

<https://doi.org/10.31631/2073-3046-2023-22-6-72-80>

## Ранжирование территории г. Сочи по риску заражения ГЛПС с использованием метода максимальной энтропии

Е. В. Чехвалова<sup>1</sup>, Е. А. Манин<sup>\*2</sup>, А. Н. Куличенко<sup>2</sup><sup>1</sup> Сочинский филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Краснодарском крае», г. Сочи<sup>2</sup> ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора, г. Ставрополь

### Резюме

**Актуальность.** Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС) ввиду тяжести течения и высокой летальности представляет серьезную угрозу для здоровья населения г. Сочи и его гостей. Поэтому для осуществления более эффективных и менее экономически затратных противоэпидемических и профилактических мероприятий очень важно постоянно осуществлять мониторинг активности природного очага ГЛПС, а также иметь четкое представление о территориях наибольшего риска заражения. **Цель.** Оценка эпидемиологической значимости г. Сочи, риск заражения ГЛПС с помощью метода максимальной энтропии с применением географической информационной системы. **Материалы и методы.** В работе использованы: данные о положительных эпизоотологических находках (всего 131) в 2016–2021 гг., которые были получены из Сочинского филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Краснодарском крае», Сочинского отделения ФКУЗ «Причерноморская противочумная станция» Роспотребнадзора, а также ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора; информация об окружающей среде (банк данных Bioclimate и о вегетационном индексе растительности за 9 месяцев (<https://land.copernicus.eu/global/products/NDVI>)). Предварительную подготовку информации осуществляли с помощью программы ArcGIS 10.8. В качестве инструмента для построения обучающей модели использовалась программа MaxEnt версии 3.4.4 ([https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)). **Результаты и обсуждение.** Практическая реализация поставленных задач заключалась в получении карт эпидемиологической значимости территории по риску заражения ГЛПС путем наложения точек встречаемости вида (переносчика ГЛПС и его резервуара) на карты абиотических факторов среды, оказывающих влияние на его распространение. Основные этапы работы: первый – сбор, обобщение и преобразование биоклиматических и эпизоотолого-эпидемиологических данных; второй – отбор наиболее значимых для построения модели данных; третий – ранжирование территории г. Сочи по риску распространения ГЛПС с использованием ГИС (географическая информационная система); четвертый – проведение анализа полученных результатов. В ходе выполнения работы получена модель, позволяющая разделить исследуемую территорию по степени риска заражения ГЛПС с высокой степенью достоверности и значимой прогностической ценностью. **Выводы.** Использование модели позволяет получить новые, более детальные с пространственной точки зрения данные о границах потенциально опасных в аспекте ГЛПС участков региона. В особенности это касается тех территорий, где ранее не отмечались положительные эпизоотологические находки и случаи заражения ГЛПС.

**Ключевые слова:** геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, эпидемиологическая значимость территории, г. Сочи, MaxEnt, географические информационные системы

Конфликт интересов не заявлен.

**Для цитирования:** Чехвалова Е. В., Манин Е. А., Куличенко А. Н. Ранжирование территории г. Сочи по риску заражения ГЛПС с использованием метода максимальной энтропии. *Эпидемиология и Вакцинопрофилактика*. 2023;22(6):72-80. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2023-22-6-72-80>

### Ranking of the Territory of Sochi by the Risk of Infection with HFRS Using the Method of Maximum Entropy

EV Chehvalova<sup>1</sup>, EA Manin<sup>\*2</sup>, AN Kulichenko<sup>2</sup><sup>1</sup> Sochy branch of FBHI «Center for Hygiene and Epidemiology in the Krasnodar Territory», Sochi, Russia<sup>2</sup> Federal Government Health Institution Stavropol Plague Control Research Institute of the Rospotrebnadzor, Stavropol, Russia

### Abstract

**Relevance.** Hemorrhagic fever with renal syndrome (HFRS), due to the severity of the course and high mortality, poses a serious threat to the health of the population of both the city of Sochi and its guests. Therefore, in order to implement more effective and less

\* Для переписки: Манин Евгений Анатольевич, к. м. н., врач-эпидемиолог лаборатории эпидемиологии, ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора, 355035, Ставропольский край, г. Ставрополь, ул. Советская, 13-15. +7 (918) 871-64-26, relax27@yandex.ru. ©Чехвалова Е. В. и др.

\*\* For correspondence: Manin Evgeny A., Cand. Sci. (Med.), Epidemiologist of the Laboratory of Epidemiology Federal Government Health Institution «Stavropol Plague Control Research Institute» of the Rospotrebnadzor. 13-15, Sovetskaya str., Stavropol, Stavropol territory, 355035, Russia. +7 (918) 871-64-26, relax27@yandex.ru. ©Chehvalova EV, et al.

economically costly anti-epidemic and preventive measures, it is very important to constantly monitor the activity of the natural focus of HFRS, as well as to have a clear idea of the territories most dangerous for the risk of infection with this infection. **Aims.** Assessment of the epidemiological significance of the territory of the city of Sochi for the risk of infection with HFRS based on the maximum entropy method using a geographical information system. **Materials & Methods.** Based on the application of the maximum entropy algorithm implemented in the MaxEnt program, as well as the ArcGIS 10 program. Ranking of the territory of the city of Sochi according to the risk of infection with HFRS was performed. The paper uses: data on positive epizootological findings (a total of 131) for 2016-2021, which were obtained from the Sochi branch of the Federal Medical Institution «Center of Hygiene and Epidemiology in the Krasnodar Territory», the Sochi branch of the Federal Medical Institution «Black Sea Plague Station» of Rospotrebnadzor, as well as the Stavropol Plague Control Research Institute of the Rospotrebnadzor; materials on environmental conditions from the Bioclim data bank, vegetation index for 9 months (<https://land.copernicus.eu/global/products/NDVI>). Preliminary preparation of the information was carried out using the ArcGIS 10 program. As a tool for building a training model, the MaxEnt program version 3.4.4 was used ([https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)). **Results and discussion.** The practical implementation of the tasks was to obtain maps of the epidemiological significance of the territory for the risk of infection with HFRS by superimposing the points of occurrence of the species (reservoir and carrier of HFRS) on maps of abiotic environmental factors affecting its spread. The implementation of this work consisted of the sequential implementation of four main stages: the first – the collection, generalization and transformation of bioclimatic and epizootic-epidemiological data; the second – the selection of the most significant data for the construction of the model; the third – the ranking of the territory of the city of Sochi on the risk of the spread of HFRS using GIS; the fourth is the analysis of the data obtained. In the course of the work, a model was obtained that allows dividing the study area according to the degree of risk of infection with HFRS with a high degree of reliability and significant prognostic value. **Conclusions.** The use of the model makes it possible to obtain new, more detailed data from a spatial point of view on the boundaries of potentially dangerous sites in the region in terms of GLPS. In particular, this applies to those territories where positive epizootological findings and cases of infection with HFRS have not been previously noted.

**Keywords:** hemorrhagic fever with renal syndrome, epidemiological significance of the territory, the city of Sochi, MaxEnt, geographical information systems

No conflict of interest to declare.

**For citation:** Chehvalova EV, Manin EA, Kulichenko AN. Ranking of the territory of Sochi by the risk of infection with HFRS using the method of maximum entropy. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2023;22(6):72-80 (In Russ.). <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2023-22-6-72-80>

## Введение

Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС) – вирусный нетрансмиссивный зооноз, широко распространенный в Евразии, занимающий одно из ведущих мест среди всех природно-очаговых инфекций (ПОИ) в России [1].

Клинически диагностируемые формы ГЛПС у людей регистрируются только в странах Евразии и вызываются вирусами, относящимися к роду Orthohantavirus (семейство Hantaviridae, отряд Bunyavirales). К ним относятся вирусы Хантаан, Амур, Сеул, циркулирующие на территории Азии, включая дальневосточные регионы России, а также вирус Пуумала, регистрируемый на Европейской территории, и 4 геноварианта вируса Добрава/Белград, из которых вирусы Сочи и Куркино регистрируют в России, вирусы Саарема, Куркино, Добрава – в европейских странах [2]. Все они генетически значительно отличаются друг от друга, поддерживая свое существование в природе посредством шести разных видов мышевидных грызунов, являющихся источниками заражения людей [3].

Территория г. Сочи имеет протяженность вдоль черноморского побережья около 99 км и включает в свой состав 4 района: Лазаревский, Центральный, Хостинский, Адлерский. Комфортные природно-климатические условия и ландшафтно-географические особенности, а также развитая

структура рекреационно-спортивных комплексов, способствуют притоку в данный регион большого количества временного контингента, включающего не только жителей России, но и гостей из других стран мира. При этом возникают условия для более тесного контакта населения с переносчиками возбудителей инфекций, что способствует активизации механизмов передачи патогенов и сказывается на эпидемиологической ситуации [4].

Впервые в г. Сочи этиологическое подтверждение случая заболевания ГЛПС получено в 2000 г. С 2001 г. началось углубленное изучение инфекции. В результате молекулярно-генетических исследований была установлена циркуляция нового для России патогенного для человека хантавируса Добрава/Белград, который обуславливает тяжелое клиническое течение болезни. Установлена эпидемиологическая значимость кавказской лесной мыши как основного природного хозяина этого вируса и источника заражения людей [5,6].

За последние пять лет, с 2017 г. по 2021 г., в г. Сочи зарегистрировано 16 случаев (2017 г. – 4 случая, 2018 г. – 7, 2019 г. – 5, 2020 г. – 0, 2021 – 0). В результате анализа было установлено, что все больные – жители г. Сочи, которые связывали инфицирование с работой или отдыхом в местных природных биотопах или с наличием мышевидных грызунов по месту проживания.

## Original Articles

Активность природного очага ГЛПС в регионе подтверждается ежегодными эпизоотологическими находками. С 2017 г. по 2021 г. мониторинг хантавирусов проводился в Адлерском, Лазаревском, Центральном и Хостинском районах г. Сочи. Исследование материала проводили методами ПЦР, РНИФ, ИФА. Положительные пробы были обнаружены на всех обследованных территориях, однако максимальное их количество регистрировалось в Адлерском районе. Всего с 2017 г. по 2021 г. выявлено 116 положительных проб (2017 г. – 34, 2018 г. – 71, 2019 г. – 8, 2020 г. – 2, 2021 г. – 1 положительная проба).

Учитывая факт, что ни специфического лечения, ни вакцины на сегодняшний день нет, а территория природного очага расположена в одной из самых посещаемых рекреационных зон России, ГЛПС ввиду тяжести течения представляет серьезную угрозу здоровью населения как самого региона, так и его гостей. Поэтому для осуществления более эффективных и экономически незатратных противоэпидемических и профилактических мероприятий очень важно постоянно осуществлять мониторинг активности природного очага ГЛПС, а также иметь четкое представление о территориях, наиболее опасных по риску заражения данной инфекцией.

В качестве инструмента, позволяющего ранжировать территорию г. Сочи по риску возникновения ГЛПС, использован метод максимальной энтропии, реализованный в программе MaxEnt. Предложенная методика дает возможность проводить обработку зоолого-паразитологических данных (положительные находки по ГЛПС) в совокупности с биоклиматическими данными обследуемой территории, результатом которой является модель возможного распространения носителей и переносчиков ГЛПС, которая ложится в основу ранжирования территории по степени эпидемического риска.

**Цель исследования** – оценка эпидемиологической значимости территории г. Сочи по риску заражения ГЛПС с помощью метода максимальной энтропии с применением географической информационной системы.

### Материалы и методы

В качестве обучающей выборки использованы данные положительных эпизоотологических находок (всего 131) за 2016–2020 гг., которые были получены из Сочинского филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Краснодарском крае», Сочинского отделения ФКУЗ «Причерноморская противочумная станция» Роспотребнадзора, а также ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора. Вся собранная информация обобщена в электронной базе данных «Эпизоотология ГЛПС в г. Сочи» в программе Microsoft Excel 2019 с привязкой к местности с использованием интернет-ресурса Google Maps (<https://www.google.ru/maps>).

Данные, характеризующие окружающую среду, были взяты из банка данных Bioclim (<http://www.worldclim.org/bioclim>). Для учета состояния растительности были использованы спутниковые данные по значению вегетационного индекса растительности (NDVI – нормализованный вегетационный) за 9 месяцев (<https://land.copernicus.eu/global/products/NDVI>) [7].

Предварительную подготовку данных – обрезку по границе территории, приведение всех растров к единому размеру (1 км<sup>2</sup>), конвертирование в формат ASC осуществляли с помощью программы ArcGIS 10.8.

В качестве инструмента построения обучающей модели использовалась программа MaxEnt версии 3.4.4 ([https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)), основанная на применении алгоритма максимальной энтропии для оценки вероятностного распределения видов [8,9]. Это математический подход машинного обучения, который основывается на наборах данных только о присутствии вида для моделирования его потенциального распространения [10,11].

Оценку полученной модели осуществляли с помощью тестирующей выборки, путем случайного разделения положительных находок, из которых 75% (98 точек) были выбраны для построения модели, а оставшиеся 25% (33 точки) – отложены для проверки.

С целью получения более точного результата в ходе эксперимента было получено 10 реплицированных моделей, медиана которых легла в основу окончательной карты потенциального риска заражения ГЛПС в г. Сочи.

Для оценки прогностических возможностей полученной модели использовали Receiver Operating Curve (ROC) – анализ, который позволяет оценить качество бинарной классификации и отражает соотношение между долей объектов от общего количества носителей признака (все положительные объекты, влияющие на прогноз) и долей объектов, не несущих признака (предположительные ошибки, которые не влияют на прогноз). Для количественной оценки ROC используется критерий AUC – это оценка способности модели указывать присутствие вида в той точке растра, где он с высокой долей вероятности должен находиться.

Интерпретация AUC для полученных моделей осуществлялась в соответствии с подходом, предложенным M.V. Araújo (2005): свыше 0,9 – отличная (т.е., обладающая высокой прогностической способностью); равная или менее 0,9, но более 0,8 – хорошая; равная или менее 0,8, но более 0,7 – приемлемая; равная или менее 0,7, но более 0,6 – плохая и, наконец; равная или менее 0,6, но более 0,5 – недействительная.

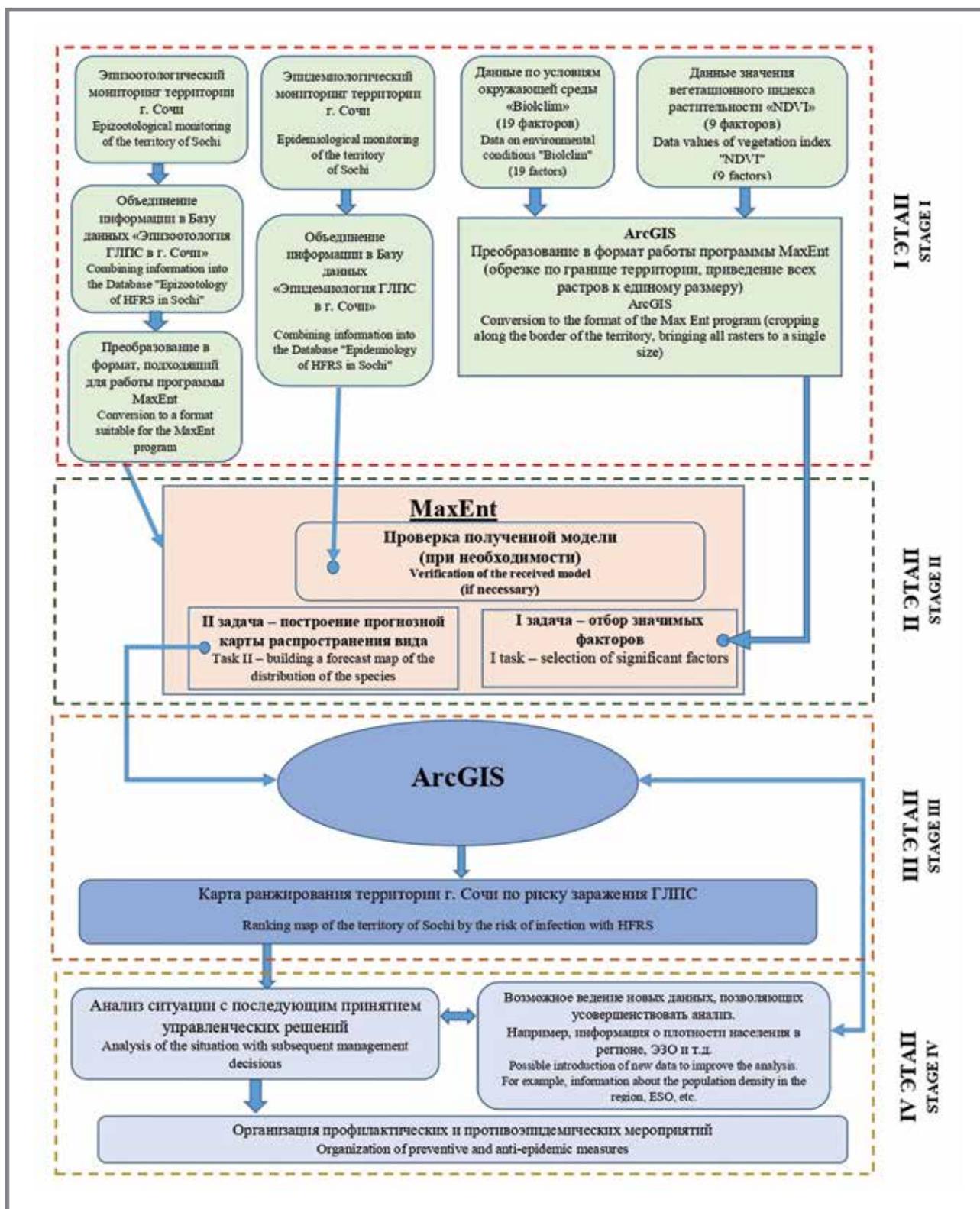
Карта ранжирования территории г. Сочи по риску заражения ГЛПС была создана путем проецирования полученной с помощью MaxEnt модели на карту г. Сочи в программе ArcGIS 10.8.

## Результаты и обсуждение

Чтобы оценить территории г. Сочи по риску заражения ГЛПС, следует понять, какие критерии необходимо использовать для получения качественной модели, потребуется определение «природный очаг» рассмотреть с точки зрения экологической ниши. В формулировке Э. Хатчинсона

«экологическая ниша» – это область комбинаций таких значений факторов среды, в пределах которой данный вид может существовать неограниченно долго [12,13]. Если же экологическую нишу рассматривать в картографическом представлении, то это фрагмент земной поверхности, пригодный для существования вида с учетом влияния всех

**Рисунок 1. Алгоритм оценки эпидемиологической значимости территории г. Сочи по риску заболевания ГЛПС**  
**Figure 1. Algorithm for assessing the epidemiological significance of the territory of Sochi for the risk of HFRS disease**



## Original Articles

лимитирующих на его распространение факторов среды. Исходя из этого, практическая реализация поставленных задач заключается в возможности получения карт эпидемиологической значимости территории по риску заражения ГЛПС за счет наложения точек встречаемости вида (резервуара и переносчика ГЛПС) на карты абиотических факторов среды, оказывающих влияние на его распространение [14]. Выполнение настоящей работы складывалось из последовательного выполнения четырех основных этапов, объединенных в алгоритм, представленный на рисунке 1.

Первый этап заключался в сборе, обобщении и преобразовании биоклиматических данных,

а также данных, полученных при эпизоотолого-эпидемиологическом мониторинге территории г. Сочи.

Второй этап – создание модели распространения ГЛПС в г. Сочи. Его реализация осуществлялась с использованием метода максимальной энтропии MaxEnt путем последовательного решения двух основных задач

Отбор наиболее значимых для построения модели данных. Изначально в работе был использован весь набор переменных из перечня BioClim (19 позиций) и NDVI (9). В процессе первичного моделирования программа MaxEnt автоматически выделила условную «важность» каждой переменной для итоговой модели, обозначив ее

**Таблица 1. Доля вклада биоклиматических данных в построение модели**  
**Table 1. The share of the contribution of bioclimatic data to the construction of the model**

| Переменная<br>Variable | Наименование переменной<br>Variable name  | Процентный вклад<br>Interest contribution |
|------------------------|---|---|
| bio_09                 | Средняя температура наиболее сухого квартала<br>Average temperature of the driest quarter             | 23.3                                      |
| bio_01                 | Среднегодовая температура<br>Average annual temperature   | 14.7                                      |
| bio_18                 | Осадки самого теплого квартала<br>Precipitation of the warmest quarter                                | 9.4                                       |
| bio_12                 | Среднегодовые осадки<br>Average annual precipitation  | 9.2                                       |
| ndvi_05                | Уровень вегетационной активности мая<br>The level of vegetation activity in May                       | 9   |
| ndvi_10                | Уровень вегетационной активности октября<br>The level of vegetation activity in October               | 7.8                                       |
| bio_19                 | Осадки самого холодного квартала<br>Precipitation of the coldest quarter                              | 4.8                                       |
| bio_03                 | Изотермальность<br>Isothermality  | 4.8                                       |
| bio_07                 | Среднегодовая амплитуда колебания температуры<br>Average annual amplitude of temperature fluctuations | 3.5                                       |
| ndvi_06                | Уровень вегетационной активности июня<br>The level of vegetation activity in June                     | 3.1                                       |
| bio_06                 | Минимальная температура наиболее холодного месяца<br>Minimum temperature of the coldest month         | 2.5                                       |
| bio_11                 | Средняя температура самого холодного квартала<br>Average temperature of the coldest quarter           | 2.4                                       |
| ndvi_08                | Уровень вегетационной активности августа<br>The level of vegetation activity in August                | 2.3                                       |
| ndvi_09                | Уровень вегетационной активности сентября<br>The level of vegetation activity in September            | 1.1                                       |
| bio_02                 | Среднемесячная суточная амплитуда температуры<br>Average monthly daily temperature amplitude          | 0.9                                       |
| bio_08                 | Средняя температура наиболее влажного квартала<br>Average temperature of the wettest quarter          | 0.8                                       |
| bio_10                 | Средняя температура наиболее теплого квартала<br>Average temperature of the warmest quarter           | 0.4                                       |
| bio_16                 | Осадки самого влажного квартала<br>Precipitation of the wettest quarter                               | 0.1                                       |

в процентном соотношении. Переменные, доля вклада которых составляла менее 1%, были исключены из дальнейшего анализа. Факторы окружающей среды и их относительная важность для возникновения ГЛПС представлены в таблице 1, из них первые восемь факторов обеспечили 83% совокупного вклада в модель, что указывает на их ключевую роль. К ним относятся: среднегодовая температура, средняя температура наиболее сухого квартала, осадки самого теплого и самого холодного кварталов, вегетационная активность и изотермальность.

Таким образом, определяющими являются факторы, которые непосредственно влияют на процесс формирования кормовой базы мышевидных грызунов – переносчиков возбудителя ГЛПС [15].

В ходе решения второй задачи была получена модель (рис. 2), характеризующаяся как «отличная» – обладающая высокой прогностической ценностью, о чем свидетельствует характеристика площади под кривой AUC, равная 0,919, а также результаты тестирующей выборки (AUC = 0,920) (рис. 3).

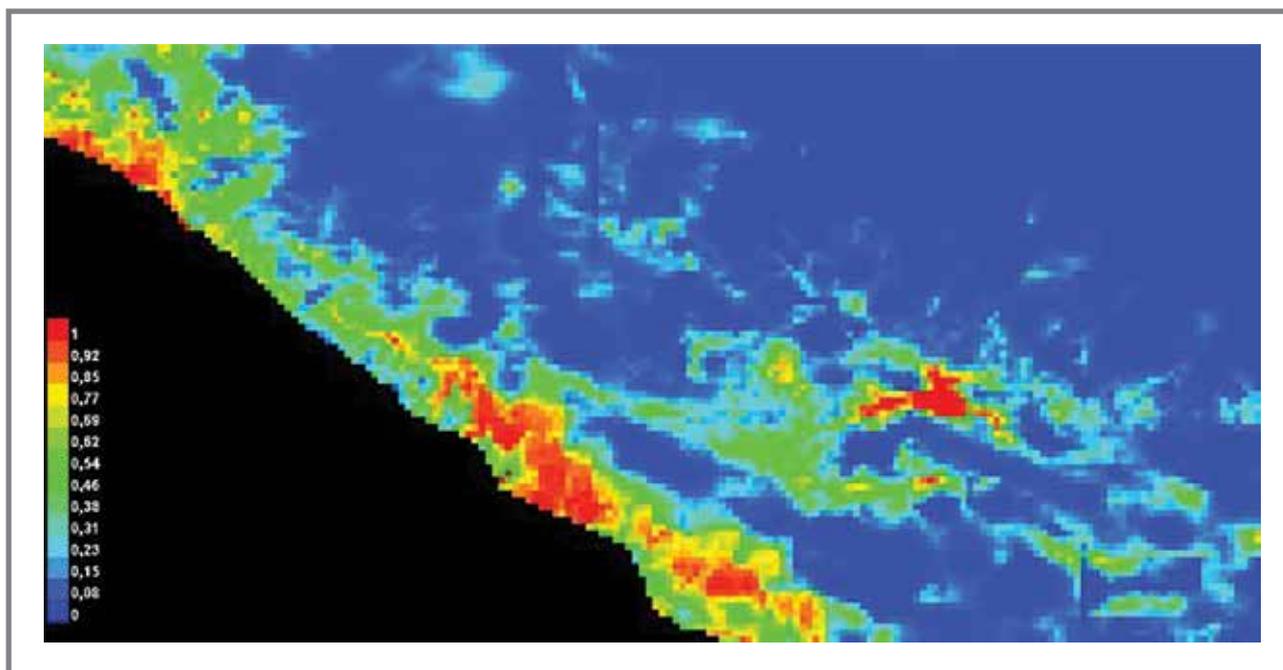
Третий этап заключался в ранжировании территории г. Сочи по риску распространения ГЛПС с использованием ГИС (географическая информационная система). На этом этапе полученная ранее модель была интегрирована в программу ArcGIS 10.8, все полученные в результате значения решетки были разбиты на классы. В связи с тем, что анализ полученных ячеек раstra показал неравномерность их распределения, выбор границ классов проводился с использованием метода «Классификации естественных границ (по

Дженксу)», при котором объекты делятся на категории, границы которых устанавливаются там, где встречаются относительно большие различия между значениями данных (для любых, подходящих под это определение). Другими словами, метод стремится уменьшить дисперсию внутри классов и максимизировать дисперсию между классами [16]. В результате были определены следующие границы классов для перехода от количественных к качественным показателям: 0–0,09 – зона очень низкого риска, 0,1–0,25 – зона низкого риска, 0,26–0,46 – зона среднего риска, 0,47–0,70 – зона высокого риска, 0,71–1 – зона очень высокого риска (рис. 4).

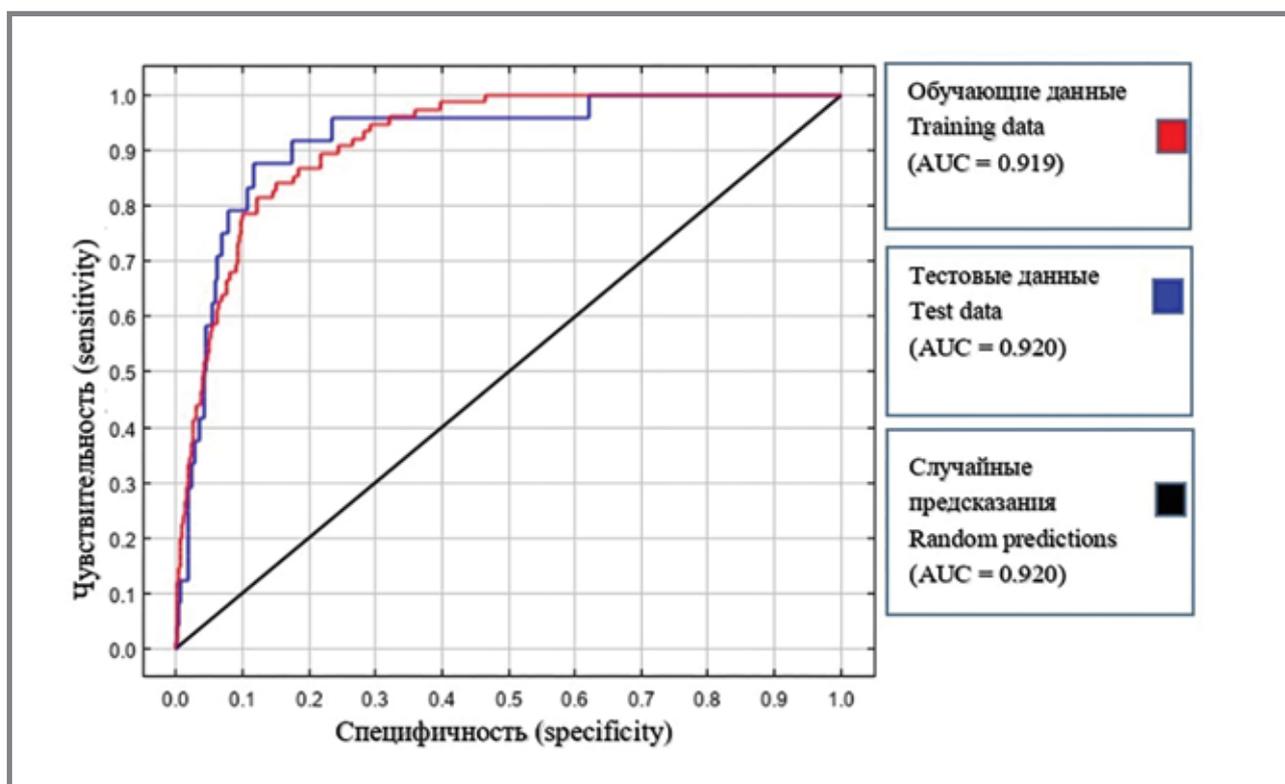
На четвертом этапе был проведен анализ полученных данных для последующей выработки тактики проведения профилактических и противоэпидемических мероприятий.

В ходе анализа установлено, что территория г. Сочи не однородна по риску заболевания ГЛПС. Наблюдаются участки очень высокого риска: северо-западная часть побережья, прибрежная часть Центрального и Адлерского района, а также поселка Красная поляна. К зонам высокого и среднего риска относится практически вся прибрежная зона Лазаревского района и большая часть Адлерского района. В ходе наложения карт плотности населения, а также информации о нахождении эпидемиологически значимых объектов (ЭЗО) было установлено, что зоны среднего, высокого и очень высокого рисков приходятся на территории, где сосредоточены места отдыха с высокой плотностью населения. Следовательно, проведение профилактических и противоэпидемических

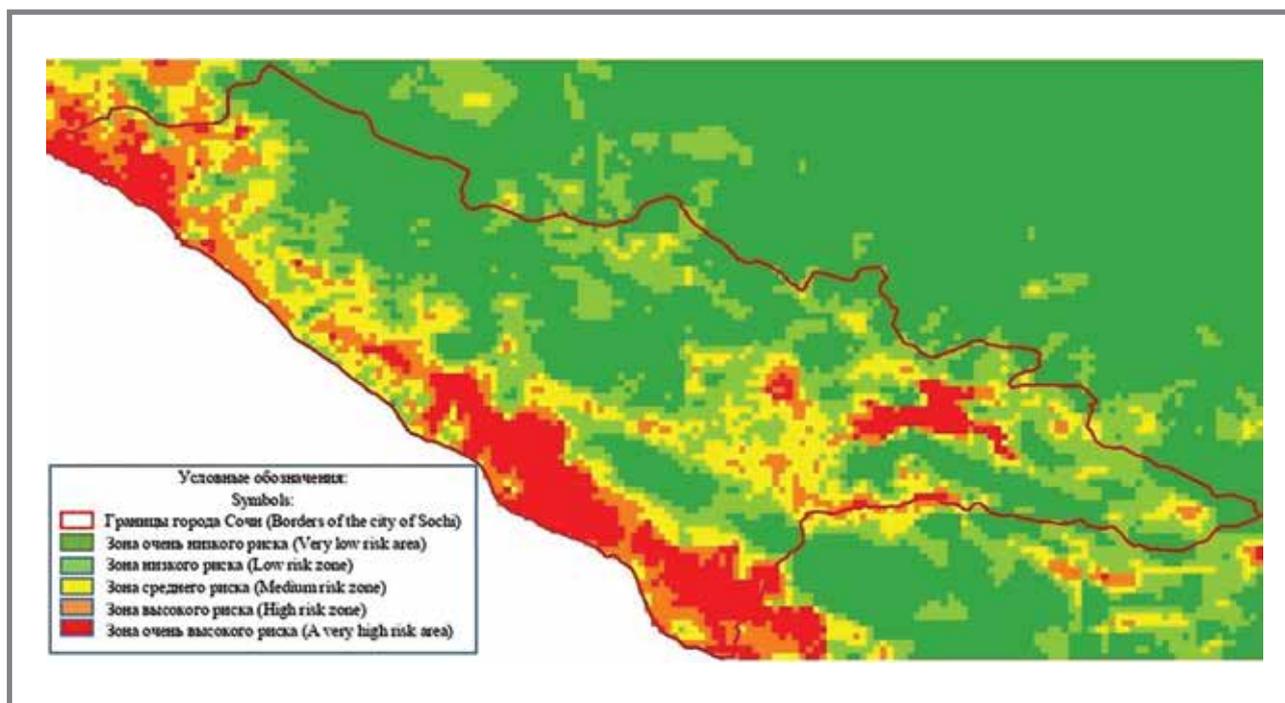
**Рисунок 2. Модель потенциального распространения ГЛПС в г. Сочи**  
**Figure 2. Model of the potential spread of HFRS in Sochi**



**Рисунок 3. Результаты ROC анализа для тренировочных и тестовых данных**  
**Figure 3. ROC analysis results for training and test data**



**Рисунок 4. Карта потенциального распространения ГЛПС в г. Сочи**  
**Figure 4. Map of the potential spread of HFRS in Sochi**



мероприятий на этих участках требует особого внимания со стороны эпидемиологов и должны осуществляться с учетом степени риска.

Профилактические и противоэпидемические мероприятия на территориях с очень низким и низким риском:

- благоустройство, ликвидация самопроизвольных свалок;
- организация просветительской работы населения в средствах массовой информации о мерах профилактики ГЛПС, о проявлениях и последствиях ГЛПС, условиях заражения

и обеспечения индивидуальными средствами защиты.

Профилактические и противоэпидемические мероприятия на территориях со средним риском, дополнительно к вышеуказанному:

- профилактические дератизационные мероприятия против мышевидных грызунов на расчищенных территориях осенью и весной;
- проведение работ по обеспечению грызунонепроницаемости общественных и жилых зданий и проведение в них дератизационных мероприятий.

Профилактические и противоэпидемические мероприятия на территориях с высоким и очень высоким риском, дополнительно к вышеуказанному:

- организация и проведение периодических дератизационных мероприятий против мышевидных грызунов на территории населенных пунктов, лесопарков, кладбищ, оздоровительных учреждений, особенно мест массового отдыха и пребывания населения;
- проведение сплошной домовой дератизации в прилегающих к природным очагам ГЛПС постройках (ЛПО, санатории, базы отдыха и т.д.) в осенний период, особенно при неустойчивой погоде с оттепелями и морозами;
- усиленный контроль проводимых мероприятий.

При планировании эпизоотологического мониторинга следует обратить внимание на зоны низкого риска, локализованные на всей территории низкогогорья. Возможно, что на этих территориях в настоящее время уже имеют место положительные эпизоотологические находки по ГЛПС, но данная информация отсутствует ввиду недостаточного обследования.

Также внимания требуют участки, определенные как зоны высокого или очень высокого риска, локализованные на административной границе г. Сочи. В данном случае мы наблюдаем высокий

риск заражения ГЛПС на территориях Туапсинского района, Республики Абхазия, также являющихся рекреационными зонами и принимающих у себя большое количество гостей из разных регионов страны.

### Заключение

Созданная модель позволяет разделить исследуемую территорию по степени риска заражения ГЛПС с высокой (AUC = 0,919) степенью достоверности и значимой прогностической ценностью (AUC = 0,920). Использование модели позволяет получить новые, более детальные с пространственной точки зрения данные о границах потенциально опасных по ГЛПС участков региона. В особенности это касается тех территорий, где ранее не отмечались положительные эпизоотологические находки и случаи заражения ГЛПС.

Полученная в результате моделирования карта риска заражения ГЛПС на территории г. Сочи коррелирует с данными эпизоотологического мониторинга. Участки высокого и очень высокого риска располагаются в районах, где фиксируется самое большое число положительных эпизоотологических находок, а также случаев заражения ГЛПС людей. При этом полученная карта позволяет более детально обозначить границы потенциально опасных территорий, не привязываясь к административному делению, что невозможно сделать при использовании данных исключительно на уровне административных районов.

В перспективе данная методика может быть использована для прогнозирования изменения границ других природно-очаговых инфекций, совершенствования тактики эпизоотологического мониторинга и подходов к осуществлению профилактических и противоэпидемических мер, что неизбежно приведет к снижению финансовых и других затрат.

### Литература

1. Дзагурова Т. К., Ишмухаметов А. А., Бахтина В. А. и др. Анализ групповой вспышки геморрагической лихорадки с почечным синдромом, вызванной вирусом Сочи. *Вопросы вирусологии*. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-grupповой-vspyshki-gemorragicheskoy-lihoradki-s-pochechnym-sindromom-vyzvannoy-virusom-sochi> (дата обращения: 28.12.2021). DOI:10.18821/0507-4088-2019-64-1-36-41.
2. Ткаченко Е. А., Дзагурова Т. К., Бернштейн А. Д. и др. Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (история, проблемы и перспективы изучения). *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2016; 15(3): 23–34. doi:10.31631/2073-3046-2016-15-3-23-34.
3. Морозов В. Г., Ишмухаметов А. А., Дзагурова Т. К. и др. Клинические особенности геморрагической лихорадки с почечным синдромом в России. МС. 2017. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klinicheskie-osobennosti-gemorragicheskoy-lihoradki-s-pochechnym-sindromom-v-rossii> (дата обращения: 28.12.2021). doi:10.21518/2079-701X-2017-5-156-161.
4. Кузькин Б. П., Ежлова Е. Б., Куличенко А. Н. и др. Актуальные вопросы обеспечения эпизоотологической безопасности по природно-очаговым инфекциям в период проведения XXII Олимпийских и XI Паралимпийских зимних игр в Сочи. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2015; 1:54–57. DOI: 10.21055/0370-1069-2015-1-54-57
5. Василенко Н. Ф., Малецкая О. В., Манин Е. А. и др. Эпизоотологический мониторинг природно-очаговых инфекций на юге России в 2015 г. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2017; 1:29–35. doi:10.36233/0372-9311-2017-1-29-35.
6. Чехвалова Е. В., Манин Е. А., Куличенко А. Н. и др. Современная эпизоотолого-эпидемиологическая обстановка по природно-очаговым инфекциям в городо-курорте Сочи. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2019. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennaya-epizootologo-epidemiologicheskaya-obstanovka-po-prirodno-ochagovym-infekciyam-v-gorode-kurorte-sochi> (дата обращения: 28.12.2021). doi: 10.21055/0370-1069-2019-3-111-117.
7. Crippen R. E. Calculating the Vegetation Index Faster. *Remote Sensing of Environment*. 1990, 34:71–73.
8. Phillips SJ, Dudi' k M, Schapire RE. A maximum entropy approach to species distribution modeling. *Proceedings of the Twenty-first International Conference on Machine learning*. ACM; 2004, p. 83. doi:10.1145/1015330.1015412
9. Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Model* 2006; 190:231–59. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
10. Elith J, Graham CH, Anderson RP, et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 2006; 29:129–51. doi:10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x
11. Elith J, Phillips SJ, Hastie T, et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 2011; 17:43–57. doi:10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x.
12. Hutchinson, G. E. *Hutchinson G. Population studies: Animal ecology and demography*. Bull Math Biol. 1991; 53(1-2):193–213. doi:10.1007/bf02464429
13. Гиларов А. М. Популяционная экология: Учебное пособие М.: Изд-во МГУ, 1990 – 191 с.

## Original Articles

14. Афонин А. Н., Кулакова Ю. Ю., Федорова Ю. А. Технологии моделирования экологических ниш как инструмент анализа фитосанитарного риска. *Вестник защиты растений*. 2021. 104(1). С. 40–52. doi:10.31993/2308-6459-2021-104-1-14422
15. Солнцев Л. А., Дубянский В. М. Опыт использования метода максимальной энтропии (MaxEnt) для зонирования территории по риску заражения ГЛПС на примере Нижегородской области. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии*. 2017. №5. URL: <https://microbiol.elpub.ru/jour/article/view/198> (дата обращения: 28.12.2021). doi:10.36233/0372-9311-2017-5-39-45.
16. Оптимизация естественных перерывов Дженкса. Доступно на: [https://ru.abcdef.wiki/wiki/Jenks\\_natural\\_breaks\\_optimization](https://ru.abcdef.wiki/wiki/Jenks_natural_breaks_optimization) (дата обращения: 28.12.2021).

## References

1. Dzagurova T, Ishmukhametov A, Bakhtina V, et al. Hemorrhagic fever with renal syndrome group outbreak caused by Sochi virus. *Problems of Virology, Russian journal*. 2019;64(1):36–41. doi:10.18821/0507-4088-2019-64-1-36-41
2. Tkachenko E, Dzagurova J, Bernshtein A, et al. Hemorrhagic Fever with Renal Syndrome (History, problems and Research Perspectives). *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2016;15(3):23–34. doi:10.31631/2073-3046-2016-15-3-23-34
3. Morozov V, Ishmukhametov A, Dzagurova T, Tkachenko E. Clinical manifestations of hemorrhagic fever with renal syndrome in Russia. *Medical Council*. 2017;(5):156–161. doi:10.21518/2079-701x-2017-5-156-161
4. Kuzkin B.P., Yezhlova E.B., Kulichenko A.N., et al. Topical issues of ensuring epidemiological safety for natural focal infections during the XXII Olympic and XI Paralympic Winter Games in Sochi. *Problems of particularly dangerous infections*. 2015; 1:54–57. DOI: 10.21055/0370-1069-2015-1-54-57
5. Vasilenko N, Vasilenko N, Maletskaya O, Manin E, et al. Epizootologic monitoring of natural-focal infections in the south of russia in 2015. *Journal of microbiology epidemiology immunobiology*. 2017;(1):29–35. doi:10.36233/0372-9311-2017-1-29-35
6. Chekhalova E, Manin E, Kulichenko A, Orobey V, Shvets O. Modern Epizootiological-Epidemiological Situation on Natural-Focal Infections in the Resort City of Sochi. *Problems of Particularly Dangerous Infections*. 2019;(3):111–117. doi:10.21055/0370-1069-2019-3-111-117
7. Crippen R. E. Calculating the Vegetation Index Faster. *Remote Sensing of Environment*. 1990, 34:71–73/
8. Phillips S, Dudik M, Schapire R. A maximum entropy approach to species distribution modeling. *Twenty-first international conference on Machine learning - ICML '04*. 2004.
9. Phillips S, Anderson R, Schapire R. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Modell*. 2006;190(3–4):231–259. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
10. Elith J, H. Graham C, P. Anderson R et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. 2006;29(2):129–151. doi:10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x
11. Elith J, Phillips S, Hastie T, et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*. 2010;17(1):43–57. doi:10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x
12. Hutchinson G. Population studies: Animal ecology and demography. *Bull Math Biol*. 1991;53(1–2):193–213. doi:10.1007/bf02464429
13. Gilyarov A. Population ecology: Textbook. M.: Publishing House of Moscow State University, 1990:191 p.
14. Aфонин А, Кулакова Y, Федорова Y. Environmental niche modelling as tool for pest risk assessment. *Plant protection news*. 2021; 104(1):40–52. doi:10.31993/2308-6459-2021-104-1-14422
15. Solntsev L, Dubyansky V. Experience of using maximal entropy method (Maxent) for zoning of the territory by hers risk using Nizhny Novgorod region as an example. *Journal of microbiology epidemiology immunobiology*. 2017;(5):39–45. doi:10.36233/0372-9311-2017-5-39-45
16. Optimization of natural Jenks breaks. Available at: [https://ru.abcdef.wiki/wiki/Jenks\\_natural\\_breaks\\_optimization](https://ru.abcdef.wiki/wiki/Jenks_natural_breaks_optimization) (accessed: 12/28/2021).

## Об авторах

- **Елена Викторовна Чехвалова** – заместитель главного врача, Сочинский филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Краснодарском крае». +7 (8622) 92-73-10.
- **Евгений Анатольевич Манин** – врач-эпидемиолог лаборатории эпидемиологии, ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора. +7 (918) 871-64-26, relax27@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-8163-7844>.
- **Александр Николаевич Куличенко** – директор института, ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора. 8 (8652) 26-03-12, stavnipchi@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9362-3949>.

Поступила: 30.08.2022. Принята к печати: 29.01.2023.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

## About the Authors

- **Elena V. Chekhalova** – Deputy Chief Physician, Sochy branch of FBHI «Center for Hygiene and Epidemiology in the Krasnodar Territory». +7 (8622) 92-73-10.
- **Evgeny A. Manin** – epidemiologist of the Epidemiology Laboratory, Federal Government Health Institution Stavropol Plague Control Research Institute of the Rospotrebnadzor. +7 (918) 871-64-26, relax27@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-8163-7844>.
- **Alexander N. Kulichenko** – Director of the Institute, Federal Government Health Institution Stavropol Plague Control Research Institute of the Rospotrebnadzor. 8 (8652) 26-03-12, stavnipchi@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9362-3949>.

Received: 30.08.2022. Accepted: 29.01.2023.

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.