

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ РИСКА В ГИГИЕНЕ И ЭПИДЕМИОЛОГИИ

УДК 614.44: 616.9 (470.63)

DOI: 10.21668/health.risk/2018.1.02

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПО КРЫМСКОЙ ГЕМОРРАГИЧЕСКОЙ ЛИХОРАДКЕ (НА ПРИМЕРЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ)

В.М. Дубянский, Д.А. Прислегина, А.Н. Куличенко

Ставропольский противочумный институт, Россия, 355035, г. Ставрополь, ул. Советская, 13–15

Предметом исследования являлось многофакторное прогнозирование риска возникновения хотя бы одного случая заболевания Крымской геморрагической лихорадкой (КГЛ) на территории отдельного административного района субъекта Российской Федерации (на примере Ставропольского края). Риск-ориентированная модель для ежегодного прогнозирования появления больных КГЛ создана с использованием методики неоднородной последовательной статистической процедуры распознавания. В качестве предикторов появления больных КГЛ рассмотрены ежемесячные показатели климатических факторов (температуры воздуха, относительной влажности воздуха, количества осадков, высоты снежного покрова, атмосферного давления) и эпидемиологические данные (количество больных КГЛ в предыдущем году и число населенных пунктов, в которых были зарегистрированы случаи заболевания КГЛ). Для проверки точности прогнозной модели были использованы значения данных факторов риска с 2011 по 2015 г. для каждого административного района Ставропольского края. Пороговый уровень вероятности позитивного решения был выбран 99 % (вероятность ошибки 1 %).

Выполнена проверка предлагаемой модели прогнозирования по ретроспективным данным за 2013–2016 гг. Представлены результаты прогноза появления хотя бы одного больного КГЛ для каждого административного района Ставропольского края на 2017 г. При анализе полученных данных отмечена высокая точность потенциальных результатов прогнозирования. Суммарно выявленные шесть ложноположительных и два ложноотрицательных (действительно ошибочных) результата могут быть следствием объективных факторов – недостаточной диагностики заболевания, а также завозных случаев. Полученные данные могут быть использованы в практической деятельности учреждений Роспотребнадзора при планировании и организации мероприятий по профилактике КГЛ. Следующим этапом развития прогнозной модели будет создание методики расчета предполагаемого количества больных КГЛ для каждого административного района, в которых прогнозируется появление хотя бы одного случая заболевания в предстоящем году.

Ключевые слова: Крымская геморрагическая лихорадка, риск-ориентированная модель, заболеваемость, факторы риска, прогнозирование, коэффициент информативности.

Территория юга России эндемична по Крымской геморрагической лихорадке (КГЛ) – особо опасной природно-очаговой вирусной инфекции, случаи заболевания которой были зарегистрированы на территории почти всех субъектов Южного и Северо-Кавказского федеральных округов (за исключением Краснодарского края, Республики Адыгеи, Республики Северная Осетия–Алания и Чеченской Республики). Всего за

период с 1999 по 2016 г. было выявлено 2047 больных КГЛ, у 82 из которых болезнь закончилась летально (смертность 4 %). Как при многих природно-очаговых инфекциях, заболеваемость КГЛ имеет циклический характер. Первый пик был отмечен в период с 2005 по 2009 г. С 2015 г. начался очередной подъем заболеваемости. В 2014 г. было зарегистрировано 90 больных КГЛ, в 2015 г. – 138, в 2016 г. – 162 [1, 2] (рис. 1).

© Дубянский В.М., Прислегина Д.А., Куличенко А.Н., 2018

Дубянский Владимир Маркович – доктор биологических наук, заведующий отделом эпизоотологического мониторинга и прогнозирования (e-mail: snipchi@mail.stv.ru; тел.: 8 (865) 226-03-12).

Прислегина Дарья Александровна – младший научный сотрудник лаборатории эпидемиологии (e-mail: daria775@ Rambler.ru; тел.: 8 (865) 226-03-12).

Куличенко Александр Николаевич – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор (e-mail: snipchi@mail.stv.ru; тел.: 8 (865) 226-03-12).

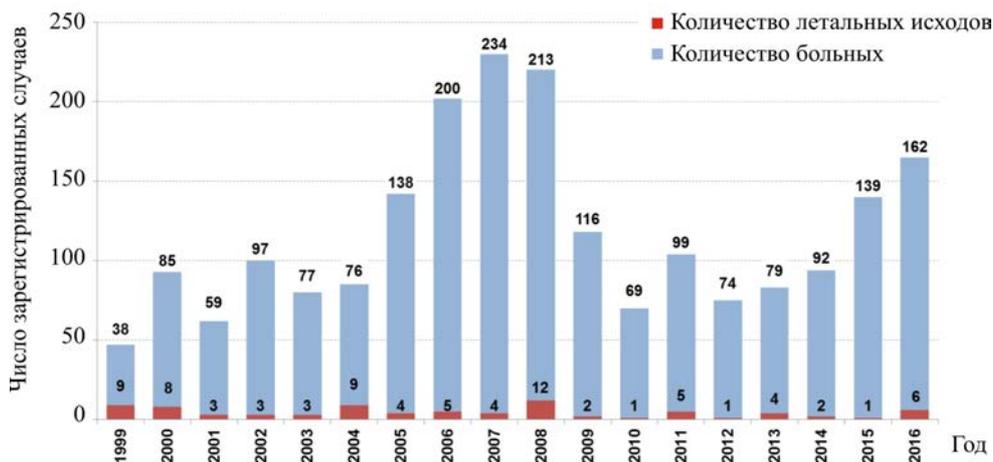


Рис. 1. Динамика заболеваемости Крымской геморрагической лихорадкой в Российской Федерации с 1999 по 2016 г.

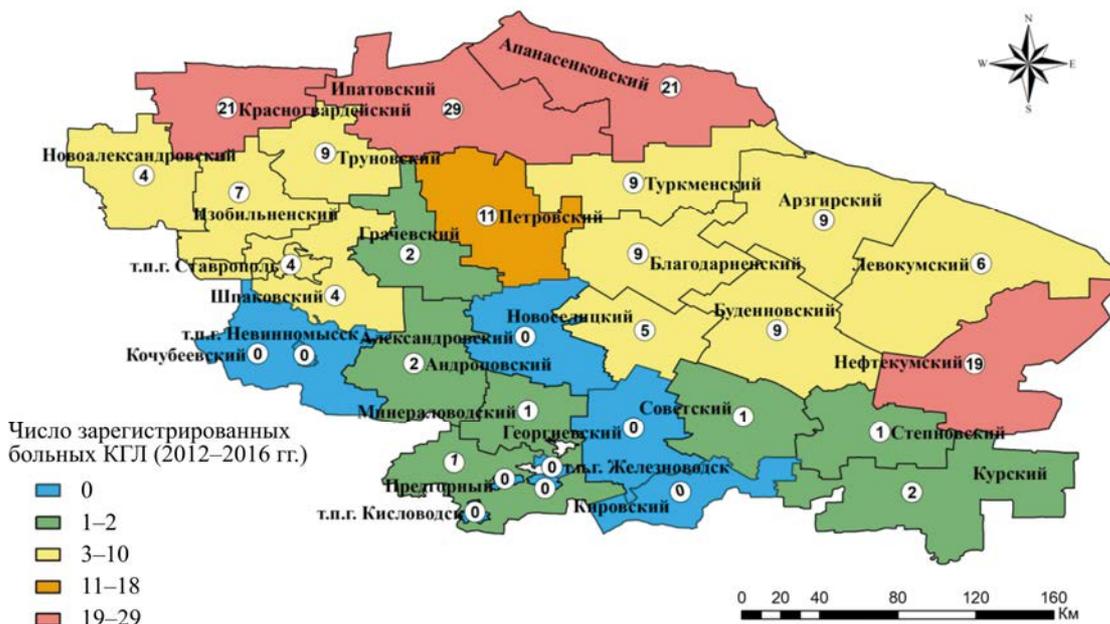


Рис. 2. Распределение выявленных больных Крымской геморрагической лихорадкой по административным районам Ставропольского края (2012–2016 гг.)

Случаи заболевания в 2016 г. зарегистрированы в шести субъектах юга России, 37 % из них – в Ставропольском крае, на территории которого в течение последних пяти лет сохраняется напряженная эпидемиологическая обстановка по КГЛ, без тенденции к снижению заболеваемости [3–5]. Благоприятные ландшафтно-географические и климатические условия, а также широкий спектр видов мелких млекопитающих и птиц, являющихся прокормителями основного переносчика вируса Конго-крымской геморрагической лихорадки (ККГЛ) – клещей *Hyalomma marginatum*, способствуют формированию и поддержанию

природных очагов данной инфекции в регионе [6, 7]. Вместе с тем при анализе пространственного распределения заболеваемости этой инфекцией по территории Ставропольского края отмечено, что наряду с административными районами, в которых больные в течение последних пяти лет не выявлены или периодически имеют место только единичные случаи, есть районы, в которых ежегодно регистрируются множественные случаи заболевания КГЛ [8] (рис. 2).

Учитывая отсутствие на сегодняшний день средств специфической профилактики КГЛ, основное внимание уделяется проведению профи-

лактических и противоэпидемических мероприятий. Первоочередным становится обеспечение готовности лечебно-профилактических организаций к проведению лабораторной диагностики и своевременному оказанию квалифицированной медицинской помощи больным. Таким образом, для научно обоснованного целенаправленного планирования мероприятий по профилактике этого заболевания возникает необходимость составления ежегодного количественного прогноза риска появления больных в каждом административном районе Ставропольского края [9].

Существующие методы прогнозирования заболеваемости КГЛ базируются только на эпидемиологических или климатических данных и не учитывают всего комплекса факторов, влияющих на эпидемический процесс этой инфекции. Так, математическая модель краткосрочного прогнозирования количества случаев заболевания КГЛ, основанная на методе определения «максимальной стабильности» и регрессионном анализе, позволяет по заболеваемости «ключевого» месяца определить ожидаемое число больных (годовой показатель) в текущем году [10]. Также известна методика, основанная на использовании агентной модели распространения заболевания типа SIR. Данный метод прогнозирования предусматривает разделение всех индивидов изучаемой популяции на три группы – здоровых «восприимчивых» (*susceptible, S*), «зараженных», являющихся источниками возбудителя инфекционной болезни (*infected, I*), и «выздоровевших», имеющих специфический иммунитет (*recovered, R*). Функционирование данной модели базируется исключительно на анализе стадий развития инфекционной болезни, отражая только вероятностную природу эпидемического процесса [11]. При помощи других математических методик возможно составление прогноза общей динамики уровня заболеваемости КГЛ в зависимости от показателей климатических факторов для всей территории исследуемого субъекта в целом [12–15]. Таким образом, на сегодняшний день риск-ориентированной модели для количественного прогнозирования появления или отсутствия случаев заболевания КГЛ в предстоящем году на территории каждого административного района субъекта, основанной на многофакторном анализе предикторов, не существует.

Цель нашего исследования – разработка риск-ориентированной модели, позволяющей составить прогноз вероятности возникновения

хотя бы одного случая заболевания КГЛ в каждом административно-территориальном районе (на примере Ставропольского края) на предстоящий год.

В данной статье представлены результаты апробации предлагаемой нами методики (на основе ретроспективных данных за 2012–2016 гг.) и прогноза на 2017 г.

Материалы и методы. В работе использованы итоговые годовые материалы по заболеваемости КГЛ, предоставленные Управлением Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ставропольскому краю, результаты лабораторных исследований полевого материала, выполненных ФКУЗ «Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт» Роспотребнадзора и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ставропольском крае», демографические статистические показатели Федеральной службы государственной статистики (РОССТАТ). Гидрометеорологические данные были получены из базы данных ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (<http://www.meteo.ru>), архивов метеостанций, размещенных на сайте ООО «Расписание Погоды» (<https://rp5.ru>), и дневников погоды Gismeteo (<https://www.gismeteo.ru/diary>).

Риск-ориентированная модель создана с использованием неоднородной последовательной процедуры распознавания (НППР). Данный метод широко применяется в различных медицинских исследованиях для вычисления риска исходов патологических процессов на основе выбора наиболее информативных клинических и лабораторных признаков, а также при выполнении эпидемиологического и эпизоотологического прогнозирования, в частности, активности природных очагов чумы [16–23]. Основные достоинства НППР – возможность учета разнонаправленного влияния значений предикторов и представление результатов в альтернативной форме, т.е. в результате будет получен один из двух возможных вариантов прогноза на следующий от исходного год: «условно положительный» (появление случаев заболевания) или «условно отрицательный» (отсутствие случаев заболевания). Случаи промежуточного результата чаще всего свидетельствуют о недостатке информации. Кроме того, указанная методика относительно проста в применении, не требует использования сложных методов многомерной

статистики и пригодна при любой форме распределения признаков.

В качестве предикторов риска нами были рассмотрены все основные группы факторов, влияющих на развитие эпидемического процесса КГЛ: *биотические* (инфицированность основных переносчиков КГЛ по результатам лабораторного исследования клещей на наличие маркеров вируса ККГЛ), *абиотические* (ежемесячные показатели климатических факторов: температуры воздуха, относительной влажности воздуха, количества осадков, высоты снежного покрова, атмосферного давления), *социальные* (ежегодные показатели плотности населения в районах на 1 км²) и *эпидемиологические* данные (количество лиц, обратившихся в лечебно-профилактические организации по поводу укусов клещами, число больных КГЛ и количество населенных пунктов, в которых были зарегистрированы случаи заболевания КГЛ по каждому административно-территориальному району Ставропольского края за 2011–2015 гг.). Противоклещевые обработки пастбищ, природных биотопов и эпидемически значимых объектов, а также акарицидные обработки сельскохозяйственных животных в течение изучаемого периода проводились в достаточных объемах на территории всех административных районов Ставропольского края и не оказывали решающего влияния на заболеваемость людей КГЛ. В связи с этим при проведении исследования значения данного фактора нами не учитывались.

Для отбора наиболее значимых предикторов для каждого из них было проведено вычисление коэффициента информативности, отражающего значение вклада данного фактора риска в приближение к одному из вариантов прогноза. Предикторы с низким коэффициентом информативности (< 0,5) были исключены из дальнейшего исследования ввиду нецелесообразности их учета, так как они мало увеличивают общую информативность, но удлиняют процедуру анализа и могут увеличить число ошибок [16]. Оставленные предикторы были ранжированы в порядке убывания коэффициентов информативности с получением оптимизированного перечня факторов риска, необходимых для последующего построения модели.

Пороговый уровень вероятности позитивного решения для каждого административного района был выбран 99 % (вероятность ошибки 1 %). Соответственно, суммарный диагностический коэффициент для каждого административного района был равен 20 (со знаком «+» –

«положительный результат» – появление хотя бы одного больного КГЛ, или «–» – «отрицательный результат» – отсутствие случаев КГЛ). Обучающая выборка представляла собой данные о количестве зарегистрированных больных и предикторах риска по всем 32 административным единицам Ставропольского края за предшествующий год. Проверочная выборка – данные о наличии хотя бы одного заболевшего КГЛ в следующем году. Проводилась ретроспективная проверка риска заболевания хотя бы одного человека в административной единице Ставропольского края в парах 2013–2014, 2014–2015, 2015–2016 гг. в ретроспективе. В январе 2017 г. был дан расчет на эпидсезон 2017 г. с использованием данных 2016 г.

Для автоматизации этапов процедуры составления риск-ориентированной модели нами была разработана программа в среде Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. Результаты апробации риск-ориентированной модели (по ретроспективным данным) и оперативного прогноза на 2017 г. представлены в таблице.

Результаты прогнозирования появления или отсутствия больных КГЛ для каждого из 32 административных районов Ставропольского края на 2013–2017 гг.

Результат прогнозирования	Год									
	2013		2014		2015		2016		2017	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Верный	31	96,9	30	93,8	30	93,8	32	100	29	90,6
Ложноположительный*	1	3,1	2	6,2	0	0	0	0	3	9,4
Ложноотрицательный**	0	0	0	0	2	6,2	0	0	0	0

Примечание: * – ложноположительный результат – заболевание хотя бы одного человека было спрогнозировано, но фактически отсутствовало;

** – ложноотрицательный результат – заболевание хотя бы одного человека не было спрогнозировано, но фактически был зарегистрирован больной.

При анализе результатов апробации модели отмечена высокая точность потенциальных результатов прогнозирования. Для 2016 г. получено полное совпадение с фактическими показателями для всех административных районов. При трактовке трех выявленных ложноположительных результатов следует учитывать влияние объективного фактора: возможность отсутствия диагностики заболевания ввиду превалирования в последние годы форм КГЛ без геморрагического синдрома. Два ложноот-

рицательных результата, которые можно считать действительно ошибочными, были получены только в 2015 г. и могут быть объяснены заносными случаями заболевания, при которых заражение пациентов произошло во время пребывания на территории других административных районов или даже за пределами Ставропольского края. Результаты оперативного прогноза на 2017 г. совпали с фактическими данными для 29 из 32 административных районов, ложноотрицательных («действительно ошибочных») результатов не получено. Наиболее информативными и прогностически значимыми факторами риска из исследуемых климатических показателей за весь указанный период являлись влажность воздуха и количество выпавших осадков (в летне-весенние месяцы), а также высота снежного покрова в марте–феврале, что можно объяснить их непосредственным влиянием на численность и активность основного переносчика вируса ККГЛ – клещей *Hyalomma marginatum*, и клещей других видов, доказанные в ряде работ [6, 7, 14]. Неинформативными оказались значения скорости ветра, плотность населения в административно-территориальных районах и результаты лабораторного исследования клещей на наличие маркеров вируса ККГЛ. Последнее может быть объяснено недостаточной репрезентативностью выборки материала. Соответственно, деление территории Ставропольского края по прогнозируемому риску заражения возбудителем КГЛ хотя бы одного человека в административной единице было выполнено на основании значений климатических факторов (температуры воздуха, относительной влажности воздуха, количества осадков, высоты снежного покрова, атмосферного давления) и эпидемиологических данных (числа больных КГЛ в предшествующем году и количества населенных пунктов, в которых они были зарегистрированы) по каждому административному району.

Выводы. Таким образом, в результате апробации разрабатываемой нами риск-ориенти-

рованной модели прогнозирования появления случаев заболевания КГЛ была продемонстрирована ее пригодность и возможность практического применения. Полученные результаты в качестве самостоятельных данных могут быть использованы в деятельности учреждений Роспотребнадзора для целенаправленного планирования профилактических мероприятий в административных районах с высоким риском появления больного КГЛ (создания резерва лекарственных препаратов для лечения КГЛ, обеспечения готовности лабораторной базы к проведению исследований клинического материала и проведения семинарских занятий по вопросам эпидемиологии и клиники КГЛ для повышения эпидемиологической настороженности у медицинского персонала первичного звена).

Отметим, что мы впервые применили НППР, вычисляя информативность предикторов в пространстве относительно большого числа пространственных точек (32 административных районов). До сих пор в эпизоотологии и эпидемиологии природно-очаговых инфекций этот метод применялся для вычисления информативности предикторов во времени относительно одной точки пространства. На текущий момент другие методы для пространственного многофакторного прогнозирования появления хотя бы одного случая заболевания КГЛ по каждому административному району авторам неизвестны. Это является важным преимуществом предложенной модели перед другими, разработанными ранее.

Мы апробировали возможность прогнозирования в следующем, относительно текущего, году риска заболевания хотя бы одного человека в административных районах Ставропольского края. Следующим этапом развития данной прогнозной модели будет попытка расчетов предполагаемого количества случаев заболевания КГЛ для каждого административного района, в которых прогнозируется появление хотя бы одного больного в предстоящем году.

Список литературы

1. Обзор эпидемической ситуации по Крымской геморрагической лихорадке в Российской Федерации в 2015 г. и прогноз на 2016 г. / А.С. Волынкина, Е.С. Котенев, Я.В. Лисицкая, О.В. Малецкая, Л.И. Шапошникова, А.Н. Куличенко // Проблемы особо опасных инфекций. – 2016. – № 1. – С. 44–47.
2. Эпидемиологическая обстановка по природно-очаговым инфекционным болезням в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах в 2016 г.: аналитический обзор / А.Н. Куличенко, О.В. Малецкая, Н.Ф. Василенко, Е.А. Манин, Д.А. Прислегина, В.М. Дубянский, М.П. Григорьев. – Ставрополь, 2017. – С. 8–18.
3. Крымская геморрагическая лихорадка в Российской Федерации в 2014 г., прогноз эпидемиологической обстановки на 2015 г. / А.С. Волынкина, Е.С. Котенев, Я.В. Лисицкая, О.В. Малецкая, Л.И. Шапошникова, А.Н. Куличенко // Проблемы особо опасных инфекций. – 2015. – № 1. – С. 42–45.

4. Эпидемиологическая обстановка по природно-очаговым инфекционным болезням в Южном, Северо-Кавказском и Крымском федеральных округах в 2015 г.: аналитический обзор / А.Н. Куличенко, О.В. Малецкая, Н.Ф. Василенко, Е.А. Манин, Д.А. Прислегина, В.М. Дубянский, М.П. Григорьев. – Ставрополь: Литера, 2016. – С. 7–18.

5. Эпидемиологическая обстановка по природно-очаговым инфекционным болезням на территории Северо-Кавказского федерального округа в 2015 г. / Н.Ф. Василенко, О.В. Малецкая, Е.А. Манин, Д.А. Прислегина, Т.В. Таран, В.М. Дубянский, Л.И. Шапошникова, А.С. Вольнкина, Я.В. Лисицкая, Е.С. Котенёв, Г.М. Грижебовский, А.Н. Куличенко // Проблемы особо опасных инфекций. – 2016. – № 4. – С. 15–19.

6. Иксодовые клещи – резервуар возбудителей инфекционных и инвазионных болезней на территории Ставропольского края / Ю.М. Тохов, И.В. Чумакова, С.Н. Луцук, Ю.В. Дьяченко, Е.С. Котенев, А.А. Зайцев // Вестник ветеринарии. – 2013. – № 2. – С. 19–21.

7. Распространение и экологическая характеристика иксодовых клещей рода *Hyalomma* в экосистемах Ставропольского края / В.И. Трухачев, Ю.М. Тохов, С.Н. Луцук, А.А. Дылев, В.П. Толоконников, Ю.В. Дьяченко // Юг России: экология, развитие. – 2016. – Т. 11, № 2. – С. 59–69.

8. Эпидемиологическая особенность природно-очаговых инфекционных болезней в Ставропольском крае в 2015 г. / Д.А. Прислегина, О.В. Малецкая, Н.Ф. Василенко, Е.А. Манин, И.В. Ковальчук // Здоровье населения и среда обитания: научно-практический бюллетень. – 2017. – № 1. – С. 52–55.

9. Черкасский Б.Л. Риск в эпидемиологии. – М.: Практическая медицина, 2007. – 480 с.

10. Эпидемиологическая обстановка по Крымской геморрагической лихорадке на юге России в 2010 г. и прогноз на 2011 г. / Н.Ф. Василенко, О.В. Малецкая, Ю.М. Тохов, Н.Г. Варфоломеева, О.А. Кирейцева, Т.В. Харченко, А.В. Ермаков, А.Н. Куличенко // Проблемы особо опасных инфекций. – 2011. – № 1. – С. 13–15.

11. Modeling the spatial distribution of Crimean-Congo hemorrhagic fever outbreaks in Turkey / A. Estrada-Pena, Z. Zatansever, A. Gargili, M. Aktas, R. Uzun, O. Ergonul // Vector-Borne and Zoonotic Diseases. – 2007. – № 7. – P. 667–678.

12. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe / J. Gray, H. Dautel, A. Estrada-Peña, O. Kahl, E. Lindgren // Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases. – 2009. – P. 1–12.

13. Crimean-Congo hemorrhagic fever and its relationship with climate factors in southeast Iran: a 13-year experience / H. Ansari, B. Shahbaz, S. Izadi, M. Zeinali, S.M. Tabatabaee, M. Mahmoodi, K. Holakouie-Naieni, M.A. Mansournia // Journal of Infection in Developing Countries. – 2014. – № 8. – P. 749–757.

14. Temporal modeling of Crimean-Congo hemorrhagic fever in eastern Iran / E. Mostafavi, S. Chinikar, S. Bokaei, A.A. Haghdoost // International Journal of Infectious Diseases. – 2013. – № 17. – P. 524–528.

15. Zhang Y., Bi P., Hiller J.E. Climate change and the transmission of vector-borne diseases: a review // Asia Pacific Journal of Public Health. – 2008. – № 20. – P. 64–76.

16. Гублер Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. – Л.: Медицина, 1978. – 294 с.

17. Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. – Л.: Медицина, 1973. – 141 с.

18. Дубянский В.М., Бурделов Л.А. Компьютерная модель чумного эпизоотического процесса в поселениях большой песчанки (*Rhombomys Opimus*): описание и проверка адекватности // Зоологический журнал. – 2010. – Т. 89, № 1. – С. 79–87.

19. Прогнозирование частых заболеваний у детей экологически неблагоприятного региона / И.А. Аксенов, А.А. Джумагазиев, Д.А. Безрукова // Вопросы диагностики в педиатрии. – 2009. – № 2. – С. 62–68.

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

21. Прогностическая модель выявления осложнений у пациентов с острым коронарным синдромом / Н.П. Копица, Н.В. Титаренко, Н.В. Белая, А.Л. Опарин // Вестник Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. Серия: Медицина. – 2012. – № 24. – С. 23–31.

22. Прогностическое значение мозгового натрийуретического пептида у пациентов с острым коронарным синдромом / Н.П. Копица, Н.В. Титаренко, Н.В. Белая, А.Л. Опарин // Вестник Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. Серия: Медицина. – 2011. – № 21. – С. 52–60.

23. Черкашина Ю.А. Применение математических методов в задаче диагностики состояния здоровья детей первого года жизни // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 5. – С. 34–37.

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. – С. 13–21. DOI: 10.21668/health.risk/2018.1.02

UDC 614.44: 616.9 (470.63)

DOI: 10.21668/health.risk/2018.1.02.eng

RISK-ORIENTED MODEL FOR PREDICTING EPIDEMIOLOGICAL SITUATION WITH CRIMEAN-CONGO HEMORRHAGIC FEVER (ON THE EXAMPLE OF STAVROPOL REGION)**V.M. Dubyanskiy, D.A. Prislegina, A.N. Kulichenko**

Stavropol Anti-plague Institute, 13–15 Sovetskaya Str., Stavropol, 355035, Russian Federation

Our research object was a multi-factor prediction of risks related to even a single case of Crimean-Congo hemorrhagic fever (CCHF) on a territory of a particular administrative district in a RF subject (on the example of Stavropol region). Risk-oriented model aimed at yearly prediction of CCHF occurrence was created with heterogeneous sequential statistics clarification procedure. We considered monthly climatic parameters (air temperature, relative air humidity, precipitations quantity, snow mantle size, and air pressure) and epidemiologic data (number of CCHF cases last year and number of settlements where CCHF cases were registered) as predictors for new CCHF cases occurrence. To check our prediction model precision, we took data on risk factors from 2011 to 2015 for each administrative district in Stavropol region. Threshold level of a positive solution probability was set at 99 % (error probability was equal to 1 %).

We tested our prediction model as per retrospective data collected in 2013–2016. It allowed us to predict even a single patient with CCHF occurrence for each administrative district in Stavropol region in 2017. In the course of data analysis we detected high precision in potential prediction results. Totally we revealed six false-positive and two false-negative (actually erratic) results but they can result from objective factors, for example insufficient diagnostics of the disease, as well as imported cases. The obtained data can be applied in practical activities of Rospotrebnadzor offices aimed at planning and organizing CCHF prevention. The next stage in the prediction model development will be creation of a technique for calculating an expected number of CCHF cases for each administrative district where at least one case of the disease is predicted in the forthcoming year.

Key words: Crimean-Congo hemorrhagic fever, risk-oriented model, morbidity, risk factors, prediction, informative value coefficients.

References

1. Volynkina A.S., Kotenev E.S., Lisitskaya Ya.V., Maletskaya O.V., Shaposhnikova L.I., Kulichenko A.N. Obzor epidemicheskoi situatsii po Krymskoi gemorragicheskoi likhoradke v Rossiiskoi Federatsii v 2015 g. i prognoz na 2016 g. [Review of Epidemiological Situation on Crimean-Congo Hemorrhagic Fever in the Russian Federation in 2015 and Prognosis for 2016]. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2016, vol. 1, pp. 44–47 (in Russian).

2. Kulichenko A.N., Maletskaya O.V., Vasilenko N.F., Manin E.A., Prislegina D.A., Dubianskiy V.M., Grigor'ev M.P. Epidemiologicheskaya obstanovka po prirodno-ochagovym infektsionnym bolezniyam v Iuzhnom i Severo-Kavkazskom federal'nykh okrugakh v 2016 g.: Analiticheskii obzor [Epidemiological situation on natural focal infectious diseases in the territory of Southern and North-Caucasian Federal Districts in 2015: Analytical review]. Stavropol', 2017, pp. 8–18. (in Russian).

3. Volynkina A.S., Kotenev E.S., Lisitskaya Ya.V., Maletskaya O.V., Shaposhnikova L.I., Kulichenko A.N. Krymskaya gemorragicheskaya likhoradka v Rossiiskoi Federatsii v 2014 g., prognoz epidemologicheskoi obstanovki na 2015 g. [Crimean Hemorrhagic Fever in the Territory of the Russian Federation in 2014, Prognosis of Epidemiological Situation for 2015]. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2015, no. 1, pp. 42–45 (in Russian).

4. Kulichenko A.N., Maletskaya O.V., Vasilenko N.F., Manin E.A., Prislegina D.A., Dubianskiy V.M., Grigor'ev M.P. Epidemiologicheskaya obstanovka po prirodno-ochagovym infektsionnym bolezniyam v Iuzhnom, Severo-Kavkazskom i Krymskom federal'nykh okrugakh v 2015 g.: Analiticheskii obzor [Epidemiological Situation on Natural Focal Infectious Diseases In The Territory of Southern, North-Caucasian and Crimean Federal Districts in 2015: Analytical review]. Stavropol', Litera Publ., 2016, pp. 7–18 (in Russian).

© Dubyanskiy V.M., Prislegina D.A., Kulichenko A.N., 2018

Vladimir M. Dubyanskiy – Doctor of Biological Sciences; Head of Epizootologic Monitoring and Prediction Department (e-mail: snipchi@mail.stv.ru; tel.: +7 (865) 226-03-12).

Daria A. Prislegina – Junior Researcher at Epidemiology Laboratory (e-mail: daria775@rambler.ru; tel.: +7 (865) 226-03-12).

Aleksandr N. Kulichenko – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor; Director (e-mail: snipchi@mail.stv.ru; tel.: +7 (865) 226-03-12).

5. Vasilenko N.F., Maletskaya O.V., Manin E.A., Prislegina D.A., Taran T.V., Dubianskiy V.M., Shaposhnikova L.I., Volynkina A.S., Lisitskaya I.A., Kotenev E.S., Grizhebovskii G.M., Kulichenko A.N. Epidemiologicheskaya obstanovka po prirodno-ochagovym infektsionnym bolezniyam na territorii Severo-Kavkazskogo federal'nogo okruga v 2015 g. [Epidemiological Situation on Natural Focal Infectious Diseases in the Territory of the North-Caucasian Federal District in 2015]. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2016, no. 4, pp. 15–19 (in Russian).
6. Tokhov Yu.M., Chumakova I.V., Lutsuk S.N., D'yachenko Yu.V., Kotenev E.S., Zaitsev A.A. Iksodovye kleshchi – rezervuar vzbuditelei infektsionnykh i invazionnykh boleznei na territorii Stavropol'skogo kraia [Tick As The Reservoir Of Contagious Diseases In The Stavropol Territory]. *Vestnik veterinarii*, 2013, no. 2, pp. 19–21 (in Russian).
7. Trukhachev V.I., Tokhov Yu.M., Lutsuk S.N., Dylev A.A., Tolokonnikov V.P., D'yachenko Yu.V. Rasprostraneniye i ekologicheskaya kharakteristika iksodovykh kleshchei roda *Hyalomma* v ekosistemakh Stavropol'skogo kraia [Distribution and Ecological Characteristics of *Hyalomma* Ixodid Ticks In The Ecosystems of the Stavropol Region]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye*. – 2016, vol. 11, no. 2, pp. 59–69 (in Russian).
8. Prislegina D.A., Maletskaya O.V., Vasilenko N.F., Manin E.A., Koval'chuk I.V. Epidemiologicheskaya osobennosti prirodno-ochagovykh infektsionnykh boleznei v Stavropol'skom krae v 2015 g. [Epidemiological features of natural focal infections in the Stavropol region in 2015]. *Zdorov'e naseleniia i sreda obitaniia: nauchno-prakticheskii biulleten'*, 2017, no. 1, pp. 52–55 (in Russian).
9. Cherkasskii B.L. Risk v epidemiologii [Risk in Epidemiology]. Moscow, Prakticheskaya meditsina Publ., 2007, 480 p. (in Russian).
10. Vasilenko N.F., Maletskaya O.V., Tokhov Yu.M., Varfolomeeva N.G., Kireitseva O.A., Kharchenko T.V., Ermakov A.V., Kulichenko A.N. Epidemiologicheskaya obstanovka po krymskoi gemorragicheskoi likhoradke na yuge rossii v 2010 g. i prognoz na 2011 g. [Epidemiological Situation of Crimean-Congo Hemorrhagic Fever (CCHF) in the South of Russia in 2010 and Prognosis for the Year of 2011]. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2011, no. 1, pp. 13–15 (in Russian).
11. Estrada-Pena A., Zatansever Z., Gargili A., Aktas M., Uzun R., Ergonul O. Modeling the spatial distribution of Crimean-Congo hemorrhagic fever outbreaks in Turkey. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 2007, no. 7, pp. 667–678.
12. Gray J., Dautel H., Estrada-Peña A., Kahl O., Lindgren E. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 2009, no. 2, pp. 1–12.
13. Ansari H., Shahbaz B., Izadi S., Zeinali M., Tabatabaee S.M., Mahmoodi M., Holakouie-Naieni K., Mansournia M.A. Crimean-Congo hemorrhagic fever and its relationship with climate factors in southeast Iran: a 13-year experience. *Journal of Infection in Developing Countries*, 2014, no. 8, pp. 749–757.
14. Mostafavi E., Chinikar S., Bokaei S., Haghdoost A.A. Temporal modeling of Crimean-Congo hemorrhagic fever in eastern Iran. *International Journal of Infectious Diseases*, 2013, no. 17, pp. 524–528.
15. Zhang Y., Bi P., Hiller J.E. Climate change and the transmission of vector-borne diseases: a review. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 2008, no. 20, pp. 64–76.
16. Gubler E.V. Vychislitel'nye metody analiza i raspoznavaniya patologicheskikh protsessov [Computational methods for analysis and identification of pathological processes]. Leningrad, Meditsina Publ., 1978, 294 p. (in Russian).
17. Gubler E.V., Genkin A.A. Primeneniye neparametricheskikh kriteriev statistiki v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh [Application of statistical non-parametric criteria in medico-biological investigations]. Leningrad, Meditsina Publ., 1973, 141 p. (in Russian).
18. Dubyanskiy V.M., Burdelov L.A. Komp'yuternaya model' chumnogo epizooticheskogo protsessa v poseleniyakh bol'shoi peschanki (*Rhombomys Opimus*): opisaniye i proverka adekvatnosti [A computer model for a plague epizootic process in great gerbil (*Rhombomys Opimus*) settlement: description and relevance test]. *Zoologicheskii zhurnal*, 2010, vol. 89, no. 1, pp. 79–87 (in Russian).
19. Aksenov I.A., Dzhumagaziev A.A., Bezrukova D.A. Prognozirovaniye chastykh zabolevanii u detei ekologicheskii neblagopriiatnogo regiona [Prediction of the Recurrent Diseases in Children From an Environmentally Disturbed Region]. *Voprosy diagnostiki v pediatrii*, 2009, no. 2, pp. 62–68 (in Russian).
20. Dubyanskiy M.A., Kenzhebaev A., Stepanov V.M., Asenov G.A., Dubyanskaia L.D. Prognozirovaniye epizooticheskoi aktivnosti chumy v Priaral'e i Kyzylkumakh [Prognostication of plague epizootic activity in Sub-Aral and Kyzylkum Areas]. Nukus, Karakalpakstan Publ., 1992, 240 p. (in Russian).
21. Kopitsa N.P., Titarenko N.V., Belaia N.V., Oparin A.L. Prognozticheskaya model' vyiavleniia oslozhnenii u patsientov s ostrym koronarnym sindromom [Prognostic Model to Detect Complications in Patients with Acute Coronary Syndrome]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo universiteta im. V.N. Karazina. Seriya Meditsina*, 2012, vol. 1024, no. 24, pp. 23–31 (in Russian).

22. Kopitsa N.P., Titarenko N.V., Belaia N.V., Oparin A.L. Prognosticheskoe znachenie mozgovogo natriureticheskogo peptida u patsientov s ostrym koronarnym sindromom [Prognostic value nt PRO-BNP in patients with ACS]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo universiteta im. V.N. Karazina. Seriya Meditsina*, 2011, vol. 938, no. 21, pp. 52–60 (in Russian).

23. Cherkashina Iu.A. Primenenie matematicheskikh metodov v zadache diagnostiki sostoianiia zdorov'ia detei pervogo goda zhizni [Application of Mathematical Methods to the Problem Diagnosis of Health of Infants]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2015, no. 5, pp. 34–37 (in Russian).

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). Health Risk Analysis, 2018, no. 1, pp. 13-21. DOI: 10.21668/health.risk/2018.1.02.eng

Получена: 19.01.2018

Принята: 06.03.2018

Опубликована: 30.03.2018