

DOI: 10.21055/0370-1069-2018-3-50-53

УДК 616.98:579.842.23(479)

В.М. Дубянский<sup>1</sup>, Е.В. Герасименко<sup>1</sup>, Н.А. Давыдова<sup>1</sup>, Г.П. Шкарлет<sup>1</sup>, Г.А. Мозлов<sup>2</sup>,  
В.А. Белогрудов<sup>2</sup>, А.А. Власов<sup>2</sup>, Н.В. Цапко<sup>1</sup>, Л.И. Белявцева<sup>1</sup>, Д.М. Бамматов<sup>3</sup>ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭПИЗООТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ  
ЦЕНТРАЛЬНО-КАВКАЗСКОГО ВЫСОКОГОРНОГО ПРИРОДНОГО ОЧАГА ЧУМЫ<sup>1</sup>ФКУЗ «Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт», Ставрополь, Российская Федерация;<sup>2</sup>ФКУЗ «Кабардино-Балкарская противочумная станция», Нальчик, Российская Федерация;<sup>3</sup>ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция», Махачкала, Российская Федерация

С момента открытия в 1971 и до 2007 года Центрально-Кавказский высокогорный природный очаг чумы характеризовался почти непрерывной эпизоотической активностью. Начиная с 2008 г. и вплоть до настоящего времени длится межэпизоотический период – из полевого материала не удается выделить штаммы возбудителя чумы. В связи с этим является актуальной задача прогнозирования активизации очага, особенно на фоне регистрации в Российской Федерации случаев заболевания человека чумой в 2014–2016 гг. **Цель** исследования – создать прогностическую модель для количественного прогноза возможной активизации очага или продолжения межэпизоотического периода. **Материалы и методы.** Использованы архивные данные ФКУЗ «Кабардино-Балкарская ПЧС»: журналы вскрытия грызунов, ежегодные отчеты об эпизоотологическом обследовании; метеорологические данные по метеостанции «Кисловодск» за 1989–2017 гг.; данные ФКУЗ «СтавНИПЧИ» за 2010–2017 гг. Для статистической обработки использованы методы непараметрического корреляционного анализа Спирмена, регрессионный анализ, в том числе метод главных компонент, квартильный анализ и непрерывная последовательная статистическая процедура распознавания. **Результаты и обсуждение.** Получена статистическая модель, позволяющая прогнозировать альтернативу: отсутствие или наличие активности очага чумы с упреждением один год, с вероятностью 99 % и выше. Модель проверена в течение семи лет на ретроспективном материале. Все предположения оказались верными. Оперативные прогнозы с 2015 по 2017 год также подтвердились. Однако не исключена возможность быстрого изменения условий существования экологической системы Центрально-Кавказского высокогорного природного очага чумы из-за глобального изменения климата. В связи с этим прогностическая модель будет ежегодно проверяться на информативность используемых предикторов и, при необходимости, корректироваться.

*Ключевые слова:* чума, природный очаг, активность, прогноз.

*Корреспондирующий автор:* Дубянский Владимир Маркович, e-mail: dvmplae@gmail.ru.

*Для цитирования:* Дубянский В.М., Герасименко Е.В., Давыдова Н.А., Шкарлет Г.П., Мозлов Г.А., Белогрудов В.А., Власов А.А., Цапко Н.В., Белявцева Л.И., Бамматов Д.М. Прогнозирование эпизоотической активности Центрально-Кавказского высокогорного природного очага чумы. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2018; 3:50–53. DOI: 10.21055/0370-1069-2018-3-50-53

V.M. Dubyansky<sup>1</sup>, E.V. Gerasimenko<sup>1</sup>, N.A. Davydova<sup>1</sup>, G.P. Shkarlet<sup>1</sup>, G.A. Mozlov<sup>2</sup>,  
V.A. Belogrudov<sup>2</sup>, A.A. Vlasov<sup>2</sup>, N.V. Tsapko<sup>1</sup>, L.I. Belyavtseva<sup>1</sup>, D.M. Bammatov<sup>3</sup>Forecasting of Epizootic Activity of the Central Caucasian Natural  
High-Mountain Plague Focus<sup>1</sup>Stavropol Research Anti-Plague Institute, Stavropol, Russian Federation, <sup>2</sup>Kabardino-Balkar Plague Control Station, Nal'chik, Russian Federation; <sup>3</sup>Dagestan Plague Control Station, Makhachkala, Russian Federation

**Abstract.** Central-Caucasian natural plague focus was permanently epizootically active since its discovering in 1971 till 2007. Inter-epizootic period has been in progress since 2008. It was not possible to isolate agent strains from field material. Therefore a forecast for focus activation is a relevant task, especially against the background of registered plague cases in humans in 2014–2016. **Objective** of the study was to create a forecasting model for quantitative prediction of possible activation or maintenance of inter-epizootic period. **Materials and methods.** We used archival data of Kabardino-Balkar Plague Control Station: journals of rodents' autopsy, annual reports on epizootiological surveillance, meteorological data from meteorostation "Kislovodsk" over the period of 1989–2017, and our epidemiological data for the period 2010 to 2017. We applied Spearman nonparametric correlation analysis, regression analysis, including principal component method, quarterly analysis, and inhomogeneous sequential pattern recognition procedures for statistical processing. **Results and discussion.** We have designed statistical model which provides for forecasting of plague focus epizootic activity proactively, a year in advance and 99 % probability or higher. The model was tested on retrospective data over the course of 7 years. All predictions were correct. The operational forecasts from 2015 to 2017 proved right too. However there is a possibility of fast changes in the ecology system conditions of the Central-Caucasian natural plague focus because of the global warming. Thereby the forecasting model will be annually checked for informative value of the predictors and, if necessary, adjusted accordingly.

*Key words:* plague, natural focus, activity, forecasting

*Conflict of interest:* The authors declare no conflict of interest.

*Corresponding author:* Vladimir M. Dubyansky, e-mail: dvmplae@gmail.ru.

Citation: Dubynsky V.M., Gerasimenko E.V., Davydova N.A., Shkarlet G.P., Mozloev G.A., Belogradov V.A., Vlasov A.A., Tsapko N.V., Belyavtseva L.I., Bamatov D.M. Forecasting of Epizootic Activity of the Central Caucasian Natural High-Mountain Plague Focus. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2018; 3:50–53. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2018-3-50-53

Received 20.06.18. Revised 14.08.18. Accepted 15.08.18.

С момента открытия в 1971 и до 2004 года Центрально-Кавказский высокогорный природный очаг чумы характеризовался непрерывной эпизоотической активностью. В 2005 г. впервые не выделено ни одного штамма чумы, в 2006–2007 гг. очаг вновь активизировался. Начиная с 2008 г. вплоть до настоящего времени длится межэпизоотический период – из полевого материала не удается выделить штаммы возбудителя чумы.

Считается, что очаг имеет высокий эпидемический потенциал. Очаговая территория совпадает с районами интенсивного развития рекреационных зон. Здесь располагаются многочисленные туристические базы и лагеря. Кроме того, в летние месяцы сюда прибывают многочисленные группы неорганизованных туристов. Маршруты туристических групп часто проходят через поселения горного суслика (*Spermophilus musicus Menetries*, 1832, *Rodentia, Sciuridae*), то есть через энзоотичную по чуме территорию. За границами очага, в непосредственной близости от него, располагаются крупные курортные города Кавказских минеральных вод: Кисловодск, Ессентуки, Пятигорск и Железноводск. Значительная часть отдыхающих в санаториях посещает территорию очага с краткосрочными экскурсиями. Опасность представляет не только сам факт заражения человека чумой, но и возможность ее выноса за пределы очага больным в инкубационном периоде. Учитывая современные возможности транспорта, больной может оказаться в любом, в том числе и не энзоотичном по чуме регионе страны, где диагностика заболевания затруднена.

В связи с этим актуальной является задача прогнозирования активизации очага, особенно на фоне регистрации в Российской Федерации случаев заболевания человека чумой в 2014–2016 гг. [3, 4].

**Цель** исследования – создать модель для количественного прогноза возможной активизации очага или продолжения межэпизоотического периода.

### Материалы и методы

Использованы архивные данные ФКУЗ «Кабардино-Балкарская ПЧС»: журналы вскрытия грызунов и ежегодные отчеты об эпизоотологическом обследовании за 1989–2017 гг.; данные ФКУЗ «СтавНИПЧИ» за 2010–2017 гг.; метеорологические данные по метеостанции «Кисловодск» за этот же период получены из интернет-источников <http://meteo.ru/> и <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php>.

Для статистической обработки использованы методы непараметрического корреляционного анализа Спирмена и регрессионный анализ, в том числе метод главных компонент, квартильный анализ и непрерывная последовательная статистическая проце-

дура распознавания [1, 2]. Использовался пакет статистических программ Past (<http://folk.uio.no/ohammer/past/>), пакет анализа Microsoft Excel и программное обеспечение, разработанное В.М.Дубянским.

Эпизоотическая активность очага измерялась в количестве «зараженных» секторов, то есть секторов, в которых бактериологически подтверждалась циркуляция микроба чумы. Обоснованность этого показателя приведена Н.В.Поповым и соавт. [4]. Мы не использовали данные о носителях с антителами к микробу чумы в связи с неоднозначностью трактовки результатов серологических исследований для этого очага, особенно в последние годы.

Всего использовано 10 экологических факторов, включающих 74 показателя. Три биотических фактора включали 12 показателей: численность горных сусликов (*Spermophilus musicus*, Menetries, 1832) на 1 га по очагу в среднем; численность горных сусликов в Баксано-Чегемском, Верхне-Кубанском, Кубано-Малкинском и Малко-Баксанском эпизоотических участках; процент взрослых самок от всей популяции; процент взрослых самцов от всей популяции; процент молодых самок от всей популяции; процент молодых зверьков от всей популяции; численность блох на 1 га в очаге в целом; численность блох в гнезде горного суслика; индекс обилия блох на зверьках.

Семь абиотических факторов включали 64 показателя: среднемесячная температура воздуха, сумма осадков за месяц, среднемесячное атмосферное давление, количество часов солнечного сияния за месяц, отношение температуры к осадкам (среднемесячные), гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова за 12 месяцев, солнечная активность, выраженная числами Вольфа-Вольфера по годам, годовая сумма температур, годовая сумма осадков.

Группа обучения включала данные с 1989 по 2014 год. Проверочная группа – 2015–2017 гг.

### Результаты и обсуждение

Учитывая, что распределение изучаемых временных рядов значительно отличается от нормального, для первоначального анализа мы использовали непараметрический корреляционный анализ Спирмена. Достоверную ( $p \leq 0,05$ ) корреляцию с «зараженностью» секторов показали: численность горных сусликов на Кубано-Малкинском участке – 0,69, Баксано-Чегемском – 0,66, по очагу в среднем – 0,61, солнечная активность – 0,49, Малко-Баксанском участке – 0,46, осадки в марте – -0,44, температура в мае – -0,39, декабре – 0,37, количество часов солнечного сияния в марте – 0,37.

Относительно низкие показатели коэффициентов корреляции не позволяют использовать в полной мере регрессионный анализ, в том числе метод

главных компонент. Главные факторы обеспечивают только 52,5 % общей дисперсии и, в основном, относятся к показателям численности горного суслика. Связь показателей с количеством «зараженных» секторов в очаге нелинейная, что также ограничивает применение стандартных статистических процедур. Наилучшие результаты показало применение непрерывной последовательной статистической процедуры распознавания (НПСР), которая широко использовалась для прогнозирования эпизоотической активности различных частей Среднеазиатского природного пустынного очага чумы [2]. Результаты получены в виде табличной статистической модели, в которой рассчитана важность каждого экологического показателя для экосистемы очага в целом в безразмерной величине (информативность Кульбака), и диапазоны значений каждого показателя с количественной оценкой его возможного влияния на эпизоотическую активность в каждый конкретный год в безразмерной величине (прогностический коэффициент). Модель построена для распознавания альтернативы: наличие или отсутствие хотя бы одного сектора первичного района, в котором эпизоотия подтверждена бактериологически. Модель выполнена в виде таблицы. Для экономии места в публикации мы вынесли ее на интернет-страницу [https://www.researchgate.net/publication/323773279\\_Prognosticeskaa\\_tablica\\_nalicia\\_ili\\_otsutstvija\\_hota\\_by\\_odnogo\\_sektora\\_pervicnogo\\_rajona](https://www.researchgate.net/publication/323773279_Prognosticeskaa_tablica_nalicia_ili_otsutstvija_hota_by_odnogo_sektora_pervicnogo_rajona). Уровень ошибки диагноза выбран 0,01.

Из 74 доступных нам экологических показателей, информативных относительно будущего состояния очага, по выбранной альтернативе оказалось 23. Из них восемь биотических и 15 абиотических (табл. 1); показатели (предикторы) перечислены в порядке убывания их информативности.

Согласно порядку расчета модели, серии данных разделяются на шесть диапазонов. Соответственно, при использовании серий многолетних данных, желательно, чтобы обучающая группа включала не менее 18 лет (при равновероятном распределении хотя бы по три значения на диапазон). Исходя из этого условия, предварительная проверка прогнозов сделана с 2008 по 2014 год по ретроспективным данным, а с 2015 по 2017 год даны оперативные прогнозы. Результаты ретроспективного и оперативного прогнозирования представлены в табл. 2.

Мы сделали три оперативных прогноза с вероятностью исполнения не менее 99 %, каждый из них оказался верным. Как указывают М.А. Дубянский и соавт. [2], успешный прогноз три раза подряд означает, что выбранный набор факторов действительно дает неслучайный результат с вероятностью 0,93. Таким образом, созданная нами модель позволяет успешно прогнозировать наличие или отсутствие регистрируемой эпизоотической активности в очаге. Расчетная вероятность того, что используемая модель неверная – 7 %. Каждый следующий подтвердившийся прогноз будет уменьшать вероятность ошибочности модели, соответственно, не подтвер-

Таблица 1 / Table 1

**Экологические показатели, используемые в качестве предикторов для создания прогностической модели**

**Ecological factors used as predictors for forecasting model designing**

Наименование показателя	Информативность
Процент взрослых самок в популяции	1,81
Численность горных сусликов на га на Верхне-Кубанском участке	1,32
Численность горных сусликов на га на Баксано-Черекском участке	1,29
Численность горных сусликов на га в целом по очагу	1,08
Среднемесячное атмосферное давление в феврале	1,03
Отношение температуры к осадкам в октябре	0,91
Число часов солнечного сияния в феврале	0,84
Число блох на га	0,83
Среднемесячная температура воздуха в мае	0,82
Солнечная активность (числа Вольфа–Вольфера)	0,71
Сумма осадков в июне	0,69
Среднемесячное атмосферное давление в марте	0,69
Численность горных сусликов на га на Кубано-Малкинском участке	0,64
Численность блох в гнезде горного суслика	0,62
Численность горных сусликов на га в Малко-Баксанском участке	0,62
Среднемесячная температура воздуха в июне	0,62
Среднемесячное атмосферное давление в мае	0,61
Среднемесячная температура воздуха в январе	0,61
Число часов солнечного сияния в июне	0,59
Сумма осадков в июле	0,56
Число часов солнечного сияния в сентябре	0,55
Сумма осадков в марте	0,53
Среднемесячное атмосферное давление в январе	0,51

дившийся – увеличивать.

Применяя НПСР, мы получили статистическую модель, позволяющую прогнозировать альтернативу – отсутствие или наличие активности очага чумы. Группа обучения модели включала оба состояния очага, то есть эпизоотический период в течение 19 лет, а межэпизоотический – 7 лет. Учитывая,

Таблица 2 / Table 2

**Краткосрочный прогноз наличия или отсутствия хотя бы одного сектора первичного района, в котором эпизоотия подтверждена бактериологически**

**Short-term projection of the presence or absence of at least one sector of the primary region where epizooty was confirmed using bacteriological method**

Год	Прогноз эпизоотии	Вероятность исполнения	Проверка прогноза
2008	Не регистрируется	99,9	Верный
2009	Не регистрируется	99,9	Верный
2010	Не регистрируется	99,9	Верный
2011	Не регистрируется	99,7	Верный
2012	Не регистрируется	99,9	Верный
2013	Не регистрируется	99,9	Верный
2014	Не регистрируется	99,9	Верный
2015*	Не регистрируется	99,8	Верный
2016*	Не регистрируется	99,9	Верный

\*оперативные прогнозы

что, в основном, распознавание эпизоотического и неэпизоотического состояний очага было успешным с вероятностью 99 % и выше, мы считаем, что выявлен достаточный набор факторов обуславливающих эпизоотическую активность Центрально-Кавказского природного очага чумы. Модель может использоваться для прогнозирования наличия или отсутствия эпизоотической активности в очаге.

Вместе с тем, факт того, что в отдельные годы, в которые для распознавания был использован весь значимый набор экологических показателей, но, при этом, вероятность правильного исхода не поднялась выше 0,99 (ошибка прогноза 0,01), указывает на необходимость поиска дополнительных экологических факторов и показателей. Не исключена возможность быстрого изменения экологической системы Центрально-Кавказского высокогорного природного очага чумы в связи с глобальным изменением климата и перестройки эпизоотической системы под новые климатические и биоценотические условия. В этих случаях возможна ошибка прогноза. В связи с этим прогностическая модель будет ежегодно проверяться на информативность используемых предикторов и, при необходимости, корректироваться.

**Конфликт интересов.** Авторы подтверждают отсутствие конфликта финансовых/нефинансовых интересов, связанных с написанием статьи.

#### Список литературы

1. Гублер Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. Ленинград: Медицина, Ленинградское отделение; 1978. 296 с.
2. Дубянский М.А., Кенжебаев А., Степанов В.М., Асенов Г.А., Дубянская Л.Д. Прогнозирование эпизоотической активности чумы в Приарале и Кызылкумах. Нукус: Каракалпакстан; 1992. 240 с.
3. Кутырев В.В., Попова А.Ю., Ежлова Е.Б., Демина Ю.В., Пакскина Н.Д., Щучинов Л.В., Михайлов Е.П., Мищенко А.И., Рождественский Е.Н., Базарова Г.Х., Денисов А.В., Шарова И.Н., Попов Н.В., Кузнецов А.А. Заболевание человека чумой в Горно-Алтайском высокогорном природном очаге в 2014 г. Сообщение 1. Эпидемиологические и эпизоотологические особенности проявлений чумы в Горно-Алтайском высокогорном (Сайлюгемском) природном очаге чумы. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2014; 4:9–16. DOI: 10.21055/0370-1069-2014-4-9-16.
4. Попов Н.В., Безсмертный В.Е., Матросов А.Н., Князева Т.В., Кузнецов А.А., Федоров Ю.М., Попов В.П., Вержуцкий Д.Б., Корзун В.М., Косилко С.А., Чипанин Е.В., Дубянский В.М.,

Малецкая О.В., Григорьев М.П., Зенкевич Е.С., Топорков В.П., Балахонов С.В., Куличенко А.Н., Кутырев В.В. Эпизоотическая активность природных очагов чумы Российской Федерации в 2015 г. и прогноз на 2016 г. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2016; 1:13–9. DOI: 10.21055/0370-1069-2016-1-13-16.

#### References

1. Gubler E.V. [Computational Methods of Analysis and Recognition of Pathological Processes]. Leningrad: "Meditsina"; 1978. 296 p.
2. Dubyansky M.A., Kenzhebaev A., Stepanov V.M., Asenov G.A., Dubyanskaya L.D. [Prediction of Epizootic Activity of Plague in Aral Sea region and Kyzylkum]. Nukus: Karakalpakstan; 1992. 240 p.
3. Kutyrev V.V., Popova A.Yu., Ezhlova E.B., Demina Yu.V., Pakschina N.D., Shchuchinov L.V., Mikhailov E.P., Mishchenko A.I., Rozhdestvensky E.N., Bazarova G.Kh., Denisov A.V., Sharova I.N., Popov N.V., Kuznetsov A.A. [Infection of an individual with plague in the Gorno-Altai high-mountain natural focus in 2014. Communication 1. Epidemiological and epizootiological peculiarities of plague manifestations in the Gorno-Altai high-mountain (Sailyugemsky) natural plague focus]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2014; 4:9–16. DOI: 10.21055/0370-1069-2014-4-9-16.
4. Popov N.V., Bezsmertny V.E., Matrosov A.N., Knyazeva T.V., Kuznetsov A.A., Fedorov Yu.M., Popov V.P., Verzhutsky D.B., Korzun V.M., Kosilko S.A., Chipanin E.V., Dubyansky V.M., Maletskaya O.V., Grigor'ev M.P., Zenkevich E.S., Toporkov V.P., Balakhonov S.V., Kulichenko A.N., Kutyrev V.V. [Epizootic activity of natural plague foci of the Russian Federation in 2015, and prognosis for 2016]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2016; 1:13–9. DOI: 10.21055/0370-1069-2016-1-13-16.

#### Authors:

*Dubyansky V.M., Gerasimenko E.V., Davydova N.A., Shkarlet G.P., Tsapko N.V., Belyavtseva L.I.* Stavropol Research Anti-Plague Institute. 13–15, Sovetskaya St., Stavropol, 355035, Russian Federation. E-mail: stavnipchi@mail.ru.

*Mozloev G.A., Belogradov V.A., Vlasov A.A.* Kabardino-Balkar Plague Control Station. 35, Baysultanova St., Nal'chik, 360017, Russian Federation.

#### Об авторах:

*Дубянский В.М., Герасименко Е.В., Давыдова Н.А., Шкарлет Г.П., Цапко Н.В., Белявцева Л.И.* Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт. Российская Федерация, 355035, Ставрополь, ул. Советская, 13–15. E-mail: stavnipchi@mail.ru.

*Мозлов Г.А., Белогородов В.А., Власов А.А.* Кабардино-Балкарская противочумная станция. Российская Федерация, 360017, г. Нальчик, ул. Байсултанова, 35.

*Бамматов Э.М.* Дагестанская противочумная станция. Российская Федерация, 367015, г. Махачкала, 5-й Жилгородок, 13.

Поступила 20.06.18.

Отправлена на доработку 14.08.18.

Принята к публ. 15.08.18.