

DOI: 10.21055/0370-1069-2024-1-135-140

УДК 616.98:579.842.23:614.4

У.М. Ашибокон<sup>1</sup>, В.М. Дубянский<sup>1</sup>, О.В. Семенко<sup>1</sup>, А.Ю. Газиева<sup>1</sup>, О.А. Белова<sup>1</sup>, А.А. Кесьян<sup>2</sup>,  
А.Х. Халидов<sup>2</sup>, А.А. Ветошкин<sup>2</sup>, Н.В. Викторова<sup>3</sup>, А.А. Кулик<sup>4</sup>

## Опыт использования MaxEnt-модели для ранжирования территории Прикаспийского песчаного природного очага чумы (43) по риску регистрации эпизоотий

<sup>1</sup>ФКУЗ «Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт», Ставрополь, Российская Федерация; <sup>2</sup>ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция», Махачкала, Российская Федерация; <sup>3</sup>ФКУЗ «Астраханская противочумная станция», Астрахань, Российская Федерация; <sup>4</sup>ФКУЗ «Элистинская противочумная станция», Элиста, Российская Федерация

Цель работы – ранжирование территории Прикаспийского песчаного природного очага чумы (43) по риску возникновения эпизоотий с использованием MaxEnt-модели. **Материалы и методы.** При создании модели использованы архивные данные Ставропольского противочумного института, Дагестанской, Элистинской, Астраханской противочумных станций по эпизоотическим проявлениям чумы в очаге за последние 35 лет. Преобразованы в систему координат 615 архивных точек выявления чумы (с 1980 по 2015 г.). Для построения MaxEnt-модели использованы 87 общедоступных биоклиматических переменных BioClim. Погодно-климатические факторы базы BioClim являются усредненными за многолетний период. **Результаты и обсуждение.** Полученная MaxEnt-модель имеет очень высокую степень достоверности (AUC=0,975) с достаточно большой прогностической способностью (AUC=0,973). Согласно полученной модели, Прикаспийский песчаный природный очаг чумы имеет неоднородную структуру по вероятности регистрации эпизоотий и может быть разделен на пять зон. Наиболее значимыми факторами для модели являются следующие показатели: средняя температура самого влажного квартала, солнечное излучение в ноябре, средняя температура самого сухого квартала, количество осадков в самом холодном квартале, скорость ветра в мае, количество осадков самого влажного квартала и средняя температура воздуха в сентябре. Полученные данные дают возможность для целенаправленного поиска эпизоотий чумы и в дальнейшем могут быть использованы для корректировки границ изучаемого природного очага.

**Ключевые слова:** чума, природный очаг, MaxEnt-модель, ранжирование, эпизоотии, основные носители, основные переносчики.

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

Для цитирования: Ашибокон У.М., Дубянский В.М., Семенко О.В., Газиева А.Ю., Белова О.А., Кесьян А.А., Халидов А.Х., Ветошкин А.А., Викторова Н.В., Кулик А.А. Опыт использования MaxEnt-модели для ранжирования территории Прикаспийского песчаного природного очага чумы (43) по риску регистрации эпизоотий. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2024; 1:135–140. DOI: 10.21055/0370-1069-2024-1-135-140

Поступила 18.12.2023. Принята к публ. 01.02.2024.

U.M. Ashibokov<sup>1</sup>, V.M. Dubyansky<sup>1</sup>, O.V. Semenko<sup>1</sup>, A.Yu. Gazieva<sup>1</sup>, O.A. Belova<sup>1</sup>, A.A. Kes'yan<sup>2</sup>,  
A.Kh. Khalidov<sup>2</sup>, A.A. Vetoshkin<sup>2</sup>, N.V. Viktorova<sup>3</sup>, A.A. Kulik<sup>4</sup>

## The Experience in Using the MaxEnt Model to Rank the Territory of the Caspian Sandy Natural Plague Focus (43) according to the Risk of Epizooty Registration

<sup>1</sup>Stavropol Research Anti-Plague Institute, Stavropol, Russian Federation;

<sup>2</sup>Dagestan Plague Control Station, Makhachkala, Russian Federation;

<sup>3</sup>Astrakhan Plague Control Station, Astrakhan, Russian Federation;

<sup>4</sup>Elista Plague Control Station, Elista, Russian Federation

**Abstract.** The aim of this work was to rank the territory of the Caspian sandy natural plague focus (43) by the risk of epizooty emergence using the MaxEnt model. **Materials and methods.** The archival data on epizootic manifestations of plague over the past 35 years, aggregated by the Stavropol Anti-Plague Institute of the Rospotrebnadzor, the Dagestan, Elista, Astrakhan PCSs of the Rospotrebnadzor, were used for model design. 615 archive plague detection points were converted into the coordinate system (1980–2015). 87 publicly available bioclimatic variables BioClim were deployed to construct the MaxEnt model. Applied weather and climatic factors of the BioClim database are averaged over a multi-year period. **Results and discussion.** The MaxEnt model has a very high degree of reliability (AUC=0.975), with a sufficiently high predictive ability (AUC=0.973). According to the generated model, the Caspian sandy natural plague focus has a heterogeneous structure in terms of the probability of epizooty registration and can be divided into five zones. The most significant factors for the model are the following indicators: the average temperature of the wettest quarter, solar radiation in November, the average temperature of the driest quarter, the amount of precipitation in the coldest quarter, wind speed in May, the amount of precipitation in the wettest quarter, and the average air temperature in September. The data obtained allow for targeted search for plague epizootics and can be used to adjust boundaries of a surveyed natural focus in the future.

**Key words:** plague, natural focus, MaxEnt model, ranking, epizooties, main carriers, main vectors.

*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:* Ashibokov U.M., Dubyansky V.M., Semenko O.V., Gazieva A.Yu., Belova O.A., Kes'yan A.A., Khalidov A.Kh., Vetoshkin A.A., Viktorova N.V., Kulik A.A. The Experience in Using the MaxEnt Model to Rank the Territory of the Caspian Sandy Natural Plague Focus (43) according to the Risk of Epizooty Registration. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2024; 1:135–140. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2024-1-135-140  
Received 18.12.2023. Accepted 01.02.2024.

Ashibokov U.M., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9197-588X>  
Dubyansky V.M., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3817-2513>  
Semenko O.V., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6018-3262>

Gazieva A.Yu., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8775-0087>  
Belova O.A., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3624-7913>

На территории Российской Федерации расположены 11 природных очагов чумы. Повышение эффективности эпизоотологического обследования как основы эпиднадзора за чумой является актуальной задачей и требует постоянного внедрения новых технологий. В настоящее время основными методами относительно быстрой оценки ситуации в очаге чумы для планирования работы групп эпизоотического обследования и мер неспецифической профилактики остаются автомобильные и пешие рекогносцировки, а также использование данных учетов и результатов обследования в предшествующий период.

Космические средства дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) получили сейчас широкое применение во всем мире. Растет разнообразие создаваемых типов космических аппаратов ДЗЗ и общее их количество [1]. В мировой практике средства ДЗЗ успешно применяются в целях мониторинга и контроля различных по своей природе явлений, относимых к биологическим опасностям [2–6].

Начиная с 2006 г. в эпиднадзор за чумой стали внедрять методы дистанционного зондирования Земли из космоса [7, 8] с наземной дешифровкой, позволяющие, в отличие от ранее использовавшихся способов, оценить обстановку на территории всего очага чумы или его большей части.

Следующим шагом повышения эффективности эпизоотологического обследования должно быть выявление участков с наибольшей вероятностью регистрации эпизоотий и целенаправленного обследования именно этих участков, то есть ранжирование территории очага по риску возникновения эпизоотий.

Прикаспийский песчаный природный очаг чумы (43) как самостоятельный выделен из Прикаспийского Северо-Западного степного природного очага (14) в 1987 г., занимает западную часть Прикаспийской низменности. В ландшафтном отношении очаговая территория представляет собой наклонную в сторону Каспийского моря слабохолмистую равнину [9].

Основными носителями возбудителя чумы являются гребенщикова песчанка *Meriones tamariscinus* и полуденная песчанка *Meriones meridianus*, переносчиками – блохи *Neopsylla setosa* и *Nosopsyllus laeviceps*. До середины прошлого столетия Прикаспийский песчаный природный очаг чумы проявлял высокую эпизоотическую активность [10]. Последние эпизоотии отмечены в 2015 г. С тех пор очаг находится в межэпизоотическом периоде, и не-

обходимо вовремя обнаружить начало нового эпизоотического цикла.

При выполнении данной работы мы исходили из положения, известного для трансмиссивной теории передачи возбудителя чумы, о том, что энзоотийность очага мозаична. Однако широко используемый при ранжировании территорий очагов индекс эпизоотичности не может быть объективным критерием [11]. Поэтому требуются новые, статистически обоснованные пространственные модели ранжирования очаговой территории по риску регистрации эпизоотий чумы.

Для большинства существующих в настоящее время методов биоклиматического моделирования необходимо наличие географических координат как точек присутствия, так и точек отсутствия. Одним из методов моделирования, не требующим координат точек отсутствия, является метод максимальной энтропии – MaxEnt. Данный метод ищет закономерности распределения значений факторов среды в точках, где доказано обнаружение вида, в данной работе это эпизоотийные точки. В качестве точек присутствия используются координаты мест регистрации вида (эпизоотийные точки) и предикторы – растровые географические данные, описывающие пространственную изменчивость факторов среды на всей территории исследования. Один растровый слой – один фактор среды [12].

**Цель работы** – ранжирование территории Прикаспийского песчаного природного очага чумы (43) по риску возникновения эпизоотии с использованием MaxEnt-модели.

## Материалы и методы

Для ранжирования территории Прикаспийского песчаного природного очага чумы использовался метод максимальной энтропии (MaxEnt), который подробно описывается в работах S.J. Phillips *et al.* [12, 13].

При создании MaxEnt-модели проанализированы и использованы архивные данные Ставропольского противочумного института, Дагестанской, Элистинской, Астраханской противочумных станций Роспотребнадзора по эпизоотическим проявлениям чумы в очаге за последние 35 лет. Переведены 615 архивных точек эпизоотических проявлений чумы из азимутов и километров в систему координат (с 1980 по 2015 г.).

Использованы 87 общедоступных биоклиматических переменных BioClim WorldClim.org [14]. Погодно-климатические факторы базы BioClim являются усредненными за многолетний период [15].

Для предварительной подготовки данных с помощью программы ArcGis созданы слои (растры), которые приведены к единому размеру и формату (\*.asc). Обработка данных проводилась в программе QGIS v3.14. Для тестирования полученной модели использовали 25 % точек. Достоверность модели оценивали с использованием кривой AUC. Значение AUC выше 0,75 и ближе к единице означает высокую степень достоверности [16].

В работе мы используем термин «структура очага», подразумевая пространственное распределение на территории очага абиотических факторов, использованных в построении модели и связанных с его эпизоотической активностью.

### Результаты и обсуждение

Согласно полученным данным, модель можно оценить как очень хорошую (AUC=0,975) (рис. 1), проверка модели показала достаточно высокую прогностическую способность (AUC=0,973).

На рис. 2 представлена полученная MaxEnt-модель, в которой выделяются пять зон, градиент к

красному соответствует оптимальности условий для регистрации эпизоотий чумы. Для наиболее благоприятных участков вероятность составляет 0,8452, наименее – 0,0001. В местах, отмеченных синим и зеленым цветом, условия для регистрации эпизоотий отсутствуют (0,0000). Фиолетовыми точками указаны эпизоотийные точки с 1980 г.

Из полученной модели видно, что участки с наиболее благоприятными условиями для возникновения эпизоотий в подавляющем большинстве концентрируются вокруг эпизоотийных точек. В то же время выражена мозаичность очаговой территории и четкое разделение на несколько участков, зависящих от градиента факторов окружающей среды.

Рис. 2 достаточно нагляден, поэтому отметим только основные результаты:

- территория очага делится на пять зон по риску выявления эпизоотий, пространственная ось очага направлена с юго-запада на северо-восток;
- на большей части очаговой территории низкая вероятность регистрации эпизоотий (на модели градиент до желтого цвета);
- четко выделена центральная часть (территория с наибольшей вероятностью регистрации эпизоотий);
- юго-западная часть очага имеет самую низкую вероятность регистрации эпизоотий (зона 1),

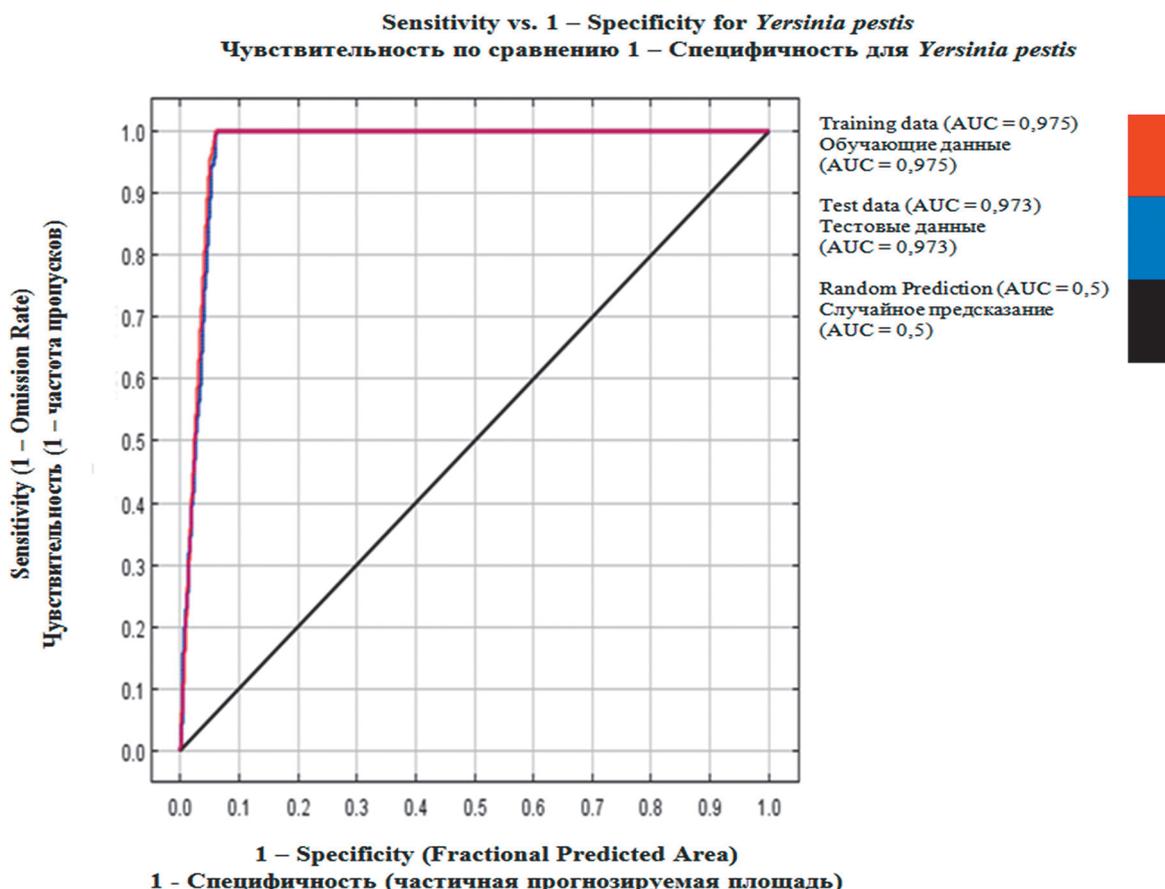


Рис. 1. ROC-кривая анализа полученной модели для тренировочных и тестовых данных

Fig. 1. ROC curve for the generated model analysis for training and test data

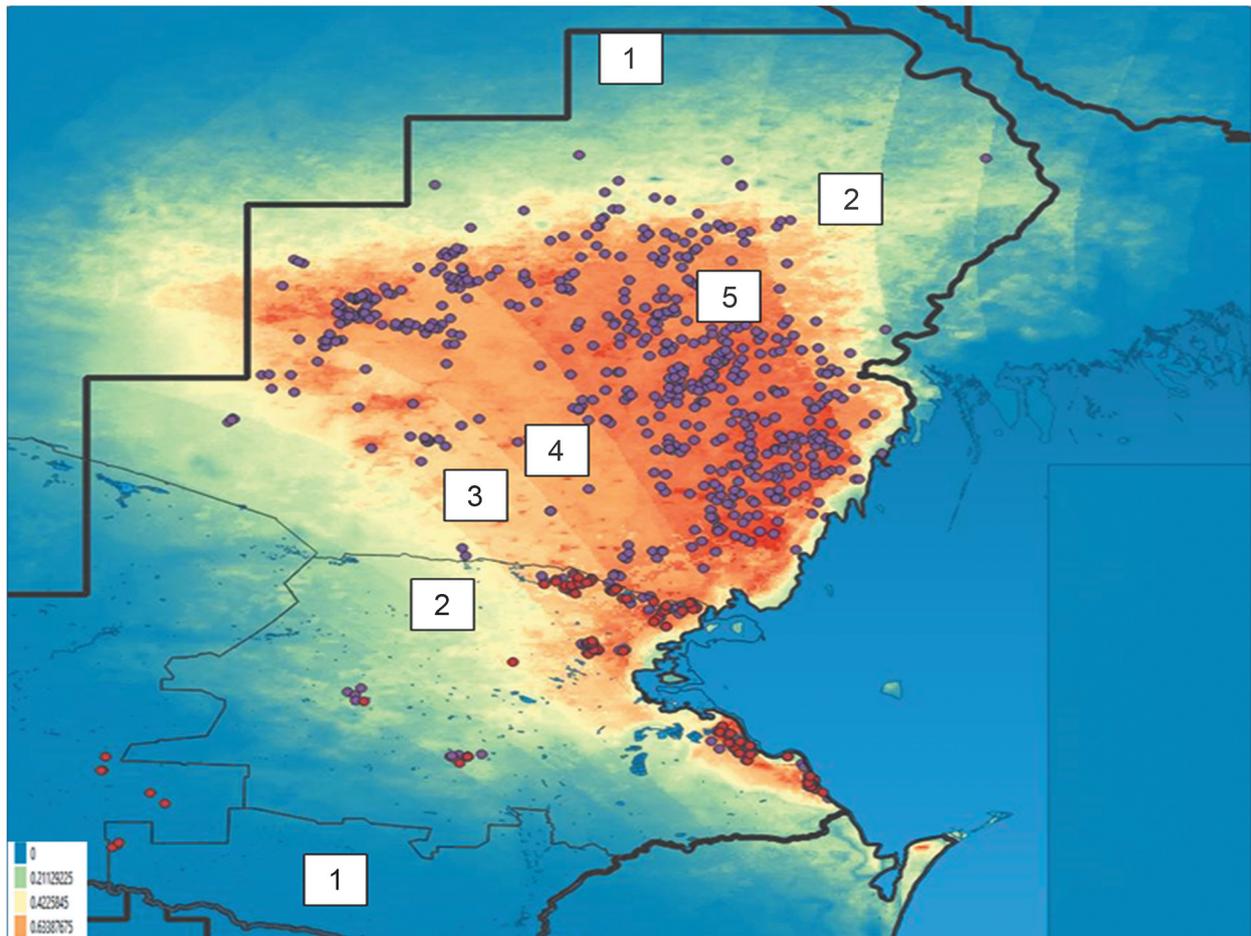


Рис. 2. MaxEnt-модель ранжирования Прикаспийского песчаного природного очага чумы по риску возникновения эпизоотий. Зоны обозначены цифрами: от самой низкой (1) до самой высокой (5) вероятности регистрации эпизоотий

Fig. 2. MaxEnt model of ranking the Caspian sandy natural plague focus according to the risk of plague epizootics. The zones are marked by figures: from the lowest (1) to the highest (5) probability of epizooty recording

затем градиент следует по оси очага с четким разделением на еще три зоны (2, 3, 4) к центральной части (зона 5), далее вероятность последовательно снижается (зоны 2, 1);

– участки, перспективные для поиска эпизоотий, наиболее выражены в зонах 3, 4, 5;

– вероятно корректировка границ с Прикаспийским Северо-Западным степным очагом в сторону увеличения площади очага и исключения из очаговой территории южной части.

В таблице представлены семь наиболее значимых климатических факторов в MaxEnt-модели для Прикаспийского песчаного природного очага чумы. Процентный вклад остальных факторов незначительный или равен нулю.

Из значимых факторов комплексными являются: средняя температура самого влажного и самого сухого кварталов, количество осадков в самом холодном и самом влажном кварталах, средняя температура воздуха в сентябре. Соотношение этих параметров меняется в ходе глобального изменения климата. Можно предположить, что эпизоотическая активность очага, так же как и его структура, меняются в

**Значимость факторов в MaxEnt-модели для Прикаспийского песчаного природного очага чумы**  
**Significance of factors in the MaxEnt model for the Caspian sandy natural plague focus**

Переменная Variable	Процентный вклад Interest contribution
био_8 Средняя температура самого влажного квартала bio_8 Mean air temperature of the wettest quarter	36,7
srad_11 Солнечное излучение в ноябре srad_11 Solar radiation in November	17,9
био_9 Средняя температура самого сухого квартала bio_9 Mean air temperature of the driest quarter	11,5
био_19 Количество осадков в самом холодном квартале bio_19 Mean monthly precipitation amount of the coldest quarter	8,5
ветер_05 Скорость ветра в мае wind_05 Wind speed in May	7,5
био_16 Количество осадков самого влажного квартала bio_16 Mean monthly precipitation amount of the wettest quarter	5,9
tavg_09 Средняя температура воздуха в сентябре tavg_09 Mean air temperature in September	4,1

настоящее время и будут подвержены заметным изменениям в будущем.

Эпизоотические проявления чумы в Ставропольской части очага имели место в 1993, 1999, 2000 и 2001 гг., хотя это территория с низкой вероятностью регистрации эпизоотий. Для понимания причин этого следует отметить, что в MaxEnt-модели используются усредненные за 50 лет данные по погодноклиматическим факторам. Как известно, реальный разброс значений из года в год может отклоняться от среднего на величину трех среднеквадратичных отклонений, то есть очень сильно. Для изучаемого природного очага значимыми для возникновения эпизоотических проявлений чумы являются биотические факторы [17], поэтому, на наш взгляд, при высокой численности основных носителей такие участки являются зонами выноса эпизоотий. Следовательно, в годы эпизоотий в Ставропольском крае погодноклиматические условия, так же как и популяционные характеристики носителей и переносчиков, вероятно, соответствовали оптимальным, что и позволило обнаружить эпизоотии.

Полученная модель имеет достаточно высокую степень достоверности ( $AUC=0,975$ ) с достаточно высокой прогностической способностью ( $AUC=0,973$ ). Согласно полученной MaxEnt-модели, Прикаспийский песчаный природный очаг чумы имеет неоднородную структуру по вероятности регистрации эпизоотий и может быть разделен на пять зон.

Наиболее значимыми факторами являются средняя температура самого влажного квартала, солнечное излучение в ноябре, средняя температура самого сухого квартала, количество осадков в самом холодном квартале, скорость ветра в мае, количество осадков самого влажного квартала и средняя температура воздуха в сентябре.

Полученные данные дают возможность для целенаправленного поиска эпизоотий чумы и в дальнейшем могут быть использованы для корректировки границ данного природного очага.

Использование усредненных биоклиматических данных за 50 лет объясняется тем, что нами проводилось не прогнозирование эпизоотической активности очага, а ранжирование территории с целью поиска оптимальных условий для регистрации эпизоотий.

В то же время существенным недостатком полученной MaxEnt-модели является отсутствие данных о численности носителей и переносчиков возбудителя чумы в нужном для моделирования формате.

**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. Бектурганова М.Б., Литвиненко М.Ю., Маховых И.А., Немилостев Н.Д., Пономаренко А.С., Рудер В.П., Сартин С.А., Шоканова Д.К., Щукина В.Н. Основные направления примене-

ния данных ДЗЗ в Северо-Казахстанской области. *Актуальные вопросы современной науки*. 2013; 29:34–49.

2. Kitron U., Kazmierczak J.J. Spatial analysis of the distribution of Lyme disease in Wisconsin. *Am. J. Epidemiol.* 1997; 145(6):558–66. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aje.a009145.

3. Thomson M.C., Connor S.J., Milligan P.J., Flasse S.P. The ecology of malaria – as seen from Earth-observation satellites. *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 1996; 90(3):243–64. DOI: 10.1080/00034983.1996.11813050.

4. Hielkama J.U., Roffey J., Tucker C.J. Assessment of ecological conditions associated with the 1980/81 desert locust plague upsurge in West Africa using environmental satellite data. *Int. J. Remote Sens.* 1986; 7(11):1609–22.

5. Rahman A., Kogan F., Roytman L., Goldberg M., Guo W. Modelling and prediction of malaria vector distribution in Bangladesh from remote-sensing data. *Int. J. Remote Sens.* 2011. 32(5):1233–51. DOI: 10.1080/01431160903527447.

6. Addink E.A., de Jong S.M., Davis S.A., Dobyanskiy V., Leirs H. Using very high spatial resolution remote sensing to monitor and combat outbreaks of bubonic plague in Kazakhstan. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brasil, 25–30 abril 2009. INPE. P. 7529–36.

7. Бурделов Л.А., Дубянский В.М., Davis S., Addink E.A., de Jong S.M., Ageev B.C., Leirs H., Stenseth N.C., Begon M., Heier L., Мека-Меченко В.Г., Поле Д.С., Сапожников В.И., Алипбаев А.К. Перспективы использования дистанционного зондирования в эпиднадзоре за чумой. *Карантинные и зоонозные инфекции в Казахстане*. 2007; 1-2:11–7.

8. Дубянский В.М. Концепция использования ГИС-технологий и дистанционного зондирования в эпиднадзоре за чумой. *Врач и информационные технологии*. 2012; 2:42–6.

9. Ралль Ю.М. Палеогенезис природных очагов чумы в связи с географией носителей-грызунов. В кн.: Воронов А.Г., Страутман Ф.И., редакторы. Проблемы зоогеографии суши. Львов: Изд-во Львов. ун-та; 1958. С. 216–20.

10. Попова А.Ю., Кутырев В.В., редакторы. Атлас природных очагов чумы России и зарубежных государств. Калининград: ПА Полиграфичъ; 2022. 348 с.

11. Онищенко Г.Г., Кутырев В.В., редакторы. Природные очаги чумы Кавказа, Прикаспия, Средней Азии и Сибири. М.: Медицина; 2004. 191 с.

12. Phillips S.J., Dudík M. Modeling of species distributions with Maxent: new extension and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 2008; 31(2):161–75. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.

13. Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.* 2006; 190(3-4):231–59. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.

14. Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 2017; 37(12):4302–15. DOI: 10.1002/joc.5086.

15. Kriticos D.J., Jarošik V., Ota N. Extending the suite of BIOCLIM variables: a proposed registry system and case study using principal components analysis. *Methods Ecol. Evol.* 2014; 5(9):956–60. DOI: 10.1111/2041-210X.12244.

16. Araújo M.B., Pearson R.G., Thuiller W., Erhard M. Validation of species-climate impact models under climate change. *Glob. Change Biol.* 2005; 11(9):1504–13. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x.

17. Дубянский В.М., Халидов А.Х. Эколого-эпизоотологическая дифференциация природных очагов чумы. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2021; 4:62–6. DOI: 10.21055/0370-1069-2021-4-62-66.

#### References

1. Bekturganova M.B., Litvinenko M.Yu., Makhovykh I.A., Nemilostev N.D., Ponomarenko A.S., Ruder V.P., Sartin S.A., Shokanova D.K., Shchukina V.N. [The main areas of application of remote sensing data in the North Kazakhstan Region]. *Aktual'nye Voprosy Sovremennoi Nauki [Relevant Issues of Modern Science]*. 2013; (29):34–49.

2. Kitron U., Kazmierczak J.J. Spatial analysis of the distribution of Lyme disease in Wisconsin. *Am. J. Epidemiol.* 1997; 145(6):558–66. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aje.a009145.

3. Thomson M.C., Connor S.J., Milligan P.J., Flasse S.P. The ecology of malaria – as seen from Earth-observation satellites. *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 1996; 90(3):243–64. DOI: 10.1080/00034983.1996.11813050.

4. Hielkama J.U., Roffey J., Tucker C.J. Assessment of ecological conditions associated with the 1980/81 desert locust plague upsurge in West Africa using environmental satellite data. *Int. J. Remote Sens.* 1986; 7(11):1609–22.

5. Rahman A., Kogan F., Roytman L., Goldberg M., Guo W. Modelling and prediction of malaria vector distribution in Bangladesh from remote-sensing data. *Int. J. Remote Sens.* 2011. 32(5):1233–51. DOI: 10.1080/01431160903527447.

6. Addink E.A., de Jong S.M., Davis S.A., Dubyanskiy V., Leirs H. Using very high spatial resolution remote sensing to monitor and combat outbreaks of bubonic plague in Kazakhstan. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brasil, 25–30 abril 2009. INPE. P. 7529–36.
7. Burdelov L.A., Dubyansky V.M., Davis S., Addink E.A., de Jong S.M., Ageyev V.S., Leirs H., Stenseth N.C., Begon M., Heier L., Meka-Mechenko V.G., Pole D.S., Sapozhnikov V.I., Alipbaev A.K. [Prospects for the use of remote sensing in plague surveillance]. *Karantinnye i Zoonoznye Infektsii v Kazakhstane [Quarantine and Zoonotic Infections in Kazakhstan]*. 2007; (1-2):11–7.
8. Dubyansky V.M. [The concept of using GIS technologies and remote sensing in plague surveillance]. *Vrach i Informatsionnye Tekhnologii [Information Technologies for the Physician]*. 2012; (2):42–6.
9. Rall Yu.M. [Paleogenesis of natural plague foci in connection with the geography of rodent carriers]. In: Voronov A.G., Strautman F.I., editors. [Problems of Zoogeography of the Land]. Lvov: Publishing house of the Lvov University; 1958. P. 216–20.
10. Popova A.Yu., Kutyrev V.V., editors. [Atlas of Natural Plague Foci of Russia and Foreign Countries]. Kaliningrad: “Poligrafych”; 2022. 348 p.
11. Onishchenko G.G., Kutyrev V.V., editors. [Natural Plague Foci in the Territory of Caucasus, Caspian Sea Region, Central Asia and Siberia]. Moscow: “Medicine”; 2004. 191 p.
12. Phillips S.J., Dudik M. Modeling of species distributions with Maxent: new extension and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 2008; 31(2):161–75. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.
13. Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.* 2006; 190(3-4):231–59. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
14. Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 2017; 37(12):4302–15. DOI: 10.1002/joc.5086.
15. Kriticos D.J., Jarošik V., Ota N. Extending the suite of BIOCLIM variables: a proposed registry system and case study using principal components analysis. *Methods Ecol. Evol.* 2014; 5(9):956–60. DOI: 10.1111/2041-210X.12244.
16. Araújo M.B., Pearson R.G., Thuiller W., Erhard M. Validation of species-climate impact models under climate change. *Glob. Change Biol.* 2005; 11(9):1504–13. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x.
17. Dubyansky V.M., Khalidov A.Kh. [Ecological and epidemiological differentiation of natural plague foci]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2021; (4):62–6. DOI: 10.21055/0370-1069-2021-4-62-66.

**Authors:**

*Ashibokov U.M., Dubyansky V.M., Semenko O.V., Gazieva A.Yu., Belova O.A.* Stavropol Research Anti-Plague Institute. 13–15, Sovetskaya St., Stavropol, 355035, Russian Federation. E-mail: stavnipchi@mail.ru.

*Kes'yan A.A., Khalidov A.Kh., Vetoshkin A.A.* Dagestan Plague Control Station. 13d, Gagarina St., Makhachkala, 367000, Russian Federation. E-mail: dagchum\_tr@mail.ru.

*Viktorova N.V.* Astrakhan Plague Control Station. 3a, Kubanskaya St., Astrakhan, 414000, Russian Federation. E-mail: antichum@astranet.ru.

*Kulik A.A.* Elista Plague Control Station. PO Box 28, Main Post Office, Elista, 358000, Russian Federation.

**Об авторах:**

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

*Кесьян А.А., Халидов А.Х., Ветешкин А.А.* Дагестанская противочумная станция. Российская Федерация, 367000, Махачкала, ул. Гагарина, 13д. E-mail: dagchum\_tr@mail.ru.

*Викторова Н.В.* Астраханская противочумная станция. Российская Федерация, 414000, Астрахань, ул. Кубанская, 3а. E-mail: antichum@astranet.ru.

*Кулик А.А.* Элистинская противочумная станция. Российская Федерация, 358000, Элиста, Главпочтамт, а/я 28.