

DOI: 10.21055/0370-1069-2025-3-99-107

УДК 616.98:579.842.23:004.8

В.М. Дубянский¹, У.М. Ашибокров¹, А.Х. Халидов², А.А. Касьян²**Опыт определения естественной границы между Прикаспийским песчаным и Дагестанским равнинно-предгорным природными очагами чумы с использованием элементов искусственного интеллекта**¹ФКУЗ «Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт», Ставрополь, Российская Федерация;²ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция», Махачкала, Российская Федерация

Цель исследования – определение естественной границы очаговой территории, в частности границы между Прикаспийским песчаным и Дагестанским равнинно-предгорным природными очагами чумы. На территории Российской Федерации полностью или частично расположено 11 природных очагов чумы, большая часть которых имеет общие границы. Однако во многих случаях установить естественную границу очага не представляется возможным, поэтому за пределами ее предполагаемого прохождения вычерчивают формализованную границу. Подобная неопределенность может приводить к сложностям при организации обследования очагов, реализации профилактических мероприятий и к неверной трактовке результатов обследования и использования прогностических моделей. Поставлены задачи построить экологические ниши паразитарных систем обоих очагов и определить границу между ними. **Материалы и методы.** Использованы архивные данные Ставропольского противочумного института, Дагестанской, Элистинской, Астраханской противочумных станций Роспотребнадзора по эпизоотическим проявлениям чумы в очагах за последние 35 лет. Сведения об абиотических и биотических факторах получены из открытых баз данных в сети Интернет. Модели экологических ниш очагов построены с использованием элемента искусственного интеллекта. **Результаты и обсуждение.** Изучаемый участок предлагается отнести к Дагестанскому равнинно-предгорному природному очагу чумы, предложены новые очертания границы между очагами.

Ключевые слова: природный очаг чумы, Прикаспийский, Дагестанский, модель, искусственный интеллект.

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

Для цитирования: Дубянский В.М., Ашибокров У.М., Халидов А.Х., Касьян А.А. Опыт определения естественной границы между Прикаспийским песчаным и Дагестанским равнинно-предгорным природными очагами чумы с использованием элементов искусственного интеллекта. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2025; 3:99–107. DOI: 10.21055/0370-1069-2025-3-99-107

Поступила 05.05.2025. Отправлена на доработку 05.06.2025. Принята к публикации 23.06.2025.

V.M. Dubyansky¹, U.M. Ashibokov¹, A.Kh. Khalidov², A.A. Kas'yan²**The Experience of Determining the Natural Boundary between the Precaspian Sandy and Dagestan Plain-Piedmont Natural Plague Foci Using Artificial Intelligence Elements**¹Stavropol Research Anti-Plague Institute, Stavropol, Russian Federation;²Dagestan Plague Control Station, Makhachkala, Russian Federation

Abstract. The aim of the study was to determine the natural boundary of the focal territory, in particular, the boundary between the Precaspian sandy and Dagestan plain-piedmont natural foci of plague. There are 11 natural plague foci that are fully or partially located on the territory of the Russian Federation, most of which share common borders. However, in many cases, it is not possible to establish a natural boundary of the focus, so a formalized boundary is drawn outside the presumed passage. Such uncertainty can lead to difficulties in organizing the examination of foci, implementing preventive measures, and to misinterpretation of survey results and inappropriate use of predictive models. Objectives: to construct ecological niches of the parasitic systems of both foci and to define the boundary between them. **Materials and methods.** Archival data from the Stavropol Anti-Plague Institute, Dagestan, Elista, and Astrakhan Plague Control Stations of the Rospotrebnadzor regarding the epizootic manifestations of plague in the foci over the past 35 years were used. Information on abiotic and biotic factors was obtained from open databases on the Internet. Ecological niche models of the foci were constructed using artificial intelligence elements. **Results and discussion.** The studied area is proposed to be classified as part of the Dagestan plain-piedmont natural focus of plague, and new outlines of the boundary between the foci are put forward.

Key words: natural focus of plague, Precaspian, Dagestan, model, artificial intelligence.

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., Ashibokov U.M., Khalidov A.Kh., Kas'yan A.A. The Experience of Determining the Natural Boundary between the Precaspian Sandy and Dagestan Plain-Piedmont Natural Plague Foci Using Artificial Intelligence Elements. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2025; 3:99–107. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2025-3-99-107

Received 05.05.2025. Revised 05.06.2025. Accepted 23.06.2025.

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

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

На территории Российской Федерации полностью или частично расположено 11 природных очагов чумы, большая часть которых имеет общие границы [1]. Современный принцип и одновременно проблема разграничения очагов исчерпывающе описана в методических указаниях МУ 3.1.3.3395-16 «Паспортизация природных очагов чумы Российской Федерации» и монографии А.И. Дятлова и соавт. [2], поэтому приводим цитату из МУ 3.1.3.3395-16: «В качестве границ... Предпочтение отдается объектам гидрографии (берега рек, каналов, озер, морей), но могут быть использованы границы других ландшафтных выделов, имеющиеся на карте (окраины песков, лесных массивов, обширных аграрных, селитебных или урбанизированных территорий), железные дороги, автомагистрали и т.д. ...» И непосредственно проблема из этого же источника: «Мозаичное взаимопроникновение множества перемежающихся песчаных и глинистых ландшафтных элементов в зоне соприкосновения этих очагов не позволяет однозначно установить объективную ландшафтную границу между ними... Во многих случаях установить ландшафтно-географическую (естественную) границу очага не представляется возможным, поэтому за пределами ее предполагаемого прохождения вычерчивают формализованную границу строго по рамкам секторов».

Подобная неопределенность может приводить как к сложностям при организации обследования очагов и отчетности, так и к неверной трактовке результатов обследования, что отразится на использовании прогностических моделей, реализации профилактических мероприятий.

Сложность в определении естественных границ очагов вытекает, на наш взгляд, из малого количества факторов, используемых для выделения разных очаговых территорий: как правило, это виды носителей возбудителя чумы и виды ландшафтов. И если количество видов носителей и их численность, территориальное распространение известны и ограничены в пределах очага однозначным, очень редко – двузначным числом, то, помимо ландшафтов, территория очага может быть охарактеризована множеством других факторов. На основании этих факторов можно построить экологические ниши паразитарной системы очагов. Естественными границами очагов будут границы экологических ниш.

Опыт поиска естественной границы очага проведен нами в 2024 г. на примере границы между Прикаспийским песчаным и Дагестанским равнинно-предгорным природными очагами чумы [1]. В настоящее время она проходит по Кизлярской степи вдоль старого русла р. Терек и не обусловлена никакими географическими изоляционными факторами. В результате происходит свободный обмен и взаимопроникновение фитоценозных ассоциаций и фаунистического комплекса между очагами. По природно-климатическим, рельефно-географическим факторам, видовому составу растительности, носителей

и переносчиков эта территория представляет собой единый ландшафтно-экологический район. В связи с этим возникает необходимость определить естественные границы между очагами, со сдвигом либо в сторону Дагестанского равнинно-предгорного, либо в сторону Прикаспийского песчаного очага.

Цель исследования – определение естественной границы очаговой территории, в частности границы между Прикаспийским песчаным и Дагестанским равнинно-предгорным природными очагами чумы.

Поставлены задачи построить экологические ниши паразитарных систем обоих очагов и определить границу между ними. Решить эти задачи можно, используя современные возможности доступа к базам данных, содержащих сведения об абиотических и биотических факторах среды в растровом формате.

Материалы и методы

Территория, на которой требовалось уточнить границу между очагами, представлена на рис. 1, на котором красной линией показана существующая граница между очагами.

Использованы архивные данные Ставропольского противочумного института, Дагестанской, Элистинской, Астраханской противочумных станций Роспотребнадзора по эпизоотическим проявлениям чумы в очагах за последние 35 лет. Переведены 624 архивные точки эпизоотических проявлений чумы из азимутов и километров в систему координат (с 1980 по 2015 г. последней эпизоотии [3]). Использованы данные 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».

Сведения об абиотических и биотических факторах получены из открытых баз данных <https://www.fao.org/> (данные о почве), <https://neo.gsfc.nasa.gov/> (индекс NDVI), <https://dwtkns.com/srtm30m/> (цифровая модель рельефа), <https://worldclim.org> (климатические данные), которые широко используются в эколого-пространственных исследованиях [4–6]. Всего использовано 119 доступных авторам эдафических, орографических, климатических и биотических факторов с разрешением 1 км² на пиксель, за исключением индекса NDVI, который имеет разрешение 100 км² на пиксель. Этот растр, доступный для авторов, вероятно, может снизить точность модели, но незначительно. Как показано далее, NDVI, будучи информативным фактором, не входит в число самых значимых.

Модели экологических ниш очагов построены с использованием элемента искусственного интеллекта (ИИ), различные системы которого широко используются в мире для решения медицинских и са-



Рис. 1. Граница между Прикаспийским песчаным и Дагестанским равнинно-предгорным природными очагами чумы обозначена стрелкой

Fig. 1. The boundary between the Precaspian sandy and Dagestan plain-piedmont natural foci of plague is marked by an arrow

нитарных задач [7]. Математическая основа описана в [8, 9]. Программа написана на языке Python 3.10 В.М. Дубянским. При обработке данных используются все доступные факторы окружающей среды исходя из концепции моделирования экологической ниши [10].

Важными особенностями элемента ИИ являются:

– возможность вычисления информативности экологических факторов в относительно коротких рядах (например, экологическая ниша паразитарной системы Дагестанского равнинно-предгорного природного очага чумы построена на 9 участках выявления эпизоотий – матрица 119×9);

– многомерный анализ влияния факторов: учитывается не только вероятная связь каждого фактора с паразитарной системой очага, но и взаимное влияние факторов друг на друга для каждого пикселя раstra.

Фактор считается информативным, если он обнаруживает большую степень различия распределений при двух дифференцируемых состояниях объекта исследования.

Информативность фактора выражается в безразмерных числовых значениях, которые тем выше, чем более информативен фактор.

Факторы, не имеющие статистически значимой информативности (ниже 0,5, согласно [9]), исключаются при расчете автоматически.

Математически обработанный результат соотношения вероятностей, при которых, при определенном количественном значении фактора, эпизоотия регистрируется или не регистрируется, выражается безразмерной величиной – диагностическим коэффициентом, положительным или отрицательным соответственно. Количественные значения факторов исследуются не в абсолютных значениях, а в диапазонах [9, 11].

Каждый пиксель раstra модели имеет числовое значение, равное сумме диагностических коэффициентов растров факторов, диапазоны числовых значений которых совпадают с координатами пикселя модели. Оптимумом считаются максимальные значения пикселя, а пессимумом – значения меньше шести [9, 12].

Достоверность различий рядов данных оценивали по критерию Манна – Вилкоксона – Уитни.

Результаты и обсуждение

В результате расчета получены неполные реализованные экологические ниши Хатчинсона [13, 14] на паразитарных системах Прикаспийского песчаного и Дагестанского равнинно-предгорного природных очагов чумы (табл. 1).

Экологические ниши еще более заметно различаются, если их ранжировать по информативности факторов. Для экономии места в табл. 2 представлен

Таблица 1 / Table 1

Основные сходства и различия экосистем очагов
Main similarities and differences of the ecosystems of the foci

Факторы Factors	Прикаспийский песчаный природный очаг чумы (43) Precaspian sandy natural focus of plague (43)	Дагестанский равнинно-предгорный природный очаг чумы (03) Dagestan plain-piedmont natural focus of plague (03)	Конкретное сходство или различие Specific similarity or difference
Всего информативных факторов Total informative factors	113	104	
В том числе Biovariables* Including Biovariables	19	19	
Эдо-Орографические Edo-Orographic	3	3	В обоих очагах информативны: высота над уровнем моря, экспозиция склонов, тип почвы In both foci, the following are informative factors: altitude above sea level, slope exposure, soil type
NDVI-индекс в июле с 2000 по 2022 г. NDVI index in July between 2000 and 2022	22	13	
Интенсивность солнечной радиации по месяцам, Вт/м² Monthly solar radiation intensity, W/m²	12	12	
Среднемесячная температура воздуха, °C Average monthly air temperature, °C	11	11	Неинформативны: в очаге 43 – декабрь, в очаге 03 – январь Non-informative: in focus 43 – December, in focus 03 – January
Максимальная температура воздуха по месяцам, °C Maximum air temperature by month, °C	12	12	
Минимальная температура воздуха по месяцам, °C Minimum air temperature by month, °C	10	11	Неинформативны: в очаге 43 – октябрь, ноябрь, в очаге 03 – октябрь Non-informative: in the focus 43 – October, November; in the focus 03 – October
Давление водяного пара, Па Water vapor pressure, Pa	12	11	Неинформативны: в очаге 03 – ноябрь Non-informative: in the focus 03 – November
Скорость ветра, м/с Wind speed, m/s	12	12	

Примечание: * русские названия факторов представлены в табл. 3.
Note: * Russian names of factors are presented in Table 3.

Таблица 2 / Table 2

Информативность факторов окружающей среды в изучаемых очагах
Informative factors of the environment in the studied areas

Дагестанский равнинно-предгорный природный очаг Precaspian sandy natural focus of plague		Прикаспийский песчаный природный очаг Dagestan plain-piedmont natural focus of plague	
Фактор Factor	Информативность Informative value	Фактор Factor	Информативность Informative value
1	2	3	4
SoilsHWSD2.asc	7,20496445	SoilsHWSD2.asc	7,720778564
bio_15.asc	3,4293454	srاد_05.asc	3,635607444
elevation.asc	3,410078686	bio_8.asc	3,429769209
exposition.asc	3,234821222	srاد_12.asc	3,408989948
srاد_03.asc	2,556903437	srاد_08.asc	3,392722435
bio_16.asc	2,530230476	bio_12.asc	3,385820627
bio_8.asc	2,502544501	bio_16.asc	3,351367693
srاد_08.asc	2,492501186	srاد_04.asc	3,288859211

Окончание табл. 2 / Ending of table 2

1	2	3	4
srad_09.asc	2,484097488	srad_09.asc	3,168406765
srad_04.asc	2,479442676	bio_15.asc	3,152157942
srad_07.asc	2,434458179	Bio_4.asc	3,148585221
srad_10.asc	2,341077657	srad_10.asc	3,096477082
bio_4.asc	2,339585153	srad_07.asc	3,060875156
srad_11.asc	2,310131101	srad_02.asc	2,9548148
srad_01.asc	2,288146497	bio_17.asc	2,876652112
bio_19.asc	2,277741742	srad_11.asc	2,864689156
srad_12.asc	2,272432403	bio_18.asc	2,858399619
srad_02.asc	2,268475136	srad_06.asc	2,832234604
bio_12.asc	2,267092832	NDVI_2021_07.asc	2,788006084
srad_06.asc	2,2392171	srad_03.asc	2,708064928
bio_13.asc	2,165214958	srad_01.asc	2,699988224
srad_05.asc	2,066239877	bio_13.asc	2,663024069
bio_11.asc	1,956703879	NDVI_2020_07.asc	2,403925752
bio_14.asc	1,905132924	bio_19.asc	2,400551881
bio_17.asc	1,847117611	tavg_03.asc	2,374181784

фрагмент выходной таблицы моделей экосистем очагов из 25 факторов. Факторы ранжированы в порядке уменьшения информативности. Данные иллюстрируют заметные различия ниш по вкладу образующих их факторов. Например, в первые 25 факторов, важнейших для Дагестанского равнинно-предгорного очага, входят высота над уровнем моря и экспозиция

склонов (elevation и exposition) при отсутствии индекса NDVI. Для Прикаспийского песчаного очага, наоборот, отсутствуют высота и экспозиция склонов, зато появляется индекс NDVI.
Названия использованных факторов приведены в соответствии с теми базами данных, откуда они получены. Их расшифровка дана в табл. 3.

Таблица 3 / Table 3

Расшифровка названий факторов
Decodification of the names of factors

Краткое название Short name	Полное название Full name
1	2
Bio_1	Среднегодовая температура воздуха / Annual mean temperature
Bio_2	Среднесуточная амплитуда / Average daily amplitude
Bio_3	Изотермальность / Isothermality
Bio_4	Температурная сезонность / Temperature seasonality
Bio_5	Максимальная температура наиболее теплого месяца / Max temperature of the warmest month
Bio_6	Минимальная температура наиболее холодного месяца / Min temperature of the coldest month
Bio_7	Годовая амплитуда температур / Temperature range during the year
Bio_8	Средняя температура наиболее влажного квартала / Mean temperature of the wettest quarter
Bio_9	Средняя температура наиболее сухого квартала / Mean temperature of the driest quarter
Bio_10	Средняя температура наиболее теплого квартала / Mean temperature of the warmest quarter
Bio_11	Средняя температура наиболее холодного квартала / Mean temperature of the coldest quarter
Bio_12	Годовые осадки / Annual precipitation
Bio_13	Количество осадков в наиболее влажный месяц / Precipitation level of the wettest month
Bio_14	Количество осадков в наиболее сухой месяц / Precipitation level of the driest month
Bio_15	Сезонность осадков / Precipitation seasonality
Bio_16	Количество осадков в наиболее влажный квартал / Precipitation level of the wettest quarter
Bio_17	Количество осадков в наиболее сухой квартал / Precipitation level of the driest quarter
Bio_18	Количество осадков в наиболее теплый квартал / Precipitation level of the warmest quarter

Окончание табл. 3 / Ending of table 3

1	2
Bio_19	Количество осадков в наиболее холодный квартал / Precipitation level of the coldest quarter
srad_01 srad_12	Величина солнечной радиации с 1-го по 12-й месяцы / The amount of solar radiation from the 1st to the 12th month
Elevation	Высота над уровнем моря / Elevation
Exposition	Экспозиция склонов / Slope exposure
NDVI_2000_07,,,NDVI2022_07	NDVI-индекс в июле с 2000 по 2022 г. / NDVI index in July between 2000 and 2022
SoilsHWSD2	Почвы / Soils

Сумма информативности факторов Дагестанского равнинно-предгорного очага чумы равна 156,07, Прикаспийского песчаного – 194,67.

Итоговые экологические ниши очагов представлены на рис. 2. Градиент красного – оптимум, градиент синего – пессимум паразитарной системы очагов.

О сложности пространственной структуры экологической ниши можно судить по статистике пикселей моделей очагов (табл. 4).

Для определения границы между очагами не удастся использовать только космический снимок (рис. 1), так как:

- определение границы может быть субъективным и неточным из-за видимой сложной конфигурации, фрагментации и взаимопроникновения ландшафтов;
- непонятно направление изменения границы между очагами: севернее, в сторону Прикаспийского песчаного, или южнее, в сторону Дагестанского равнинно-предгорного очага.

Визуально ландшафты выглядят примерно одинаково, поэтому определение границы все же требует статистического подтверждения различия территорий очагов, для чего и проводилось моделирование.

Количество факторов и их ранжирование по информативности, суммарная величина информативности заметно различаются для исследуемых очагов, что говорит о значимой разнице в экосистемах. Это подтверждается описательной статистикой растров модели (табл. 3). Значение стандартного отклонения можно использовать для характеристики сложности растровой модели [15]. Из этого параметра видно, что сложность модели Прикаспийского песчаного природного очага значительно выше, чем Дагестанского равнинно-предгорного, то есть для Прикаспийского песчаного природного очага чумы характерна неоднородность экосистемы: количество участков разной степени оптимальности для циркуляции возбудителя чумы в 1,5 раза больше, чем у Дагестанского равнинно-предгорного очага. Такие участки могут иметь различный статус: ландшафтно-эпизоотологического района или формально включенные в территорию очага, но не принадлежащие ему. В данной статье рассматривается только территория, прилегающая к границам между очагами.

На территории Прикаспийского песчаного природного очага основная часть эпизоотийных участков расположена на оптимуме территории. В то же

время прибрежная зона, от Кизлярского залива и южнее, окрашена в светлые тона. На этой территории также отмечено несколько десятков эпизоотийных участков, несмотря на то, что оптимальной для циркуляции микроба чумы эту зону назвать нельзя.

Начиная с южной стороны Кизлярского залива и до существующей границы очагов отмечается территория с пониженным оптимумом для циркуляции возбудителя чумы, площадью примерно 4900 км². Условно эту территорию можно назвать северной частью дельты р. Терек.

Различия в градиенте между этой территорией и граничными участками подтверждаются критерием Манна – Вилкоксона – Уитни ($p < 0,0001$). Градиенты различаются достаточно резко, без переходной зоны.

Напротив, оптимум экосистемы Дагестанского равнинно-предгорного природного очага чумы полностью перекрывает как северную часть дельты р. Терек, так и прибрежные эпизоотийные участки вдоль Кизлярского залива. Это объясняет циркуляцию микроба чумы на данных участках: они относятся к Дагестанскому равнинно-предгорному природному очагу чумы, наряду с северной дельтой р. Терек.

Как дополнительный аргумент в пользу того, что северная часть дельты р. Терек относится к Дагестанскому равнинно-предгорному природному очагу чумы, можно считать тот факт, что здесь отсутствует полуденная песчанка. На территории Прикаспийского песчаного природного очага полуденная песчанка – один из основных носителей микроба чумы.

Резкое различие градиентов позволяет достаточно четко прочертить границу между экосистемами очагов (рис. 3). Предлагаемая нами граница вычерчена по границам секторов первичных районов, что не сильно отличается от естественных границ, но не усложняет организацию эпизоотологического обследования очагов.

Таким образом, изучаемый участок предлагается отнести к Дагестанскому равнинно-предгорному природному очагу чумы.

Предполагаемое изменение границы между очагами в определенной степени совпадает с визуальными границами более или менее озелененной зоны на рис. 1. Используемый нами подход позволил, во-первых, избежать субъективности при очерчивании предлагаемой линии границы между очагами, во-вторых, обосновать, в пользу какого очага дол-

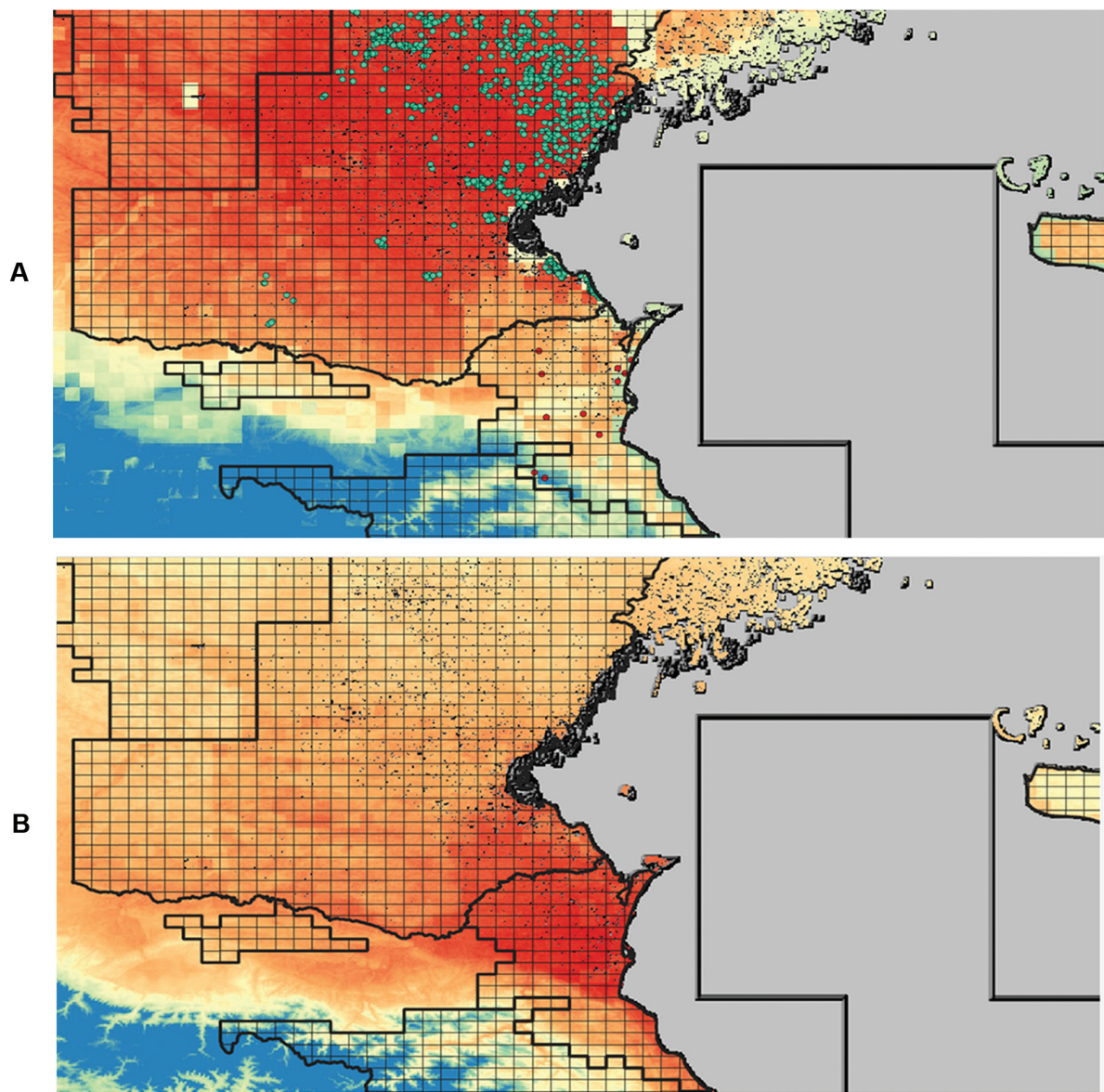


Рис. 2. Экологические ниши (градиент красного – оптимум, синего – пессимум) Прикаспийского песчаного (А) и Дагестанского равнинно-предгорного (В) природных очагов чумы. Зелеными точками отмечены эпизоотийные участки на территории Прикаспийского песчаного природного очага чумы, красными точками – эпизоотийные участки на территории Дагестанского равнинно-предгорного природного очага чумы

Fig. 2. Ecological niches (red gradient – optimum, blue gradient – pessimum) of the Precaspian sandy (A) and Dagestan plain-piedmont (B) natural foci of plague. Green dots indicate epizootic areas in the Precaspian sandy natural focus of plague, while red dots indicate epizootic areas in the Dagestan plain-piedmont natural focus of plague

Таблица 4 / Table 4

Статистика растров экологических ниш Прикаспийского песчаного и Дагестанского равнинно-предгорного природных очагов чумы

Raster statistics of ecological niches of the Precaspian sandy natural focus of plague and Dagestan plain-piedmont natural focus of plague

Статистика Statistics	Прикаспийский песчаный природный очаг чумы Precaspian sandy natural focus of plague	Дагестанский равнинно-предгорный природный очаг чумы Dagestan plain-piedmont natural focus of plague
Минимальное значение Minimum value	–351,80	–437,95
Максимальное значение Maximum value	603,61	527,56
Диапазон Range	955,42	965,51
Среднее значение Mean value	258,62	210,09
Стандартное отклонение Standard deviation	145,70	90,75

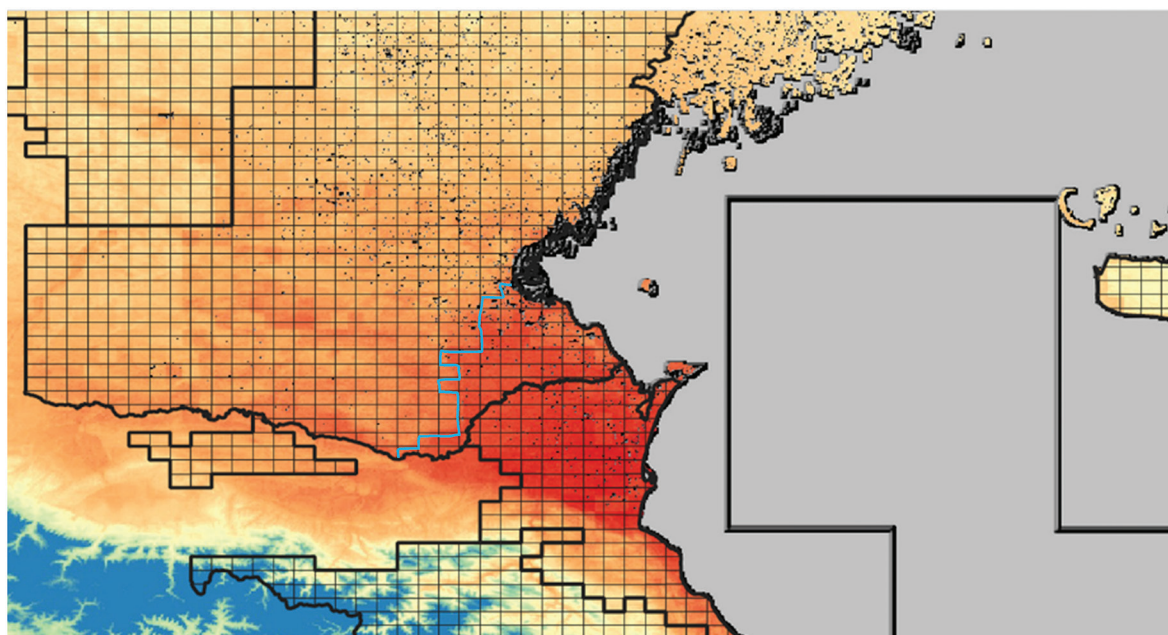


Рис. 3. Синей линией показана предлагаемая граница между очагами

Fig. 3. The blue line shows the proposed boundary between the foci

жен быть отнесен изучаемый участок территории. Действительно, при изучении космического снимка и при выезде непосредственно на обследуемый участок определено, что территории севернее и южнее основного русла р. Терек практически не отличаются. Поэтому было непонятно, куда сдвигать границу: на север или на юг. Моделирование показало, что изучаемый участок должен относиться к Дагестанскому равнинно-предгорному природному очагу чумы.

Предложены изменения границы между очагами, максимально учитывающие комплексы экологических факторов, характерные для каждого очага.

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

1. Онищенко Г.Г., Кутырев В.В., редакторы. Природные очаги чумы Кавказа, Прикаспия, Средней Азии и Сибири. М.: Медицина; 2004. 191 с.
2. Дятлов А.И., Антоненко А.Д., Грижебовский Г.М., Лабунец Н.Ф. Природная очаговость чумы на Кавказе. Ставрополь; 2001. 345 с.
3. Попова А.Ю., Кутырев В.В., редакторы. Кадастр эпидемических и эпизоотических проявлений чумы на территории Российской Федерации и стран ближнего зарубежья (с 1876 по 2016 год). Саратов; 2016. 248 с.
4. Лисовский А.А., Дудов С.В., Оболенская Е.В. Преимущества и ограничения методов экологического моделирования ареалов. 1. Общие подходы. *Журнал общей биологии*. 2020; 81(2):123–34. DOI: 10.31857/S0044459620020037.
5. Шарый П.А. Факторы среды в предсказательном картографировании почв (обзор). *Почвоведение*. 2023; (3):285–99. DOI: 10.31857/S0032180X22100380.
6. Романовская А.А., редактор. Оценка потоков парниковых газов в экосистемах регионов Российской Федерации. М.; 2023. 344 с.
7. Кузин А.А., Глушаков Р.И., Парфенов С.А., Сапожников К.В., Лазарев А.А. Разработка системы прогноза развития ин-

фекционных заболеваний на основе искусственного интеллекта. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2023; 8(3):143–54. DOI: 10.23946/2500-0764-2023-8-3-143-154.

8. Генес В.С. Некоторые простые методы кибернетической обработки данных диагностических и физиологических исследований. М.: Наука; 1967. 208 с.

9. Гублер Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. Л.: Медицина; 1978. 296 с.

10. Малахов Д.В. ГИС-моделирование экологической ниши: вызовы и решения. *Selevinia*. 2022; 30:105–16.

11. Дубянский М.А., Кенжебаев А., Степанов В.М., Асенов Г.А., Дубянская Л.Д. Прогнозирование эпизоотической активности чумы в Приаралье и Кызылкумах. Нукус: Каракалпакстан; 1992. 240 с.

12. Одум Ю.П. Экология. Т. 2. М.: Мир; 1986. 376 с.

13. Begon M., Townsend C.R., Harper J.L. Ecology: From Individuals to Ecosystems. Malden: Blackwell, Google Scholar; 2006.

14. Пиянка Э. Эволюционная экология. М.: Мир; 1981. 400 с.

15. Bates J.E., Shepard H.K. Measuring complexity using information fluctuation. *Physics Letters A*. 1993; 172(6):416–25. DOI: 10.1016/0375-9601(93)90232-o.

References

1. Onishchenko G.G., Kutirev V.V., editors. [Natural Plague Foci in the Territory of Caucasus, Caspian Sea Region, Central Asia and Siberia]. Moscow: "Medicine"; 2004. 191 p.
2. Dyatlov A.I., Antonenko A.D., Grizhebovsky G.M., Labunets N.F. [Natural Focalities of Plague in the Caucasus]. Stavropol; 2001. 345 p.
3. Popova A.Yu., Kutirev V.V., editors. [Cadastre of Epidemic and Epizootic Manifestations of Plague in the Territory of the Russian Federation and Former Soviet Union (1876–2016)]. Saratov; 2016. 248 p.
4. Lisovsky A.A., Dudov S.V., Obolenskaya E.V. [Advantages and limitations of ecological modeling methods for habitats. 1. General approaches]. *Zhurnal Obshchei Biologii [Journal of General Biology]*. 2020; 81(2):123–34. DOI: 10.31857/S0044459620020037.
5. Shary P.A. [Environmental factors in predictive soil mapping (review)]. *Pochvovedenie [Soil Science]*. 2023; (3):285–99. DOI: 10.31857/S0032180X22100380.
6. Romanovskaya A.A., editor. [Assessment of Greenhouse Gas Fluxes in Ecosystems of the Regions of the Russian Federation]. Moscow; 2023. 344 p.
7. Kuzin A.A., Glushakov R.I., Parfenov S.A., Sapozhnikov K.V., Lazarev A.A. [Development of an artificial intelligence system for the forecasting of infectious diseases]. *Fundamental'naya i Klinicheskaya Meditsina [Fundamental and Clinical Medicine]*. 2023; 8(3):143–54. DOI: 10.23946/2500-0764-2023-8-3-143-154.

8. Geness V.S. [Some Simple Methods of Cybernetic Data Processing in Diagnostic and Physiological Research]. Moscow: "Nauka"; 1967. 208 p.

9. Gubler E.V. [Computational Methods of Analysis and Recognition of Pathological Processes]. Leningrad: "Medicine"; 1978. 296 p.

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

11. Dubyansky M.A., Kenzhebaev A., Stepanov V.M., Asenov G.A., Dubyanskaya L.D. [Prediction of Plague Epizootic Activity in the Aral Sea Region and Kyzyl Kum]. Nukus: Karakalpakstan; 1992. 240 p.

12. Odum Yu.P. [Ecology]. Vol. 2. Moscow: "Mir"; 1986. 376 p.

13. Begon M., Townsend C.R., Harper J.L. Ecology: From Individuals to Ecosystems. Malden: Blackwell, Google Scholar; 2006.

14. Piyanka E. [Evolutionary Ecology]. Moscow: "Mir"; 1981. 400 p.

15. Bates J.E., Shepard H.K. Measuring complexity using information fluctuation. *Physics Letters A*. 1993; 172(6):416–25. DOI: 10.1016/0375-9601(93)90232-o.

Authors:

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

Khalidov A.Kh., Kas'yan A.A. Dagestan Plague Control Station. 13d, Gagarin St., Makhachkala, 367000, Russian Federation.

Об авторах:

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

Халидов А.Х., Касьян А.А. Дагестанская противочумная станция. Российская Федерация, 367000, Махачкала, ул. Гагарина, 13д.