

DOI: 10.21055/0370-1069-2018-4-48-53

УДК 616.98:579.842.23(479)

В.М. Дубянский<sup>1</sup>, С.И. Матюхин<sup>2</sup>, Ю.М. Евченко<sup>1</sup>**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЛОЩАДИ ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-КАВКАЗСКОГО ВЫСОКОГОРНОГО ПРИРОДНОГО ОЧАГА ЧУМЫ**<sup>1</sup>ФКУЗ «Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт», Ставрополь, Российская Федерация;<sup>2</sup>Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел, Российская Федерация

**Цель.** Предложить на основе вероятностного подхода научно обоснованный критерий исключения части очаговой территории из обследования и, соответственно, из состава очага. **Материалы и методы.** Данные по эпизоотологическому обследованию Центрально-Кавказского природного высокогорного очага чумы с 1987 по 2013 год (28 лет). Для каждого сектора первичного района в очаге посчитана кратность обследования и кратность регистрации эпизоотий. Для статистической обработки использовались непараметрические методы: коэффициент ранговой корреляции Спирмена, квантильный анализ и некоторые понятия теории вероятности. **Результаты и обсуждение.** На примере Центрально-Кавказского природного высокогорного очага чумы представлен метод расчета вероятности появления эпизоотий в секторах очага. Предложен математически обоснованный критерий исключения сектора из очаговой территории. Представлен алгоритм исключения секторов первичных районов из плана обследования при разных уровнях значимости. Ранжирование очага по вероятности выявления эпизоотии в секторе и вероятности обследования сектора может быть использовано, наряду с индексом эпизоотичности, при планировании эпизоотологического обследования очаговой территории.

**Ключевые слова:** природный очаг чумы, эпизоотии, сектора первичных районов, кратность обследования, вероятность.

Корреспондирующий автор: Дубянский Владимир Маркович, e-mail: stavnipchi@mail.ru.

Для цитирования: Дубянский В.М., Матюхин С.И., Евченко Ю.М. Применение методов теории вероятности для планирования площади эпизоотологического обследования Центрально-Кавказского высокогорного природного очага чумы. Проблемы особо опасных инфекций. 2018; 4:48–53. DOI: 10.21055/0370-1069-2018-4-48-53

V.M. Dubyansky<sup>1</sup>, S.I. Matyukhin<sup>2</sup>, Yu.M. Evchenko<sup>1</sup>**Application of the Probability Theory Methods for Scheming the Area of Epizootiological Survey of the Central-Caucasian High-Mountain Natural Plague Focus**<sup>1</sup>Stavropol Research Anti-Plague Institute, Stavropol, Russian Federation; <sup>2</sup>I.S. Turgenev Orel State University, Orel, Russian Federation

**Abstract.** It is known that territories of nature plague foci are non-equal by the degree of epizootic situation tension. There are locations (sectors of primary regions) where plague has not been registered or has been registered rarely during all the time of surveillance. In this connection, it is necessary to reestablish the borders of plague focus territory for excluding the sectors without plague manifestations or the areas where plague occurs periodically. However, mathematically reliable criteria to substantiate such decisions are currently unknown to the authors. **Objective** was to propose evidence-based criteria for the exclusion of certain areas from plague focus territory using probabilistic approach. **Material and methods.** Surveillance data on Central-Caucasian natural plague focus for the period of 28 years (1987–2013) were used. For each sector of primary zoning in the focus a multiplicity of surveillances and multiplicity of plague epizooty reports was calculated. Some nonparametric techniques (Spearman correlation, quantile analysis) and concepts of probability theory were used for statistical processing. **Results and discussion.** By the example of Central-Caucasian high-mountain natural plague focus, the method for probability calculation for manifestations of epizooties in the sectors of plague focus is put forward. The evidence-based criteria for the exclusion of certain areas from plague focus territory using probabilistic approach are proposed. Algorithm for excluding the sectors of primary zoning from the surveillance scheme taking into account different levels of significance is presented. The ranking of the focus by the probability of epizooty detection in a sector and probability of surveillance can be utilized alongside the index of frequency of epizooties when planning epizootiological survey of the focal territory.

**Key words:** natural plague focus, epizooties, multiplicity of surveillance, probability, sectors of primary zoning.

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

Corresponding author: Vladimir M. Dubyansky, e-mail: stavnipchi@mail.ru.

Citation: Dubyansky V.M., Matyukhin S.I., Evchenko Yu.M. Application of the Probability Theory Methods for Scheming the Area of Epizootiological Survey of the Central-Caucasian High-Mountain Natural Plague Focus. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2018; 4:48–53. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2018-4-48-53

Received 28.06.18. Accepted 16.08.18.

Известно, что территории природных очагов чумы не равноценны по степени напряженности эпизоотической ситуации. Существуют участки (сектора

первичных районов), где за все время обследования очага эпизоотии чумы либо не регистрировались, либо регистрировались очень редко. При этом в этих

секторах циклически отмечаются носители и переносчики возбудителя чумы. Соответственно, периодически возникает необходимость в ревизии границ очаговой территории с исключением потенциально неочаговых секторов. Однако математически выверенные критерии обоснованности таких решений в настоящее время авторам не известны.

Широко используемый в практике работы противочумных учреждений индекс эпизоотичности (ИЭ) не является достаточно корректным показателем, так как при эпизоотологическом обследовании на чуму не соблюдается главное требование его применения: равномерное по времени, с одинаковой кратностью обследование всех секторов первичных районов в очаге [1]. Нельзя сопоставлять, например, индекс эпизоотичности сектора, обследованного 2–3 раза, с индексом эпизоотичности сектора, обследованного 50–100 раз. Нет возможности математически корректно, т.е. доказательно, ответить на вопрос: если ИЭ сектора за все время обследования очага равен нулю, можно ли считать сектор неэпизоотичным? Поэтому разработка методики вывода очаговой территории из обследования является актуальной задачей.

**Цель** настоящего исследования – предложить на основе вероятностного подхода научно обоснованный критерий исключения части очаговой территории из обследования и, соответственно, из состава очага.

Для достижения этой цели последовательно решались следующие задачи:

- определение вероятности выявления эпизоотии чумы при каждом последующем обследовании сектора;
- определение по результатам проведенных обследований вероятности возникновения эпизоотии в секторе;
- определение кратности обследования сектора, при котором возможна его выбраковка из обследования в случае, если чума не выявлялась в секторе ни разу за все время обследования или не выявлялась на протяжении долгого периода.

## Материалы и методы

Материалом для исследования послужили данные по обследованию Центрально-Кавказского природного высокогорного очага чумы с 1987 по 2013 год (28 лет). За этот период для каждого сектора первичного района в очаге посчитана кратность обследования и кратность регистрации эпизоотий. Кратность подсчитывалась, исходя из того, что интервал между забором полевого материала в секторе составлял не менее месяца, то есть сектор мог быть обследован неоднократно в течение года.

В связи с тем, что характер распределения кратности обследования секторов отличается от нормального, для расчета использовались непараметрические методы, в данном случае коэффициент ранговой корреляции Спирмена и квантильный анализ.

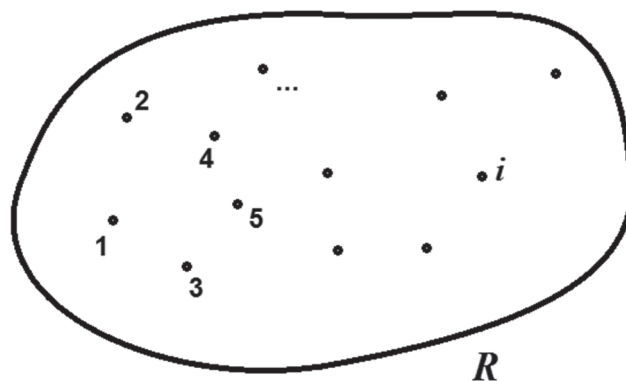
Условно считалось, что события «обследование сектора первичного района» и «выявление эпизоотии чумы» являются случайными. Приближение случайности обследований секторов, в понятиях теории вероятности, является достаточно оправданным, поскольку выбор сектора обследования в реальности определяется большим количеством разноплановых факторов.

## Результаты и обсуждение

Проведенные ранее исследования в Прибалхашском автономном очаге чумы показали, что достоверность выявления эпизоотии чумы в секторе первичного района связано с интенсивностью его обследования [2]. Этот факт подтвердился и для Центрально-Кавказского высокогорного природного очага. Между кратностью регистрации эпизоотий чумы в секторе и кратностью обследования сектора наблюдается достоверная корреляционная связь (коэффициент ранговой корреляции Спирмена  $r = 0,685$  при  $p < 0,05$ ). Однако характер связи достаточно сложный. Существует ряд секторов, в которых эпизоотия не обнаруживается даже при многократном обследовании или обнаруживается в единичных случаях. Наблюдаются и противоположные ситуации: эпизоотии выявляются при редких обследованиях.

Для корректного описания этих наблюдательных данных в настоящей работе мы использовали вероятностный подход к решению поставленных задач.

Допустим, что в этих задачах речь идет о точках (секторах) обследования, расположенных в некоторой области  $R$  (рисунок). Допустим, что эти точки статистически независимы, т.е. между рассматриваемыми в этих точках случайными процессами нет никакой закономерной связи, а все вероятности, о которых будет идти речь, не зависят от времени. Таким образом, мы будем решать стационарную задачу, в которой исследования, проведенные в разные (случайные) моменты времени, без ущерба для конечного решения можно заменить одномоментными исследованиями в разных (случайных) точках области  $R$ .



Точки (секторы) эпизоотологического обследования на чуму природного очага  $R$

Points (sectors) of epizootiological surveillance for plague of the natural focus  $R$

В этом случае вероятность выявления эпизоотии в области R

$$P_R = \frac{n_R}{N_R} = \frac{276}{942} = 0,29, \quad (1)$$

где  $n_R$  – кратность выявления эпизоотии в области R;  $N_R$  – кратность обследования области R;  $i$  – номер точки;  $n_i$  – кратность выявления эпизоотии в точке  $i$ ;  $N_i$  – кратность обследования точки с номером  $i$  (таблица):

$$n_R = \sum_i n_i, \quad N_R = \sum_i N_i.$$

Благодаря статистической независимости секторов обследования эту вероятность можно представить в виде:

$$P_R = \sum_i P_i.$$

$$P_R = \frac{\sum_i n_i}{N_R} = \sum_i \frac{n_i}{N_R}, \quad (2)$$

где  $P_i$  – это вероятность выявления эпизоотии в точке с номером  $i$ :

$$P_i = \frac{n_i}{N_R}. \quad (3)$$

Эта формула позволяет заполнить столбец 7 в таблице:  $P_1 = 3/942 = 0,003$ ;  $P_2 = 44/942 = 0,047$ ;  $P_3 = 1/942 = 0,001$  и т.д.

В плане предсказания эта формула означает, что при следующем обследовании области R в точке 1 эпизоотия будет выявлена с вероятностью  $P_1$ , в точке 2 – с вероятностью  $P_2$ , в точке 3 – с вероятностью  $P_3$  и т.д.

Следует отметить, что случайное событие выявления эпизоотии в точке  $i$  можно рассматривать как одновременную реализацию двух независимых случайных событий – случайного события возникновения эпизоотии чумы в точке  $i$  и случайного события обследования этой точки. Вследствие этого вероятность  $P_i$  можно представить в виде произведения двух вероятностей – вероятности возникновения эпизоотии  $v_i$  и вероятности обследования точки  $\Omega_i$ :

$$P_i = \frac{n_i}{N_R} = \frac{n_i}{N_i} \frac{N_i}{N_R} = v_i \Omega_i. \quad (4)$$

Отсюда

$$v_i = \frac{n_i}{N_i}, \quad (5)$$

$$\Omega_i = \frac{N_i}{N_R}. \quad (6)$$

Значения  $v_i$  и  $\Omega_i$ , рассчитанные по формулам (5) и (6), представлены в четвертом и пятом столбцах таблицы.

Отметим, что  $v_i$ , по сути, представляет собой ИЭ сектора с номером  $i$ .

Следует уточнить, что в каждой из точек (секторов) области R эпизоотия может протекать или не протекать. В этом смысле  $v_i$  – это вероятность появления чумы в точке  $i$  независимо от того, появилась чума в других точках или нет, и обследовалась какая-либо точка этой области или нет. При этом вероятность  $\Omega_i$  представляет собой функцию распределения обследований области R по секторам. Другими словами, предполагается, что система обследований устроена таким образом, что если она не изменится, следующее обследование будет проведено в точке 1 с вероятностью  $\Omega_1$ , в точке 2 – с вероятностью  $\Omega_2$ , в точке 3 – с вероятностью  $\Omega_3$  и т.д.

Аналогично можно поставить вопрос о распределении случаев эпизоотии чумы по секторам области R. Это распределение будет задаваться вероятностью появления чумы в одной из точек  $\Phi_i$  (шестой столбец таблицы):

$$\Phi_i = \frac{n_i}{n_R}. \quad (7)$$

Смысл этой формулы заключается в том, что если в следующий раз в области R будет протекать эпизоотия чумы, то с вероятностью  $\Phi_1$  это произойдет в точке (секторе) 1, с вероятностью  $\Phi_2$  – в точке 2, с вероятностью  $\Phi_3$  – в точке 3 и т.д.

Таким образом, если  $\Phi_k = 0$ , при следующем выявлении эпизоотии в области R в точке с номером  $k$  эпизоотии чумы не будет, а следовательно, она и не будет выявлена. При этом, исходя из смысла вероятности  $\Omega_i$ , можно утверждать, что сделанный вывод справедлив с вероятностью  $\Omega_k$ . В частности, для сектора 0123801313 это справедливо с вероятностью 0,8 %, для сектора 0123801314 – с вероятностью 1,2 %, для сектора 0123801321 – с вероятностью 0,3 % и т.д.

Повысить точность сделанного вывода можно только путем увеличения числа обследований точки  $k$  на эпизоотию.

Отметим, что применительно к точкам с очень низкой вероятностью появления чумы  $v_k \ll 1$  можно сформулировать вопрос о том, каково должно быть число исследований  $N_k$ , чтобы при заданной доверительной вероятности  $\beta$  верхняя доверительная граница для вероятности возникновения эпизоотии в этой точке была равна  $v_{\max k}$ ? Другими словами, сколько раз нужно обследовать сектор, чтобы на основании сделанных обследований с малой вероятностью ошибки  $\alpha = 1 - \beta$  можно было утверждать, что вероятность возникновения чумы в этом секторе  $v_k$  не превышает наперед заданного значения  $v_{\max k}$  (т.е.  $0 \leq v_k \leq v_{\max k}$ ) независимо от того, будет обследоваться этот сектор в дальнейшем или нет.

Это число равно [3]:

$$N_k = \frac{\ln(1 - \beta)}{\ln(1 - v_{\max k})}, \quad (8)$$

где  $\beta$  – это доверительная вероятность, т.е.

## Исходные данные и результаты промежуточных и окончательных расчетов вероятности выявления эпизоотии при обследовании секторов первичного района

## Baseline data and results of intermediate and final calculations of epizooty detection probability when surveying the sectors of primary zoning

Код сектора первичного района	Кратность выявления эпизоотии, $n_i$	Кратность обследования, $N_i$	Вероятность появления эпизоотии, $v_i$ , ИЭ	Вероятность обследования, $\Omega_i$	Вероятность появления эпизоотии в одном из секторов, $\Phi_i$	Вероятность выявления эпизоотии, $P_i$	Максимальная вероятность возникновения эпизоотии при $\beta=99\%$ , результат расчета по формуле (9) $v_{\max k}$
0123800144	3	12	0,250	0,013	0,011	0,003	-
0123800233	44	44	1,000	0,047	0,159	0,047	-
0123800234	1	1	1,000	0,001	0,004	0,001	-
0123801313	0	8	0,000	0,008	0,000	0,000	0,438
0123801314	0	11	0,000	0,012	0,000	0,000	0,342
0123801321	0	3	0,000	0,003	0,000	0,000	0,785
0123801322	25	32	0,781	0,034	0,091	0,027	-
0123801324	19	26	0,731	0,028	0,069	0,020	-
0123801331	3	63	0,048	0,067	0,011	0,003	-
0123801332	25	64	0,391	0,068	0,091	0,027	-
0123801333	1	7	0,143	0,007	0,004	0,001	-
0123801334	0	49	0,000	0,052	0,000	0,000	0,090
0123801341	5	11	0,455	0,012	0,018	0,005	-
0123801342	7	9	0,778	0,010	0,025	0,007	-
0123801343	7	37	0,189	0,039	0,025	0,007	-
0123801411	4	6	0,667	0,006	0,014	0,004	-
0123801412	3	4	0,750	0,004	0,011	0,003	-
0123801413	7	12	0,583	0,013	0,025	0,007	-
0123801414	2	13	0,154	0,014	0,007	0,002	-
0123801422	0	1	0,000	0,001	0,000	0,000	0,990
0123801423	0	8	0,000	0,008	0,000	0,000	0,438
0123801424	0	2	0,000	0,002	0,000	0,000	0,900
0123801431	18	31	0,581	0,033	0,065	0,019	-
0123801432	3	23	0,130	0,024	0,011	0,003	0,181
0123801433	7	12	0,583	0,013	0,025	0,007	-
0123801434	8	60	0,133	0,064	0,029	0,008	0,074
0123801441	6	17	0,353	0,018	0,022	0,006	-
0123801442	43	86	0,500	0,091	0,156	0,046	-
0123801443	0	33	0,000	0,035	0,000	0,000	0,130
0123801444	3	36	0,083	0,038	0,011	0,003	-
0123801531	20	84	0,238	0,089	0,072	0,021	-
0123801532	8	31	0,258	0,033	0,029	0,008	-
0123801533	1	5	0,200	0,005	0,004	0,001	-
0123801534	0	4	0,000	0,004	0,000	0,000	0,684
0123802511	0	5	0,000	0,005	0,000	0,000	0,602
0123802512	0	4	0,000	0,004	0,000	0,000	0,684
0123802521	0	25	0,000	0,027	0,000	0,000	0,168
0123802611	0	3	0,000	0,003	0,000	0,000	0,785
0123802612	0	8	0,000	0,008	0,000	0,000	0,438
0123802621	3	43	0,070	0,046	0,011	0,003	0,102
0123802712	0	4	0,000	0,004	0,000	0,000	0,684
0123802713	0	1	0,000	0,001	0,000	0,000	0,990
0123802714	0	1	0,000	0,001	0,000	0,000	0,990
0123802721	0	3	0,000	0,003	0,000	0,000	0,785
<b>Итого:</b>	<b>276,000</b>	<b>942,000</b>	<b>-</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

вероятность истинности утверждения, что вероятность возникновения эпизоотии чумы в точке с номером  $k$  (независимо от того, будет обследоваться эта точка или нет) в дальнейшем будет меньше значения  $v_{\max k}$ .

Можно решить и обратную задачу: какова максимальная вероятность появления эпизоотии чумы в точке  $k$  с вероятностью ошибки  $(1 - \beta)$ , если известно, что при  $N_k$  исследованиях этой точки чума выявлялась крайне редко?

Из формулы (8) находим [3]:

$$v_{\max k} = 1 - (1 - \beta)^{1/N_k}. \quad (9)$$

К секторам с низкой вероятностью появления чумы мы отнесли те, для которых  $v_i$  не больше медианы ряда  $v_i$  (колонка 4 таблицы), т.е. не больше 0,13. Для этих секторов по формуле (9) рассчитаны значения колонки 8 таблицы.

Две последние формулы (8) и (9) являются наиболее важными с точки зрения уменьшения интенсивности обследования или исключения из него каких-либо секторов как малоперспективных для поиска эпизоотии. При этом следует обратить внимание на то, что в этих секторах число выявленных случаев чумы не обязательно должно быть равно нулю. Достаточно, чтобы оно было мало по сравнению с числом исследований, т.е. чтобы  $v_k \ll 1$ . Примером такого сектора является сектор 0123801434.

Алгоритм исключения секторов из плана обследования может быть следующим:

- решается, какая вероятность обнаружения эпизоотии считается достаточно малой для исключения сектора из обследования, т.е. из очаговой территории (например, согласно принятому уровню достоверности в медицинских исследованиях, это 0,01 и меньше);

- составляется таблица по формулам (1) – (7);

- с использованием квантильного анализа выбираются секторы, для которых вероятность возникновения эпизоотии чумы  $v_k \ll 1$ . Для этих секторов по формуле (9) рассчитывается  $v_{\max k}$ ;

- если полученное значение  $v_{\max k}$  оказывается приемлемым ( $v_{\max k} \leq 0,01$ ), то соответствующие секторы исключаем из плана обследования;

- если полученное значение  $v_{\max k}$  оказалось больше, чем уровень выбраковки (в примере – 0,01), по формуле (8) рассчитывается нужное число  $N_k$  при  $v_{\max k} = 0,01$  – верхней приемлемой границе  $v_{\max k}$ . При  $\beta = 0,99$  это дает  $N_k = 458$  обследований. Это число обследований будет являться целевым для исследуемого сектора.

При анализе столбца 8 таблицы, стоит обратить внимание на следующее:

- не выявляется ни одного сектора, который бы подходил под выбранный нами критерий для исключения из очаговой территории;

- два сектора (0123801334 и 0123801434) с низкой вероятностью  $v_{\max k}$  являются кандидатами на выбраковку и могут быть исключены из программы обследо-

ваний и, соответственно, из очаговой территории, при соответствующем дообследовании, т.е. если число стандартных обследований этих секторов достигнет 458, а  $v_{\max k}$  уменьшится до значения  $\leq 0,01$ ;

есть несколько секторов, обследованных 1–4 раза с отрицательным результатом выявления эпизоотии, но с высокой (до 0,99) ожидаемой вероятностью возникновения эпизоотии  $v_{\max k}$ . Столь высокая вероятность обусловлена малым числом обследований сектора. При дальнейших обследованиях вероятность может остаться такой же, если в этих секторах будет постоянно фиксироваться эпизоотия, либо будет снижаться.

В зависимости от конкретной ситуации в очаге максимальную вероятность возникновения эпизоотии  $v_{\max k}$  можно увеличить, а доверительную вероятность  $\beta$  – уменьшить (например, для секторов с отсутствием постоянного и временного населения). При этом целевое число обследований сектора  $N_k$  будет уменьшаться. Например, при  $v_{\max k} = 0,05$  и  $\beta = 0,95$  (ошибка вычисления 5 %) для исключения сектора из очаговой территории достаточно 58-кратного обследования.

Отметим, что рассчитанное по формуле (8) число обследований вполне согласуется с практикой. Известны межэпизоотические периоды длительностью в 35 лет, т.е. с минимальной кратностью обследования за этот период, равной 70, а по отдельным секторам и более. В случае, если в секторе присутствуют носители и переносчики микроба чумы, отсутствие регистрации эпизоотии в течение срока, превышающего в несколько раз длительность известных межэпизоотических периодов, достаточное основание для исключения сектора из очаговой территории с высокой надежностью.

Полученные результаты позволяют использовать научно обоснованный подход при принятии решения об исключении из обследования части очаговой территории.

Ранжирование очага по вероятности выявления эпизоотии в секторе и вероятности обследования сектора может быть использованы наряду с ИЭ при планировании эпизоотологического обследования.

Следует отметить, что Центральнo-Кавказский высокогорный природный очаг чумы использовался в настоящей работе только в качестве примера. Расчет может применяться для любых очагов. При этом нужно помнить, что построенная таблица является примером, актуальным для периода с 1987 по 2013 год. По мере внесения новых данных вероятности будут изменяться. Поэтому мы рекомендуем составить таблицу в любом компьютерном табличном редакторе, связав рассчитываемые ячейки с приведенными в тексте формулами.

Непосредственно для Центральнo-Кавказского высокогорного природного очага чумы отметим, что, в связи с межэпизоотическим периодом, продолжающимся с 2007 г., на текущий год увеличивается только один показатель – кратность обследования

секторов. Вероятность выявления эпизоотии в секторе заметно изменяется только для секторов с высокой напряженностью эпизоотической ситуации, в сторону уменьшения.

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

### Список литературы

1. Онищенко Г.Г., Кутырев В.В., редакторы. Природные очаги чумы Кавказа, Прикаспия, Средней Азии и Сибири. М.: «Медицина»; 2004. 192 с.
2. Дубянский В.М., Поле С.Б., Бурделов Л.А., Классовская Е.В., Сапожников В.И. Зависимость выявления чумы на Баканасской равнине от полноты эпизоотологического обследования. *Карантинные и зоонозные инфекции в Казахстане*. 2007; 1–2(15–16):62–66.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. 7-е изд., стер. М.: Высшая школа; 2001. 576 с.

### References

1. Onishchenko G.G., Kuttyrev V.V., editors. [Natural Plague Foci in the Territory of Caucasus, Caspian-Sea Region, Central Asia

and Siberia]. M.: "Meditsina"; 2004. 192 p.

2. Dubyansky V.M., Pole S.B., Burdelov L.A., Klassovskaya E.V., Sapozhnikov V.I. [Dependence between plague detection on Bakanas Plain and scope and volume of epizootiological surveillance]. *Karantinnye i Zoonoznye Infektsii v Kazakhstane*. 2007. 1–2(15–16):62–6.

3. Ventsel' E.S. [Probability Theory: Text Book for Higher Educational Institutions]. 7<sup>th</sup> Edition. M.: "Vysshaya Shkola"; 2001. 576 p.

### Authors:

Dubyansky V.M., Evchenko Yu.M. Stavropol Research Anti-Plague Institute. 13–15, Sovetskaya St., Stavropol, 355035, Russian Federation. E-mail: stavnipchi@mail.ru.

Matyukhin S.I. I.S. Turgenev Orel State University. 95, Komsomolskaya St., Orel, 302026, Russian Federation.

### Об авторах:

Дубянский В.М., Евченко Ю.М. Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт. Российская Федерация, 355035, Ставрополь, ул. Советская, 13–15. E-mail: stavnipchi@mail.ru.

Матюхин С.И. Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. Российская Федерация, 302026, Орел, ул. Комсомольская, 95. E-mail: info@oreluniver.ru.

Поступила 28.06.18.

Принята к публ. 16.08.18.