

DOI: 10.21055/0370-1069-2024-4-63-69

УДК 639.1.091:616.98:579.842.23

В.М. Дубянский, В.М. Мезенцев, У.М. Ашибок

Пространственное распределение эпизоотических проявлений чумы в связи с орографическими и эдафическими факторами в Центрально-Кавказском высокогорном природном очаге

ФКУЗ «Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт», Ставрополь, Российская Федерация

Цель работы – уточнение орографических и эдафических параметров пространственного распределения эпизоотических участков в Центрально-Кавказском высокогорном природном очаге чумы для проведения электронной паспортизации в рамках государственной программы «Обеспечение химической и биологической безопасности Российской Федерации. 2021–2024 годы», НИОКР «Электронная паспортизация природных очагов чумы и КГЛ на территории юга Российской Федерации». **Материалы и методы.** Данные о пространственно-временном распределении эпизоотических участков получены из архива ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора и включают 318 точек выявления эпизоотий чумы с 1984 по 2021 г. с пространственной привязкой в виде географических координат. В анализ включены четыре ландшафтно-эпизоотологических района (ЛЭР): Верхне-Кубанский, Кубано-Малкинский, Малко-Баксанский и Баксано-Чегемский. Чегемо-Черекский ЛЭР исключен, так как с его территории штаммы чумы не выявлялись ни разу. Эдафические и орографические факторы получены с сайтов <https://www.fao.org/> (данные о почве, в том числе и названия), <https://neo.gsfc.nasa.gov/>, <https://dwtkns.com/srtm30m/> (цифровая модель рельефа) и из архива ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора. **Результаты и обсуждение.** Эпизоотийные участки имеют выраженную приуроченность к высотам от 2000 до 2711 м над уровнем моря. В горно-степном поясе эпизоотийные участки чаще встречаются на склонах северо-северо-восточной – южной экспозиций, в альпийском и субальпийском поясах – северо-северо-западной экспозиции. Предпочтительны средний, ближе к высокому уровень освещенности ландшафта и относительно ровные или не сильно пересеченные участки со следующими типами почв: дистрические и моллические лептосолы и дистрические камбизолы. Отсутствуют эпизоотийные участки на эвтрических камбизолах, хотя возможно, что это случайное явление.

Ключевые слова: чума, природный очаг, эпизоотийные участки, рельеф, почва.

Корреспондирующий автор: Ашибок Умар Мухадинович, e-mail: Umar5555@mail.ru.

Для цитирования: Дубянский В.М., Мезенцев В.М., Ашибок У.М. Пространственное распределение эпизоотических проявлений чумы в связи с орографическими и эдафическими факторами в Центрально-Кавказском высокогорном природном очаге. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2024; 4:63–69. DOI: 10.21055/0370-1069-2024-4-63-69

Поступила 03.04.2024. *Отправлена на доработку* 08.05.2024. *Принята к публ.* 17.10.2024.

V.M. Dubyansky, V.M. Mezentsev, U.M. Ashibokov

Spatial Distribution of Epizootic Manifestations of Plague in Connection with Orographic and Edaphic Factors in the Central Caucasian High-Mountain Natural Focus

Stavropol Research Anti-Plague Institute, Stavropol, Russian Federation

Abstract. The aim of this work was to clarify the orographic and edaphic parameters of the spatial distribution of epizootic sites in the Central Caucasian high-mountain natural plague focus for electronic certification within the framework of the State Program “Ensuring chemical and biological safety of the Russian Federation, 2021–2024”, R&D “Electronic certification of natural plague and CHF foci in the south of the Russian Federation”. **Materials and methods.** Data on the spatial and temporal distribution of epizootic sites were obtained from the archive of the Stavropol Anti-Plague Institute of the Rospotrebnadzor. They include 318 points of detection of plague epizootics between 1984 and 2021 with spatial reference in the form of geographical coordinates. The analysis covered four landscape-epizootiological regions (LER): Verkhne-Kubansky, Kubano-Malkinsky, Malko-Baksansky and Baksan-Chegemsky. The Chegem-Chereksky LER was excluded, since no plague strains have been detected from its territory. Edaphic and orographic factors were obtained from the web-sites <https://www.fao.org/> (soil data, including names), <https://neo.gsfc.nasa.gov/>, <https://dwtkns.com/srtm30m/> (digital relief model) and from the archive of the Stavropol Anti-Plague Institute of the Rospotrebnadzor. **Results and discussion.** The epizootic sites have a pronounced confinement to altitudes from 2000 to 2711 meters above sea level. In the mountain-steppe belt, epizootic areas are more often found on the slopes of the North-North-East – South exposures, in the alpine and subalpine belts – the North-North-West exposure. The favorable level of landscape illumination is medium, closer to high; relatively flat or not heavily dissected areas, with soils: dystric and mollic leptosols and dystric cambisols predominate. Epizootic sites are absent on eutric cambisols, although this may be a random phenomenon.

Key words: plague, natural focus, epizootic sites, relief, soil.

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

Funding: The authors declare no additional financial support for this study.

Corresponding author: Umar M. Ashibokov, e-mail: Umar5555@mail.ru.

Citation: Dubyansky V.M., Mezentsev V.M., Ashibokov U.M. Spatial Distribution of Epizootic Manifestations of Plague in Connection with Orographic and Edaphic Factors in the Central Caucasian High-Mountain Natural Focus. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2024; 4:63–69. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2024-4-63-69

Received 03.04.2024. Revised 08.05.2024. Accepted 17.10.2024.

Dubyansky V.M., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3817-2513>
Mezentsev V.M., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0613-861X>

Ashibokov U.M., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9197-588X>

Центрально-Кавказский высокогорный природный очаг чумы, открытый в 1971 г. занимает площадь 4600 км² и на протяжении 36 лет являлся одним из наиболее активных на территории Российской Федерации, с индексом эпизоотичности, равным единице. Однако в 2008 г. начался межэпизоотический период, который длился до 2020 г. В июле – августе 2021 г. эпизоотии чумы были вновь зарегистрированы в трех секторах западной части очага, с выделением 11 штаммов возбудителя. Эпизоотийные участки привязаны к поселениям горного суслика (*Spermophilus musicus*) и неравномерно распределены по территории [1].

Очаг имеет большое эпидемиологическое значение, так как расположен в Приэльбрусье, центре горного туризма и альпинизма юга России. Для повышения эффективности эпиднадзора за территорией требуется постоянно актуализировать паспортные данные очага с учетом современных данных и возможностей их обработки.

Экологическая система очага постоянно трансформируется из-за глобальных климатических изменений [2]. Однако орографические и эдафические факторы довольно консервативны и изменяются медленнее других [3], поэтому эти характеристики очаговой территории могут использоваться в практической работе долгое время и служить реперными данными при отслеживании изменений биогеоценоза эпизоотической триады.

В настоящее время появились относительно точные исходные данные в виде цифровых моделей рельефа и цифровых характеристик почв, что позволяет проводить исследования на больших территориях с использованием математических моделей и геоинформационных систем (ГИС). По результатам обследования территории на чуму накоплен большой фактический материал за более чем 40-летний период.

Цель работы – уточнение орографических и эдафических параметров пространственного распределения эпизоотических участков в Центрально-Кавказском высокогорном природном очаге чумы для проведения электронной паспортизации в рамках государственной программы «Обеспечение химической и биологической безопасности Российской Федерации. 2021–2024 годы», НИОКР «Электронная паспортизация природных очагов чумы и КГЛ на территории юга Российской Федерации».

Материалы и методы

Данные о пространственно-временном распределении эпизоотических участков получены

из архива ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора и включают 318 точек выявления эпизоотий чумы с 1984 по 2021 г. с пространственной привязкой в виде географических координат. В анализ включены четыре ландшафтно-эпизоотологических района (ЛЭР): Верхне-Кубанский, Кубано-Малкинский, Малко-Баксанский и Баксано-Чегемский. Чегемо-Черекский ЛЭР исключен, так как с его территории штаммы чумы не выявлялись ни разу.

Эдафические и орографические факторы получены с сайтов <https://www.fao.org/> (данные о почве, в том числе и названия), <https://neo.gsfc.nasa.gov/>, <https://dwtkns.com/srtm30m/> (цифровая модель рельефа) и из архива Ставропольского противочумного института.

Географический анализ проводился с использованием инструментов QGIS версии 3.34.1. Эта программа также использована для создания на основе цифровой модели рельефа его производных: растровых слоев экспозиции, теневого рельефа, крутизны склонов, индекса пересеченности местности. Исходные данные для построения этих растров соответствовали применяемому в QGIS по умолчанию. Иллюстрации созданы в QGIS.

Диаграммы построены в Microsoft Excel, диапазоны диаграмм рассчитывались автоматически в соответствии с правилами Скотта и использовались для дифференцирования распределения количества эпизоотийных точек в зависимости от фактора.

Для выявления корреляции между факторами использован критерий Спирмена, для выявления разности распределений – критерий Эппса – Синглтона, рассчитанные в программе Past.

Анализ важности (информативности) факторов проводился с использованием разработанной В.М. Дубянским пространственной модели на основе непараметрической статистической последовательной процедуры распознавания [4]. Эта процедура удобна тем, что, в отличие от MaxEnt подобных моделей или нейросетей глубокого обучения, не требует эмпирического подбора параметров [5, 6]. Результаты и их статистическая достоверность интерпретируются однозначно. При этом используются все доступные факторы окружающей среды, без учета их коррелированности, исходя из концепции моделирования экологической ниши [7].

Высота измеряется в метрах над уровнем моря (м н.у.м.), при этом горно-степной пояс считается при высотах 1100–2100 м н.у.м., субальпийский – 2101–2800 м н.у.м., альпийский – выше 2800 м н.у.м. [8]. Экспозиция склонов – в градусах и отношении к сторонам света, освещенность ланд-

шафта – в безразмерных единицах от 0 (отсутствие освещенности) до 255 (отсутствие затенения), крутизна склона – в градусах. Индекс пересеченности, согласно классификации, разработанной авторами данного индекса для сети с разрешением в 1 км и приведенной в работе [9], от 0 до 80 соответствует ровной поверхности местности; 81–116 – почти ровной поверхности; 117–161 – слегка пересеченной поверхности; 162–239 – поверхности средней степени пересеченности; 240–497 – умеренно пересеченной поверхности; 498–958 – среднепересеченной и 959–4367 – чрезвычайно пересеченной поверхности.

Все расчеты растров проведены в пределах поселений горного суслика. Это сделано для более целевого и точного статистического анализа растров. Границы поселений не приводятся, чтобы не загромождать рисунки.

Результаты и обсуждение

Распределение эпизоотических участков в виде диаграмм представлено на рис. 1, 2.

Самая низкая точка регистрации эпизоотий отмечена на высоте 1101 м н.у.м. (Баксано-Чегемский ЛЭР). Самая высокая – на высоте 3449 м н.у.м. (Кубано-Малкинский ЛЭР). Количество эпизоотических точек распределено относительно равномерно в

диапазоне высот 1101–2021 м н.у.м., где зарегистрировано 85 точек, или 26,65 % от общего количества. На диапазон высот 2022–2711 м н.у.м. приходилось 203 точки (63,64 %). На высотах свыше 2712 м н.у.м. зарегистрировано 30 эпизоотических точек, или 9,4 % (рис. 1).

Если рассматривать весь массив эпизоотических участков, то на склонах с экспозицией от 154 до 205° (сектор юго-юго-восток – юго-юго-запад) зарегистрировано 25,01 % всех эпизоотических точек. Еще 16,93 % точек расположены на склонах с северо-восточной экспозицией (0–52°). Остальные точки относительно равномерно расположены на склонах оставшихся экспозиций.

Если же исследовать соотношение экспозиции и расположения эпизоотических участков по высотным поясам, то в альпийском и субальпийском поясах эпизоотические участки расположены относительно похоже, наблюдается некоторая тенденция преобладания северо-северо-западной экспозиции, подтвержденная тестом Эппса – Синглтона. В горно-степном поясе наблюдается большая концентрация участков на экспозициях северо-северо-восток – юг.

В затененных ландшафтах зарегистрировано 11,29 % всех эпизоотических точек, в максимально освещенных – 3,76 %. Остальные точки расположены в ландшафтах со средней освещенностью, при

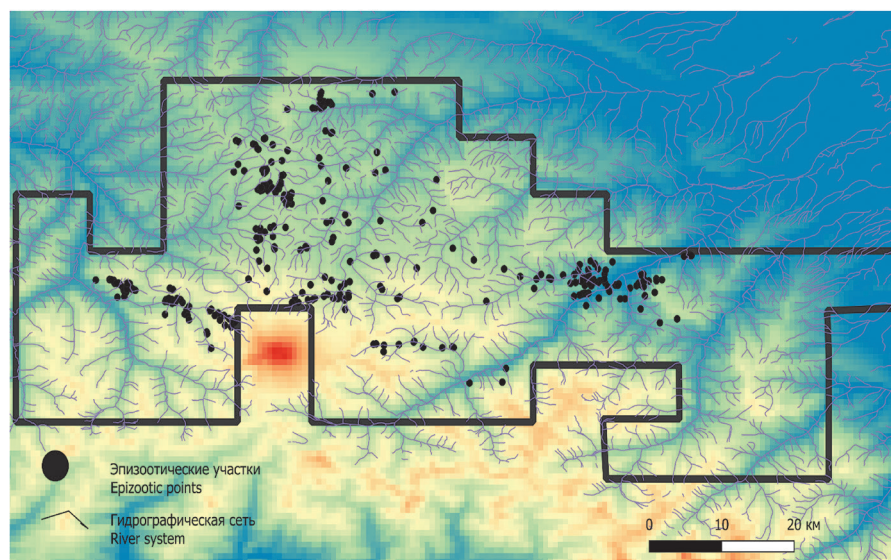
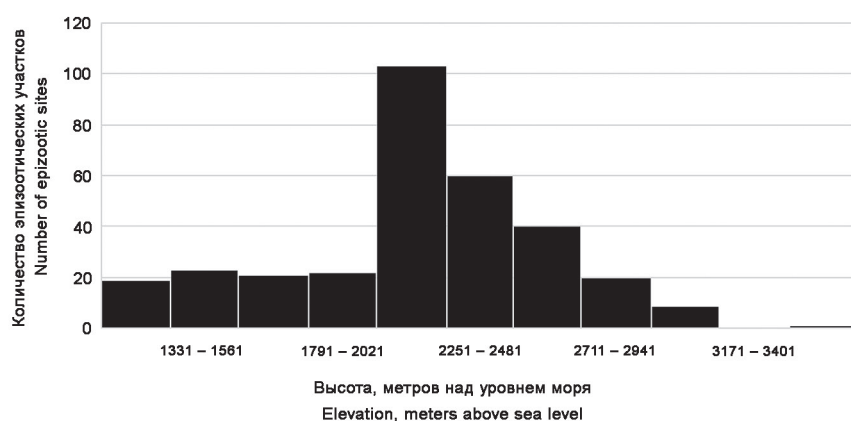


Рис. 1. Распределение эпизоотических участков (точки) в Центральном-Кавказском высокогорном очаге чумы на цифровой модели рельефа

Fig. 1. Distribution of epizootic sites (dots) in the Central Caucasus high-mountain focus of plague on a digital elevation model



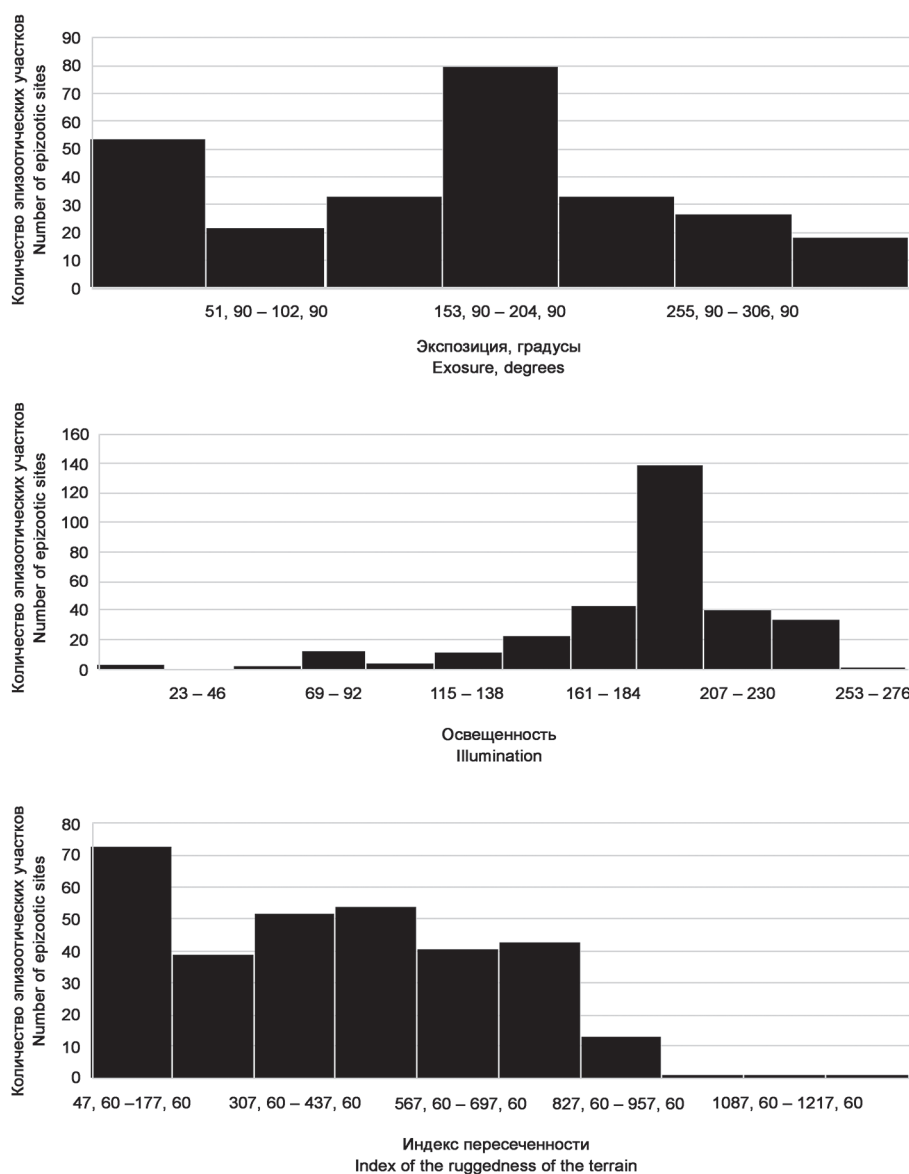


Рис. 2 Диаграммы распределения эпизоотических участков по экспозиции, освещенности и индексу пересеченности

Fig. 2. Diagrams of distribution of epizootic sites by exposure, illumination, and the ruggedness of the terrain

этом в диапазоне освещенности от 184 до 207 единиц отмечается 43,6 %. Эти области находятся под умеренным освещением и соответствуют наклонным поверхностям, которые хорошо освещены, но не получают максимального прямого света, частично затеняются в течение дня, возможно, за счет других элементов рельефа или растительности.

Практически все эпизоотические участки (94,70 %) расположены на сравнительно или условно ровных поверхностях: индекс пересеченности колеблется от 47 (почти ровные площадки) до 828 (рельеф средней сложности). В сложном рельефе (индекс пересеченности 829–1348) зарегистрировано только 5,30 % точек.

Интересно, что практически все эпизоотические участки приурочены к показателю крутизны около 90°.

В границах очага эпизоотические участки отмечены на трех типах почв: дистрические камбизолы, дистрические лептозолы, моллические лептозолы. На дистрических камбизолах отмечено только

8,15 % точек выявления циркуляции микроба чумы в Верхне-Кубанском ЛЭР. На дистрических лептозолах расположено 48,90 % точек, на моллических лептозолах – 42,63 %.

На территории очага также присутствуют лювичные черноземы и эвтрические камбизолы (рис. 3).

Сведения о высотах, на которых регистрируются эпизоотии чумы в Центрально-Кавказском высокогорном природном очаге, преимущественно опираются на ряд публикаций, сведенных в монографии [1, 10]. В них указано, что эпизоотии чумы развиваются в поселениях горного суслика, расположенных на высотах 1150–3000 м н.у.м. Полученные данные уточняют диапазон высот с эпизоотическими участками на 550 м – с 1101 до 3449 м н.у.м.

Моделирование показало, что наиболее благоприятный диапазон высот для регистрации эпизоотий – 2058–2594 м н.у.м. Таким образом, подтверждены сведения [1, 9] о наиболее активной регистрации эпизоотий на высотах свыше 2000 м н.у.м., в субальпийском поясе, при этом определена верхняя

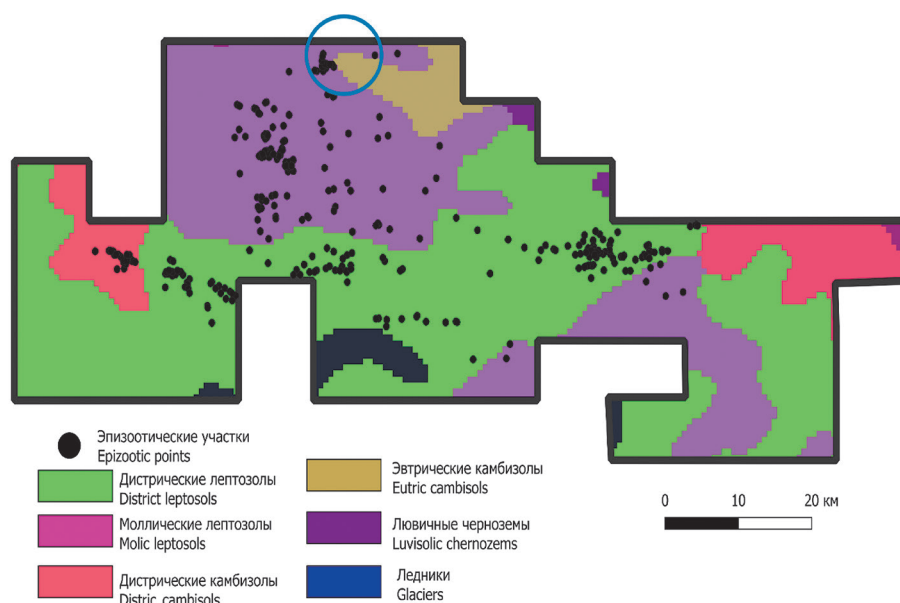


Рис. 3. Типы почв в Центрально-Кавказском высокогорном природном очаге чумы

Fig. 3. Soil types in the Central Caucasus high-mountain natural focus of plague

текущая изолиния наибольшей частоты эпизоотийных точек – 2711 м н.у.м., что практически совпадает с нижней границей альпийского пояса. На больших высотах, в альпийском поясе, эпизоотии регистрируются редко.

Данные об экспозиции склонов, к которым приурочены точки выявления эпизоотий, отрывочны, А.И. Дятлов и соавт. [10] указывают на приуроченность эпизоотических участков к северным склонам в высокогорном поясе и к южным – в горно-степном поясе. Исследование с использованием инструментов ГИС позволило уточнить этот параметр и показало, что существует определенная приуроченность эпизоотических проявлений в альпийском и субальпийском поясах к северо-северо-западной экспозиции, а в горно-степном поясе – к сектору почти в 180°: северо-северо-восточной – южной экспозициям. В общем же эти тенденции с трудом улавливаются специфичными тестами, и ярко выраженная приуроченность к склонам определенной экспозиции отсутствует.

Получены ранее неизвестные данные о роли освещенности ландшафтов. Освещенность является критически важным фактором для растений и животных, поскольку она влияет на процессы фотосинтеза, тепловые условия и, соответственно, на состояние и пространственную структуру геобиоценоза. Выделяется довольно узкий диапазон освещенности (в диапазоне освещенности от 184 до 207 единиц), на который приходится около половины эпизоотийных точек. Механизм действия освещенности может быть разнообразным. Известно, например, что численность блох и их пространственное распределение зависят от освещенности ландшафтов в очаге чумы в Танзании [11]. Однако на модели не удалось выявить значимые различия информативности этого фактора для распределения эпизоотийных точек. Вероятно, для поиска таких

различий необходимо увеличить чувствительность модели. В любом случае этот фактор явно менее важен, чем остальные из исследованных.

Индекс пересеченности и крутизна склонов – факторы, не изучавшиеся ранее, по сведениям, доступным авторам, в контексте пространственного распределения эпизоотических проявлений при чуме. Числовые значения обоих факторов имеют хорошую корреляционную связь между собой: $R=0,88$ при $v<0,05$. Расчеты на модели показали, что наиболее благоприятные для регистрации эпизоотий участки расположены на относительно ровных поверхностях, с индексом пересеченности не выше 90. Малое количество эпизоотийных точек, расположенных в сложном рельефе, связано, вероятно, с двумя факторами: удобством передвижения и, соответственно, повышенной частотой контактов между носителями возбудителя чумы на относительно ровных участках или не самых крутых склонах до 60° [1] и труднодоступностью для обследования участков с высоким индексом пересеченности. При этом первый фактор является ведущим, так как по данным картографического анализа только небольшая часть поселений горного суслика находятся на участках со сложным рельефом.

Выраженная привязанность точек выявления эпизоотий (рассчитанный на модели наиболее высокий диагностический коэффициент относится к значению 90°) к очень высоким показателям крутизны склона не говорит о том, что сами точки непосредственно расположены на склонах с углами крутизны около 90°. Скорее, это подтверждает вывод, сделанный относительно индекса пересеченности, так как чем больше крутизна склонов, тем более ровные и пологие долины. Кроме того, для хребтов на территории очага чумы характерны относительно плоские вершины, на которых также предпочитает селиться горный суслик. Крутизна же склонов, характерная для хребтов в этой части Кавказа, близка к 90°.

О роли почвы в распространении чумы дискуссии ведутся давно. Помимо классических воззрений, свод которых приведен в монографии А.И. Дятлова и соавт. [10], отметим и новые исследования, начало которым было положено В.М. Мезенцевым и соавт. [12] и которые активно развиваются за рубежом в настоящее время [13]. Однако непосредственно для изучаемой территории авторам неизвестны исследования, опирающиеся именно на подробные почвенные характеристики.

Территории, входящие в очаг, с типами почв «гаплические черноземы», «лювические черноземы» не заселены горным сусликом и, соответственно, на них не регистрировались эпизоотии чумы. Эти территории занимают незначительную часть очага на северо-восточной границе.

Основная часть очаговой территории, на которой расположены поселения горного суслика, распадается на четыре участка, соответствующих видам почв. На дистрических и моллических лептозолах эпизоотийные точки расположены примерно в равных пропорциях. На дистрических камбизолах точек явно меньше, но можно предположить, что эта диспропорция не связана со свойством почв. Участок очага с этим типом почв занимает относительно небольшую площадь.

Особый интерес представляет часть очага с почвами, относящимися к эвтрическим камбизолам (рис. 3, область, обведенная овалом). Этот участок захватывает часть поселений горного суслика, причем другие части этого поселения расположены на дистрических лептозолах. Эти участки, расположенные вдоль р. Хасаут, ярко иллюстрируют одну из особенностей эпизоотического процесса при чуме, описанного А.И. Дятловым и соавт. [9]: «...зараженные чумой животные на протяжении многих лет выявлялись только в части... популяций...». Несмотря на то, что поселения сусликов до начала XXI столетия занимали практически всю долину р. Хасаут, чума выявлялась только на участках с видом почвы «дистрические лептозолы». При этом расстояние от ближайшей эпизоотийной точки к участку поселения, на котором почва меняется на эвтрические камбизолы, менее 150 м. Интересен и тот факт, что в настоящее время горные суслики сохранились ниже аула Хасаут только до примерной границы между дистрическими лептозолами и эвтрическими камбизолами. В то же время полученные данные носят предварительный характер и нельзя исключать случайный, а не закономерный характер обнаруженного феномена. В пользу случайности можно отнести факт, что моделирование не выявило значимых различий между потенциально возможным распределением точек на обоих типах почв.

Исходя из текущих данных, эпизоотические участки располагаются в значительной части:

- на высотах от 2000 до 2711 м н.у.м., чаще на склонах северо-северо-западной экспозиции в альпийском и субальпийском поясах и северо-северо-

восточной – южной экспозиций в горно-степном поясе;

- со средним, ближе к высокому, уровнем освещенности ландшафта, на относительно ровных или не сильно пересеченных участках;

- с типами почв: дистрические и моллические лептозолы и дистрические камбизолы, практически отсутствуют на эвтрических камбизолах.

Помимо непосредственной констатации фактов, приведенные данные являются одной из отправных точек для отслеживания поведения очага при дальнейших глобальных климатических изменениях, так как в наименьшей степени подвержены краткосрочным флуктуациям.

Вероятно, следует провести отдельные микробиологические исследования, чтобы понять, случайно или закономерно отсутствие эпизоотий чумы и вымирание горных сусликов на участках с почвами «эвтрические камбизолы».

В методическом плане проведенное исследование демонстрирует возможности современного картографического анализа с использованием растровых баз данных электронной паспортизации очагов чумы.

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

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии дополнительного финансирования при проведении данного исследования.

Список литературы

- Куличенко А.Н., Дубянский В.М., редакторы. Центрально-Кавказский высокогорный природный очаг чумы. Эпизоотология, эпидемиология, микробиология возбудителя. Ставрополь; 2022. 208 с.
- Попов Н.В., Безсмертный В.Е., Удовиков А.И., Кузнецов А.А., Слудский А.А., Матросов А.Н., Князева Т.В., Федоров Ю.М., Попов В.П., Гражданов А.К., Аязбаев Т.З., Яковлев С.А., Караваева Т.Б., Кутырев В.В. Влияние современного изменения климата на состояние природных очагов чумы России и других стран СНГ. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2013; 3:23–8. DOI: 10.21055/0370-1069-2013-3-23-28.
- Sandu I., van Niekerk A., Shepherd T.G. Vosper S.B., Zadra A., Bacmeister J., Beljaars A., Brown A.R., Dörnbrack A., McFarlane N., Pithan F., Svensson G. Impacts of orography on large-scale atmospheric circulation. *npj Clim. Atmos. Sci.* 2019; 2:10. DOI: 10.1038/s41612-019-0065-9.
- Гублер Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. Л.: Медицина; 1978. 294 с.
- Лисовский А.А., Дудов С.В. Преимущества и ограничения методов экологического моделирования ареалов. 2. *MaxEnt. Журнал общей биологии*. 2020; 81(2):135–46. DOI: 10.31857/S0044459620020049.
- Санданов Д.В. Особенности моделирования распространения видов с использованием метода максимальной энтропии. *Фиторазнообразия Восточной Европы*. 2023; 17(2):130–44. DOI: 10.24412/2072-8816-2023-17-2-130-144.
- Малахов Д.В. ГИС-моделирование экологической ниши: вызовы и решения. *Selevinia*. 2022; 30:105–16.
- Петров П.А., Найденов П.Е., Ивановский В.В. Приуроченность эпизоотий чумы к различным ландшафтам в Центрально-Кавказском природном очаге и его эпизоотическая структура. В кн.: Вопросы природной очаговости зоонозов. Саратов; 1982. С. 51–7.
- Moreno M., Levachkine S., Torres-Ruis M., Quintero R. Geomorphometric analysis of raster image data to detect terrain ruggedness and drainage density. *Lecture Notes in Computer Science*. 2003; 2905:643–50. DOI:10.1007/978-3-540-24586-5_79.
- Дятлов А.И., Антоненко А.Д., Грижебовский Г.М., Лабунец Н.Ф. Природная очаговость чумы на Кавказе. Ставрополь; 2001. 345 с.

11. Meliyo J.L., Kimaro D.N., Msanya B.M., Mulungu L.S., Hieronimo P., Kihupi N.I., Gulinck H., Deckers J.A. Predicting small mammal and flea abundance using landform and soil properties in a plague endemic area in Lushoto District, Tanzania. *Tanzania Journal of Health Research*. 2014; 16(3). DOI: 10.4314/thrb.v16i3.3.

12. Мезенцев В.М., Ротшильд Е.В., Медзыховский Г.А., Гражданов А.К. Влияние микроэлементов на инфекционный процесс при чуме в эксперименте. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2000; 1:41–5.

13. Kosoy M., Biggins D. Plague and trace metals in natural systems. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022; 19(16):9979. DOI: 10.3390/ijerph19169979.

References

1. Kulichenko A.N., Dubyansky V.M., editors. [Central Caucasus High-Mountain Natural Focus of Plague. Epizootiology, Epidemiology, Microbiology of the Pathogen]. Stavropol; 2022. 208 p.

2. Popov N.V., Bezsmertny V.E., Udovikov A.I., Kuznetsov A.A., Sludsky A.A., Matrosov A.N., Knyazeva T.V., Fedorov Yu.M., Popov V.P., Grazhdanov A.K., Ayazbaev T.Z., Yakovlev S.A., Karavaeva T.B., Kutyrev V.V. [Influence of contemporary climate change on the state of natural foci of plague in Russia and other CIS countries]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2013; (3):23–8. DOI: 10.21055/0370-1069-2013-3-23-28.

3. Sandu I., van Niekerk A., Shepherd T.G., Vosper S.B., Zadra A., Bacmeister J., Beljaars A., Brown A.R., Dörnbrack A., McFarlane N., Pithan F., Svensson G. Impacts of orography on large-scale atmospheric circulation. *npj Clim. Atmos. Sci.* 2019; 2:10. DOI: 10.1038/s41612-019-0065-9.

4. Gubler E.V. [Computational Methods for Analysis and Recognition of Pathological Processes]. Leningrad: “Medicine”; 1978. 294 p.

5. Lisovsky A.A., Dudov S.V. [Advantages and limitations of ecological modeling methods for ranges. 2. MaxEnt]. *Zhurnal Obshchei Biologii [Journal of General Biology]*. 2020; 81(2):135–46. DOI: 10.31857/S0044459620020049.

6. Sandanov D.V. [Features of modeling the species distribution using the maximum entropy method]. *Fitoraznoobrazie Vostochnoi*

Evropy [Phytodiversity of Eastern Europe]. 2023; 17(2):130–44. DOI: 10.24412/2072-8816-2023-17-2-130-144.

7. Malakhov D.V. [GIS modeling of ecological niche: challenges and solutions]. *Selevinia*. 2022; 30:105–16.

8. Petrov P.A., Naiden P.E., Ivanovsky V.V. [Confinement of plague epizootics to various landscapes in the Central Caucasian natural focus and its epizootic structure]. In: [Issues of Natural Focality of Zoonoses]. Saratov; 1982. P. 51–7.

9. Moreno M., Levachkine S., Torres-Ruis M., Quintero R. Geomorphometric analysis of raster image data to detect terrain ruggedness and drainage density. *Lecture Notes in Computer Science*. 2003; 2905:643–50. DOI:10.1007/978-3-540-24586-5_79.

10. Dyatlov A.I., Antonenko A.D., Grizhebovsky G.M., Labunets N.F. [Natural Focality of Plague in the Caucasus]. Stavropol; 2001. 345 p.

11. Meliyo J.L., Kimaro D.N., Msanya B.M., Mulungu L.S., Hieronimo P., Kihupi N.I., Gulinck H., Deckers J.A. Predicting small mammal and flea abundance using landform and soil properties in a plague endemic area in Lushoto District, Tanzania. *Tanzania Journal of Health Research*. 2014; 16(3). DOI: 10.4314/thrb.v16i3.3.

12. Mezentsev V.M., Rothschild E.V., Medzykhovskiy G.A., Grazhdanov A.K. [Influence of trace elements on the infectious process in case of plague in experiment]. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii [Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology]*. 2000; (1):41–5.

13. Kosoy M., Biggins D. Plague and trace metals in natural systems. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022; 19(16):9979. DOI: 10.3390/ijerph19169979.

Authors:

Dubyansky V.M., Mezentsev V.M., Ashibokov U.M. Stavropol Research Anti-Plague Institute. 13–15, Sovetskaya St., Stavropol, 355035, Russian Federation. E-mail: stavnipchi@mail.ru.

Об авторах:

Дубянский В.М., Мезенцев В.М., Ашибокоев У.М. Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт. Российская Федерация, 355035, Ставрополь, ул. Советская, 13–15. E-mail: stavnipchi@mail.ru.