

Н.А.Кол¹, А.Ф.Чульдун¹, М.Г.Ростовцев², Ю.А.Калущ¹

ЛИНЕЙНЫЕ РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ МНОГОЛЕТНЕГО ЭПИЗООТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (КАРГИНСКИЙ УЧАСТОК ТУВИНСКОГО ПРИРОДНОГО ОЧАГА ЧУМЫ)

¹Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл;²ФГУЗ «Тувинская противочумная станция» Роспотребнадзора, Кызыл

Результаты моделирования показали выраженную зависимость активности эпизоотий в Тувинском природном очаге чумы от климатических условий (среднемесячного количества осадков за текущий и предыдущие четыре года, температуры за текущий и предыдущие три года). Полученные множественные линейные регрессионные модели позволяют прогнозировать активность течения зооноза на 1 год. Самыми близкими к природному процессу зооноза оказались модели, полученные методом пошаговой регрессии. Наиболее значимыми для активности эпизоотий являются количество осадков в зимние месяцы и температура теплого времени года – весны и лета.

Ключевые слова: природный очаг чумы, линейная регрессионная модель эпизоотий чумы, зависимость активности эпизоотий от климатических факторов.

N.A.Kol¹, A.F.Chul'dum¹, M.G.Rostovtsev², Yu.A.Kalush¹

Linear Regression Models Used for the Description of Long-Term Epizootic Process in Tuvian Natural Plague Focus (Karginsk Mezofocus)

¹Tuvian Institute for Complex Exploration of Natural Resources, SB of the RAS, Kyzyl;²Tuvian Plague Control Station, Kyzyl

The results of modeling showed the dependence of epizootic activity in Tuvian natural plague focus on climatic conditions (average monthly amount of precipitations in the current year and the preceding four years and temperatures in the current and the preceding three years). The multiple linear regression models were used to predict the activity of zoonosis development within a year. The models obtained by means of stepwise regression were most approximated to the natural zoonotic process. The amount of precipitations in winter months and temperature in spring and summer were of the greatest significance for epizootic activity.

Key words: natural plague focus, linear regression models of plague epizootics, dependence of epizootic activity on climatic factors.

Тувинский природный очаг чумы (ТПОЧ) характеризуется практически ежегодными эпизоотиями и имеет индекс эпизоотичности¹ равный 0,9 [9]. В связи с опасностью для населения, которую представляют данные эпизоотии, для Тувы остается актуальной проблема прогнозирования активности очага.

Для эффективного прогнозирования эпизоотического процесса требуется создать адекватную этому природному процессу математическую модель. По определению математическая модель – это «приближенное описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженное с помощью математической символики. Математическое моделирование – мощный метод познания внешнего мира, а также прогнозирования и управления. Анализ математической модели позволяет проникнуть в сущность изучаемых явлений» [11].

Подходы к созданию модели зооноза с известной долей условности и приближения можно разделить на пространственные и временные. И в том, и в другом случае исследуются изменения эпизоотий чумы во времени, только при пространственном подходе изучается динамика эпизоотий чумы во времени и пространстве.

Пространственный подход был применен авто-

рами при исследовании динамики эпизоотий внутри Каргинского участка Монгун-Тайгинского мезоочага ТПОЧ в работе [6]. В свою очередь, временными прогнозами эпизоотий и эпидемий занимались многие исследователи. В работе [8] показана связь эпизоотий чумы с атмосферной циркуляцией и активностью Солнца. Другими климатическими показателями, влияние которых на активность очагов чумы доказана, могут быть увлажненность предшествующего летнего периода [10], ветровой режим [2]. В работе [3] приводятся модели краткосрочных и долгосрочных прогнозов, основанных на анализе большого количества биотических и абиотических факторов [5]. Ранее авторами была разработана модель хода сезонного эпизоотического процесса [7], которая позволяет предсказать средний уровень результативности по поиску чумы в ТПОЧ на каждый календарный день периода обследования.

В данной работе исследуется временной ряд суммы количества культур чумы, собранных за год, далее – временной ряд активности эпизоотий чумы в Каргинском участке Монгун-Тайгинского мезоочага ТПОЧ за период с 1966 по 2000 год.

Для описания временного ряда активности мезоочага были рассмотрены линейные множественные регрессионные модели с дополнительными факторами – среднемесячными температурой и количеством осадков.

¹Индекс эпизоотичности – отношение числа лет, в течение которых на данной территории регистрировали эпизоотию, к общему числу лет наблюдения.

Материалы и методы

Материалами для исследования эпизоотий послужили суммарные ежегодные значения количества выявленных культур чумы из базы данных (БД) «Культуры чумы в Каргинском участке Монгун-Тайгинского мезоочага ТПОЧ». БД была составлена на основе работ Тувинской противочумной станции. Материалы по климатическим условиям были представлены среднемесячным количеством осадков с 1962 по 2000 год в миллиметрах и значением среднемесячных температур с 1963 по 2000 год в градусах Цельсия, зафиксированных в пос. Мугур-Аксы сотрудниками метеорологической службы. Исследование было ограничено 2000 годом, так как в наличии у нас имеются климатические данные только до этого года.

При построении регрессионной модели использовались метод «к» лучших признаков [4] и метод пошаговой регрессии (stepwise regression).

Метод «к» лучших признаков. В основе этого метода лежит предположение о статистической независимости анализируемых признаков [4]. Имеется в виду корреляция между собой 108 параметров: 60 параметров среднемесячного количества осадков (12 ежемесячных параметров за 5 лет) и 48 среднемесячной температуры (12 ежемесячных параметров за 4 года). Если в качестве критерия эффективности линейной диагностической модели используется коэффициент детерминации R^2 , то мерой информативности отдельно взятого признака может служить его коэффициент корреляции с критериальным показателем $r(x_i, z)$ (активностью эпизоотий чумы). Исходное множество признаков x_1, \dots, x_p упорядочивается по модулю коэффициента корреляции:

$$|r(x_{i_1}, z)| \geq |r(x_{i_2}, z)| \geq \dots \geq |r(x_{i_p}, z)|.$$

Из построенного ряда отбирается «к» первых, наиболее ценных признаков.

Чем строже соблюдается условие независимости отбираемых признаков, тем лучше получается конечный результат [4].

Следует также пояснить, что для построения регрессионной модели активности очага методом пошаговой регрессии была использована функция STEPWISE программного продукта MATLAB.

Процедура построения регрессионной модели. Решение практических задач восстановления регрессионной зависимости требует рассмотрения большого числа порождаемых признаков. Процедура построения регрессионных моделей состоит из двух шагов. На первом шаге, на основе свободных переменных – результатов измерений, порождается набор признаков. На втором шаге производится выбор признаков. При выборе признаков выполняется настройка параметров модели, оценивается ее качество. Модель с настроенными параметрами, доставляющая минимум заданному функционалу качества, – в данном

случае наименьшее значение выражения $(1-R^2)$, где R^2 – значение коэффициента детерминации, называется моделью оптимальной структуры [1].

Результаты и обсуждение

Модели на основе метода «к» лучших признаков. В результате применения метода «к» лучших признаков при анализе качества получаемых моделей были отобраны две модели (первая и вторая).

Первая модель включает 7 параметров, в число которых входят данные о среднемесячной температуре и количестве среднемесячных осадков как предыдущих лет, так и текущего года:

$$Y(t) = 1,17 \cdot O_2^{t-4} + 1,92 \cdot O_{12}^{t-2} + 0,2 \cdot O_4^{t-1} - 2,46 \cdot T_6^{t-3} + 3,25 \cdot T_7^{t-2} + 1,67 \cdot T_4^{t-1} + 0,21 \cdot T_2^t - 72,37,$$

где $Y(t)$ – активность эпизоотий чумы (ежегодное количество найденных культур чумы), O – среднемесячное количество осадков, T – среднемесячная температура, нижний индекс показывает номер месяца в году, в верхнем индексе t – номер года в котором выделены культуры чумы. Например, T_4^{t-1} – среднемесячная температура за апрель года, который является предыдущим по отношению к году, в котором выделены культуры чумы.

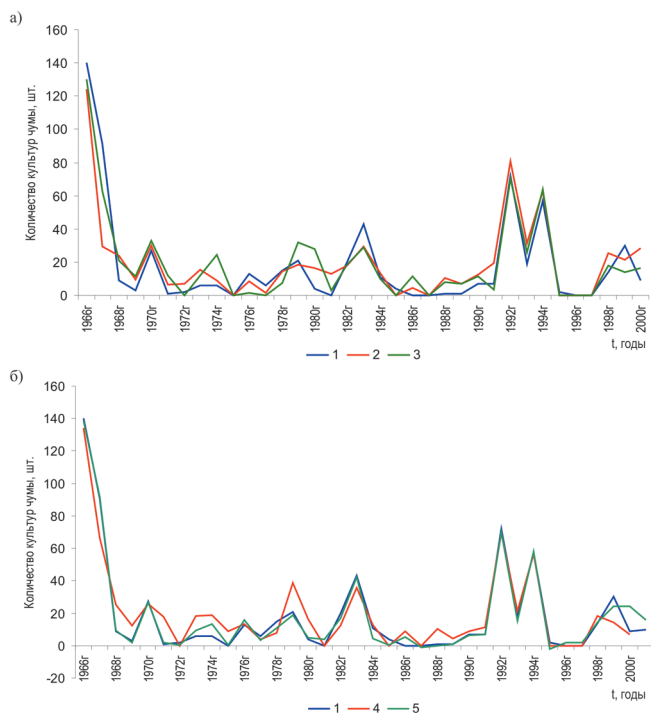
Вторая модель включает 14 параметров, которые основываются на данных о среднемесячной температуре и количестве среднемесячных осадков только предыдущих лет:

$$Y(t) = 1,28 \cdot O_{12}^{t-4} + 1,9 \cdot O_{12}^{t-2} + 0,07 \cdot O_7^{t-1} - 0,13 \cdot O_{10}^{t-1} + 2,24 \cdot O_2^{t-1} + 1,58 \cdot O_1^{t-1} + 0,31 \cdot O_4^{t-2} - 0,07 \cdot O_6^{t-2} + 0,06 \cdot O_9^{t-3} - 2,45 \cdot T_4^{t-3} + 3,48 \cdot T_6^{t-2} + 1,92 \cdot T_7^{t-1} - 1,57 \cdot T_2^{t-1} - 0,08 \cdot T_{12}^{t-2} - 115,38.$$

На рисунке (а) приведены графики суммарной годичной активности эпизоотий чумы в Каргинском участке Монгун-Тайгинского мезоочага ТПОЧ. При практическом использовании отрицательные значения получаемых модельных функций, как не имеющие физического смысла, заменяются нулевыми.

Коэффициент детерминации наблюдаемого ряда и первой модели $R^2 = 0,77$, второй модели – 0,86. Статистический смысл коэффициента детерминации заключается в том, что он показывает, какая доля зависимой переменной объясняется построенной функцией регрессии. В нашем случае, при коэффициентах детерминации 0,77 и 0,86 регрессионные модели объясняют 77 и 86 % дисперсии критериального показателя соответственно, остальные же 23 и 14 % считаются обусловленными факторами, не отраженными в модели.

Модели с применением метода пошаговой ре-



Графики суммарной годичной активности эпизоотий чумы в Каргинском участке Монгун-Тайгинского мезоочага ТПОЧ:

а) 1 – наблюдаемое количество культур чумы, 2 – первая модель, 3 – вторая модель; б) 1 – наблюдаемое количество культур чумы, 4 – третья модель, 5 – четвертая модель

грессии (модели stepwise regression). Среди методов отбора признаков широкое распространение получил пошаговый метод, впервые предложенный в 1960 г. Эфромсоном. На каждом шаге признаки проверяются на возможность добавления признаков в модель или удаления из модели, основываясь на F -статистике.

Цель шаговой регрессии состоит в отборе из большого количества предикатов небольшой подгруппы переменных, которые вносят наибольший вклад в вариацию зависимой переменной.

В результате применения метода stepwise regression (по-шаговая регрессия) при анализе качества получаемых моделей нами были отобраны две модели (третья и четвертая).

Третья модель включает 7 параметров, в число которых входят данные о среднемесячной температуре и количестве среднемесячных осадков как предыдущих лет, так и текущего года:

$$Y(t) = 2,49 \cdot O_2^{t-1} + 1,83 \cdot O_{12}^{t-2} + 1,42 \cdot O_{12}^{t-4} - 4,47 \cdot T_4^t - 5,21 \cdot T_6^{t-1} - 3,32 \cdot T_7^{t-1} - 3,46 \cdot T_4^{t-3} - 40,76,$$

где $Y(t)$ – активность эпизоотий чумы (ежегодное количество найденных культур чумы), O – среднемесячное количество осадков, T – среднемесячная температура, нижний индекс показывает номер месяца в году, в верхнем индексе t – номер текущего года. Например, O_2^{t-1} – среднемесячное количество осадков за февраль года, который является предыдущим по отношению к году, в котором выделены культуры чумы.

Четвертая модель включает 14 параметров, которые основываются на данных о среднемесячной температуре и количестве среднемесячных осадков только предыдущих лет:

$$Y(t) = 2,21 \cdot O_1^{t-1} + 1,94 \cdot O_2^{t-1} + 1,05 \cdot O_4^{t-1} - 0,99 \cdot O_5^{t-1} - 0,12 \cdot O_6^{t-2} + 1,85 \cdot O_{12}^{t-2} + 1,67 \cdot O_4^{t-3} + 1,46 \cdot O_2^{t-4} + 1,64 \cdot O_{12}^{t-4} + 1,07 \cdot T_2^{t-2} + 1,7 \cdot T_3^{t-2} - 2,04 \cdot T_2^{t-3} - 2,5 \cdot T_4^{t-3} + 4,51 \cdot T_6^{t-3} - 82,12.$$

На рисунке (б) приведены графики суммарной годичной активности эпизоотий чумы в Каргинском участке Монгун-Тайгинского мезоочага ТПОЧ. При практическом использовании отрицательные значения получаемых модельных функций, как не имеющие физического смысла, заменены нулевыми значениями.

Коэффициент детерминации наблюдаемого ряда и третьей модели R^2 0,88, четвертой модели – 0,98. В этом случае, при коэффициенте детерминации 0,88 и 0,98 регрессионная модель объясняет 88 и 98 % дисперсии критериального показателя, остальные же 12 и 2 % считаются обусловленными факторами, не отраженными в модели.

Сравнение моделей, подобранных методом stepwise regression (пошаговой регрессии) и методом «к» лучших признаков (преимущество stepwise regression моделей над моделями k-лучших признаков). При сравнении моделей, полученных разными методами следует учесть, что:

- количество параметров первой и второй моделей, полученных методом «к» лучших признаков, равно 7 и 14 соответственно, количество параметров третьей и четвертой моделей, полученных методом пошаговой регрессии, также равно 7 и 14;

- коэффициенты детерминации R^2 первой и второй моделей, полученных методом «к» лучших признаков, равны 0,77 и 0,86, коэффициенты детерминации R^2 третьей и четвертой моделей, полученных методом пошаговой регрессии, равны 0,88 и 0,98.

Если для сравнения моделей, полученных двумя методами stepwise regression (пошаговой регрессии) и «к» лучших признаков, использовать коэффициент детерминации, то лучшими следует признать модели, составленные методом пошаговой регрессии.

Возникает вопрос, каким образом при том же количестве параметров модели, подобранные методом stepwise regression, оказались гораздо ближе к описываемому природному процессу зооноза, чем модели, подобранные методом «к» лучших признаков?

Ответ на него лежит в сфере поиска наиболее значимых для описания природного процесса параметров модели. Для объяснения этого явления в [1] приводится следующая иллюстрация Х.Гаррета эффективности алгоритма, позволяющего подобрать оптимальный набор параметров модели. Пусть имеется 20 параметров, каждый из которых имеет кор-

Коэффициенты корреляции между временными рядами хода эпизоотий (активностью эпизоотий чумы) и среднемесячным количеством осадков (параметрами модели)

| Среднемесячное количество осадков (параметр модели) | № параметра | Метод анализа экспериментальной информации | | | |
|---|-------------|--|---------------|---|------------------|
| | | «к» лучших признаков | | Пошаговая регрессия (stepwise regression) | |
| | | Первая модель | Вторая модель | Третья модель | Четвертая модель |
| O_{12}^{t-4} | 60 | 0,688 | 0,688 | 0,688 | 0,688 |
| O_{12}^{t-2} | 36 | 0,507 | 0,507 | 0,507 | 0,507 |
| O_7^{t-1} | 19 | 0,494 | 0,494 | - | - |
| O_{10}^{t-1} | 22 | - | 0,370 | - | - |
| O_2^{t-1} | 14 | - | 0,365 | 0,365 | 0,365 |
| O_1^{t-1} | 13 | - | 0,347 | - | 0,347 |
| O_4^{t-2} | 28 | - | 0,269 | - | - |
| O_6^{t-2} | 30 | - | 0,264 | - | 0,264 |
| O_9^{t-3} | 45 | - | 0,256 | - | - |
| O_5^{t-1} | 17 | - | - | - | 0,209 |
| O_4^{t-3} | 40 | - | - | - | 0,168 |
| O_4^{t-1} | 16 | - | - | - | 0,79 |
| O_2^{t-4} | 50 | - | - | - | 0,002 |

реляцию с внешним критерием порядка 0,30. Если эти параметры коррелируют друг с другом на уровне $r(x_i, x_j) = 0,60$, то множественный коэффициент корреляции линейной диагностической модели равняется 0,38, если же $r(x_i, x_j) = 0,30$, множественная корреляция повышается до 0,52. Наконец, при $r(x_i, x_j) = 0,10$ эффективность модели достигает высокого значения 0,79. Этот факт хорошо исследован в теории регрессионного анализа [12].

Он также достаточно понятен на качественном уровне рассуждений, так как сильная зависимость признаков между собой означает дублирование большей части информации о проявлении диагностируемого свойства у исследуемых объектов [4].

Скорее всего, при выборе параметров методом «к» лучших признаков некоторая их часть, хотя и имеет высокий по модулю коэффициент корреляции с внешним критерием (табл. 1, 2) (наблюдаемым многолетним ходом зооноза), но также она имеет высокую взаимосвязь между собой (содержит повторяющуюся информацию), что не позволяет этим моделям показать наилучшую эффективность.

Поэтому использованный более сложный метод анализа экспериментальной информации stepwise regression (пошаговой регрессии) позволил выбрать для модели параметры, которые, хотя и не имеют наибольшие по модулю коэффициенты корреляции с временным рядом зооноза (табл. 1, 2), не содержат повторяющуюся информацию о процессах, происходящих в данном природном объекте. Следовательно, модели, полученные методом пошаговой регрессии, заслуженно показывают наилучшую эффективность и близость к природному процессу эпизоотий чумы.

Биологический аспект анализа моделей (поиск биологического смысла модели). Внимательно рас-

сматривая выбор параметров третьей и четвертой моделей из всей последовательности параметров (108 рядов значений: 60 по среднемесячным осадкам и 48 по среднемесячным температурам) можно заметить, что наиболее значимыми параметрами для активности эпизоотий являются количество осадков в зимние месяцы (два параметра за декабрь и один за февраль в третьей модели) и температура теплого времени года: весны и лета (два параметра за апрель, один за июнь и один за июль в третьей модели).

Позволим себе поделиться догадкой о возможной закономерности эпизоотического процесса при чуме в Тувинском природном очаге этой инфекции. Можно предположить, что большое количество снега во время холодного периода года служит для наилучшего сохранения теплого микроклимата в норах длиннохвостого суслика – основного носителя чумы в ТПОЧ. Это благоприятное условие способствует активизации чумного микроба впоследствии через один, два и даже четыре года. А высокая температура в теплый период наоборот (коэффициенты температурных параметров модели имеют отрицательный знак) не способствует последующей активности эпизоотий чумы в этом году, через один и три года.

Таким образом, результаты моделирования показали выраженную зависимость активности эпизоотий в Тувинском природном очаге чумы от климатических условий (среднемесячного количества осадков за текущий и предыдущие четыре года и температуры за текущий и предыдущие три года)

Полученные множественные линейные регрессионные модели (3, 5) позволяют прогнозировать активность течения эпизоотического процесса при чуме на 1 год.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между временными рядами хода эпизоотий (активность эпизоотий чумы) и среднемесячной температурой (параметрами модели)

| Среднемесячная температура (параметр модели) | № параметра | Метод анализа экспериментальной информации | | | |
|--|-------------|--|---------------|--|------------------|
| | | «к» лучших признаков | | Пошаговая регрессия (модели stepwise regression) | |
| | | Первая модель | Вторая модель | Третья модель | Четвертая модель |
| T_4^{t-3} | 100 | 0,394 | 0,394 | 0,394 | 0,394 |
| T_6^{t-2} | 90 | 0,385 | 0,385 | - | - |
| T_6^{t-1} | 78 | 0,338 | 0,338 | 0,338 | - |
| T_2^t | 62 | 0,259 | - | - | - |
| T_2^{t-1} | 74 | - | 0,249 | - | - |
| T_{12}^{t-2} | 96 | - | 0,237 | - | - |
| T_3^{t-2} | 87 | - | - | - | 0,206 |
| T_2^{t-2} | 86 | - | - | - | 0,111 |
| T_4^t | 64 | - | - | 0,075 | - |
| T_2^{t-3} | 98 | - | - | - | 0,072 |
| T_7^{t-1} | 79 | - | - | 0,008 | - |
| T_6^{t-3} | 102 | - | - | - | 0,001 |

Самой адекватной из рассмотренных моделей к природному процессу зооноза явилась модель, полученная методом stepwise regression (методом пошаговой регрессии). Эта регрессионная модель (5) объясняет 98 % дисперсии критериального показателя, и только остальные 2 % считаются обусловленными факторами, не отраженными в модели.

Наиболее значимыми для активности эпизоотий являются количество осадков в зимние месяцы и температура теплого времени года – весны и лета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 256 с.
2. Дубянский М.А., Ермилов А.П., Богатырев С.К. и др. О связи эпизоотий чумы в Казахстане с метеорологическими условиями. Пробл. особо опасных инф. 1977; 5(57):24–9.
3. Дубянский М.А., Кеженбаев А., Степанов В.М. и др. Прогнозирование эпизоотической активности чумы в Приаралье и Кызылкумах. Нукус: Каракалпакстан, 1992. 240 с.
4. Дюк В.А. Компьютерная психодиагностика. СПб.: Братство; 1994. 364 с.
5. Каримова Т.Ю., Неронов В.М. Природные очаги чумы Палеарктики. М.: Наука; 2007. 199 с.
6. Кол Н.А., Калущ Ю.А., Ростовцев М.Г., Чульдун А.Ф., Мамаш Е.А. Использование ГИС-технологий при анализе пространственной динамики Каргинского мезоочага Тувинского природного очага чумы. Геоинформатика. 2008; 3:11–6.
7. Кол Н.А., Ростовцев М.Г., Чульдун А.Ф. Оптимизация сроков эпизоотологического обследования Каргинского мезоочага Тувинского природного очага чумы. Бюл. Восточно-Сибирского науч. центра СО РАН. 2008; 6(64):25–9.
8. Лавровский А.А. О периодической активности природных очагов чумы и причинах, ее обуславливающих. Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука; 1971. С. 74–80.
9. Онищенко Г.Г., Кутырев В.В., редакторы. Природные очаги чумы Кавказа, Прикаспия, Средней Азии и Сибири. М.: Медицина; 2004. 192 с.
10. Ротшильд Е.В., Ермилов А.П., Даниленко И.Д., Постников Г.В. Многолетняя динамика и связь с погодой эпизоотий чумы среди больших песчанок в Северо-восточном Прикаспии. Пробл. особо опасных инф. 1970; 6:120–31.
11. Тихонов А.Н. Математическая модель. В кн.: Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. 1969–1978.
12. Хей Дж. Введение в методы байесовского статистического вывода. М.: Финансы и статистика; 1987. 335 с.

References (Presented are the Russian sources in the order of citation in the original article)

1. Aivazyan S.A., Bukhshtaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. [Applied Statistics: Classification and Reduction of Dimension]. M.: Finansy i Statistika; 1989. 256 p.
2. Dubyansky M.A., Ermilov A.P., Bogatyrev S.K. et al. [On the relation between meteorological conditions and plague epizootic in Kazakhstan]. Probl. Osobo Opasn. Infek. 1977; 5(57):24–9.
3. Dubyansky M.A., Kezhenbaev A., Stepanov V.M. et al. [Prognosis of Epizootic Plague Activity in Sub-Aral Area and Kyzyl Kum]. Nukus: Karakalpakstan; 1992. 240 p.
4. Dyuk V.A. [Computer Psychodiagnosis]. St. Petersburg: Bratstvo; 1994. 364 p.
5. Karimova T.Yu., Neronov V.M. [Natural Plague Foci of Palearctic]. M.: Nauka; 2007. 199 p.
6. Kol N.A., Kalush Yu.A., Rostovtsev M.G., Chul'dum A.F., Mamash E.A. [Applying GIS-technologies to the spatial analysis of Karginsk mezo-focus of Tuva natural plague focus]. Geoinformatika. 2008; 3:11–6.
7. Kol N.A., Rostovtsev M.G., Chul'dum A.F. [Optimization of terms of epizootiological monitoring of Karginsk mezo-focus of Tuva natural plague focus]. Byullet. Vostoch. Sibirsk. Nauch. Tsentra SO RAMN. 2008; 6(64):25–9.
8. Lavrovsky A.A. [Periodic activity of natural plague foci and its causes. Effects of solar activity on the Earth's atmosphere and biosphere]. M.: Nauka; 1971. P. 74–80.
9. Onishchenko G.G., Fedorov Yu.M., Kutyrev V.V. et al. [Natural Plague Foci of Caucasus, Caspian Sea Region, Central Asia and Siberia]. M.: Meditsina; 2004. 192 p.
10. Rothschild E.V., Ermilov A.P., Danilenko I.D., Postnikov G.V. [Long-term dynamics and weather dependence of plague epizootics among great gerbils in the North-Eastern Caspian Region]. Probl. Osobo Opasn. Infek. 1970; 6:120–31.
11. Tikhonov A.N. [Mathematical model]. In: Bol'shaya Sovetskaya Entsiklopedia. M.: Sovetskaya Entsiklopedia; 1969–1978.
12. Hey J. [Introduction to Bayesian Statistical inference Methods]. M.: Finansy i Statistika; 1987. 335 p.

Authors:

Kol N.A., Chul'dum A.F., Kalush Yu.A. Tuvinian Institute for Complex Exploration of Natural Resources, SB of the RAS. Internationalnaya St., 117-a, Kyzyl, 667000, Tuva Republic, Russia. E-mail: Natachakol@yandex.ru
Rostovtsev M.G. Tuvinian Plague Control Station. Kalinina St., 5a, Kyzyl, 667000, Tuva Republic, Russia.

Об авторах:

Кол Н.А., Чульдун А.Ф., Калущ Ю.А. Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН. 667007, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Интернациональная, д. 117-а. E-mail: Natachakol@yandex.ru
Ростовцев М.Г. Тувинская противочумная станция. 667000, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Калинина, д. 5а.

Поступила 10.06.11.