

Оригинальная статья

УДК 579.26:579.222

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-135-149>

ГЕЛЬМИНТОФАУНА МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ НА ТЕРРИТОРИИ г. МОСКВЫ

Т. Н. Карманова ✉, Д. И. Горелышева

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

Поступила в редакцию 20.04.2022 г., после доработки 20.05.2022 г., принята 24.05.2022 г.

Аннотация. Условия городской среды оказывают значительное влияние на экологию животных, в том числе влиянию подвержены и сообщества гельминтов. Ответ сообщества гельминтов на экологический дисбаланс и их приспособление к жизни в городской среде остается актуальной проблемой в паразитологии. В этом исследовании мы ставим цель сравнить видовое разнообразие и распространение гельминтов на территориях городских лесопарков с разной степенью антропогенной нагрузки. На урбанизированных территориях в 5 локациях г. Москвы оценивали параметры зараженности модельных видов грызунов по сравнению с природной мало нарушенной территорией (НЭБ «Черноголовка»). У отловленных ловушками Геро четырех наиболее массовых видов грызунов ($n = 158$) – *Apodemus agrarius*, *Sylvaeus uralensis*, *Microtus arvalis* и *Clethrionomys glareolus* – изымали желудочно-кишечный тракт, определяли количество и видовую принадлежность паразитов, оценивая зараженность по трем параметрам. Видовой состав гельминтов и присутствие трех классов паразитов в составе гельминтофауны исследуемых видов ожидаемо соответствует характеристикам нарушенных территорий. Кроме того, отмечается смена доминирующего вида гельминтов *H. polygyrus* на *H. spumosa*, что свидетельствует о существенном влиянии гельминтофауны синантропных видов на состав сообществ паразитов диких видов, обитающих на территории города. Наше исследование способствует накоплению информации о видовом составе сообществ эндопаразитов мышевидных грызунов на территории г. Москвы, что имеет большое значение для составления актуальной эпидемиологической картины города.

Ключевые слова: урбанизация, сообщество паразитов, *Apodemus agrarius*, *Heligmosomoides polygyrus*, *Heterakis spumosa*, грызуны, эндопаразиты, биоразнообразие гельминтов

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-74-20147).

Для цитирования. Карманова Т. Н., Горелышева 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>

✉ Для корреспонденции. Лаборатория сравнительной этологии и биокommunikации Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН.

ORCID и e-mail адреса: Карманова Татьяна Николаевна: karmanovatat94@gmail.com; Горелышева Дарья Игоревна: gorelysh.di@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизация оказывает значительное влияние на виды, обитающие на территориях с высокой антропогенной нагрузкой, вызывая поведенческие, экологические и морфологические изменения (Luniak, 2004). Городская среда наиболее подходит для видов с высокой экологической пластичностью, что позволяет им заселять районы с высокой антропогенной нагрузкой и сильно нарушенным ландшафтом, вплоть до техногенных зон с высокой плотностью застройки. В городах обычно складывается особая структура популяции грызунов, часть из которых, гемисинантропы, обитают исключительно в зелёных зонах (городских парках), другие являются синантропами, преимущественно обитающими в постройках человека (Шендрик, 2018). Между ними могут возникать контакты прямые или опосредованные, которые могут приводить к обмену как болезнетворными микроорганизмами, так и экто- и эндопаразитами. Кроме того, на видовой состав гельминтофауны, её распространённость и численность может влиять степень урбанизации биотопа, изолированность территории, загрязнённость среды и высокая плотность популяции хозяина (Жигилева, 2013; Anders et al., 2019). Таким образом показатели заражённости гельминтами могут отличаться не только между дикими и городскими популяциями грызунов, но и внутри города по мере изменения степени нарушенности территории. С другой стороны, на показатели обилия и распространения инвазии гельминтов продолжают влиять особенности биологии хозяина, тип питания (Hrgović et al., 1991) и его демографические показатели, например пол (Novak, 1974; Haukisalmi et al., 1987; Korine et al., 2017) или возраст (Кириллова, 2015). Кроме того, гельминты могут вступать в конкуренцию за среду обитания, что может повлиять на доминирующий вид гельминта (Gomez Villafañe et al., 2008). Паразиты с простым жизненным циклом имеют преимущество благодаря возможности расселяться за хозяином, не будучи привязанными к определённому типу биотопа или промежуточному хозяину (Belloq et al., 2003). Следовательно, на видовой и количественный состав гельминтофауны могут влиять различные факторы, которые следует учитывать при оценке и прогнозировании эпидемиологической картины биотопа.

Исследование проводилось в рамках работы «Экологические и физиологические адаптации мелких млекопитающих к обитанию на урбанизированных территориях», направленной на изучение тенденций в изменении видовой и пространственной структуры животных на территории городов с разной степенью антропогенной нагрузки, а также оценки репродуктивных параметров и здоровья модельных видов (накопление тяжёлых металлов, зоонозные инфекции и т.д.). Мы предполагаем, что в городе будет ожидаемо повышена интенсивность инвазии мелких грызунов гельминтами, в основном за счёт нематод – гельминтов с простым жизненным циклом, однако видовой и количественный состав может варьироваться в зависимости от биотопа и демографической структуры популяции хозяев. Также, вероятно, в гемисинантропных животных будет обнаружена гельминтофауна синантропных грызунов. Повышенные показатели зараженности мы ожидаем в наиболее урбанизированном и нарушенном участке исследования.

Цель данного исследования – сравнить паразитарную нагрузку и видовое разнообразие паразитов мелких грызунов в г. Москве по градиенту урбанизации и на загородной территории с учётом особенностей биотопов и морфологических характеристик исследуемых видов грызунов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В ходе неизбирательного отлова в 2021 г. с мая по октябрь был осуществлен сбор материала в пяти местах по г. Москве (табл. 1) и на территории Научно-экспериментальной базы «Черноголовка» Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (НЭБ). Отлов производился с помощью ловушек Геро. Всего было отловлено 4 вида мышевидных грызунов – полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771), лесная мышь (*Sylvaeus uralensis* Pallas, 1811), обыкновенная полёвка (*Microtus arvalis* Pallas, 1778) и рыжая полёвка (*Clethrionomys glareolus* Schreber, 1780) (см. табл. 1). Отловлено и вскрыто 158 особей (114 из г. Москвы, 44 на территории НЭБ). Для более подробного статистического исследования был выбран наиболее массовый вид – полевая мышь, которая была поймана в количестве 43 особей.

Таблица 1. Результаты отловов в г. Москве с мая по октябрь в 2021 г.

Table 1. Results of our captures in Moscow from May to October, 2021

Места / Sites	Координаты линии / Line coordinates	Ловушко- сутки / Trap/day	Время отловов / Capture time	Вид / Species			
				<i>Sylvaeus uralensis</i>	<i>Apodemus agrarius</i>	<i>Microtus arvalis</i>	<i>Myodes glareolus</i>
Москва, Нескучный сад (Urban) / Moscow, Neskuchny Garden (Urban)	55.709554N, 37.567457E	750	Осень / Autumn 2021	–	23	–	–
Москва, Главный ботанический сад (Rural) / The Tsitsin Main Moscow Botanical Garden of Academy of Sciences (Rural)	55.838800N, 37.596615E; 55.842566N, 37.614076E	500	Лето / Summer 2021	21	7	1	14
Москва, Терлецкий парк / Moscow, Terletsky park	55.761595N, 37.812745E; 55.766591N, 37.819564E	250	Лето / Summer 2021	–	4	2	7
Москва, Филевский парк (Suburban) / Moscow, Filevsky park (Suburban)	55.745867N, 37.473369E	50	Осень / Autumn 2021	–	6	–	–
Москва, усадьба Знаменское-Садки / Moscow, Znamenskoye-Sadki estate	55.581291N, 37.557829E	50	Лето / Summer 2021	3	–	–	14
Научно-экспериментальная база «Черноголовка» (Natural) / Scientific and experimental base “Chernogolovka” (Natural)	56.036199N, 38.422446E	100	Осень / Autumn 2021	7	3	–	33

Исследуемые участки. Точки отловов на территории г. Москвы выбирались по градиенту урбанизации, удалённости от центра мегаполиса и были систематизированы согласно классификации А. П. Демидовича (2006).

Наиболее близкой к центру и урбанизированной точкой является место на окраине территории заказника Воробьёвы горы (5-й класс «техногенные ландшафты», зона Urban). Место отловов располагается на территории заказника Воробьёвы горы в ~100 м от Здания Президиума РАН на склоне оврага, уходящего вниз к

р. Москва. Территория парка граничит с автомобильной магистралью 3-е кольцо, Андреевской набережной и проезжей частью ул. Косыгина. Территория точки отловов характеризуется высокой степенью антропогенной нагрузки, в том числе наличием на территории свалки бытовых отходов и близлежащей автомобильной парковки. Массив насаждений состоит из липы, дуба, клёна, ясеня и берёзы.

Следующие по градиенту урбанизации – парки Терлецкая дубрава и Фили (4-й класс «собственно антропогенные ландшафты», зона Suburban). Парки сходны близким расположением к жилым районам старой малоэтажной и новой многоэтажной застройки, помимо того парки имеют сообщение с более крупными лесным массивами: Серебряным Бором и Лосиным Островом. Территории мест отлова располагаются на парковой территории в целях рекреационного использования, на территории имеются детские площадки, а также выгуливаются собаки. Лесной массив представлен следующими породами: дуб, липа, клён, берёза. Возраст деревьев ~60 лет.

Наименее нарушенной и урбанизированной точкой в пределах черты города является Главный ботанический сад (ГБС) имени Н. В. Цицина РАН (2-й класс «нарушенные ландшафты», зона Rural). Одна из точек находилась на территории исторической Останкинской дубравы, в которой преобладают такие породы, как дуб, липа, осина и ель. Массив представлен деревьями и кустарниками. Вторая линия находилась на территории экспозиции Дендрария. Экспозиция представлена различными культивируемыми видами древесных растений и располагается на пологом склоне р. Лихоборка. По жизненной форме на территории преобладают кустарники. В подлеске преобладает лещина, рябина, крушина, жимолость. Обе точки на территории ГБС охраняются и огорожены высоким забором. Во время отловов на территории ГБС нами было отмечено присутствие лис.

Контрольной природной точкой являлась территория биостанции Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН в 5 км от г. Черноголовка (1-й класс «природно-антропогенные, слабо нарушенные ландшафты», зона Natural). Черноголовка является небольшим городом, расположенным в 48 км к северо-востоку от г. Москвы. Территория, на которой располагается биостанция, расположена в отдалении от центра города на окраине хвойно-широколиственного лесного массива и слабо застроена дачными участками.

Гельминтологическое исследование. Отловленные животные подвергались стандартному зоологическому описанию, ЖКТ изымался. Первичный отбор гельминтов производился сразу из кишечника в чашках Петри в физиологическом растворе. Тщательно осматривались стенки кишечных трактов. После этого применяли метод смыва для сбора оставшихся гельминтов. Определение гельминтов мелких млекопитающих производили по морфологическим признакам при помощи определителя (Рыжиков и др., 1978; Аниканова и др., 2007). Данные приведены в табл. 2.

Статистическая характеристика сообществ гельминтов полевой мыши. Для статистической обработки материала был выбран один доминирующий вид грызунов – полевая мышь (*A. agrarius*). Для сообществ гельминтов полевой мыши в каждом типе сообществ (Natural, Rural, Suburban, Urban) был подсчитан индекс

ГЕЛЬМИНТОФАУНА МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ

видового разнообразия Шеннона. Большой индекс разнообразия Шеннона (H) указывает на более высокое разнообразие. Подсчет этого показателя осуществлён при помощи ресурса Shannon Diversity Index Calculator. Ввиду очень высокой зараженности полевых мышей нематодой *Heligmosomoides polygyrus* Baylis 1926, характерной для этого вида гельминтов, индекс видового разнообразия Шеннона был посчитан в двух вариантах: для всех видов гельминтов, включая *H. polygyrus*, и без учета *H. polygyrus*. Также для каждого вида гельминтов были подсчитаны экстенсивность инвазии и индекс обилия в каждом из четырех типов экосистем.

Таблица 2. Показатели зараженности (экстенсивность инвазии/индекс обилия) мышей на территории г. Москвы

Table 2. Infection rates (prevalence/abundance index) of mice in the city of Moscow

Показатель / Index	<i>H. polygyrus</i>	<i>H. spumosa</i>	<i>S. lobata</i>	<i>Plagiorchis</i> sp.	<i>H. mixtum</i>	<i>M. muris</i>	<i>H. polygyrus</i>	<i>H. spumosa</i>	<i>M. muris</i>
	<i>Apodemus agrarius</i> , $n = 19$				<i>Myodes glareolus</i> , $n = 11$		<i>Sylvaemus uralensis</i> , $n = 10$		
N заражённых / N infected	11	14	2	3	10	6	6	3	1
P , %	58	74	11	16	91	55	60	30	10
ИО / AI	19.26	11.79	0.11	1.84	9.8	1.18	34.8	4.6	0.2

Примечание. ИО – индекс обилия, P – экстенсивность инвазии.

Note. AI – abundance index, P – extensiveness of invasion.

Все статистические модели были проанализированы с использованием версии R 3.4.3 (The R Foundation for Statistical Computing, 2017). Из-за большого количества нулей, обычно наблюдаемых в данных о численности кишечных гельминтов, для анализа численности каждого вида использовались как модель Zero-inflated Poisson (ZIP), так и Zero-inflated Negative Binomial (ZINB), учитывающие избыток нулей, и R -пакет «pscl». Затем сравнивали пуассоновские и отрицательные биномиальные модели с использованием теста логарифмического отношения правдоподобия с использованием R -пакета «lmtree» и «AICcmodavg» (табл. 3).

Таблица 3. Статистическое сравнение моделей с пуассоновским (Zero-inflated Poisson, ZIP) и негативным биномиальным распределением (Zero-inflated Negative Binomial, ZINB)

Table 3. Statistical comparison of our models with the Poisson (Zero-inflated Poisson, ZIP) and negative binomial distribution (Zero-inflated Negative Binomial, ZINB)

Виды гельминтов / Helminth species	Model	df	AICc	LogLik	Chisq	Pr(>Chisq)
<i>H. polygyrus</i>	Model 1: poisson	14	400.004	-177.252	NA	NA
	Model 2: negbin	15	172.707	60.919	232.67	< 2.2e-16
<i>H. spumosa</i>	Model 1: poisson	14	148.142	-60.071	NA	NA
	Model 2: negbin	15	150.076	-60.038	0.0659	0.797
Cestoda	Model 1: poisson	14	51.5151	-3.007	NA	NA
	Model 2: negbin	15	68.799	-8.965	11.91	0.0005
Trematoda	Model 1: poisson	14	40.57	-6.285	NA	NA
	Model 2: negbin	15	42.526	-6.263	0.044	0.834

Для анализа влияния индивидуальных характеристик хозяина на степень инфицированности в качестве переменных были заданы пол, вес и возраст (*adultus* и *subadultus* / *juventus*). Статус инфекции был задан как независимая переменная, а тип биотопа, пол и вес хозяина – как зависимая переменная. Результаты были проверены с использованием метода Тьюки (HSD) и *R*-пакета «emmeans».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав сообществ гельминтов грызунов. Всего в результате анализа ЖКТ мелких грызунов было обнаружено 9 видов гельминтов, включая 4 вида нематод, 1 вид цестод и 1 вид трематод.

Полевая мышь – доминирующий вид в отловах, была заражена нематодами: *H. polygyrus*, *Heterakis spumosa* Schneider, 1866; цестодами: *Skrjabinotaenia lobata* Baer, 1925 и трематодами: *Plagiorchis* sp. Lühe, 1899. Лесная мышь была заражена нематодами: *H. polygyrus*, *H. spumosa*, *Mastophorus muris* Gmelin, 1790. Рыжая полёвка была заражена нематодами: *Heligmosomoides mixtum* и *M. muris*. Обыкновенная полёвка была заражена нематодами: *H. mixtum* и *M. muris*. Общую экстенсивность и индекс обилия см. в табл. 2.

Статистическая характеристика сообществ гельминтов полевой мыши в разных типах сообществ. Экстенсивность (распространённость) инвазии отражает количество зараженных особей грызунов отдельным видом гельминтов. В контрольной точке, а именно в сообществе типа Natural, не было обнаружено ни одной инфицированной особи. Экстенсивность инвазии *H. polygyrus* достигает возможного максимума в сообществе типа Rural, снижается в зоне Suburban и минимальна в Urban (рис. 1).

График экстенсивности инвазии *H. spumosa* демонстрирует тенденцию к повышению экстенсивности инвазии

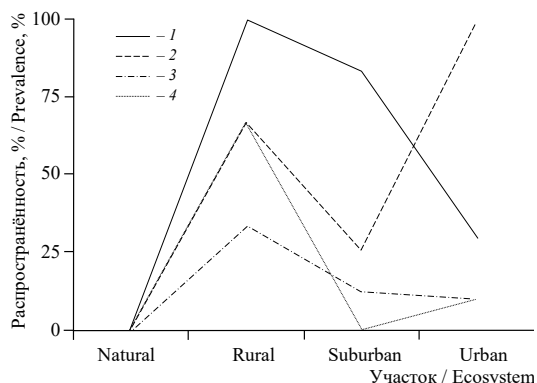


Рис. 1. Экстенсивность (распространённость) инвазии гельминтами *Apodemus agrarius*: 1 – *H. polygyrus*, 2 – *H. spumosa*, 3 – Cestoda, 4 – Trematoda
Fig. 1. Extensiveness (prevalence) of invasion by *Apodemus agrarius* helminths: 1 – *H. polygyrus*, 2 – *H. spumosa*, 3 – Cestoda, 4 – Trematoda

повышению экстенсивности инвазии от Natural к Urban, но в зоне Suburban есть значительный провал. Динамика графика экстенсивности инвазии трематодами (Trematoda) схожа с предыдущим, но в зоне Suburban отмечено не снижение численности трематод, а их полное выпадение из сообщества.

Для цестод наблюдается небольшой подъем зараженности в зоне Rural и небольшое снижение при переходе к урбанизированным сообществам. При этом экстенсивность инвазии в Suburban и Urban приблизительно одинакова.

Индекс обилия (интенсивность инвазии) наиболее высок для всех таксономических групп

гельминтов в сообществе типа Rural и снижается в сообществах типа Suburban и Urban. Значения индекса обилия для *H. polygyrus* наиболее высокие. Для *H. spumosa* значения ниже, но все еще значимы. Индекс обилия цестод практически одинаково незначителен во всех типах сообществ (рис. 2).

Индекс видового разнообразия Шеннона приблизительно одинаков для сообществ типа Rural и Urban, в Urban незначительно ниже. В зоне Suburban наблюдается некоторый провал из-за выпадения трематод из сообщества. Общая динамика графиков с учетом *H. polygyrus* и без него схожа, но вклад *H. polygyrus* в сообществе типа Urban наиболее велик. Это видно при сравнении разности высоты графиков в разных точках (рис. 3).

Статистическая характеристика влияния возраста, пола и веса хозяина на структуру гельминтофауны полевой мыши. Вероятность заражения самцов полевой мыши нематодой *H. polygyrus* статистически значимо выше, чем у самок, и самцы имеют большую интенсивность инвазии *H. polygyrus*. Молодые особи полевой мыши заражаются чаще и имеют более высокую численность *H. polygyrus*. Вес тела хозяина положительно связан с шансом заражения и чем выше вес, тем выше численность *H. polygyrus*.

Нематодой *H. spumosa* самцы заражаются чаще и заражены большим числом *H. spumosa*, чем самки. Молодые особи заражаются реже и заражены меньшим числом *H. spumosa*. Вес тела хозяина отрицательно связан с шансом заражения, но положительно связан с численностью *H. spumosa*.

Шанс заражения трематодами выше у самцов, и они же имеют большую интенсивность инвазии

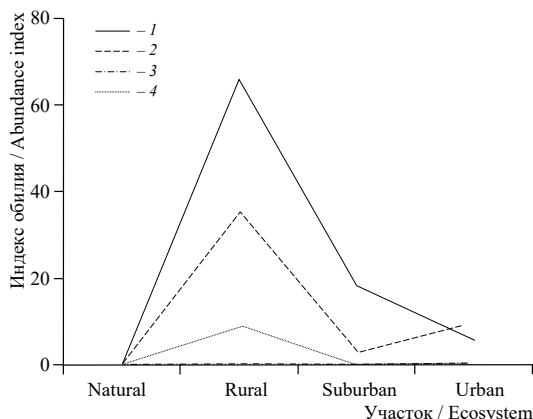


Рис. 2. Индекс обилия (интенсивность инвазии) гельминтов *Apodemus agrarius*: 1 – *H. polygyrus*, 2 – *H. spumosa*, 3 – Cestoda, 4 – Trematoda

Fig. 2. Abundance index (the intensity of invasion) of *Apodemus agrarius* helminths: 1 – *H. polygyrus*, 2 – *H. spumosa*, 3 – Cestoda, 4 – Trematoda

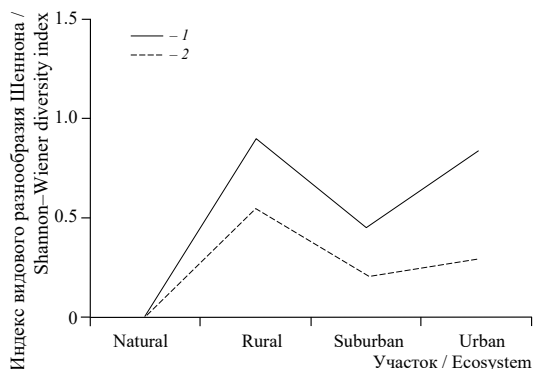


Рис. 3. Индекс видового разнообразия Шеннона для сообществ гельминтов *Apodemus agrarius*: 1 – индекс Шеннона для всех гельминтов, 2 – исключая *H. polygyrus*

Fig. 3. Shannon's species diversity index for the *Apodemus agrarius* helminth communities: 1 – Shannon's index for all helminths, 2 – that excluding *H. polygyrus*

трематод. Молодые особи заражаются трематодами чаще, но имеют меньше паразитов. Вес тела отрицательно связан как с шансом заражения, так и с интенсивностью инвазии трематодами.

Самцы полевой мыши меньше заражены цестодами, чем самки. Молодые особи заражаются цестодами чаще и имеют большую их численность. Вес тела полевой мыши отрицательно связан как с шансом заражения, так и с интенсивностью инвазии цестодами (табл. 4).

Таблица 4. Статистическое сравнение различий в интенсивности и экстенсивности инвазии между нарушенными и природной территориями

Table 4. Statistical comparison of the differences in the intensity and extensiveness of invasion between the disturbed and natural areas

Виды гельминтов / Helminth species	Сравнение / Comparison	Экстенсивность/ Prevalence			Интенсивность/ Abundance		
		Est	SE	p	Est	SE	p
<i>H. polygyrus</i>	Age-subad	6.393	7.515	0.395	15.048	6.45	0.019
	Sex-m	1.518	1.490	0.308	1.066	1.46	0.465
	Weight	0.228	0.406	0.574	0.845	0.366	0.021
	Natural	8.802	NA	NA	-23.372	NA	NA
	Rural	-18.219	NA	NA	-1.862	NA	NA
	Suburban	-22.017	NA	NA	-3.374	NA	NA
<i>H. spumosa</i>	Urban	-18.543	NA	NA	-6.711	NA	NA
	Age-subad	-3.4425	1.92	0.073	-0.0407	0.307	0.894
	Sex-m	0.4764	0.817	0.56	0.1418	0.162	0.381
	Weight	-0.2417	0.105	0.022	0.0519	0.024	0.032
	Natural	24.519	NA	NA	0.725	NA	NA
	Rural	-15.957	NA	NA	1.395	NA	NA
Cestoda	Suburban	-16.314	NA	NA	0.499	NA	NA
	Urban	-15.946	NA	NA	0.124	NA	NA
	Age-subad	5.816	NA	NA	28.568	NA	NA
	Sex-m	-22.933	NA	NA	-32.758	NA	NA
	Weight	-6.370	NA	NA	-4.254	NA	NA
	Natural	145.979	NA	NA	86.342	NA	NA
Trematoda	Rural	101.880	NA	NA	101.677	NA	NA
	Suburban	-23.015	NA	NA	-7.289	NA	NA
	Urban	-2.789	NA	NA	-6.439	NA	NA
	Age-subad	54.20	NA	NA	-1.526e-06	NA	NA
	Sex-m	26.868	NA	NA	6.760e+01	NA	NA
	Weight	-5.99	NA	NA	-1.386e+01	NA	NA
	Natural	110.748	NA	NA	2.876e+02	NA	NA
	Rural	73.078	NA	NA	1.544e+02	NA	NA
	Suburban	0.267	NA	NA	-6.254e-07	NA	NA
	Urban	32.249	NA	NA	1.325e+01	NA	NA

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Видовой состав гельминтов и присутствие трех классов паразитов в составе гельминтофауны доминирующего вида *A. agrarius* (нематод, цестод и трематод) соответствуют характеристикам сильно нарушенного сообщества (Жигилева, 2013; Anders et al., 2019). Уровень зараженности превышает известные показатели для природно-антропогенных территорий.

Доминирование нематод *H. polygyrus* и *H. spumosa* в сообществе гельминтов связано с их моноксенным характером жизненного цикла (Bellocq et al., 2003). Известно, что разнообразие особенностей жизненного цикла гельминтов может влиять на характер численности и распространённости паразита (Krasnov et al., 2005). Паразиты с простым жизненным циклом имеют больше шансов на распространение и, будучи не привязанными к определённым условиям среды или определённым промежуточным хозяевам, перемещаются вслед за хозяином в другие биотопы.

Лесная и полевая мыши высоко инфицированы нематодой *H. spumosa*. В дикой природе этот гельминт чаще встречается у более крупных животных – крыс *Rattus norvegicus* (Zaleśny et al., 2010). Вероятнее всего, заражение мышей *H. spumosa* происходит от представителей синантропной фауны, а именно крыс, в связи с симпатрическим обитанием. Это согласуется со статистическими данными по зараженности *A. agrarius*. Обнаружена положительная корреляция экстенсивности (см. рис. 1) и интенсивности (см. рис. 2) инвазий практически всех видов гельминтов грызунов, кроме нематоды *H. polygyrus* в зоне Suburban и Urban. В зоне Urban отмечены более низкие показатели экстенсивности инвазии нематодами *H. polygyrus* по сравнению с зонами Suburban и Rural. Но экстенсивность инвазии *H. spumosa*, напротив, увеличивается (см. рис. 1). Вероятно, отрицательная связь между *H. polygyrus* и *H. spumosa* может быть результатом конкуренции между ними (Gomez Villafañe et al., 2008). Вероятность заражения этими видами нематод для самцов полевой мыши одинаково выше, чем для самок. По всей видимости, это связано с более активным образом жизни самцов, чаще контактирующим с другими особями популяции. У взрослых особей параметры зараженности *H. spumosa* выше, чем у молодых, что может быть связано с большими размерами тела этого гельминта.

Отмечалось, что при симпатрическом обитании *A. agrarius* и *S. uralensis* обладают крайне схожей гельминтофауной (Жигилева, 2013). В нашем случае полевая мышь заражена всеми тремя классами гельминтов: цестодами, трематодами и нематодами *H. polygyrus* и *H. spumosa*. Лесная мышь не заражена цестодами и трематодами, но заражена теми же нематодами, к которым присоединяется еще один вид – *M. muris*. В отличие от остальных нематод – геогельминтов, мастофорусы – биогельминты (Smith, Kinsella, 2011), которые попадают в организм основного хозяина при поедании насекомых. Соответственно, обнаружение этого гельминта в желудках грызунов может свидетельствовать о том, что в их рационе присутствуют насекомые. Таким образом, судя по заражению *M. muris*, грызуны *S. uralensis* и *C. glareolus* чаще прибегают к питанию насекомыми, чем *A. agrarius*.

Серые полёвки оказались единственным видом зараженным сифациями, а именно специфическим для нее видом *S. nigeriana*, встречающимся повсеместно на территории России (Gorelysheva et al., 2021). *Syphacia* являются классическими представителями гельминтофауны грызунов (Бугмырин, 2003; Ромашов, Ромашова, 2015; Ромашова, Ромашов, 2019; Vlasov et al., 2015; Gorelysheva et al., 2021). Удивительно, что прочие виды грызунов не были подвержены инвазии специфическими для них видами сифаций.

На территории биостанции (сообщество типа Natural) паразитарная нагрузка была низкой. Гельминты встречались в небольшом количестве у единичных особей. Вероятно, низкие показатели зараженности грызунов в биотопе биостанции (Natural) и парке Фили (Suburban) (см. рис. 1 – 3) объясняются тем, что все отловленные особи в данных биотопах были ювенильными (juventus) или неполовозрелыми (subadultus). По литературным данным, ювенильные особи имеют значительно меньшую зараженность, чем половозрелые, в связи с накоплением с возрастом предыдущих инвазий (Кириллова, 2015). В нашем исследовании это подтверждается для *H. spumosa* и трематод, однако молодые особи имеют большую интенсивность инвазии *H. polygyrus* и цестодами.

Высокая экстенсивность инвазии и высокий индекс Шеннона в центре города (сообщество типа Urban) объясняется высокой плотностью популяции, небольшим ареалом и радиусом активности (сообщество типа Urban ограничено двумя автомобильными дорогами, магистралью и рекой), а также всеядным способом питания (Hrgović et al., 1991). Чем выше плотность популяции в биотопе, тем выше вероятность аутоинвазий, заражения других особей в популяции и аккумуляции паразитов от предыдущих инвазий.

Проседание показателей зараженности в зоне Suburban может быть связано со снижением плотности популяции грызунов и присутствием только ювенильных особей. Низкий индекс видового разнообразия Шеннона в этой зоне объясняется выпадением из сообщества гельминтов трематод. Трематоды обладают сложным жизненным циклом, который может быть реализован только в определенное время года, а все особи в этой зоне были отловлены осенью и были ювенильными.

По литературным данным, самцы грызунов имеют более высокие шансы инвазии гельминтами, чем самки (Novak, 1974; Haukisalmi et al., 1987), что связано с половым гормоном тестостероном. Это соотносится с полученными нами данными за исключением цестод, которые чаще встречались у самок. Данный факт подтверждается другими литературными данными, согласно которым самки и молодые особи, напротив, более восприимчивы к паразитам (Korine et al., 2017).

Вес хозяина также закономерно отражается на вероятности заражения: особи с меньшим весом имеют больше шансов инвазии гельминтами, вероятно, потому что заражение происходит на ранних этапах жизни грызунов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При рассмотрении урбанизированных сообществ важно уделять внимание биологии хозяев и паразитов, так как показатели зараженности связаны как, например, с возрастной и половой структурами популяции хозяина и сложностью цикла гельминтов, так и с особенностями биотопа, например изолированностью и нарушенностью территории.

Тот факт, что в сообществе типа Urban *H. polygyrus* замещается на *H. spumosa* (см. рис. 1, 2), свидетельствует о том, что гельминтофауна синантропных видов действительно оказывает существенное влияние на состав сообществ паразитов диких видов, обитающих на территории города.

ГЕЛЬМИНТОФАУНА МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ

Наше исследование способствует накоплению информации о видовом составе структур сообществ кишечных паразитов у мышевидных грызунов на территории г. Москвы. Эти виды занимают важное место в биоценозах города, и их распространение, плотность популяции, совместное проживание с человеком и незначительная изученность их желудочно-кишечных паразитов указывают на необходимость дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аниканова В. С., Бугмырин С. В., Иешко Е. П. Методы сбора и изучения гельминтов мелких млекопитающих. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. 145 с.
- Бугмырин С. В. Эколого-фаунистический анализ паразитов мышевидных грызунов южной Карелии : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2003. 24 с.
- Демидович А. П. Антропогенная трансформация сообществ грызунов как компонента паразитарных систем // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2006. № 2 (48). С. 28 – 33.
- Жигилева О. Н. Гельминтофауна мышей (*Apodemus agrarius*, *Mus musculus*) селитебных и межселенных территорий Западной Сибири // Поволжский экологический журнал. 2013. № 2. С. 156 – 163.
- Кириллова Н. Ю. Гельминты мелких млекопитающих Среднего Поволжья (фауна, экология) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2005. 19 с.
- Ромашов Б. В., Ромашова Н. Б. Особенности формирования гельминтофауны речных бобров // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов : материалы III международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика Н. В. Смольского. Минск : Конфидо, 2015. С. 262 – 266.
- Ромашова Н. Б., Ромашов Б. В. Современное распространение нематод р. *Syphacia* (Nematoda, Oxyuridae) в популяциях мышевидных грызунов Воронежского заповедника // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2019. № 20. С. 505 – 510.
- Рыжиков К. М., Гвоздев Е. В., Токобаев М. М., Шалдыбин Л. С., Мацаберидзе Г. В., Меркушева И. В., Надточий Е. В., Хохлова И. Г., Шарпило Л. Д. Определитель гельминтов грызунов фауны СССР. Цестоды и трематоды. М. : Наука, 1978. 232 с.
- Шендрик Т. В. Сообщество мышевидных грызунов и их гельминтов в условиях урбанизации // Экология и животный мир. 2018. № 2. С. 34 – 39.
- Anders J. L., Nakao M., Uchida K., Ayer C. G., Asakawa M., Koizumi I. Comparison of the intestinal helminth community of the large Japanese field mouse (*Apodemus speciosus*) between urban, rural, and natural sites in Hokkaido, Japan // Parasitology International. 2019. Vol. 70. P. 51 – 57.
- De Bellocq J. G., Sarà M., Casanova J. C., Feliu C., Morand S. A comparison of the structure of helminth communities in the woodmouse, *Apodemus sylvaticus*, in islands of the western Mediterranean and continental Europe // Parasitology Research. 2003. Vol. 90, iss. 1. P. 64 – 70.
- Gorelysheva D. I., Gromov A. R., Lavrenchenko L. A., Spiridonov S. E. Genetic diversity of *Syphacia* Seurat, 1916 (Nematoda: Oxyuridae) across the hybrid zone of their rodent hosts in Russia // Parasitology Research. 2021. Vol. 120, iss. 6. P. 2017 – 2030.
- Haukisalmi V., Henttonen H., Tenora F. Parasitism by helminths in the grey-sided vole (*Clethrionomys rufocanus*) in northern Finland : Influence of density, habitat and sex of the host // Journal of Wildlife Diseases. 1987. Vol. 23, iss. 2. P. 233 – 241.
- Hrgović N., Vukićević O., Kataranovski D. Basic bioecological characteristics of pest rodents // Deratization : Pest Rodent Control / ed. S. Jovanovic. Gornji Milanovac : Decje Novine, 1991. P. 11 – 28.

Korine C., Pilosof S., Gross A., Morales-Malacara J. B., Krasnov B. R. The effect of water contamination and host-related factors on ectoparasite load in an insectivorous bat // *Parasitology Research*. 2017. Vol. 116, iss. 9. P. 2517 – 2526.

Krasnov B. R., Morand S., Khokhlova I. S., Shenbrot G. I., Hawlena H. Abundance and distribution of fleas on desert rodents: Linking Taylor's power law to ecological specialization and epidemiology // *Parasitology*. 2005. Vol. 131, iss. 6. P. 825 – 837.

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

Novak M. Effect of sex hormones on the growth and multiplication of tetrathyridia of *Mesocystoides corti* (Cestoda: Cyclophyllidae) in mice // *International Journal of Parasitology*. 1974. Vol. 4, iss. 4. P. 371 – 374.

Smith J. A., Kinsella J. M. Gastric spiruridiasis caused by *Mastophorus muris* in a captive population of striped possums (*Dactylopsila trivirgata*) // *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 2011. Vol. 42, № 2. P. 357 – 359.

Gomez Villafaña I. E., Robles M. R., Busch M. Helminth communities and host-parasite relationships in argentine brown rat (*Rattus norvegicus*) // *Helminthologia*. 2008. Vol. 45, iss. 3. Article number 126.

Vlasov E. A., Malisheva N. S., Krivopalov A. V. Helminth fauna of myomorph rodents (Rodentia, Myomorpha) in the Central Chernozem State Nature Reserve // *Russian Journal of Parasitology*. 2015. Iss. 4. P. 24 – 33.

Zaleśny G., Hildebrand J., Popiolek M. Molecular identification of *Heterakis spumosa* Schneider, 1866 (Nematoda: Ascaridida: Heterakidae) with comparative analysis of its occurrence in two mice species // *Annales Zoologici*. 2010. Vol. 60, № 4. P. 647 – 655.

Helminth fauna of mouse-like rodents in the territory of Moscow City

T. N. Karmanova , D. I. Gorelysheva

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

Received: 20 April 2022 / revised: 20 May 2022 / accepted: 24 May 2022

Abstract. Conditions of the urban environment have a significant impact on the ecology of animals, including helminth communities. The response of the helminth community to ecological imbalance and their adaptation to life in the urban environment remain an urgent problem in parasitology. In this study, we aimed to compare the species diversity and distribution of helminths in urban forest parks with varying degrees of anthropogenic pressure. In urbanized territories of 5 locations of the city of Moscow, the infestation parameters of model rodent species were assessed in comparison with a natural, slightly disturbed territory (the scientific and experimental base “Chernogolovka”). In the four most common rodent species ($n = 158$), *Apodemus agrarius*, *Sylvemus uralensis*, *Microtus arvalis*, and *Clethrionomys glareolus*, caught by Hero's traps, the gastrointestinal tract was removed, the number and species of parasites were determined, and the infestation was assessed by 3 parameters. The species composition of helminths and the presence of three parasite classes in the composition of the helminth fauna of the studied species expectedly corresponded to the characteristics of disturbed areas. In addition, a change in the dominant helminth species (*H. polygyrus* to *H. Spumosa*) was noted, which indicated a significant influence of the helminth fauna of synanthropic species on the composition of the parasite communities of wild species living in the city. Our study contributes to the accumulation of information on the species composition of endoparasite communities of murine rodents in the city of Moscow, which is important for compiling an up-to-date epidemiological picture of the city.

Keywords: urbanization, parasite community, *Apodemus agrarius*, *Heligmosomoides polygyrus*, *Heterakis spumosa*, rodents, endoparasites, helminth biodiversity

Funding. This work was supported financially by the Russian Science Foundation (project No. 19-74-20147).

For citation: 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>

REFERENCES

- Anikanova V. S., Bugmyrin S. V., Ieshko E. P. *Metody sbora i izuchenii gel'mintov melkikh mlekopitaiushchikh* [Methods for Collecting and Studying Helminths of Small Mammals]. Petrozavodsk, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Publ., 2007. 145 p. (in Russian).

 *Corresponding author.* Laboratory of Comparative Ethology and Biocommunication, A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Tatyana N. Karmanova: karmanovatat94@gmail.com; Darya I. Gorelysheva: gorelysh.di@gmail.com.

- Bugmyrin S. V. *Ecological and Faunistic Analysis of Parasites of Murine Rodents in South Karelia*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Petrozavodsk, 2003. 24 p. (in Russian).
- Demidovich A. P. Antropogenic transformation of rodent communities as a component of parasitic systems. *Acta Biomedica Scientifica*, 2006, no. 2 (48), pp. 28–33 (in Russian).
- Zhigileva O. N. Helminthic fauna of mice (*Apodemus agrarius*, *Mus musculus*) in residential and inter-residential territories in Western Siberia. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2013, no. 2, pp. 156–163 (in Russian).
- Kirillova N. Yu. *Helminths of Small Mammals of the Middle Volga Region (Fauna, Ecology)*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Togliatti, 2005. 19 p. (in Russian).
- Romashov B. V., Romashova N. B. Features of formation helminthfauna of beavers. *Problemy sokhraneniia biologicheskogo raznoobrazia i ispol'zovaniia biologicheskikh resursov: materialy III mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 110-letiiu so dnia rozhdeniia akademika N. V. Smol'skogo* [Problems of Conservation of Biological Diversity and Use of Biological Resources: Materials of the III International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 110th Anniversary of Academician N. V. Smolsky]. Minsk, Confido Publ., 2015, pp. 262–266 (in Russian).
- Romashova N. B., Romashov B. V. Modern distribution of nematodes p. *Syphacia* (Nematoda, Oxyuridae) in populations of mouse-like rodents in the Voronezh Reserve. *Theory and Practice of Parasitic Disease Control*, 2019, no. 20, pp. 505–510 (in Russian).
- Ryzhikov K. M., Gvozdev E. V., Tokobaev M. M., Shaldybin L. S., Matsaberidze G. V., Merkusheva I. V., Nadtochiy E. V., Khokhlova I. G., Sharpilo L. D. *Opredelitel' gel'mintov gryzunov fauny SSSR. Tsetody i trematody* [Determinant of Helminths of Rodents of the Fauna of the USSR. Cestodes and Trematodes]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 232 p. (in Russian).
- Shendrik T. V. Community of mouse rodents and their helminths under the conditions of urbanization. *Ecology and Animal World*, 2018, no. 2, pp. 34–39 (in Russian).
- Anders J. L., Nakao M., Uchida K., Ayer C. G., Asakawa M., Koizumi I. Comparison of the intestinal helminth community of the large Japanese field mouse (*Apodemus speciosus*) between urban, rural, and natural sites in Hokkaido, Japan. *Parasitology International*, 2019, vol. 70, pp. 51–57.
- De Bellocq J. G., Sarà M., Casanova J. C., Feliu C., Morand S. A comparison of the structure of helminth communities in the woodmouse, *Apodemus sylvaticus*, in islands of the western Mediterranean and continental Europe. *Parasitology Research*, 2003, vol. 90, iss. 1, pp. 64–70.
- Gorelysheva D. I., Gromov A. R., Lavrenchenko L. A., Spiridonov S. E. Genetic diversity of *Syphacia* Seurat, 1916 (Nematoda: Oxyuridae) across the hybrid zone of their rodent hosts in Russia. *Parasitology Research*, 2021, vol. 120, iss. 6, pp. 2017–2030.
- Haukisalmi V., Henttonen, H., Tenora F. Parasitism by helminths in the grey-sided vole (*Clethrionomys rufocanus*) in northern Finland: Influence of density, habitat and sex of the host. *Journal of Wildlife Diseases*, 1987, vol. 23, iss. 2, pp. 233–241.
- Hrgović N., Vukićević O., Kataranovski D. Basic bioecological characteristics of pest rodents. In: S. Jovanovic, ed. *Deratization: Pest Rodent Control*. Gornji Milanovac, Decje Novine, 1991, pp. 11–28.
- Korine C., Pilosof S., Gross A., Morales-Malacara J. B., Krasnov B. R. The effect of water contamination and host-related factors on ectoparasite load in an insectivorous bat. *Parasitology Research*, 2017, vol. 116, iss. 9, pp. 2517–2526.
- Krasnov B. R., Morand S., Khokhlova I. S., Shenbrot, G. I., Hawlena H. Abundance and distribution of fleas on desert rodents: Linking Taylor's power law to ecological specialization and epidemiology. *Parasitology*, 2005, vol. 131, iss. 6, pp. 825–837.
- 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.

ГЕЛЬМИНТОФАУНА МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ

Novak M. Effect of sex hormones on the growth and multiplication of tetrathyridia of *Mesocystoides corti* (Cestoda: Cyclophyllidae) in mice. *International Journal for Parasitology*, 1974, vol. 4, iss. 4, pp. 371–374.

Smith J. A., Kinsella J. M. Gastric spiruridiasis caused by *Mastophorus muris* in a captive population of striped possums (*Dactylopsila trivirgata*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 2011, vol. 42, no. 2, pp. 357–359.

Gomez Villafaña I. E., Robles M. R., Busch M. Helminth communities and host-parasite relationships in argentine brown rat (*Rattus norvegicus*). *Helminthologia*, 2008, vol. 45, iss. 3, article number 126.

Vlasov E. A., Malisheva N. S., Krivopalov A. V. Helminth fauna of myomorph rodents (Rodentia, Myomorpha) in the Central Chernozem State Nature Reserve. *Russian Journal of Parasitology*, 2015, iss. 4, pp. 24–33.

Zaleśny G., Hildebrand J., Popiolek M. Molecular identification of *Heterakis spumosa* Schneider, 1866 (Nematoda: Ascaridida: Heterakidae) with comparative analysis of its occurrence in two mice species. *Annales Zoologici*, 2010, vol. 60, no. 4, pp. 647–655.