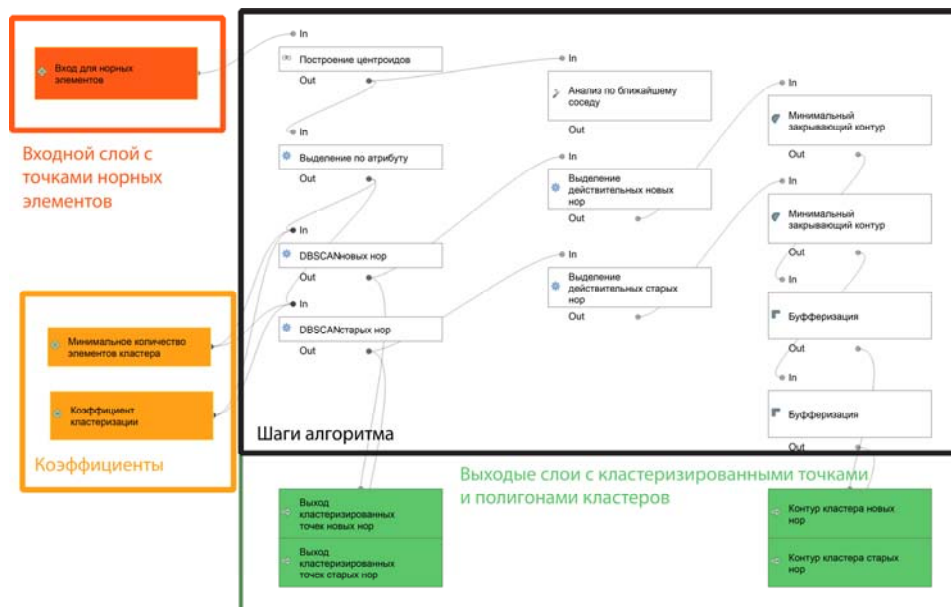


Рис. 1. Графическое изображение модели кластеризации (граф модели)
Fig. 1. Graphical representation of the clustering model (model graph)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате графической пространственной обработки были созданы следующие карты с кластеризацией норных элементов (рис. 2).

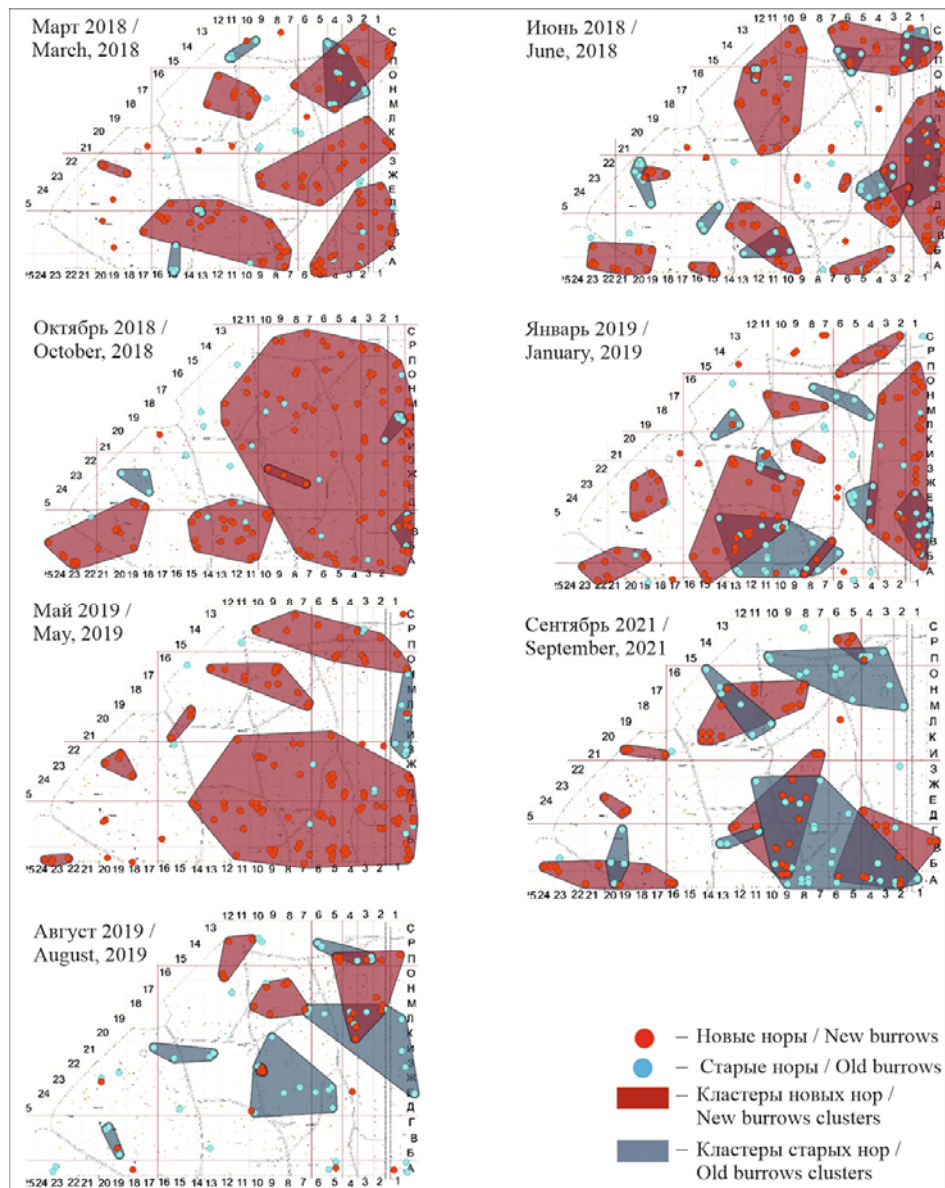


Рис. 2. Кластеры новых и старых нор
Fig. 2. Clusters of old and new burrows

ВЛИЯНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛАНДШАФТА И ФАКТОРА БЕСПОКОЙСТВА

Далее был выполнен подсчет общего количества нор, в том числе новых и старых нор, количества нор в кластерах, количества деревьев в кластерах новых и старых нор. После чего стандартными методами расчета площадей в QGIS были выполнены расчеты площадей кластеров новых и старых нор, рассчитаны плотности распределения деревьев в кластерах в целом, в кластерах старых и новых нор. В результате была получена следующая таблица (табл. 1).

Таблица 1 а. Количество нор и деревьев в кластерах старых и новых нор

Table 1 a. Number of burrows and trees in the clusters of old and new burrows

Год / Year	Месяц / Month	Общее количество, шт. / Total, pcs.				Количество, шт. / Quantity, pcs.	
		Деревьев / Trees	Нор / Burrows	Новых нор / New burrows	Старых нор / Old burrows	Новых нор в кластерах / New burrows in clusters	Старых нор в кластерах / Old burrows in clusters
2018	Март / March	491	140	105	35	96	22
2018	Июнь / June	491	189	135	54	126	42
2018	Октябрь / October	491	140	113	27	112	11
2019	Январь / January	491	168	106	62	91	49
2019	Май / May	491	140	122	18	113	7
2019	Август / August	491	81	33	48	26	34
2021	Сентябрь / September	491	119	63	56	62	52

Таблица 1 б. Количество нор и деревьев в кластерах старых и новых нор

Table 1 б. Number of burrows and trees in the clusters of old and new burrows

Год / Year	Месяц / Month	Площадь, м ² / Area, m ²			Плотность, нор / 100 м ² / Areal density, pcs. / 100 m ²		
		Кластеров новых нор / New burrows clusters	Кластеров старых нор / Old burrows clusters	Всех кластеров (объединение) / All clusters (union)	Нор во всех кластерах / Burrows in all clusters	Новых нор / New burrows	Старых нор / Old burrows
2018	Март / March	58.70	4.56	61.15	2.29	1.79	7.68
2018	Июнь / June	52.83	10.89	55.20	3.42	2.56	4.96
2018	Октябрь / October	124.19	1.66	125.35	1.12	0.91	16.22
2019	Январь / January	51.61	19.74	71.85	2.34	2.05	3.14
2019	Май / May	79.44	1.38	81.00	1.73	1.54	13.02
2019	Август / August	13.09	24.18	31.55	2.57	2.52	1.99
2021	Сентябрь / September	35.08	41.48	52.23	2.28	1.80	1.35

Таблица 1 в. Количество нор и деревьев в кластерах старых и новых нор
Table 1 c. Number of burrows and trees in the clusters of old and new burrows

Год	Месяц / Month	Количество деревьев, шт. / Number of trees, pcs.			Плотность деревьев, шт. / 100 м ² / Trees areal density, pcs. / 100 m ²		
		В кластерах / In clusters	В кластерах новых нор / In new burrows clusters	В кластерах старых нор / In old burrows clusters	В кластерах / In clusters	В кластерах новых нор / In new burrows cluster	В кластерах старых нор / In old burrows clusters
2018	Март / March	193	183	18	3.16	3.12	3.95
2018	Июнь / June	170	161	46	3.08	3.05	4.22
2018	Октябрь / October	328	331	13	2.62	2.67	7.81
2019	Январь / January	195	145	77	2.71	2.81	3.90
2019	Май / May	233	225	6	2.88	2.83	4.34
2019	Август / August	116	46	74	3.68	3.51	3.06
2021	Сентябрь / September	165	139	140	3.16	3.96	3.38

Данные, представленные в табл. 1, далее были подвергнуты статистической обработке с целью проверки кросс-корреляции между рядом параметров (Bracewell, 1965). Так как в результате сбора данных были получены относительно короткие временные последовательности параметров, то для поиска корреляций в таких последовательностях метод кросс-корреляционных матриц являлся наиболее адекватным. Коэффициент корреляции Пирсона (r -Пирсона) применяется для исследования взаимосвязи двух переменных, измеренных в метрических шкалах на одной и той же выборке. Он позволяет определить, насколько пропорциональна изменчивость двух переменных. Статистическая значимость парных коэффициентов корреляции проверялась по t -критерию Стьюдента. Значимыми принимались корреляции на уровне 0.01. В результате была получена следующая кросс-корреляционная матрица (табл. 2).

Табл. 2. Кросс-корреляционная матрица
Table 2. Cross-correlational matrix

Показатель / Indicator		Кол-во деревьев в кластерах новых нор / Number of trees in the clusters of new burrows	Кол-во деревьев в кластерах старых нор / Number of trees in the clusters of old burrows	Плотность деревьев в кластерах новых нор / Areal density of trees in the clusters of new burrows	Плотность деревьев в кластерах старых нор / Areal density of trees in the clusters of old burrows
1		2	3	4	5
Кол-во деревьев в кластерах старых нор / Number of trees in the clusters of old burrows	r	<u>-0.612</u>			
	p	0.144			
Общая плотность деревьев в кластерах / Total density of trees in clusters	r	<u>-0.812</u>	0.358		
	p	0.026	0.431		
Плотность деревьев в кластерах новых нор / Areal density of trees in the clusters of new burrows	r	<u>-0.651</u>	0.813		
	p	0.113	0.026		
Плотность деревьев в кластерах старых нор / Areal density of trees in the clusters of old burrows	r	0.908	<u>-0.543</u>	<u>-0.636</u>	
	p	0.005	0.207	0.125	

Окончание табл. 2
Table 2. Continuation

1	2	3	4	5	6
Площадь кластеров новых нор / Area of clusters of new burrows	<i>r</i>	0.989	-0.668	-0.736	0.935
	<i>p</i>	0.000	0.101	0.060	0.002
Площадь кластеров старых нор / Area of clusters of old burrows	<i>r</i>	-0.656	0.992	0.862	-0.582
	<i>p</i>	0.109	0.000	0.013	0.171
Общая площадь кластеров (объединение) / Total cluster area (union)	<i>r</i>	0.957	-0.545	-0.711	0.938
	<i>p</i>	0.001	0.206	0.073	0.002
Общая плотность нор во всех кластерах / Total areal density of burrows in all clusters	<i>r</i>	-0.705	0.350	0.360	-0.675
	<i>p</i>	0.077	0.441	0.428	0.096
Плотность новых нор / Areal density of new burrows	<i>r</i>	-0.876	0.388	0.394	-0.778
	<i>p</i>	0.010	0.389	0.382	0.040
Плотность старых нор / Areal density of old burrows	<i>r</i>	0.909	-0.821	-0.718	0.837
	<i>p</i>	0.005	0.023	0.069	0.019

Примечание. *r* – коэффициент корреляции Пирсона, *p* – статистическая значимость; полужирным шрифтом выделены максимальные положительные корреляции, курсивом – отрицательные корреляции.

Note. *r* – Pearson's correlation coefficient, *p* is statistical significance; maximum positive correlations are highlighted in bold, negative correlations are shown in italics.

Также была выполнена классификация нор согласно картам покрытия кустарниками рассматриваемой области. В результате был выполнен расчёт таких параметров, как количество старых и новых нор по соответствующим уровням покрытия, плотность норных элементов в соответствующих уровнях покрытия (рис. 3, табл. 3).

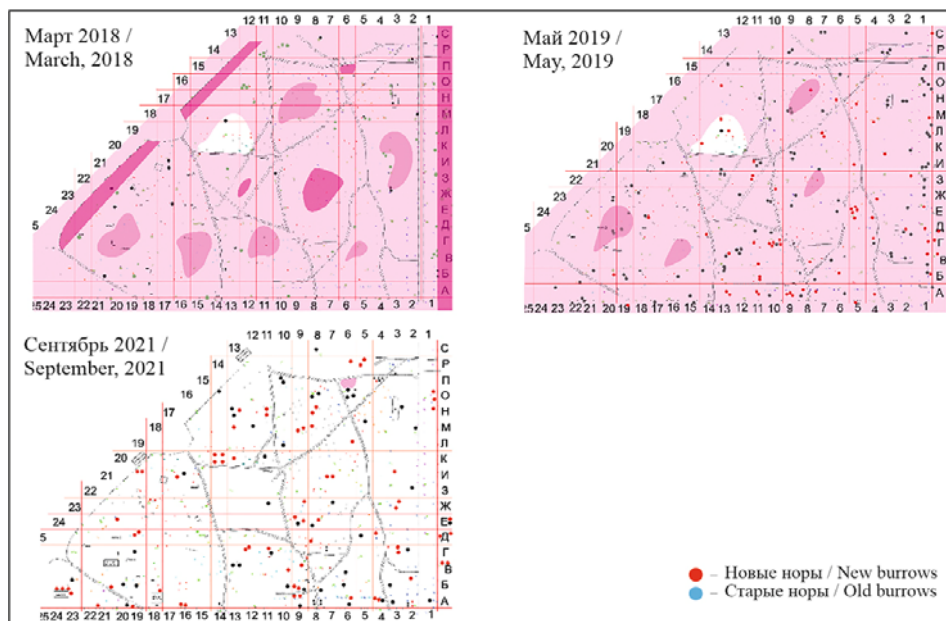


Рис. 3 Проективное покрытие кустарникового яруса

Fig. 3 Projective covering of the shrub tier

Таблица 3 а. Количество нор на участках с различной степенью проективного покрытия кустарников

Table 3 a. Number of burrows in areas with varying degrees of the projective coverage of shrubs

Год / Year	Месяц / Month	Количество, шт. / Quantity, pcs.							
		Старых нор в 0% покрытии / Old burrows in 0% coverage	Новых нор в 0% покрытии / New burrows in 0% coverage	Старых нор в 25% покрытии / Old burrows in 25% coverage	Новых нор в 25% покрытии / Old burrows in 25% coverage	Старых нор в 50% покрытии / Old burrows in 50% coverage	Новых нор в 50% покрытии / New burrows in 50% coverage	Старых нор в 75% покрытии / New burrows in 75% coverage	Новых нор в 75% покрытии / New burrows in 75% coverage
2018	Март / March	0	1	33	79	1	12	1	13
2019	Май / May	0	2	18	114	0	6	0	0
2021	Сентябрь / September	60	50	3	6	0	0	0	0

Таблица 3 б. Количество нор на участках с различной степенью проективного покрытия кустарников

Table 3 b. Number of burrows in areas with varying degrees of the projective coverage of shrubs

Год / Year	Месяц / Month	Плотность, нор / 100 м ² / Density, burrow / 100 m ²					
		Старых нор в 25% покрытии / Old burrows in 25% coverage	Новых нор в 25% покрытии / New burrows in 25% coverage	Старых нор в 50% покрытии / Old burrows in 50% coverage	Новых нор в 50% покрытии / New burrows in 50% coverage	Старых нор в 75% покрытии / Old burrows in 75% coverage	Новых нор в 75% покрытии / New burrows in 75% coverage
2018	Март / March	0.06	0.27	0.13	0.45	0.09	0.45
2019	Май / May	0.16	0.33	0.19	0.46	0.19	0.51
2021	Сентябрь / September	0.08	0.28	0	0	0	0

Были выполнены расчеты средних минимальных 25% расстояний от старых и новых норных элементов до деревьев и искусственных объектов (Programming and Data Management for SPSS 16.0, 2007). Эти расстояния приблизительно характеризуют влияние беспокоящих факторов на распределение норных элементов. В результате получена следующая таблица (табл. 4).

Данные, представленные в таблицах, были подвергнуты статистической обработке, в процессе которой была поставлена задача проверить данные на кросс-корреляции между рядом параметров. В результате были получены следующие кросс-корреляционные матрицы (табл. 5).

ВЛИЯНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛАНДШАФТА И ФАКТОРА БЕСПОКОЙСТВА

Таблица 4. Средние и минимальные расстояние норных элементов от деревьев и искусственных объектов

Table 4. Average and minimum distance of burrowing elements from trees and man-made objects

Год / Year	Месяц / Month	Средние минимальные 25% расстояний, м / Average minimum 25% of distances, m			
		От дорожек и объектов до старых нор / From paths and objects to old burrows	От дорожек и объектов до новых нор / From paths and objects to new burrows	От деревьев до старых нор / From trees to old burrows	От деревьев до новых нор / From trees to new burrows
2018	Март / March	726.00	1135.00	44.87	250.73
2018	Июнь / June	794.34	1104.51	170.76	269.57
2018	Октябрь / October	730.37	822.40	141.39	208.18
2019	Январь / January	578.69	1125.65	243.04	76.43
2019	Май / May	682.20	985.22	278.10	176.88
2019	Август / August	741.43	1331.56	145.99	286.30
2021	Сентябрь / September	638.67	823.47	146.81	195.09

Таблица 5. Кросс-корреляционная матрица средних и минимальных расстояний норных элементов

Table 5. Cross-correlation matrix of the mean and minimum distances of burrowing elements

Показатель / Indicator		Плотность старых нор в 25% покрытия / Density of old burrows in 25% coverage	Плотность новых нор в 25% покрытия / Density of new burrows in 25% coverage	Плотность старых нор в 50% покрытия / Density of old burrows in 50% coverage	Плотность новых нор в 50% покрытия / Density of new burrows in 50% coverage	Плотность старых нор в 75% покрытия / Density of old burrows in 75% coverage	Плотность новых нор в 75% покрытия / Density of new burrows in 75% coverage
Средние минимальные 25% расстояний от дорожек и объектов до старых нор / Average minimum 25% distances from paths and objects to old burrows	r p	-0.940 0.222	-0.864 0.336	-0.914 0.266	-0.808 0.401	-0.914 0.266	-0.985 0.112
Средние минимальные 25% расстояний от дорожек и объектов до новых нор / Average minimum 25% distances from paths and objects to new burrows	r p	0.216 0.862	0.386 0.747	-0.522 0.651	0.478 0.683	-0.522 0.651	-0.302 0.805
Средние минимальные 25% расстояний от деревьев до старых нор / Average minimum 25% distances from trees to old burrows	r p	0.967 0.165	0.905 0.279	0.874 0.323	0.858 0.344	0.874 0.323	0.965 0.168
Средние минимальные 25% расстояний от деревьев до новых нор / Average minimum 25% distances from trees to new burrows	r p	-0.999* 0.023	-0.977 0.138	-0.746 0.464	-0.950 0.202	-0.746 0.464	-0.884 0.310

Примечание. r – коэффициент корреляции Пирсона, p – статистическая значимость.

Note. r – Pearson's correlation coefficient, p is statistical significance.

По данным кросс-корреляционных матриц можно отметить следующие закономерности.

1. Количество деревьев в кластерах новых нор зависит от общей плотности деревьев во всех кластерах. Это может свидетельствовать о том, что если обыкновенные хомяки поселяются поблизости друг от друга (то есть образуют кластер из норных элементов), то они обычно привязаны к отдельным деревьям. Факты взаимосвязи расположения агрегаций нор обыкновенного хомяка с расположением стволов деревьев в пространстве отмечались при исследовании существования вида в урбоценозах Западной Европы (Flamand et al., 2019) и в нашей предыдущей работе, в которой данная закономерность была установлена другими методами (Katzman et al., 2018). Предполагалось, что корневые системы деревьев обеспечивают конструктивную устойчивость систем нор. Количество деревьев в кластерах новых нор прямо зависит от плотности старых нор в кластерах, и обратно – от плотности новых нор в кластерах. Это может свидетельствовать о том, что если обыкновенные хомяки поселяются поблизости друг от друга (то есть образуют кластер из норных элементов), то они обычно привязаны к отдельным деревьям и плотности их расположения.

2. Плотность деревьев в кластерах новых нор соотносится с плотностью деревьев в кластерах старых нор. Таким образом, при переходе в новую локацию сохраняется относительное постоянство количества образующих ее пространственных объектов (в данном случае стволов деревьев). Создаваемая в течение многих лет пространственная структура нор существует достаточно устойчиво. Даже при увеличении факторов беспокойства, вызванного уменьшением количества укрытий, которые обеспечиваются плотным кустарниковым ярусом, основные локусы расположения нор и их плотность сохраняются. В свою очередь это, возможно, связано с удобством использования давно сложившейся системы нор и переходов между ними. Этот факт подтверждается наблюдениями за постоянно существующими норами, которые эксплуатируются многими поколениями животных, периодически обновляясь.

3. Наибольшая плотность отмечается у новых нор, при 50 и 75% покрытии кустарникового яруса. Это подтверждает гипотезу, согласно которой *Cricetus cricetus* предпочитают селиться в тех местах, где проективное покрытие кустарника наиболее плотное и создает надёжное укрытие, обеспечивая безопасность при выходе на поверхность как взрослых, так и молодых зверьков. Также, согласно таблице расстояний до деревьев и искусственных сооружений, подтверждается гипотеза о том, что *Cricetus cricetus* стремится создавать новые норы дальше от раздражающих факторов, таких как дорожки, малые архитектурные формы, летние кафе и павильоны, где в дневное время проходит большой поток посетителей, тревожащих животных.

4. Большее количество новых нор регистрировалось в позднелетний и осенний период, что коррелирует с характерной для вида подготовкой нор к зимней спячки (Katzman et al., 2018).

5. По мере усиления рекультивационных мероприятий – вырубки кустарников и выкоса травянистого яруса – наблюдалось сокращение площадей кластеров норных элементов и уменьшение количества нор в них, что косвенно свидетельствует о сокращении численности популяции обыкновенного хомяка в исследованной локации под влиянием антропогенного пресса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования и пространственно-статистический анализ подтверждают существование в изученной локации устойчивой пространственной группировки обыкновенного хомяка, которая достоверно связана с расположением и плотностью стволов деревьев, в отличие от открытых участков площадки, на которых плотность нор существенно ниже. Наблюдается преемственность в расположении кластеров старых и новых нор, что предполагает их использование в течение многих лет. Отмечается отрицательная зависимость числа нор от интенсивности рекреационных мероприятий (вырубки, выкоса). Чем выше нагрузка – тем меньше площадь, занимаемая норами хомяков. Использование методов компьютерной обработки пространственных данных и их анализа позволило выявить связи в параметрах пространственного расположения элементов экосистемы в изученной локации, при этом методика позволяет выявить дополнительные корреляции между параметрами, при наличии массива данных большего объема.

Авторы приносят благодарность Зайцевой Елене Александровне, зоологу Центра гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе, за предоставленные данные натурных наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Жигарев И. А. Организация и устойчивость рекреационных сообществ на примере мелких млекопитающих : дис. ... д-ра биол. наук. М., 2005. 444 с.
- Карасева Е. В., Телицына А. Ю., Самойлов Б. Л. Млекопитающие Москвы в прошлом и настоящем. М. : Наука, 1999. 245 с.
- Карманова Т. Н., Горельщикова Д. И. Гельминтофауна мышевидных грызунов на территории г. Москвы // Поволжский экологический журнал. 2022. № 2. С. 135 – 149. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-135-149>
- Карманова Т. Н., Феоктистова Н. Ю., Фетисова Е.-Е. А., Мосалов А. А., Суров А. В. Экология города: ретроспектива и перспективы изучения // Журнал общей биологии. 2021. Т. 82, № 3. С. 163 – 174. <https://doi.org/10.31857/S0044459621030039>
- Тихонова Г. Н., Тихонов И. А., Суров А. В., Богомолов П. Л., Котенкова Е. В. Экологические аспекты формирования фауны мелких млекопитающих урбанистических территорий Средней полосы России. М. : Т-во науч. изд. КМК. 2012. 372 с.
- Bracewell R. Pentagram Notation for Cross Correlation // The Fourier Transform and Its Applications. New York : McGraw-Hill, 1965. P. 46 – 243.
- Feoktistova N. Y., Surov A. V., Tovpinetz N. N., Kropotkina M. V., Bogomolov P. L., Siutz C., Haberl W., Hoffmann I. E. The common hamster as a synurbist : A history of settlement in European cities // Zoologica Poloniae. 2013. Vol. 58, iss. 3 – 4. P. 116 – 129.
- Flamand A., Rebout N., Bordes C., Guinnefollau L., Bergès M., Ajak F., Siutz C., Millesi E., Weber C., Petit O. Hamsters in the city: A study on the behaviour of a population of common hamsters (*Cricetus cricetus*) in urban environment // PLoS ONE. 2019. Vol. 14, iss. 11. Article number e0225347. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225347>
- Francis R. A., Chadwick M. A. What makes a species synurbic? // Applied Geography. 2012. Vol. 32, iss. 2. P. 514 – 521. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.013>
- Luniak M. Synurbization – adaptation of animal wildlife to urban development // Proceedings 4th International Urban Wildlife Symposium. Tucson : University of Arizona, 2004. P. 50 – 55.
- Katzman E. A., Zaytseva E. A., Feoktistova N. Yu., Tovpinetz N. N., Bogomolov P. L., Potashnikova E. V., Surov A. V. Seasonal changes in burrowing of the Common hamster (*Cricetus*

cricetus L., 1758) (Rodentia: Cricetidae) in the city // Povolzhskiy Journal of Ecology. 2018. № 3. P. 251 – 258.

Programming and Data Management for SPSS 16.0: A Guide for SPSS and SAS Users. Chicago : SPSS Inc., 2007. 552 p.

Sander J., Ester M., Kriegel H.-P., Xu X. Density-based clustering in spatial databases: The algorithm GDBSCAN and its applications // Data Mining and Knowledge Discovery. 1998. Vol. 2, iss. 2. P. 169 – 194. <https://doi.org/10.1023/A:1009745219419>

Surov A., Banaszek A., Bogomolov P., Feoktistova N., Monecke S. Dramatic global decrease in the range and reproduction rate of the European hamster *Cricetus cricetus* // Endangered Species Research. 2016. Vol. 31. P. 119 – 145.

Surov A. V., Zaytseva E. A., Kuptsov A. V., Katzman E. A., Bogomolov P. L., Sayan A. S., Potashnikova E. V., Kuznetsova E. V., Tsellarius A. Y., Feoktistova N. Y., Tovpinetz N. N. Circle of life: The Common hamster (*Cricetus cricetus*) adaptations to the urban environment // Integrative Zoology. 2019. Vol. 14, iss. 4. P. 383 – 395. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12394>

Influence of landscape transformation and anxiety factor on the distribution of burrows of the Common hamster (*Cricetus cricetus* L., 1758) (Rodentia: Cricetidae) in the conditions of the park zone of the city of Simferopol

E. A. Katzman ^{1✉}, A. S. Sayan ¹, P. L. Bogomolov ¹, A. B. Roumyantzev ^{1,2}

¹ A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences
33 Leninsky Prosp., Moscow 119071, Russia

² Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences
3 Gubkina St., Moscow 119333, Russia

Received: 20 September 2022 / revised: 22 October 2022 / accepted: 22 October 2022

Abstract. Based on our analysis of long-term (2015–2021) observations carried out at a registration spot in the park named after Yu. A. Gagarin (Simferopol, Crimea), patterns were revealed in the spatial distribution of burrows of the Common hamster (*Cricetus cricetus* L., 1758) depending on the state of the tree and shrub layer, as well as disturbance factors. It is shown that the leading factor influencing the spatial distribution of burrows is the location of trees, and the total number of burrows is mainly affected by the projective covering by shrubs; these factors were revealed as a result of cluster analysis for the spatial-geographical formulation of the problem and cross-correlation analysis. It is assumed that the use of spatial modeling makes it possible to identify environmental factors, including plant communities, influencing the choice and exploitation of microhabitats by animals, as well as to find approaches to the analysis of the implementation of behavioral patterns during the development and exploitation of a habitat.

Keywords: *Cricetus cricetus*, tree and shrub vegetation, burrowing, spatial model of habitat

Funding. The study was conducted in framework of the state assignment of the A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences on themes “Ecology and Biodiversity of Aquatic Communities” (No. AAAA-A18-118042490059-5, 0089-2021-0006).

For citation: Katzman E. A., Sayan A. S., Bogomolov P. L., Roumyantzev A. B. Influence of landscape transformation and anxiety factor on the distribution of burrows of the Common hamster (*Cricetus cricetus* L., 1758) (Rodentia: Cricetidae) in the conditions of the park zone of the city of Simferopol. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 4, pp. 400–414 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-4-400-414>

REFERENCES

- Zhigarev I. A. *Organization and Sustainability of Recreational Communities on the Example of Small Mammals*. Diss. Dr. Sci. (Biol.). Moscow, 2005. 444 p. (in Russian).
- Karaseva E. V., Telitsina A. Y., Samoilov B. L. *Mlekopitayushchie Moskvy v proshlom i nastoyaschem* [Mammals of Moscow in the Past and Present]. Moscow, Nauka Publ., 1999. 245 p. (in Russian).

✉ *Corresponding author.* Laboratory of Ecology of Aquatic Communities and Invasions, A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID and e-mail address: Elena A. Katzman: <https://orcid.org/0000-0003-2899-2454>, elenkz05@gmail.com; Alexandra S. Sayan: ssgss70@gmail.com; Pavel L. Bogomolov: <https://orcid.org/0000-0001-8574-8795>, bogomolov.pl@gmail.com; Alexey B. Roumyantzev: <https://orcid.org/0000-0001-9426-5410>, hexotron@gmail.com.

Karmanova T. N., Gorelysheva D. I. Helminth fauna of mouse-like rodents in the territory of Moscow City. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 2, pp. 135–149 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-135-149>

Karmanova T. N., Feoktistova N. Yu., Fetisova E.-E. A., Mosalov A. A., Surov A. V. Urban ecology: Retrospective and study prospects. *Zhurnal obshchei biologii*, 2021, vol. 82, no. 3, pp. 163–174 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0044459621030039>

Tikhonova G. N., Tikhonov I. A., Surov A. V., Bogomolov P. L., Kotenkova E. V. *Ekologicheskie aspekty formirovaniia fauny melkikh mlekopitaiushchikh urbanisticheskikh territorii Srednei polosy Rossii* [Ecological Aspects of Small Mammals Fauna Forming in Conditions of Middle Russia Urban Territories]. Moscow, KMK Scientific Press, 2012. 373 p. (in Russian).

Bracewell R. Pentagram Notation for Cross Correlation. In: *The Fourier Transform and Its Applications*. New York, McGraw-Hill, 1965, pp. 46–243.

Feoktistova N. Y., Surov A. V., Tovpinetz N. N., Kropotkina M. V., Bogomolov P. L., Siutz C., Habert W., Hoffmann I. E. The common hamster as a synurbist: A history of settlement in European cities. *Zoologica Poloniae*, 2013, vol. 58, iss. 3–4, pp. 116–129.

Flamand A., Rebout N., Bordes C., Guinefolleau L., Bergès M., Ajak F., Siutz C., Millesi E., Weber C., Petit O. Hamsters in the city: A study on the behaviour of a population of common hamsters (*Cricetus cricetus*) in urban environment. *PLoS ONE*, 2019, vol. 14, iss. 11, article number e0225347. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225347>

Francis R. A., Chadwick M. A. What makes a species synurbic? *Applied Geography*, 2012, vol. 32, iss. 2, pp. 514–521. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.013>

Luniak M. Synurbization – adaptation of animal wildlife to urban development. In: *Proceedings 4th International Urban Wildlife Symposium*. Tucson, University of Arizona, 2004, pp. 50–55.

Katzman E. A., Zaytseva E. A., Feoktistova N. Yu., Tovpinetz N. N., Bogomolov P. L., Potashnikova E. V., Surov A. V. Seasonal changes in burrowing of the Common hamster (*Cricetus cricetus* L., 1758) (Rodentia: Cricetidae) in the city. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2018, no. 3, pp. 251–258.

Programming and Data Management for SPSS 16.0: A Guide for SPSS and SAS Users. Chicago, SPSS Inc., 2007. 552 p.

Sander J., Ester M., Kriegel H.-P., Xu X. Density-based clustering in spatial databases: The algorithm GDBSCAN and its applications. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1998, vol. 2, iss. 2, pp. 169–194. <https://doi.org/10.1023/A:1009745219419>

Surov A., Banaszek A., Bogomolov P., Feoktistova N., Monecke S. Dramatic global decrease in the range and reproduction rate of the European hamster *Cricetus cricetus*. *Endangered Species Research*, 2016, vol. 31, pp. 119–145.

Surov A. V., Zaytseva E. A., Kuptsov A. V., Katzman E. A., Bogomolov P. L., Sayan A. S., Potashnikova E. V., Kuznetsova E. V., Tselarius A. Y., Feoktistova N. Y., Tovpinetz N. N. Circle of life: The Common hamster (*Cricetus cricetus*) adaptations to the urban environment. *Integrative Zoology*, 2019, vol. 14, iss. 4, pp. 383–395. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12394>