

DOI: 10.21055/0370-1069-2021-2-131-137

УДК 614.4:599.32(470.54)

О.В. Толкачев¹, Е.А. Малкова¹, А.Н. Гурвич², А.В. Тришевская^{1,3}, В.А. Зубков^{1,3}**МУЛЬТИМОДЕЛЬНАЯ ПАРАДИГМА В ПРИЛОЖЕНИИ К АНАЛИЗУ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭПИЗООТИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ В СООБЩЕСТВАХ НЕСИНАНТРОПНЫХ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ г. ЕКАТЕРИНБУРГА**¹ФГБУН Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Российская Федерация;²ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области», Екатеринбург, Российская Федерация;³ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Российская Федерация

Цель – ранжирование статистических моделей для оценки вклада ряда факторов, определяющих эпизоотическую ситуацию по природно-очаговым инфекционным болезням в сообществах несинантропных мелких млекопитающих (ММ) лесных массивов г. Екатеринбурга. **Материалы и методы.** Обследование ММ проводили в течение трех лет в летне-осенний период. Животных отлавливали дилками на стандартную хлебную приманку, отработано 9705 ловушко-суток. Для выявления инфекций (геморрагической лихорадки с почечным синдромом, туляремии, лептоспироза, иерсиниоза, псевдотуберкулеза) использовано 333 экземпляра ММ (грызунов и землероек шести видов), случайным образом взятых из общей выборки. Для определения возбудителей использовали методы иммуноферментного анализа и полимеразной цепной реакции. Оценивали совокупную зараженность ММ всеми исследуемыми природно-очаговыми инфекциями. Статистическая обработка данных проведена с позиций мультимодельного подхода. Отбор моделей проводили с помощью информационного критерия Акаике с расчетом суммы весов моделей по их полному спектру (SW). **Результаты и обсуждение.** В лесопарках г. Екатеринбурга выявлены носители всех вышеперечисленных инфекций, кроме псевдотуберкулеза. Согласно проведенному ранжированию, самый высокий вес получила модель с тремя предикторами: вид, год, обилие ММ предыдущего года в конкретном местообитании. Наиболее значимые предикторы по полному спектру моделей: год (SW=1), вид (SW=0,6), обилие животных в текущем и предыдущем году (SW=0,48). Распределение положительных проб по видам ММ соответствовало их ранжированию по обилию в сообществе. Влияние факторов «сезон» (лето или осень) и «район» (место отлова животных) оказалось незначительным в масштабе проведенных исследований (SW=0,3 и 0,16 соответственно). Процент инфицированных проб суммарно по всем инфекциям значительно варьировал по локалитетам и годам (0–60 %). Обсуждается возможное значение неучтенных факторов: ландшафтных особенностей и режима использования лесопарков, миграционной активности ММ. Сделан вывод о полезности мультимодельного подхода при анализе данных эпизоотологических исследований.

Ключевые слова: геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, туляремия, лептоспироз, иерсиниоз, природный очаг, лесопарк, Екатеринбург.

Корреспондирующий автор: Толкачев Олег Владимирович, e-mail: olt@mail.ru.

Для цитирования: Толкачев О.В., Малкова Е.А., Гурвич А.Н., Тришевская А.В., Зубков В.А. Мультимодельная парадигма в приложении к анализу факторов, определяющих эпизоотическую ситуацию в сообществах несинантропных мелких млекопитающих г. Екатеринбурга. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2021; 2:131–137. DOI: 10.21055/0370-1069-2021-2-131-137

Поступила 23.07.2020. Отправлена на доработку 15.09.2020. Принята к публ. 30.12.2020.

O.V. Tolkachev¹, E.A. Malkova¹, A.N. Gurvich², A.V. Trishevskaya^{1,3}, V.A. Zubkov^{1,3}**A Multi-Model Paradigm in Application to the Analysis of the Factors Defining the Epizootic Situation in the Communities of Non-Synanthropic Small Mammals in Ekaterinburg**¹Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation;²Center of Hygiene and Epidemiology in the Sverdlovsk Region, Ekaterinburg, Russian Federation;³Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. The aim of the work was to rank statistical models for assessing the contribution of a number of factors that determine the epizootic situation on natural-focal infectious diseases in the communities of non-synanthropic small mammals (SM) in the forests of Ekaterinburg. **Materials and methods.** The SM survey was carried out for three years in the summer-autumn period. The animals were caught with snap traps on a standard bread bait, 9705 trap-nights were worked out. To identify infections (hemorrhagic fever with renal syndrome, tularemia, leptospirosis, yersiniosis, pseudotuberculosis), 333 SM specimens (rodents and shrews of six species) were used, randomly taken from the general sample. To determine the pathogens, the methods of enzyme immunoassay and polymerase chain reaction were used. The cumulative infection rate of small mammals with all studied natural-focal infections was evaluated. Statistical data processing was carried out from the standpoint of a multi-model approach. The selection of models was performed using the Akaike information criterion with the calculation of the sum of the weights of the models based on their full spectrum (SW). **Results and discussion.** Carriers of all of the mentioned above infections, except for pseudotuberculosis, have been identified in the forest parks of Ekaterinburg. According to the ranking, the model with three predictors received the highest weight: species, year, and the abundance of SM of the previous year in a particular habitat. The most significant predictors for the full spectrum of models are the year (SW=1), species (SW=0.6), abundance of animals in the current and previous year (SW=0.48). The distribution of positive samples by species of small mammals corresponded to their

ranking by abundance in the community. The influence of the factors “season” (summer or autumn) and “area” (place of capture of animals) turned out to be insignificant on the scale of the studies (SW = 0.3 and 0.16, respectively). The percentage of infected samples in total for all infections varied significantly by location and year (0–60%). The possible significance of unaccounted factors is discussed: landscape features and the mode of using forest parks, dispersal of small mammals. The conclusion is made about the usefulness of the multi-model approach in the analysis of the data from epizootiological studies.

Key words: hemorrhagic fever with renal syndrome, tularemia, leptospirosis, yersiniosis, natural focus, forest park, Ekaterinburg.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Funding: The work was carried out within the frames of the State Order for the Plant and Animal Ecology Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, partially supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research 20-04-00164.

Corresponding author: Oleg V. Tolkachev, e-mail: olt@mail.ru.

Citation: Tolkachev O.V., Malkova E.A., Gurvich A.N., Trishevskaya A.V., Zubkov V.A. A Multi-Model Paradigm in Application to the Analysis of the Factors Defining the Epizootic Situation in the Communities of Non-Synanthropic Small Mammals in Ekaterinburg. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*, 2021; 2:131–137. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2021-2-131-137

Received 23.07.2020. Revised 15.09.2020. Accepted 30.12.2020.

Tolkachev O.V., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5673-7816>

Malkova E.A., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4908-9571>

Gurvich A.N., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1220-4612>

Trishevskaya A.V., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8106-4158>

Zubkov V.A., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9841-9640>

Свердловская область является эндемичной территорией по некоторым природно-очаговым инфекциям (ПОИ): геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС), туляремия, лептоспироз, псевдотуберкулез, иерсиниоз. По итогам эпизоотологического мониторинга Свердловской области, в 2017–2019 гг. в 15 из 73 муниципальных образований был обнаружен антиген ГЛПС в органах мелких млекопитающих (ММ). Ежегодно в Свердловской области обнаруживается РНК *Leptospira* sp. – возбудителя лептоспироза. За три года (2017–2019) он был выявлен в 17 муниципальных образованиях из 73. Циркуляция возбудителя туляремии так же исследуется на территории Свердловской области, но ДНК *Francisella tularensis* была обнаружена только в иксодовых клещах на территории муниципального образования (МО) «Каменский городской округ», а не в ММ. За период 2017–2019 гг. возбудитель псевдотуберкулеза *Yersinia pseudotuberculosis* был обнаружен один раз на территории Каменского городского округа. *Yersinia enterocolitica* была найдена у ММ, отловленных на территории 36 муниципальных образований области из 73. В целом в радиусе 100 км от Екатеринбурга в большинстве (9 из 14) административных единиц обнаружены возбудители ПОИ: ГЛПС, лептоспироза, иерсиниоза, псевдотуберкулеза. Данные по эпизоотологическим исследованиям в пределах городской агломерации Екатеринбурга ранее не публиковались. Положительные пробы на ПОИ, обнаруженные в соседних с Екатеринбургом административно-территориальных единицах, создают предпосылки формирования очагов ПОИ в границах мегаполиса и обуславливают целесообразность проведения эпизоотологического мониторинга на территориях лесных массивов г. Екатеринбурга.

Процессы, происходящие в популяциях мышевидных грызунов, определяют эпидемический потенциал природных очагов инфекций [1]. Специфические условия городских лесов как местобитаний ММ потенциально могут влиять на функционирование очагов ПОИ. Застройка городской

агломерации Екатеринбурга сильно фрагментирована и включает участки леса разного размера и степени изоляции, в которых обитают несинантропные виды ММ. Ранее отмечено, что их численность в разных районах города в течение ряда лет держится на относительно высоком уровне [2]. Екатеринбург является крупным транспортным узлом, что повышает вероятность случайного завоза опасных инфекций. ММ, обитающие в городских лесах, могут стать основой формирования и поддержания городских очагов зоонозов в непосредственной близости от городской застройки [3].

Вклад факторов, обуславливающих распространение природно-очаговых инфекций на модельной территории, и вероятность выявления или возникновения эпизоотии определяют с помощью различных подходов [4–6]. В большинстве случаев выбор факторов, подлежащих включению в ту или иную модель, как и основной гипотезы, остается за авторами. Выбор стратегии исследования, не ограниченной рассмотрением какой-то одной идеи, гипотезы или модели, позволяет сделать более обоснованный статистический вывод о комплексном вкладе факторов в изучаемый процесс. Отбор моделей с разным набором предикторов проводится с помощью информационных критериев [7]. В отечественных эпизоотологических исследованиях этот подход используется редко.

Цель нашего исследования – ранжирование статистических моделей для оценки вклада ряда факторов, определяющих эпизоотическую ситуацию по природно-очаговым инфекционным болезням в обществах несинантропных ММ лесных массивов г. Екатеринбурга.

Материалы и методы

Отлов ММ проведен в бесснежный период 2017–2019 гг. в лесных массивах г. Екатеринбурга: Юго-Западный лесопарк, лесопарк им. Лесоводов России, Московский лесопарк, поселок Исток. Животных

отлавливали на стандартную хлебную приманку давилками с крючком [8]. Общий объем промыслового усилия составил 9705 ловушко-суток. Поймано 2309 ММ. Для оценки обилия использовали индекс численности, рассчитанный как количество зверьков, отловленных на 100 ловушко-суток.

Анализ проб от ММ на выявление ПОИ проведены на базе лаборатории контроля биологических факторов, отделения особо опасных инфекций ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.510116). Анализ проведен на следующих видах: рыжая полевка *Myodes glareolus* (Schreber, 1780), красная полевка *Myodes rutilus* (Pallas, 1779), обыкновенная полевка *Microtus arvalis* (Pallas, 1778), малая лесная мышь *Sylvaemus uralensis* (Pallas, 1811), обыкновенная бурозубка *Sorex araneus* (Linnaeus, 1758), пашенная полевка *Microtus agrestis* (Linnaeus, 1761).

Для выявления инфекций использовано 333 экземпляра ММ, случайным образом взятых из общей выборки. Особи сгруппированы в 123 пробы, каждая из которых включала 1–5 особей одного вида (табл. 1).

Пробы исследованы на пять возбудителей ПОИ, один из которых относится к вирусным и четыре – к бактериальным. Для выявления ГЛПС использовали метод иммуноферментного анализа, с помощью которого обнаруживали антиген *Hantavirus*. Полимеразная цепная реакция с детекцией продуктов амплификации применена для определения наличия возбудителей ПОИ: лептоспироза – РНК *Leptospira* spp., кишечного иерсиниоза – ДНК *Yersinia enterocolitica*, псевдотуберкулеза – ДНК *Yersinia pseudotuberculosis*, туляремии – ДНК *Francisella tularensis*. Методики исследования соответствуют законодательству РФ, международным этическим нормам и одобрены комиссией по биоэтике ИЭРиЖ УрО РАН (протокол от 20.01.2020 № 1).

Статистический анализ выполнен в рамках мульти-модельной парадигмы. В качестве зависимой ис-

пользовали бинарную переменную, отражающую наличие или отсутствие ПОИ в пробе. В насыщенную модель включены следующие факторы: район, вид, год, сезон, обилие ММ в исследуемом локалитете в текущем и предыдущем году. Относительный вклад этих факторов оценивали, используя логистическую регрессию и информационный критерий Акаике (AIC) [7]. Произведен отбор моделей по величине AIC, ΔAIC и весам моделей (w_i). К вероятным моделям, наилучшим образом объясняющим наблюдаемые данные, относили те, у которых значение $\Delta AIC \leq 2$ [7]. Для дополнительного ранжирования предикторов с целью определения вклада каждого фактора в варьирование зависимой переменной использован подход сравнения суммарного веса (SW) всех моделей, в которых встречается конкретный фактор [7]. Статистическая обработка проведена в программном пакете STATISTICA 10.0 (StatSoft Inc.).

Результаты и обсуждение

В пробах от ММ, обитающих на территории городских лесов Екатеринбурга, выявлены: *Hantavirus*, *F. tularensis*, *Y. enterocolitica*, *Leptospira* spp., – и не обнаружено *Y. pseudotuberculosis*. Для определения степени важности различных предикторов, определяющих вероятность встречаемости возбудителей ПОИ у ММ, построено 63 модели. Самый высокий вес получила модель с тремя параметрами: вид, год, обилие ММ предыдущего года в конкретном местопребитании (табл. 2). При этом только фактор «год» оказался включен в каждую из наиболее вероятных моделей. В указанную группу вошли также варианты с комбинациями таких факторов, как «общее обилие ММ текущего года» и «сезон». Все модели с предиктором «район» имели $\Delta AIC > 2$.

Максимальный процент положительных проб был получен в 2017 г. (16 из 46), а наименьший – в 2018 г. (2 из 52). В 2019 г. значение было промежуточным (2 из 25). Значительные межгодовые отличия по частоте положительных проб на инфекции

Таблица 1 / Table 1

Количество, место отлова и видовой состав особей ММ, отловленных на территории Екатеринбурга и использованных для выявления ПОИ суммарно за 2017–2019 гг.

The number, capture site and species composition of small mammals captured in Ekaterinburg and used to identify natural focal infections in total for 2017–2019

Территория Territory	<i>M. glareolus</i>	<i>M. rutilus</i>	<i>M. arvalis</i>	<i>A. uralensis</i>	<i>S. araneus</i>	<i>M. agrestis</i>	Всего Total
Юго-Западный лесопарк South-Western forest-park	56	–	18	94	10	–	178
Лесопарк им. Лесоводов России Lesovodov Rossii forest-park	–	31	3	25	9	1	69
Московский лесопарк Moskovskij forest-park	23	–	4	3	10	–	40
Поселок Исток Istok settlement	11	–	–	35	–	–	46
Всего Total	90	31	25	157	29	1	333

Таблица 2 / Table 2

Группа лучших моделей по информационному критерию Акаике ($\Delta AIC \leq 2$), объясняющих распространение ПИИ в сообществах ММ Екатеринбурга

A group of the best models according to the Akaike information criterion ($\Delta AIC \leq 2$) that explain the distribution of natural focal infections in small mammal communities in Ekaterinburg

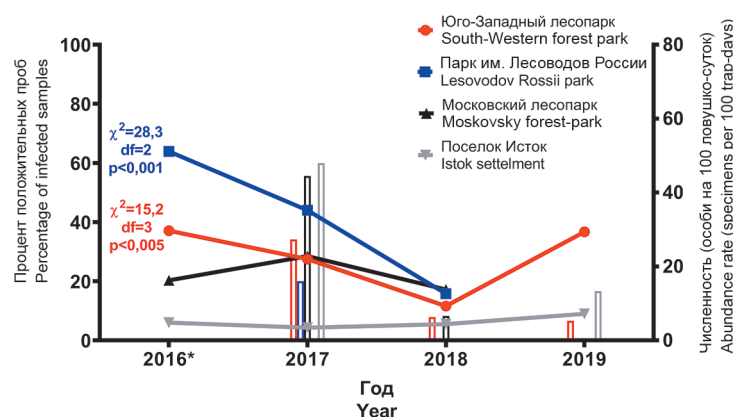
Модель Model	K	AIC	p	ΔAIC	Вес модели (w_i) Model weight (w_i)
Вид, год, обилие предыдущего года Species, year, abundance rate of the previous year	8	181,045	0,00003		0,14
Вид, год, обилие текущего года Species, year, abundance rate of the current year	8	181,477	0,00003	0,4314	0,11
Год, обилие текущего года Year, abundance rate of the current year	4	181,744	0,00002	0,6987	0,10
Год, обилие предыдущего года Year, abundance rate of the previous year	4	182,272	0,00003	1,2261	0,08
Вид, год, обилие предыдущего года, обилие текущего года Species, year, abundance rate of the previous year, abundance rate of the current year	9	182,805	0,00006	1,7598	0,06
Вид, год, обилие предыдущего года, сезон Species, year, abundance rate of the previous year, season	9	182,889	0,00006	1,8437	0,06

обусловили наличие фактора «год» в каждой вероятной модели ($\Delta AIC \leq 2$). Это единственный предиктор, получивший первый ранг по сумме w_i полного спектра моделей ($SW=1$). Очевидно, комплекс условий конкретного года играет решающее значение в распространении ПИИ в лесопарках Екатеринбурга.

Присутствие в каждой высоковероятной модели ($\Delta AIC \leq 2$) фактора «обилие» текущего или предыдущего года свидетельствует о наличии зависимости распространения инфекций среди ММ от их численности. Факторы обилия как текущего, так и предыдущего года имеют третий ранг по значимости ($SW=0,48$). Статистически значимые колебания численности ММ наблюдались только в Юго-Западном лесопарке и парке им. Лесоводов России (рисунок). В этих местообитаниях можно отметить сходные межгодовые изменения обилия, максимальный уровень которого мы наблюдали в 2016 г. Он был выше в 2 раза и более, чем на других изучаемых территориях. В Московском лесопарке самая высокая численность была зафиксирована в 2017 г., а в окрестностях п. Исток – в 2019 г. Несмотря на различия в уровне и межгодовых колебаниях численности ММ, максимальная доля проб с инфекциями во всех лока-

литетах зафиксирована в один год (2017 г.). В 2018 г. отмечен самый низкий уровень встречаемости инфекций наряду с общим низким уровнем численности ММ в изучаемых местообитаниях.

Общезвестно, что рост численности ММ способствует увеличению доли зараженных животных в популяции. Механизм реализуется за счет увеличения частоты контактов особей друг с другом и с опосредованными источниками инфекций: экскрементами, пищевыми остатками, различными эктопаразитами [9]. Поэтому в годы, характеризующиеся высоким относительным обилием ММ, количество положительных проб должно быть больше. Обилие предыдущего года также может быть важным фактором, поскольку его уровень предопределяет формирование зимних агрегаций грызунов с определенной плотностью. В некоторых работах авторы подчеркивают значимость именно зимнего периода и подснежного размножения, когда животные концентрируются во временных станциях для переживания неблагоприятных условий [10, 11]. Территории городских лесопарков часто граничат с различными постройками, которые могут обеспечивать благоприятные условия для зимовки грызунов и повышать вероятность «зим-



Межгодовая динамика численности мелких млекопитающих и доли проб с инфекциями в обследованных местообитаниях. Статистические параметры даны для тех случаев, где колебания численности были значимыми. Обозначения: линии – численность; гистограммы – инфекции. В 2016 г. пробы на инфекции не брались

Inter-annual dynamics of the small mammal abundance and percentage of infected samples in the studied habitats. Statistical parameters are given for those cases where abundance rate fluctuations were significant. Designations: lines – abundance; bars – infections. In 2016, no samples were taken to study for infections

него» размножения, а также циркуляцию возбудителей среди особей таких временных агрегаций.

Это отчасти объясняет способность популяций несинантропных видов грызунов практически ежегодно поддерживать высокий уровень численности на урбанизированных территориях, что способствует развитию эпизоотий. Увеличение видового богатства урбанофлоры, которое наиболее ярко проявляется в крупных городах, также вносит определенный вклад в поддержание стабильно высокого уровня численности ММ [12]. Наибольшая доля положительных проб ПОИ в Юго-Западном лесопарке и парке им. Лесоводов России в 2017 г. подтверждает предположение о значимости уровня численности предыдущего года, поскольку 2016 г. характеризовался самым высоким обилием ММ. Очевидно, в совокупности с природно-климатическими факторами 2016–2017 гг. это обеспечило хорошую выживаемость грызунов в зимний период и увеличение доли зараженных животных в популяциях к началу массового размножения 2017 г. В этот же период максимум положительных проб зафиксирован и в двух других местообитаниях. В поселке Исток обилие животных ежегодно остается на одном и том же низком уровне. Вероятнее всего, данное местообитание имеет низкую емкость среды и является «стоком» согласно концепции «источник – сток» [13]. Поэтому колебания доли положительных проб в данном случае, по-видимому, отражают ситуацию в смежном, не обследованном нами локалитете-источнике с более высоким средним обилием ММ. В Московском лесопарке также больше всего положительных проб выявлено в 2017 г. (рисунок). Средняя численность здесь выше, чем в п. Исток, и тоже характеризуется отсутствием значительных межгодовых колебаний. Стоит отметить, что в этом местообитании все отловы проводились только осенью в период сезонного пика обилия. В 2019 г. в Юго-Западном лесопарке зафиксирован низкий процент положительных проб при рекордном обилии ММ (рисунок). При этом численность ММ в 2018 г. была низкой, что могло сказаться на плотности животных в зимних агрегациях и снизило возможность преемственности поколений в эпизоотическом процессе [10]. Можно предположить, что эпизоотические процессы развиваются с лагом относительно наращивания численности ММ.

Фактор «вид» находится на втором месте по значимости после фактора «год» ($SW=0,6$), что свидетельствует о разном вкладе отдельных видов в совокупную инфицированность ПОИ. Видовой состав несинантропных ММ исследованных лесопарков Екатеринбурга представлен 12 видами, среди которых, по нашим многолетним данным, наиболее многочисленными являются три: *Sylvaemus uralensis* (35 %), *Myodes glareolus* (24 %) и *Sorex araneus* (17 %). Особи шести видов, от которых брали пробы на инфекции, составляют 94 % населения несинантропных грызунов и землероек Екатеринбурга.

Синантропные виды – домовая мышь и серая крыса – так же отлавливались нами в городских лесах, но крайне редко. Изучаемые инфекции обнаружены у представителей следующих видов: *S. uralensis* (10 положительных на ПОИ проб), *M. glareolus* (7) и *S. araneus* (4). Распределение положительных проб по видам соответствовало их ранжированию по обилию особей. Участие красной полевки в эпизоотических процессах было меньше (1 положительная проба). Все пробы от представителей рода серых полевок оказались отрицательными. Из проб от *S. uralensis* выделены возбудители ГЛПС, иерсиниоза, лептоспироза; *M. glareolus* – ГЛПС, иерсиниоза; *S. araneus* – туляремии, ГЛПС, иерсиниоза; *Myodes rutilus* – туляремии.

Включение сезона отлова в качестве предиктора в модели обусловлено тем, что погодно-климатические условия являются одним из важнейших факторов, обуславливающих уровень обилия сообществ ММ, а также влияют на распространение инфекционных заболеваний среди них. На Среднем Урале пик размножения мышевидных грызунов и землероек обычно приходится на июль. Однако при благоприятных условиях сезон размножения может продолжаться до сентября включительно, обеспечивая тем самым дополнительный рост численности животных, смещение сезонного пика численности и увеличение времени для развития эпизоотий. Мы не обнаружили разницу в уровне инфицированности животных, отловленных летом или осенью. Относительно высокий вес модели ($w_i=0,06$), включающей наряду с ведущими факторами (год, обилие) и фактор «сезон» (ранг 4, $SW=0,3$), объясняется фрагментарностью выборки, поскольку в 2019 г. отловы были проведены только в летнее время, а в 2017–2018 гг. в части лесопарков присутствовали только летние или осенние сборы.

Вклад фактора «район» был минимальным (ранг 5, $SW=0,16$), то есть вероятность обнаружения ПОИ на территории разных лесопарков г. Екатеринбурга существенно не различалась (табл. 3). Однако мы можем выделить определенные тенденции относительно некоторых возбудителей. На территории Московского лесопарка выявлено больше всего положительных проб на ГЛПС, что указывает на существование там условий, обеспечивающих циркуляцию вируса. При этом уровень инфицированности животных в данном местообитании невысокий. Юго-Западный лесопарк можно отнести к территориям с наибольшей вероятностью обнаружения лептоспироза. За три года проведенных исследований у животных, отловленных в этом районе, присутствие данной инфекции отмечалось ежегодно (табл. 3). При этом количество положительных проб по возбудителю лептоспироза в выборках 2017–2019 гг. оставалось относительно стабильным, на уровне 5–6 %. Это популярное место отдыха и выгула собак у жителей Екатеринбурга. На его территории расположены рекреационные во-

Таблица 3 / Table 3

Встречаемость природно-очаговых инфекций в лесопарках г. Екатеринбурга (% положительных проб)

The incidence of natural focal infections in the forest parks of Ekaterinburg (% of positive samples)

Год Year	Территория (кол-во проб) Territory (sample size)	<i>F. tularensis</i>	<i>Hantavirus</i>	<i>Y. enterocolitica</i>	<i>Leptospira</i> spp.	Все инфекции (All infections)
2017	Юго-Западный лесопарк (20) South-Western forest-park(20)	0	0	22,7	4,5	27,2
	Лесопарк им. Лесоводов России (10) Lesovodov Rossii forest-park (10)	10	0	10	0	20
	Московский лесопарк (9) Moskovsky forest-park (9)	22,2	33,3	0	0	55,5
	Поселок Исток (5) Istok settlement (5)	60	0	0	20	80
2018	Юго-Западный лесопарк (16) South-Western forest-park (16)	0	0	0	6,25	6,25
	Лесопарк им. Лесоводов России (20) Lesovodov Rossii forest-park (20)	0	0	0	0	0
	Московский лесопарк (12) Moskovsky forest-park (12)	0	8,3	0	0	8,3
	Поселок Исток (4) Istok settlement (4)	0	0	0	0	0
2019	Юго-Западный лесопарк (19) South-Western forest-park (19)	0	0	0	5,3	5,3
	Поселок Исток (6) Istok settlement (6)	0	0	0	16,7	16,7

доемы, тропы здоровья и зоны для проведения пикников. Известно, что источником, способствующим урбанизации лептоспирозов, могут быть не только ММ, но и собаки [14]. А наиболее благоприятными местами формирования природных резервуаров лептоспир служат околосводные и увлажненные биотопы [15]. Сочетание этих факторов обеспечивает сохранение возбудителя в популяциях ММ Юго-Западного лесопарка. Территории лесопарков, где были обнаружены возбудители таких заболеваний, как кишечный иерсиниоз, псевдотуберкулез и туляремия, следует считать участками выноса инфекции. Подобные ландшафты занимают возбудителем в течение непродолжительного времени, когда условия для циркуляции инфекции оказываются наиболее благоприятными [16].

Таким образом, используемый метод отбора статистических моделей с помощью информационных критериев позволил оценить вклад ряда факторов в вероятность обнаружения возбудителей ПОИ в лесопарках г. Екатеринбурга. Показано решающее значение комплекса природно-климатических условий конкретного года и повышение инфицированности ММ в годы, следующие за вспышками их численности. При этом высокая миграционная активность ММ, выявленная ранее в лесных массивах Екатеринбурга [2], создает возможность быстрого выноса инфекций из лесных массивов в городскую застройку, на окраинах которой может происходить обмен инфекциями между несинантропными и синантропными видами ММ. Учитывая полученные данные, целесообразно обеспечить в лесных зонах г. Екатеринбурга выбор стационаров для продолже-

ния ежегодных зоологических мониторинговых исследований по изучению встречаемости ПОИ.

Мультимодельный подход представляется полезным инструментом при анализе данных эпизоотологических исследований, в том числе потому, что учитывает возможность разного ранжирования факторов в зависимости от условий.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта финансовых/нефинансовых интересов, связанных с написанием статьи.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН при частичной поддержке гранта РФФИ 20-04-00164.

Список литературы

1. Нафеев А.А., Вовкотеч П.Г., Хайсарова А.Н. Связь эпизоотической активности природных очагов геморрагической лихорадки с почечным синдромом и эпидемиологической ситуации в Ульяновской области. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2015; 2:25–7. DOI: 10.21055/0370-1069-2015-2-25-27.
2. Толкачев О.В. Исследование миграций мышевидных грызунов в городской среде. *Экология*. 2016; 4:307–12. DOI: 10.7868/S0367059716040144.
3. Нафеев А.А. Природно-очаговые инфекции: актуальная проблема Ульяновска. *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2013; 1:54–6.
4. Николаева К.П. Использование факторного и регрессионного анализа для моделирования эпизоотического процесса при ящуре. *Труды Федерального центра охраны здоровья животных*. 2005; 1:62–72.
5. Прокудин А.В., Спесивцев А.В., Димов С.К., Лайшев К.А. Использование прогностического моделирования для изучения эпизоотического процесса зоонозных инфекций на примере полуострова Таймыр. *Генетика и разведение животных*. 2016; 2:41–6.
6. Дубянский В.М., Герасименко Е.В., Давыдова Н.А., Шкарлет Г.П., Мозлов Г.А., Белогрудов В.А., Власов А.А., Цапко Н.В., Белявцева Л.И., Бамматов Д.М. Прогнозирование эпизоотической активности Центрально-Кавказского высоко-

горного природного очага чумы. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2018; 3:50–3. DOI: 10.21055/0370-1069-2018-3-50-53.

7. Symonds M.R.E., Moussalli A. A brief guide to model selection, multimodel inference and model averaging in behavioural ecology using Akaike's information criterion. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 2011; 65(1):13–21. DOI: 10.1007/s00265-010-1037-6.

8. Толкачев О.В. Этимология некоторых названий ловушек, применяемых в исследованиях мелких млекопитающих. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2019; 48:73–96. DOI: 10.17223/19988591/48/4.

9. Екимов Е.В., Борисов А.Н., Шишикин А.С. Взаимосвязь зараженности инфекционными, инвазионными заболеваниями и динамики численности мелких млекопитающих в природных популяциях Енисейского края. *Сибирский лесной журнал*. 2017; 3:40–6. DOI: 10.15372/SJFS20170304.

10. Жигальский О.А., Бернштейн А.Д., Кшняев И.А., Апкина Н.С. Экологические механизмы функционирования активных европейских очагов ГЛПС. Прогноз заболеваемости. *Экология*. 2013; 3:237–40. DOI: 10.7868/S0367059713020121.

11. Филоненко И.В. Особенности проявления очагов туляремии на территории Вологодской области. *Принципы экологии*. 2015; 2:74–82. DOI: 10.15393/j1.art.2015.4081.

12. Третьякова А.С., Веселкин Д.В., Сенатор С.А., Голованов Я.М. Факторы богатства флор городов Урало-Поволжского региона. *Экология*. 2018; 3:165–73. DOI: 10.7868/S0367059718030010.

13. Webb W.M. Preliminary Report: Applications of vector calculus in modeling source-sink dynamics among metapopulations. *Bios*. 2012; 83(3):97–103.

14. Соболева Г.Л., Ананьина Ю.В., Непоклонова И.В. Актуальные вопросы лептоспироза людей и животных. *Российский ветеринарный журнал*. 2017; 8:14–8.

15. Наконечный И.В. Эколого-эпидемические характеристики ситуации по лептоспирозу на юге Украины. *Пест-менеджмент*. 2012; 3:12–9.

16. Малхазова С.М., Миронова В.А. Природноочаговые болезни в России. *Природа*. 2017; 4:37–47.

References

1. Nafeev A.A., Vovkotech P.G., Khaysarova A.N. [Interdependence between Epizootic Activity of Natural Foci of Hemorrhagic Fever with Renal Syndrome (HFRS) and Epidemiological Situation in the Ulyanovsk Region]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2015; (2):25–7. DOI: 10.21055/0370-1069-2015-2-25-27.

2. Tolkachev O.V. [Investigation of migrations of mouse-like rodents in the urban environment]. *Ekologiya [Ecology]*. 2016; 4:307–12. DOI: 10.7868/S0367059716040144.

3. Nafeev A.A. [Natural focal infections: a relevant issue for Ulyanovsk city]. *Epidemiologiya i Infektsionnye Bolezni [Epidemiology and Infectious Diseases]*. 2013; 1:54–6.

4. Nikolaeva K.P. [The use of factor and regression analysis for modeling the epizootic process in case of foot-and-mouth disease]. *Proceedings of the Federal Center for Animal Health Protection*. 2005; 1:62–72.

5. Prokudin A.V., Spesivtsev A.V., Dimov S.K., Laishev K.A. [Using predictive modeling to study the epizootic process of zoonotic infections by the example of the Taimyr Peninsula]. *Genetika i Razvedenie Zhivotnykh [Genetics and Breeding of Animals]*. 2016; 2:41–6.

6. Dubyansky V.M., Gerasimenko E.V., Davydova N.A., Shkarlet G.P., Mozloev G.A., Belogrudov V.A., Vlasov A.A., Tsapko N.V., Belyavtseva L.I., Bammatorov D.M. [Forecasting of epizootic

activity of the Central Caucasian high-mountain natural plague focus]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2018; (3):50–3. DOI: 10.21055/0370-1069-2018-3-50-53.

7. Symonds M.R.E., Moussalli A. A brief guide to model selection, multimodel inference and model averaging in behavioural ecology using Akaike's information criterion. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 2011; 65(1):13–21. DOI: 10.1007/s00265-010-1037-6.

8. Tolkachev O.V. [Etymology of some names of traps used in studies of small mammals]. *Bulletin of the Tomsk State University. Biology*. 2019; 48:73–96. DOI: 10.17223/19988591/48/4.

9. Ekimov E.V., Borisov A.N., Shishikin A.S. [Interrelation between the infection with infectious and invasive diseases and dynamics of the number of small mammals in natural populations of the Yenisei Ridge]. *Sibirsky Lesnoy Zhurnal [Siberian Forest Journal]*. 2017; 3:40–6. DOI: 10.15372/SJFS20170304.

10. Zhigal'sky O.A., Bernstein A.D., Kshnyasev I.A., Aпкина N.S. [Ecological mechanisms of functioning of active European foci of HFRS. Prognosis of morbidity]. *Ekologiya [Ecology]*. 2013; 3:237–40. DOI: 10.7868/S0367059713020121.

11. Filonenko I.V. [Features of the manifestation of tularemia foci in the Vologda region]. *Printsipy Ekologii [Principles of Ecology]*. 2015; 2:74–82. DOI: 10.15393/j1.art.2015.4081.

12. Tretyakova A.S., Veselkin D.V., Senator S.A., Golovanov Ya.M. [Factors of the richness of the flora of the cities in the Ural-Volga region]. *Ekologiya [Ecology]*. 2018; 3:165–73. DOI: 10.7868/S0367059718030010.

13. Webb W.M. Preliminary Report: Applications of vector calculus in modeling source-sink dynamics among metapopulations. *Bios*. 2012; 83(3):97–103.

14. Soboлева G.L., Anan'ina Yu.V., Nepoklonova I.V. [Relevant issues of leptospirosis in humans and animals]. *Rossiyskiy Veterinarny Zhurnal [Russian Veterinary Journal]*. 2017; 8:14–8.

15. Nakonechny I.V. [Ecological and epidemic characteristics of the situation on leptospirosis in the South of Ukraine]. *Pest Management*. 2012; 3:12–9.

16. Malkhazova S.M., Mironova V.A. [Natural-focal diseases in Russia]. *Priroda [Nature]*. 2017; 4:37–47.

Authors:

Tolkachev O.V., Malkova E.A. Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 202/3, 8 Marta Str., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation. E-mail: olt@mail.ru.

Gurvich A.N. Center of Hygiene and Epidemiology in the Sverdlovsk Region. 3, Otdel'nyy Line, Ekaterinburg, 620078, Russian Federation.

Trishevskaya A.V., Zubkov V.A. Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 202/3, 8 Marta Str., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: olt@mail.ru. Ural State Mining University; 30, Kujbysheva str., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation.

Об авторах:

Толкачев О.В., Малкова Е.А. Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН. Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202/3. E-mail: olt@mail.ru.

Гурвич А.Н. Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области. Российская Федерация, 620078, Екатеринбург, пер. Отдельный, 3.

Тришевская А.В., Зубков В.А. Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН; Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202/3; e-mail: olt@mail.ru. Уральский государственный горный университет; Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.