



Прогнозирование заболеваемости Крымской геморрагической лихорадкой на основе данных спутникового мониторинга (дистанционного зондирования Земли из космоса) на примере Ставропольского края

Дубянский В.М.^{1,2}, Прислегина Д.А.^{1,2✉}, Платонов А.Е.²

¹Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт, Ставрополь, Россия;

²Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии, Москва, Россия

Аннотация

Введение. Сохранение напряжённой эпидемиологической ситуации по Крымской геморрагической лихорадке (КГЛ) во многих странах мира требует уделять особое внимание разработке и совершенствованию методов риск-ориентированного эпидемиологического прогнозирования.

Цель исследования — разработка прогнозной модели динамики заболеваемости КГЛ (на примере Ставропольского края) с использованием данных спутникового мониторинга (дистанционного зондирования Земли из космоса).

Материалы и методы. Проанализированы климатические данные Института космических исследований РАН и сведения официальной статистической отчётности по заболеваемости КГЛ с 2005 по 2021 г. Прогнозная модель была разработана на основе теоремы Байеса и последовательного статистического анализа Вальда. Информативность факторов оценивали по методу Кульбака.

Результаты. Прогнозы по каждому из 26 районов были составлены поэтапно (относительно пороговых уровней): будет хотя бы один больной КГЛ, превысит ли относительная заболеваемость на 100 тыс. населения уровень медианы (0,9 заболевших), среднее (3,5 заболевших) и третьего квартиля (4,7 заболевших). Наиболее высокие значения коэффициентов информативности были получены для температуры и влажности почвы (на глубине 10 и 40 см), нормализованного относительного вегетационного индекса, относительной влажности, максимальной и средней температуры воздуха, относительной влажности воздуха. При апробации модели в 2021 г. ложноотрицательный (ошибочный) прогноз был дан для 2 районов.

Обсуждение. Наиболее эффективно модель позволяет прогнозировать наличие или отсутствие больных. Более точное количественное прогнозирование несколько затруднено в связи с наличием субъективных факторов (в том числе постановка больным КГЛ без геморрагических проявлений неверных диагнозов и оказание им помощи по поводу других заболеваний со сходными симптомами).

Заключение. Апробация модели свидетельствует о её перспективности. Внедрение прогноза в практику позволит повысить настороженность медицинских работников для улучшения выявляемости больных КГЛ.

Ключевые слова: Крымская геморрагическая лихорадка, прогнозирование, прогнозная модель, климатические факторы, заболеваемость, дистанционное зондирование Земли

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-75-20088 «Создание опирающейся на данные дистанционного зондирования Земли методологии анализа и прогнозирования влияния климатических и экологических факторов на заболеваемость природно-очаговыми инфекциями»).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Дубянский В.М., Прислегина Д.А., Платонов А.Е. Прогнозирование заболеваемости Крымской геморрагической лихорадкой на основе данных спутникового мониторинга (дистанционного зондирования Земли из космоса) на примере Ставропольского края. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии*. 2022;99(3):322–335.
DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-213>

Predicting incidence of Crimean-Congo hemorrhagic fever using satellite monitoring (remote sensing) data in the Stavropol Territory

Vladimir M. Dubyanskiy^{1,2}, Daria A. Prisleгина^{1,2}, Alexander E. Platonov²

¹Stavropol Plague Control Research Institute, Stavropol, Russia;

²Central Research Institute of Epidemiology, Moscow, Russia

Abstract

Introduction. With the epidemiological situation for Crimean-Congo hemorrhagic fever (CCHF) remaining tense in many countries worldwide, special attention should be focused on development and improvement of risk-based epidemiological prediction methods.

The **aim** of the study was to build a prediction model for CCHF incidence dynamics (based on the Stavropol Territory) using satellite monitoring (remote sensing) data.

Materials and methods. We analyzed the climate data obtained from the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences as well as the data of public statistics reports on CCHF incidence from 2005 to 2021. The prediction model incorporated the Bayes theorem and Wald sequential analysis. The information content of the factors was assessed using the Kullback method.

Results. Predictions for each of 26 districts were made stepwise (compared to threshold levels) to predict whether there will be at least one case of CCHF, whether the relative incidence per 100,000 population will exceed the median level (0.9 cases) or the average rate (3.5 cases) or the third quartile rate (4.7 cases). The highest values of information coefficients were obtained for soil temperature and moisture content (at depths of 10 and 40 cm), normalized relative vegetation index, relative humidity, maximum and average air temperature, relative air humidity. During the testing of the model in 2021, false-negative (erroneous) prediction was made for 2 districts.

Discussion. The model proved to be most efficient in prediction of occurrence or absence of cases. More accurate quantitative prediction may be difficult due to subjective factors (including misdiagnosing CCHF cases without hemorrhagic manifestations and administering treatment for other conditions with similar symptoms).

Conclusion. The tests of the model demonstrate its potential. The practical application of the prediction will make healthcare workers more alert when screening and detecting CCHF cases.

Keywords: Crimean-Congo hemorrhagic fever, prediction, prediction model, climatic factors, incidence, remote sensing

Funding source. This study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 19-75-20088 Creation of a methodology, based on remote sensing data of the Earth, for analyzing and forecasting the impact of climatic and environmental factors on the incidence of zoonotic infections).

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Dubyanskiy V.M., Prisleгина D.A., Platonov A.E. Predicting incidence of Crimean-Congo hemorrhagic fever using satellite monitoring (remote sensing) data in the Stavropol Territory. *Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology = Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. 2022;99(3):322–335.
DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-213>

Введение

На протяжении многих лет в странах Центральной Азии, Ближнего и Среднего Востока, а также в Российской Федерации сохраняется напряжённая эпидемиологическая ситуация по особо опасной арбовирусной инфекции — Крымской геморрагической лихорадке (КГЛ) [1–12].

Учитывая отсутствие препаратов для специфической профилактики этой опасной инфекции, с целью стабилизации эпидемиологической ситуации особое внимание уделяется составлению риск-ориентированного прогноза заболеваемости населения как основы для последующего научно обоснованного планирования неспецифических профилактических мероприятий.

Так, в Турции для составления эпидемиологического прогноза было предложено использование агентной модели типа SIR [13]. В России на основе метода определения «максимальной стабильности» и регрессионного анализа предпринимались попытки создания модели краткосрочного прогнозирования предполагаемого количества больных для определения ожидаемого числа случаев КГЛ (годового показателя) в текущем году по заболеваемости «ключевого» месяца [14].

Вместе с тем КГЛ является природно-очаговой трансмиссивной инфекцией, поэтому при выборе методики прогнозирования предпочтение следует уделять методам, дающим возможность учёта действия климатических факторов на численность

специфических переносчиков её возбудителя — иксодовых клещей, и, как следствие, на уровень заболеваемости населения, что также подтверждается результатами ряда зарубежных исследований.

Так, в Иране на основе анализа временных рядов, проведённого с использованием модели авторегрессии интегрированного скользящего среднего (seasonal auto-regression integrated moving average — SARIMA model), установлена выраженная связь числа больных с ежемесячной средней температурой воздуха, максимальной месячной относительной влажностью и накопленным количеством осадков, а методом регрессионного анализа Пуассона с псевдо-R-квадратом Макфаддена — корреляция со значениями максимальной температуры предыдущего месяца [15, 16]. В Болгарии с помощью однофакторного дисперсионного анализа (one-way analysis of variance — ANOVA) выявлено, что увеличение средней температуры воздуха и нормализованного вегетационного индекса (Normalized Difference Vegetation Index — NDVI) на единицу приводит к росту заболеваемости КГЛ на 5,5% [17].

Ранее В.М. Дубянским и Д.А. Прислегиной на основе корреляционного анализа, теоремы Байеса и последовательного статистического анализа Вальда была разработана методика для количественного риск-ориентированного прогнозирования заболеваемости КГЛ по каждому административному району Ставропольского края [18–20]. Расчёты проводили с использованием ежемесячных числовых значений пяти факторов всех сезонов года (температуры воздуха, относительной влажности воздуха, количества выпавших осадков, высоты снежного покрова и скорости ветра), влияющих на жизнедеятельность различных стадий жизненного цикла клещей *Hyalomma marginatum* — основного переносчика и резервуара вируса КГЛ на территории России [10, 12, 21–25]. Эффективность предлагаемой методики была подтверждена совпадением полученных результатов в 2018 г. с фактическими данными на 87,4%, результаты прогноза использовались при планировании профилактических мероприятий.

Данная работа является продолжением исследования, её цель — дальнейшее совершенствование методов составления прогноза заболеваемости КГЛ и получение новых данных о связи интенсивности проявлений эпидемического и эпизоотического процессов этой особо опасной инфекции с комплексным влиянием множества различных, в том числе ранее неучтенных, климатических факторов.

Материалы и методы

Исследование носило комплексный характер с использованием методов эпидемиологического анализа и математической статистики.

Материалами послужили гидрометеорологические данные и NDVI, полученные из базы дан-

ных Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений ОИ ЦКП «ИКИ-мониторинг» Института космических исследований РАН, а также сведения официальной статистической отчетности за 2005–2021 гг. Для расчёта относительной заболеваемости КГЛ (на 100 тыс. населения) по административным районам Ставропольского края были проанализированы карты эпидемиологического обследования очага инфекционного заболевания (форма № 357/у), предоставленные Управлением Роспотребнадзора по Ставропольскому краю, архивные сведения Управления Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу и Федеральной службы государственной статистики за каждый год исследуемого периода.

Прогнозная модель динамики заболеваемости была разработана на основе теоремы Байеса и последовательного статистического анализа Вальда [26–28]. Выбор теоремы Байеса для построения модели был обоснован возможностью учёта разнонаправленного влияния множества факторов по каждому административному району на основании данных о частоте встречаемости соответствующих величин и наличии/отсутствии случаев заболевания, а также поэтапного получения альтернативных результатов (одного из двух возможных вариантов прогноза — отсутствие/появление больного, превысит/не превысит показатель заболеваемости каждое из выбранных пороговых значений).

Пороговый уровень вероятности позитивного решения был выбран 99% (вероятность ошибки 1%). В качестве данных были использованы числовые значения 13 климатических факторов (за каждый месяц исследуемого периода и среднегодовых):

- температуры воздуха — средней, максимальной и минимальной (°C);
- температуры почвы на глубине 10 и 40 см (°C);
- влажности почвы на глубине 10 и 40 см (%);
- глубины снега (м);
- доля площади, покрытой снегом (%);
- давления (Па);
- относительной влажности воздуха (%);
- количества осадков (кг/м²);
- NDVI (отн. ед.).

Таким образом рассчитана информативность 169 параметров. Её оценка проводилась по методу Кульбака [26–28]. Фактор считается информативным, если он обнаруживает большую степень различия распределений при двух дифференцируемых состояниях объекта исследования. Например, при среднемесячной температуре воздуха в июне 28°C вероятность заболевания КГЛ хотя бы 1 человека на территории природного очага в среднем в 2 раза выше, чем при температуре 24°C. Этот фактор мож-

но считать информативным, т.к. при достижении указанной температуры прогноз на заболеваемость будет выполняться в отношении 2 : 1. Однако удобнее оперировать производной величиной от информативности — диагностическим коэффициентом. Этот показатель позволяет определить вероятность того, что при определённом значении нескольких факторов объект будет в одном из двух исследуемых состояний. Например, если среднемесячная температура воздуха в июне 28°C, а среднемесячное давление в июне выше 103 165,18 Па, то вероятность заболевания КГЛ хотя бы 1 человека на территории природного очага достигнет 0,8.

От разработанной ранее методики риск-ориентированного прогнозирования [18–20] предлагаемая модель, кроме увеличения количества используемых факторов, принципиально отличается организацией данных для выявления предикторов. С учётом относительно короткого временного ряда (15 лет) и ландшафтно-географической неоднородности Ставропольского края данные были организованы следующим образом: заболеваемость КГЛ последовательно по административным районам и по годам объединяли в общий ряд (всего 364 значения), а погодно-климатические показатели распределяли соответственно заболеваемости.

Заболеваемость измерялась в относительных показателях на 100 тыс. населения.

Вычисления коэффициентов информативности и прогностический коэффициент проводятся автоматически в программе на основе «Microsoft Excel 2010», разработанной авторами.

Пошаговый алгоритм составления прогноза с использованием прогнозной модели:

1. Определение коэффициентов информативности и прогностических коэффициентов факторов в программе.

2. Составление оптимизированного перечня факторов (со значениями коэффициента информативности $\geq 0,5$ в порядке убывания).

3. Прогнозирование появления (отсутствия) хотя бы 1 случая заболевания на 100 тыс. населения.

4. Расчёт заболеваемости на 100 тыс. населения относительно порогового уровня медианы (0,9).

5. Расчёт заболеваемости на 100 тыс. населения относительно порогового уровня среднего (3,5).

6. Расчёт заболеваемости на 100 тыс. населения относительно порогового уровня третьего квартиля (4,7).

Вычисления по пункту 2 выполняли относительно выбранного нами самого минимального порогового значения (значения 0,000009, что меньше показателя 1 больной на 100 тыс. населения). Расчёты прогноза осуществляли, суммируя значения прогностических коэффициентов информативных факторов в соответствии с градациями их значений по каждому административному району до получе-

ния числового значения «+20» или «–20», что свидетельствует о возникновении/отсутствии случаев заболевания с вероятностью 99%. Далее для районов с положительными результатами аналогично составляли прогноз относительно других выбранных пороговых уровней заболеваемости.

Результаты

Прогнозная модель разработана для составления прогноза эпидемиологической ситуации по КГЛ по каждому району на основе климатических данных предыдущего года. До настоящего времени подобных исследований по прогнозированию заболеваемости КГЛ с использованием данных спутникового мониторинга (дистанционного зондирования Земли из космоса) и схожего алгоритма не проводилось.

Модель разработана для прогнозов по альтернативам: будет или не будет хотя бы 1 больной КГЛ в районе, превысит относительная заболеваемость (на 100 тыс. населения) уровень медианы (0,9 заболевших), среднее (3,5), уровень третьего квартиля (4,7). Информативные предикторы для каждого порога представлены в **табл. 1**.

Всего для порога «будет или не будет хотя бы один больной КГЛ в районе» в модели использовано 57 предикторов, для порога «превысит относительная заболеваемость уровень медианы (0,9 заболевших на 100 тыс. населения)» использовано 62 предиктора, для порога «превысит ли относительная заболеваемость среднее (3,5 заболевших)» — 56 предикторов, для порога «превысит ли относительная заболеваемость уровень третьего квартиля (4,7 заболевших)» — 55 предикторов.

При оценке информативности факторов наиболее высокие значения коэффициентов информативности были получены для температуры и влажности почвы (на глубине 10 и 40 см), NDVI, относительной влажности, максимальной и средней температуры воздуха (в июне), относительной влажности воздуха и NDVI (в августе). Данные климатические факторы в указанные месяцы (согласно данным литературы) оказывают выраженное влияние на эмбриогенез, выживаемость и развитие преимагинальных фаз *H. marginatum*, на численность прокормителей преимагинальных фаз, тем самым в значительной мере определяя численность имаго клещей в следующем («прогнозируемом») году [22, 24, 25].

Проверка прогнозной модели динамики заболеваемости КГЛ была проведена на ретроспективных данных 2018–2020 гг. (**табл. 2**).

Варианты ошибочных прогнозов, полученных при построении модели, были разделены на 4 типа:

- ложноположительный — результат прогноза «положительный», но фактически больных не зарегистрировано;

Таблица 1. Климатические и экологические показатели, используемые в качестве предикторов к прогнозной модели
Table 1. Climatic and environmental indicators used as predictors of the forecast model

Предиктор Predictor	Показатель Indicator	Будет ли хотя бы 1 больной Will there be at least one sick	Показатель Indicator	Выше/ ниже медианы Above/ below the median	Показатель Indicator	Выше/ниже среднего Above/ below average	Показатель Indicator	Выше/ниже третьего квартиля Above/ below the third quartile
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Температура почвы на глубине 40 см в июне Soil temperature at a depth of 40 cm in June	1,59	Температура почвы на глубине 40 см в июне Soil temperature at a depth of 40 cm in June	1,89	NDVI в июне NDVI in June	1,85	Влажность воздуха в июне Humidity in June	1,83
2	Влажность воздуха в июне Humidity in June	1,51	Влажность воздуха в июне Humidity in June	1,79	Влажность воздуха в июне Humidity in June	1,84	NDVI в июне NDVI in June	1,65
3	Температура почвы на глубине 40 см в августе Soil temperature at a depth of 40 cm in August	1,31	Температура почвы на глубине 40 см в августе Soil temperature at a depth of 40 cm in August	1,64	Температура почвы на глубине 40 см в июне Soil temperature at a depth of 40 cm in June	1,74	Температура почвы на глубине 40 см в июне Soil temperature at a depth of 40 cm in June	1,62
4	Влажность почвы на глубине 10 см в июне Soil moisture at a depth of 10 cm in June	1,30	Влажность почвы на глубине 10 см в июне Soil moisture at a depth of 10 cm in June	1,51	Максимальная температура воздуха в июне Maximum air temperature in June	1,38	Влажность воздуха среднегодовая Average annual air humidity	1,52
5	Влажность воздуха среднегодовая Average annual air humidity	1,29	Влажность воздуха среднегодовая Average annual air humidity	1,48	NDVI в августе NDVI in August	1,35	Влажность почвы на глубине 10 см в июне Soil moisture at a depth of 10 cm in June	1,36
6	NDVI в июне NDVI in June	1,18	NDVI в июне NDVI in June	1,38	Влажность почвы на глубине 10 см в июне Soil moisture at a depth of 10 cm in June	1,32	Максимальная температура воздуха в июне Maximum air temperature in June	1,29
7	Температура почвы на глубине 10 см в июне Soil temperature at a depth of 10 cm in June	1,15	Температура почвы на глубине 10 см в июне Soil temperature at a depth of 10 cm in June	1,33	Температура почвы на глубине 40 см в августе Soil temperature at a depth of 40 cm in August	1,32	Температура почвы на глубине 10 см в июне Soil temperature at a depth of 10 cm in June	1,24
8	Влажность почвы на глубине 40 см в июне Soil moisture at a depth of 40 cm in June	1,13	NDVI в августе NDVI in August	1,33	Температура почвы на глубине 10 см в июне Soil temperature at a depth of 10 cm in June	1,26	Влажность воздуха в мае Air humidity in May	1,23
9	NDVI в августе NDVI in August	1,06	Влажность воздуха в августе Humidity in August	1,24	Влажность воздуха среднегодовая Average annual air humidity	1,26	Влажность воздуха в августе Humidity in August	1,20
10	Влажность воздуха в августе Humidity in August	1,06	Влажность почвы на глубине 40 см в июне Soil moisture at a depth of 40 cm in June	1,23	Температура воздуха в июне Air temperature in June	1,24	Температура почвы на глубине 40 см в августе Soil temperature at a depth of 40 cm in August	1,20

Продолжение табл. 1 / Continuation of the Table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	Температура почвы на глубине 40 см в июле Soil temperature at a depth of 40 cm in July	1,04	Температура почвы на глубине 40 см в июле Soil temperature at a depth of 40 cm in July	1,22	Давление в мае Pressure in May	1,20	Температура воздуха в июне Air temperature in June	1,11
12	Максимальная температура воздуха в июне Maximum air temperature in June	1,01	Максимальная температура воздуха в июне Maximum air temperature in June	1,18	Давление в апреле Pressure in April	1,20	Давление в мае Pressure in May	1,11
13	Влажность воздуха в июле Humidity in July	0,97	Давление февраля Pressure in February	1,17	Давление в марте Pressure in March	1,18	Давление в апреле Pressure in April	1,10
14	Давление в январе Pressure in January	0,97	Давление в январе Pressure in January	1,16	Давление в июне Pressure in June	1,14	Давление в марте Pressure in March	1,07
15	Давление в октябре Pressure in October	0,96	Давление в марте Pressure in March	1,15	Давление в октябре Pressure in October	1,13	Давление в июне Pressure in June	1,07
16	NDVI в июле NDVI in July	0,95	Давление в июне Pressure in June	1,14	NDVI в июле NDVI in July	1,13	NDVI в августе NDVI in August	1,07
17	Давление в марте Pressure in March	0,95	Давление в мае Pressure in May	1,14	Давление в августе Pressure in August	1,13	Влажность почвы на глубине 10 см в мае Soil moisture at a depth of 10 cm in May	1,05
18	Давление в августе Pressure in August	0,94	NDVI в июле NDVI in July	1,13	Давление в феврале Pressure in February	1,07	Давление в феврале Pressure in February	1,05
19	Влажность воздуха в мае Air humidity in May	0,94	Давление в апреле Pressure in April	1,13	Давление в январе Pressure in January	1,05	Давление в октябре Pressure in October	1,04
20	Давление в феврале Pressure in February	0,94	Влажность воздуха в июле Humidity in July	1,12	Давление в сентябре Pressure in September	1,05	Давление в августе Pressure in August	1,03
21	Давление в апреле Pressure in April	0,93	Давление в октябре Pressure in October	1,12	Давление среднегодовое Average annual pressure	1,04	Влажность почвы на глубине 40 см в июне Soil moisture at a depth of 40 cm in June	1,02
22	Температура воздуха в июне Air temperature in June	0,93	Давление в августе Pressure in August	1,11	Влажность воздуха в июле Humidity in July	1,03	Влажность воздуха в июле Humidity in July	0,97
23	Давление в июне Pressure in June	0,92	Температура воздуха в июне Air temperature in June	1,11	Влажность воздуха в мае Air humidity in May	1,01	NDVI в июле NDVI in July	0,96
24	Давление в мае Pressure in May	0,91	Давление в сентябре Pressure in September	1,09	NDVI среднегодовой NDVI annual average	1,01	Давление в сентябре Pressure in September	0,96
25	Давление в сентябре Pressure in September	0,89	Давление среднегодовое Average annual pressure	1,08	Температура почвы на глубине 40 см в июле Soil temperature at a depth of 40 cm in July	0,98	Давление среднегодовое Average annual pressure	0,95

Продолжение табл. 1 / Continuation of the Table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
26	Давление среднегодовое Average annual pressure	0,88	Влажность воздуха в мае Air humidity in May	1,07	Влажность воздуха в августе Humidity in August	0,98	Давление в январе Pressure in January	0,94
27	Температура почвы на глубине 40 см среднегодовая Average annual soil temperature at a depth of 40 cm	0,86	Температура почвы на глубине 40 см среднегодовая Average annual soil temperature at a depth of 40 cm	1,06	Минимальная температура воздуха в июне Minimum air temperature in June	0,97	Температура почвы на глубине 40 см в июле Soil temperature at a depth of 40 cm in July	0,85
28	Температура почвы на глубине 10 см в августе Soil temperature at a depth of 10 cm in August	0,84	Температура почвы на глубине 10 см в августе Soil temperature at a depth of 10 cm in August	1,04	Влажность почвы на глубине 40 см в июне Soil moisture at a depth of 40 cm in June	0,96	Минимальная температура воздуха в июне Minimum air temperature in June	0,80
29	Влажность почвы на глубине 10 см в июле Soil moisture at a depth of 10 cm in July	0,78	Влажность почвы на глубине 10 см в июле Soil moisture at a depth of 10 cm in July	0,97	Температура почвы на глубине 40 см среднегодовая Average annual soil temperature at a depth of 40 cm	0,86	Давление в июле Pressure in July	0,76
30	Минимальная температура воздуха в июне Minimum air temperature in June	0,78	NDVI в сентябре NDVI in September	0,97	Влажность почвы на глубине 10 см в мае Soil moisture at a depth of 10 cm in May	0,86	Температура почвы на глубине 10 см в августе Soil temperature at a depth of 10 cm in August	0,75
31	Температура почвы на глубине 40 см в сентябре Soil temperature at a depth of 40 cm in September	0,77	Температура почвы на глубине 40 см в сентябре Soil temperature at a depth of 40 cm in September	0,96	Давление в июле Pressure in July	0,84	Влажность почвы на глубине 40 см в мае Soil moisture at a depth of 40 cm in May	0,73
32	Влажность почвы на глубине 10 см в мае Soil moisture at a depth of 10 cm in May	0,75	Давление в июле Pressure in July	0,95	Температура почвы на глубине 10 см в августе Soil temperature at a depth of 10 cm in August	0,84	Количество осадков в мае Rainfall in May	0,73
33	Температура почвы на глубине 10 см среднегодовая Average annual soil temperature at a depth of 10 cm	0,73	Влажность почвы на глубине 10 см в мае Soil moisture at a depth of 10 cm in May	0,92	NDVI в сентябре NDVI in September	0,80	Количество осадков среднегодовое Average annual precipitation	0,72
34	Температура почвы на глубине 10 см в июле Soil temperature at a depth of 10 cm in July	0,73	Минимальная температура воздуха в июне Minimum air temperature in June	0,91	Влажность почвы на глубине 10 см в июле Soil moisture at a depth of 10 cm in July	0,79	Температура почвы на глубине 40 см среднегодовая Average annual soil temperature at a depth of 40 cm	0,72
35	NDVI среднегодовой NDVI annual average	0,72	NDVI среднегодовой NDVI annual average	0,89	Температура воздуха в июле Air temperature in July	0,76	Влажность почвы на глубине 10 см в июле Soil moisture at a depth of 10 cm in July	0,70

Продолжение табл. 1 / Continuation of the Table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
36	Давление в июле Pressure in July	0,72	Температура почвы на глубине 10 см среднегодовая Average annual soil temperature at a depth of 10 cm	0,88	Максимальная температура воздуха в июле Maximum air temperature in July	0,73	Количество осадков в июне Rainfall in June	0,69
37	Минимальная температура воздуха в августе Minimum air temperature in August	0,71	Температура воздуха в августе Air temperature in August	0,88	Температура воздуха в августе Air temperature in August	0,73	Температура воздуха в августе Air temperature in August	0,67
38	Температура воздуха в августе Air temperature in August	0,70	Температура почвы на глубине 10 см в июле Soil temperature at a depth of 10 cm in July	0,84	Минимальная температура воздуха в августе Minimum air temperature in August	0,71	NDVI среднегодовой NDVI average annual	0,66
39	Минимальная температура воздуха среднегодовая Minimum average annual air temperature	0,70	Минимальная температура воздуха среднегодовая Minimum average annual air temperature	0,83	Температура почвы на глубине 10 см в июле Soil temperature at a depth of 10 cm in July	0,68	Влажность почвы на глубине 10 см в августе Soil moisture at a depth of 10 cm in August	0,63
40	Среднегодовая температура воздуха Average annual air temperature	0,68	Минимальная температура воздуха в августе Minimum air temperature in August	0,81	Температура почвы на глубине 40 см в сентябре Soil temperature at a depth of 40 cm in September	0,68	Температура воздуха среднегодовая Average air temperature	0,61
41	Минимальная температура воздуха в сентябре Minimum air temperature in September	0,66	Минимальная температура воздуха в сентябре Minimum air temperature in September	0,80	Температура воздуха среднегодовая Average air temperature	0,67	NDVI в сентябре NDVI in September	0,60
42	Влажность почвы на глубине 10 см в августе Soil moisture at a depth of 10 cm in August	0,65	Максимальная температура воздуха в июле Maximum air temperature in July	0,76	Количество осадков в июне Rainfall in June	0,65	Температура почвы на глубине 10 см в июле Soil temperature at a depth of 10 cm in July	0,60
43	Минимальная температура воздуха в мае Minimum air temperature in May	0,64	Температура воздуха в июле Air temperature in July	0,74	NDVI в мае NDVI in May	0,63	Температура воздуха в июле Air temperature in July	0,59
44	NDVI в сентябре NDVI in September	0,63	Среднегодовая температура воздуха Average annual air temperature	0,69	Минимальная температура воздуха среднегодовая Minimum average annual air temperature	0,63	Максимальная температура воздуха в июле Maximum air temperature in July	0,57
45	Температура воздуха в июле Air temperature in July	0,62	Количество осадков в июне Rainfall in June	0,69	Количество осадков в мае Rainfall in May	0,60	Влажность почвы на глубине 40 см в августе Soil moisture at a depth of 40 cm in August	0,56

Продолжение табл. 1 / Continuation of the Table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	Температура почвы на глубине 10 см в сентябре Soil temperature at a depth of 10 cm in September	0,59	Максимальная температура воздуха в августе Maximum air temperature in August	0,69	Минимальная температура воздуха в июле Minimum air temperature in July	0,59	NDVI в мае NDVI in May	0,55
47	Максимальная температура воздуха в августе Maximum air temperature in August	0,58	Количество осадков в мае Rainfall in May	0,68	Температура почвы на глубине 10 см среднегодовая температура at a depth of 10 cm Average annual soil temperature at a depth of 10 cm	0,58	Влажность воздуха в сентябре Air humidity in September	0,54
48	Максимальная температура воздуха в июле Maximum air temperature in July	0,57	Влажность почвы на глубине 10 см в августе Soil moisture at a depth of 10 cm in August	0,68	Влажность почвы на глубине 40 см в мае Soil moisture at a depth of 40 cm in May	0,56	Минимальная температура воздуха в августе Minimum air temperature in August	0,53
49	Влажность почвы на глубине 40 см в августе Soil moisture at a depth of 40 cm in August	0,57	Влажность почвы на глубине 40 см в июле Soil moisture at a depth of 40 cm in July	0,68	Максимальная температура воздуха в августе Maximum air temperature in August	0,56	Влажность воздуха в апреле Humidity in April	0,53
50	Максимальная температура воздуха среднегодовая average annual	0,57	Влажность почвы на глубине 40 см в августе Soil moisture at a depth of 40 cm in August	0,67	Влажность почвы на глубине 40 см в июле Soil moisture at a depth of 40 cm in July	0,55	Температура почвы на глубине 40 см в мае Soil temperature at a depth of 40 cm in May	0,53
51	Влажность почвы на глубине 40 см в июле Soil moisture at a depth of 40 cm in July	0,55	Минимальная температура воздуха в мае Minimum air temperature in May	0,66	Количество осадков среднегодовое Average annual precipitation	0,54	Температура воздуха в мае Air temperature in May	0,52
52	Максимальная температура воздуха в мае Maximum air temperature in May	0,54	Минимальная температура воздуха в июле Minimum air temperature in July	0,66	Температура почвы на глубине 40 см в мае Soil temperature at a depth of 40 cm in May	0,54	Температура почвы на глубине 10 см среднегодовая температура at a depth of 10 cm Average annual soil temperature at a depth of 10 cm	0,52
53	Доля площади покрытия снегом в январе Proportion of snow covered area in January	0,54	Влажность почвы на глубине 40 см в мае Soil moisture at a depth of 40 cm in May	0,66	Минимальная температура воздуха в сентябре Minimum air temperature in September	0,53	Температура почвы на глубине 40 см в сентябре Soil temperature at a depth of 40 cm in September	0,51
54	Минимальная температура воздуха в июле Minimum air temperature in July	0,53	Температура почвы на глубине 10 см в сентябре Soil temperature at a depth of 10 cm in September	0,63	Минимальная температура воздуха в мае Minimum air temperature in May	0,52	Максимальная температура воздуха в мае Maximum air temperature in May	0,51
55	Влажность почвы на глубине 40 см в мае Soil moisture at a depth of 40 cm in May	0,52	Максимальная температура воздуха среднегодовая average annual	0,58	Максимальная температура воздуха в мае Maximum air temperature in May	0,51	Минимальная температура воздуха среднегодовая average annual	0,50

Окончание табл. 1 / End of the Table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
56	Количество осадков в июне Rainfall in June	0,52	Максимальная температура воздуха в мае Maximum air temperature in May	0,58	Максимальная температура воздуха среднегодовая Maximum air temperature average annual	0,51		
57	Количество осадков в мае Rainfall in May	0,51	Температура воздуха в сентябре Air temperature in September	0,56				
58			Количество осадков среднегодовое Average annual precipitation	0,56				
59			NDVI в мае NDVI in May	0,55				
60			Влажность воздуха в сентябре Air humidity in September	0,52				
61			Температура почвы на глубине 10 см в мае Soil temperature at a depth of 10 cm in May	0,52				
62			Температура воздуха в мае Air temperature in May	0,50				

Таблица 2. Результаты проверки прогнозной модели динамики заболеваемости КГП на ретроспективных данных 2018–2020 гг.
Table 2. The results of checking the forecast model of the CCHF morbidity dynamics using retrospective data for 2018–2020

Результаты Results	Год / Year					
	2018		2019		2020	
	абс. / abs.	%	абс. / abs.	%	абс. / abs.	%
Верные Correct	16	61,5	12	46,2	7	26,9
Ложноположительные False positive	3	11,5	7	26,9	14	53,8
Ложноотрицательные False negative	1	3,8	2	7,7	1	3,8
Завышенные Overestimated	4	15,4	5	19,2	4	15,4
Заниженные Underestimated	2	7,7	0	–	0	–

- ложноотрицательный — результат прогноза «отрицательный», но фактически выявлены случаи заболевания;
- завышенный — фактический показатель заболеваемости меньше прогнозируемого значения, рассчитанного относительно порогового уровня;
- заниженный — фактический показатель заболеваемости превышает рассчитанный относительно порогового уровня результат прогноза.

В 2020 г. был подготовлен эпидемиологический прогноз на 2021 г. (табл. 3).

Прежде чем перейти к обсуждению эффективности прогноза, отметим следующие нюансы. КГЛ часто протекает без проявлений геморрагического синдрома, с симптомами, похожими на ОРВИ [8, 9, 19], и определённая часть заболевших получает другие диагнозы либо вообще не регистрируется [8, 9, 19]. Поэтому официальное количество заболевших зависит не только от объективных факторов окружающей среды, но и от субъективных: тяжесть заболевания, квалификация медицинского и лабораторного персонала в отдельных лечебных учреждениях [19]. Эти субъективные факторы в прогнозе не учитываются. Соответственно, наиболее эффективно прогнозируется наличие или отсутствие заболеваемости в принципе. Более точные значения заболеваемости более подвержены влиянию субъективных факторов и хуже поддаются прогнозированию.

Данные табл. 3 наглядно подтверждают вышесказанное. Из 26 административных районов Ставропольского края ошибочный прогноз дан только для двух: Грачевского и Шпаковского, т.е. ошибка по порогу «будет или не будет хотя бы 1 больной КГЛ в районе» составила 7,7%. В этих районах прогнозировалось отсутствие заболеваемости, хотя реально больные регистрировались.

Завышенное количество больных прогнозировалось для 11 районов. Это вряд ли может считаться серьёзной ошибкой прогноза, т.к. нельзя исключить недостаточную диагностику (постановку неверных диагнозов) или возможную регистрацию случая заражения на территории другого района (по месту проживания больного).

Заключение

Результаты использования прогнозной модели в 2021 г. показали её перспективность. Отметим, что, согласно проведенному авторами изучению литературы, нигде в мире лучших результатов в прогнозировании заболеваемости КГЛ не достигнуто [24].

В то же время в модели используются в качестве предикторов в основном только показатели погоды. Хотя использованные сведения полностью согласуются с данными литературы об опосредован-

Таблица 3. Результаты апробации прогнозной модели динамики заболеваемости КГЛ на 2021 г.

Table 3. The results of approbation of the forecast model of the CCHF morbidity dynamics for 2021

Административный район Administrative region	Результат прогноза Forecast result	Фактическая заболеваемость (на 100 тыс. населения) Factual morbidity (per 100,000 population)
Александровский Alexandrovsky	≤ 0,000009	0
Андроповский Andropovsky	≤ 0,000009	0
Апанасенковский Apanasenkovsky	> 4,7	10,1
Арзгирский Arzgirsky	> 4,7	8,3
Благодарненский Blagodarnensky	> 4,7	5,2
Буденновский Budenkovsky	> 4,7	0
Георгиевский Georgievsky	> 0,9	0
Грачевский Grachevsky	≤ 0,000009	2,7
Изобильненский Izobilnensky	> 4,7	0
Ипатовский Ipatovsky	> 4,7	5,4
Кировский Kirovsky	≤ 0,000009	0
Кочубеевский Kochubeevsky	≤ 0,000009	0
Красногвардейский Krasnogvardeisky	> 4,7	5,4
Курский Kursky	> 4,7	0
Левокумский Levokumsky	> 4,7	0
Минераловодский Mineralovodsky	≤ 0,000009	0
Нефтекумский Neftekumsky	> 4,7	1,6
Новоалександровский Novoaleksandrovsky	> 4,7	0
Новоселицкий Novoselytsky	> 4,7	0
Петровский Petrovsky	> 4,7	1,4
Предгорный Predgornyy	≤ 0,000009	0
Советский Soviet	> 4,7	0
Степновский Stepnovsky	> 4,7	0
Труновский Trunovsky	> 4,7	3,4
Туркменский Turkmensky	> 4,7	0
Шпаковский Shpakovsky	≤ 0,000009	1,3

ном комплексном влиянии климатических факторов на эпидемиологическую ситуацию по КГЛ, модель необходимо дополнить биотическими предикторами [24, 25, 30].

Внедрение прогноза в практику позволит дополнительно насторожить медицинских работников на угрожаемых территориях и будет способствовать улучшению выявляемости больных КГЛ и проведению неспецифических профилактических мероприятий.

Для развития этого направления планируется апробация прогнозной модели на примере других субъектов, эндемичных по КГЛ (Ростовская область и Республика Калмыкия).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Shahhosseini N., Wong G., Babuadze G., Camp J.V., Ergonul O., Kobinger G.P., et al. Crimean-Congo hemorrhagic fever virus in Asia, Africa and Europe. *Microorganisms*. 2021; 9(9): 1907. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091907>
2. Obaidat M.M., Graziano J.C., Morales-Betoulle M., Brown S.M., Chiang C.F., Klena J.D. Rift Valley fever and Crimean-Congo hemorrhagic fever viruses in ruminants, Jordan. *Emerg. Infect. Dis.* 2021; 27(2): 653–55. <https://doi.org/10.3201/eid2702.203713>
3. Temur A.I., Kuhn J.H., Pecor D.B., Apanaskevich D.A., Keshtkar-Jahromi M. Epidemiology of Crimean-Congo hemorrhagic fever (CCHF) in Africa-underestimated for decades. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 2021; 104(6): 1978–90. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-1413>
4. Dieng I., Barry M.A., Diagne M.M., Diop B., Ndiaye M., Faye M., et al. Detection of Crimean Congo haemorrhagic fever virus in North-eastern Senegal, Bokidiawé 2019. *Emerg. Microbes Infect.* 2020; 9(1): 2485–87. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1847605>
5. Schulz A., Barry Y., Stoek F., Pickin M.J., Ba A., Chitimia-Dobler L., et al. Detection of Crimean-Congo hemorrhagic fever virus in blood-fed Hyalomma ticks collected from Mauritanian livestock. *Parasit. Vectors*. 2021; 14(1): 342. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04819-x>
6. Balinandi S., von Brömssen S., Tumusiime A., Kyondo J., Kwon H., Monteil V.M., et al. Serological and molecular study of Crimean-Congo hemorrhagic fever virus in cattle from selected districts in Uganda. *J. Virol. Methods*. 2021; 290: 114075. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2021.114075>
7. Negro A., Sánchez-Ledesma M., Lorente F., Pérez-Olmeda M., Belhassen-García M., González-Calle D., et al. Retrospective identification of early autochthonous case of Crimean-Congo hemorrhagic fever, Spain, 2013. *Emerg. Infect. Dis.* 2021; 27(6): 1754–6. <https://doi.org/10.3201/eid2706.204643>
8. Куличенко А.Н., Малецкая О.В., Прислегина Д.А., Василенко Н.Ф., Семенко О.В., Газиева А.Ю. и др. Эпидемиологическая обстановка по природно-очаговым инфекционным болезням в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах в 2019 г. Аналитический обзор. Ставрополь; 2020. Available at: <https://www.snipchi.ru/updoc/2020/An-Obzor%20po%20prirodno-oschagovim%202020.pdf>
9. Малецкая О.В., Таран Т.В., Прислегина Д.А., Дубянский В.М., Вольныкина А.С., Семенко О.В. и др. Природно-очаговые вирусные лихорадки на юге европейской части России. Крымская геморрагическая лихорадка. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2020; (4): 75–80. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2020-4-75-80>
10. Онищенко Г.Г., Ефременко В.И., Бейер А.П. *Крымская геморрагическая лихорадка*. М.; 2005.
11. Платонов А.Е., Авксентьев Н.А., Авксентьева М.В., Деркач Е.В., Платонова О.В., Титков А.В. и др. Социально-экономическое бремя пяти природно-очаговых инфекций в Российской Федерации. *Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология*. 2015; 8(1): 47–56. <https://doi.org/10.17749/2070-4909.2015.8.1.047-056>
12. Смирнова С.Е. *Крымская-Конго геморрагическая лихорадка (этиология, эпидемиология, лабораторная диагностика)*. М.: АТиСО; 2007.
13. Estrada-Peña A., Zatansever Z., Gargili A., Aktas M., Uzun R., Ergonul O., et al. Modeling the spatial distribution of Crimean-Congo hemorrhagic fever outbreaks in Turkey. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 2007; 7(4): 667–78. <https://doi.org/10.1089/vbz.2007.0134>
14. Харченко Т.В. *Современные эпидемиологические особенности Крымской геморрагической лихорадки в Российской Федерации*: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Ставрополь; 2011
15. Ansari H., Shahbaz B., Izadi S., Zeinali M., Tabatabaee S.M., Mahmoodi M., et al. Crimean-Congo hemorrhagic fever and its relationship with climate factors in southeast Iran: a 13-year experience. *J. Infect. Dev. Ctries.* 2014; 8(6): 749–57. <https://doi.org/10.3855/jidc.4020>
16. Mostafavi E., Chinikar S., Bokaei S., Haghdoost A. Temporal modeling of Crimean-Congo hemorrhagic fever in eastern Iran. *Int. J. Infect. Dis.* 2013; 17(7): 524–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2013.01.010>
17. Vescio F.M., Busani L., Mughini-Gras L., Khoury C., Avellis L., Taseva E., et al. Environmental correlates of Crimean-Congo haemorrhagic fever incidence in Bulgaria. *BMC Public Health*. 2012; 12: 1116. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-1116>
18. Дубянский В.М., Прислегина Д.А., Куличенко А.Н. Риск-ориентированная модель прогнозирования эпидемиологической ситуации по Крымской геморрагической лихорадке (на примере Ставропольского края). *Анализ риска здоровью*. 2018; (1): 13–21. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.02>
19. Прислегина Д.А., Дубянский В.М., Малецкая О.В., Куличенко А.Н., Василенко Н.Ф., Манин Е.А. и др. Крымская геморрагическая лихорадка в Ставропольском крае: современные клинико-эпидемиологические аспекты и новый подход к прогнозированию заболеваемости. *Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение*. 2018; 7(3): 49–56. <https://doi.org/10.24411/2305-3496-2018-13007>
20. Прислегина Д.А., Дубянский В.М., Куличенко А.Н. Особо опасные арбовирусные лихорадки на юге России: совершенствование мониторинга с применением современных информационных технологий. *Медицина труда и экология человека*. 2019; (4): 50–8. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10047>
21. Тохов Ю.М., Дегтярев Д.Ю., Дубянский В.М. *Иксодовые клещи (морфология, медицинское значение, регуляция численности)*. Ставрополь; 2015.
22. Трухачев В.И., Тохов Ю.М., Луцук С.Н., Дылев А.А., Толконников В.П., Дьяченко Ю.В. Распространение и экологическая характеристика иксодовых клещей рода Hyalomma в экосистемах Ставропольского края. *Юг России: экология, развитие*. 2016; 11(2): 59–69. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2016-2-59-69>
23. Тохов Ю.М., Чумакова И.В., Луцук С.Н., Дьяченко Ю.В., Котенев Е.С., Зайцев А.А. Иксодовые клещи – резервуар возбудителей инфекционных и инвазионных болезней на территории Ставропольского края. *Вестник ветеринарии*. 2013; (2): 19–21.
24. Прислегина Д.А., Дубянский В.М., Платонов А.Е., Малецкая О.В. Влияние природно-климатических факторов на эпидемиологическую ситуацию по природно-очаговым

- инфекциям. *Инфекция и иммунитет*. 2021; 11(5): 820–36. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-EOT-1631>
25. Куличенко А.Н., Прислегина Д.А. Крымская геморрагическая лихорадка: климатические предпосылки изменений активности природного очага на юге Российской Федерации. *Инфекция и иммунитет*. 2019; 9(1): 162–72. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-2019-1-162-172>
 26. Гублер Е.В. *Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов*. Ленинград: Медицина; 1978.
 27. Гублер Е.В., Генкин А.А. *Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях*. Ленинград: Медицина; 1973.
 28. 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.
 29. Yigit G.K. An example of tick-Crimean Congo hemorrhagic fever (CCHF) in Eflani district, Karabuk, Turkey. *Sci. Res. Essays*. 2011; 6(11): 2395–402. <https://doi.org/10.5897/SRE11.574>
 30. Черкасский Б.Л. *Риск в эпидемиологии*. М.: Практическая медицина; 2007.
- #### REFERENCES
1. Shahhosseini N., Wong G., Babuadze G., Camp J.V., Ergonul O., Kobinger G.P., et al. Crimean-Congo hemorrhagic fever virus in Asia, Africa and Europe. *Microorganisms*. 2021; 9(9): 1907. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091907>
 2. Obaidat M.M., Graziano J.C., Morales-Betoulle M., Brown S.M., Chiang C.F., Klena J.D. Rift Valley fever and Crimean-Congo hemorrhagic fever viruses in ruminants, Jordan. *Emerg. Infect. Dis*. 2021; 27(2): 653–55. <https://doi.org/10.3201/eid2702.203713>
 3. Temur A.I., Kuhn J.H., Pecor D.B., Apanaskevich D.A., Keshkar-Jahromi M. Epidemiology of Crimean-Congo hemorrhagic fever (CCHF) in Africa-underestimated for decades. *Am. J. Trop. Med. Hyg*. 2021; 104(6): 1978–90. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-1413>
 4. Dieng I., Barry M.A., Diagne M.M., Diop B., Ndiaye M., Faye M., et al. Detection of Crimean Congo haemorrhagic fever virus in North-eastern Senegal, Bokidiawé 2019. *Emerg. Microbes Infect.* 2020; 9(1): 2485–87. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1847605>
 5. Schulz A., Barry Y., Stoek F., Pickin M.J., Ba A., Chitimia-Dobler L., et al. Detection of Crimean-Congo hemorrhagic fever virus in blood-fed Hyalomma ticks collected from Mauritanian livestock. *Parasit. Vectors*. 2021; 14(1): 342. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04819-x>
 6. Balinandi S., von Brömssen C., Tumusiime A., Kyondo J., Kwon H., Monteil V.M., et al. Serological and molecular study of Crimean-Congo hemorrhagic fever virus in cattle from selected districts in Uganda. *J. Virol. Methods*. 2021; 290: 114075. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2021.114075>
 7. Negredo A., Sánchez-Ledesma M., Llorente F., Pérez-Olmeda M., Belhassen-García M., González-Calle D., et al. Retrospective identification of early autochthonous case of Crimean-Congo hemorrhagic fever, Spain, 2013. *Emerg. Infect. Dis*. 2021; 27(6): 1754–6. <https://doi.org/10.3201/eid2706.204643>
 8. Kulichenko A.N., Maletskaya O.V., Prisleгина D.A., Vasilenko N.F., Semenko O.V., Gazieva A.Yu., et al. *Epidemiological Situation on Natural Focal Infectious Diseases in the Southern and North Caucasian federal districts in 2019. Analytical Review [Epidemiologicheskaya obstanovka po prirodno-ochagovym infektsionnym bolezniam v Yuzhnom i Severo-Kavkazskom federal'nykh okrugakh v 2019 g.]*. Stavropol'; 2020. Available at: <https://www.snipchi.ru/updoc/2020/An-Obzor%20po%20prirodno-oschagovim%202020.pdf> (in Russian)
 9. Maletskaya O.V., Taran T.V., Prisleгина D.A., Dubyanskiy V.M., Volynkina A.S., Semenko O.V., et al. Natural-focal viral fevers in the South of the European part of Russia. Crimean-Congo hemorrhagic fever. *Problemy osobo opasnykh infektsiy*. 2020; (4): 75–80. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2020-4-75-80> (in Russian)
 10. Onishchenko G.G., Efremenko V.I., Beyer A.P. *Crimean-Congo hemorrhagic fever [Krymskaya gemorragicheskaya likhoradka]*. Moscow; 2005. (in Russian)
 11. Platonov A.E., Avksent'eva N.A., Avksent'eva M.V., Derkach E.V., Platonova O.V., Titkov A.V., et al. Social and economic burden of five natural focal infections in the Russian Federation. *Farmakoeconomika. Sovremennaya farmakoeconomika i farmakoepidemiologiya*. 2015; 8(1): 47–56. <https://doi.org/10.17749/2070-4909.2015.8.1.047-056> (in Russian)
 12. Smirnova S.E. *Crimean-Congo Hemorrhagic Fever (Etiology, Epidemiology, Laboratory Diagnostics) [Krymskaya-Kongo gemorragicheskaya likhoradka (etiologiya, epidemiologiya, laboratornaya diagnostika)]*. Moscow: ATiSO; 2007. (in Russian)
 13. Estrada-Peña A., Zatansever Z., Gargili A., Aktas M., Uzun R., Ergonul O., et al. Modeling the spatial distribution of Crimean-Congo hemorrhagic fever outbreaks in Turkey. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 2007; 7(4): 667–78. <https://doi.org/10.1089/vbz.2007.0134>
 14. Kharchenko T.V. *Modern epidemiological features of the Crimean-Congo hemorrhagic fever in the Russian Federation: Diss. Stavropol'*; 2011 (in Russian)
 15. Ansari H., Shahbaz B., Izadi S., Zeinali M., Tabatabaee S.M., Mahmoodi M., et al. Crimean-Congo hemorrhagic fever and its relationship with climate factors in southeast Iran: a 13-year experience. *J. Infect. Dev. Ctries*. 2014; 8(6): 749–57. <https://doi.org/10.3855/jidc.4020>
 16. Mostafavi E., Chinikar S., Bokaei S., Haghdooost A. Temporal modeling of Crimean-Congo hemorrhagic fever in eastern Iran. *Int. J. Infect. Dis*. 2013; 17(7): 524–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2013.01.010>
 17. Vescio F.M., Busani L., Mughini-Gras L., Khoury C., Avellis L., Taseva E., et al. Environmental correlates of Crimean-Congo haemorrhagic fever incidence in Bulgaria. *BMC Public Health*. 2012; 12: 1116. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-1116>
 18. Dubyanskiy V.M., Prisleгина D.A., Kulichenko A.N. Risk-oriented model for predicting epidemiological situation with Crimean-Congo hemorrhagic fever (on the example of Stavropol region). *Analiz riska zdorov'yu*. 2018; (1): 13–21. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.02> (in Russian)
 19. Prisleгина D.A., Dubyanskiy V.M., Maletskaya O.V., Kulichenko A.N., Vasilenko N.F., Manin E.A., et al. Crimean-Congo hemorrhagic fever in the Stavropol Region: contemporary clinical and epidemiological aspects and new approach to forecasting of morbidity. *Infektsionnye bolezni: novosti, mneniya, obuchenie*. 2018; 7(3): 49–56. <https://doi.org/10.24411/2305-3496-2018-13007> (in Russian)
 20. Prisleгина D.A., Dubyanskiy V.M., Kulichenko A.N. Particular dangerous arbovirus fevers in the south of Russia: improvement of monitoring with modern information technology application. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2019; (4): 50–8. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10047> (in Russian)
 21. Tokhov Yu.M., Degtyarev D.Yu., Dubyanskiy V.M. *Ixodid Ticks (Morphology, Medical Significance, Population Regulation) [Iksodovye kleshchi (morfologiya, meditsinskoe znachenie, regulyatsiya chislennosti)]*. Stavropol'; 2015. (in Russian)
 22. Trukhachev V.I., Tokhov Yu.M., Lutsuk S.N., Dylev A.A., Tolokonnikov V.P., D'yachenko Yu.V. Distribution and ecological characteristics of Hyalomma ixodid ticks in the ecosystems of the Stavropol Region. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2016; 11(2): 59–69. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2016-2-59-69> (in Russian)
 23. Tokhov Yu.M., Chumakova I.V., Lutsuk S.N., D'yachenko Yu.V., Kotenev E.S., Zaytsev A.A. Ticks as the reservoir of

- contagious diseases in the Stavropol territory. *Vestnik veterinarii*. 2013; (2): 19–21. (in Russian)
24. Prisleгина D.A., Dubyanskiy V.M., Platonov A.E., Maletskaya O.V. Effect of the natural and climatic factors on epidemiological situation related to natural focal infections. *Infektsiya i immunitet*. 2021; 11(5): 820–36. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-EOT-1631> (in Russian)
25. Kulichenko A.N., Prisleгина D.A. Climatic prerequisites for changing activity in the natural Crimean-Congo hemorrhagic fever focus in the South of the Russian Federation. *Infektsiya i immunitet*. 2019; 9(1): 162–72. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-2019-1-162-172> (in Russian)
26. Gubler E.V. *Computational Methods for Analysis and Identification of Pathological Processes [Vychislitel'nye metody analiza i raspoznavaniya patologicheskikh protsessov]*. Leningrad: Meditsina; 1978. (in Russian)
27. Gubler E.V., Genkin A.A. *Application of Statistical Non-Parametric Criteria in Medico-Biological Investigations [Primeneniye neparametricheskikh kriteriyev statistiki v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh]*. Leningrad: Meditsina; 1973. (in Russian)
28. Dubyanskiy M.A., Kenzhebaev A., Stepanov V.M., Azenov G.A., Dubyanskaya L.D. *Prognostication of Plague Epizootic Activity in Sub-Aral and Kyzylkum Areas [Prognozirovanie epizooticheskoy aktivnosti chумы v Priaral'e i Kyzylkumakh]*. Nukus: Karakalpakstan; 1992. (in Russian)
29. Yigit G.K. An example of tick-Crimean Congo hemorrhagic fever (CCHF) in Eflani district, Karabuk, Turkey. *Sci. Res. Essays*. 2011; 6(11): 2395–402. <https://doi.org/10.5897/SRE11.574>
30. Cherkasskiy B.L. *Risk in Epidemiology [Risk v epidemiologii]*. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2007. (in Russian)

Информация об авторах

Дубянский Владимир Маркович — д.б.н., зав. отделом эпизоотического мониторинга и прогнозирования Ставропольского противочумного института, Ставрополь, Россия; член временного научного коллектива по выполнению гранта РФФИ Эпидемиологии, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-3817-2513>

Прислегина Дарья Александровна[✉] — к.м.н., с.н.с. лаб. эпидемиологии Ставропольского противочумного института, Ставрополь, Россия; член временного научного коллектива по выполнению гранта РФФИ Эпидемиологии, Москва, Россия, daria775@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9522-129X>

Платонов Александр Евгеньевич — д.б.н., проф., г.н.с. лаб. эпидемиологии природно-очаговых инфекций ЦНИИ Эпидемиологии, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-7450-0081>

Участие авторов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

Статья поступила в редакцию 28.03.2022;
принята к публикации 20.06.2022;
опубликована 30.06.2022

Information about the authors

Vladimir M. Dubyanskiy — D. Sci. (Biol.), Head, Department of epidemiological monitoring and prognostication, Stavropol Plague Control Research Institute, Stavropol, Russia; member of the temporary research team for the implementation of the grant of the Russian Science Foundation, Central Research Institute of Epidemiology, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-3817-2513>

Daria A. Prisleгина[✉] — Cand. Sci. (Med.), senior researcher, Laboratory of epidemiology, Stavropol Plague Control Research Institute, Stavropol, Russia; member of the temporary research team for the implementation of the grant of the Russian Science Foundation, Central Research Institute of Epidemiology, Moscow, Russia, daria775@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9522-129X>

Alexander E. Platonov — D. Sci (Biol.), Prof., chief researcher, Laboratory of zoonoses, Central Research Institute of Epidemiology, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-7450-0081>

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published.

The article was submitted 28.0.2022;
accepted for publication 20.06.2022;
published 30.06.2022