

О НЕЙРОСЕТЕВОМ МОДЕЛИРОВАНИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЭПИЗООТИЙ
ТУЛЯРЕМИИ НА ТЕРРИТОРИИ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

В.А. ЕВСТЕГНЕЕВА, Т.В. ЧЕСТНОВА, О.Л. СМОЛЬЯНИНОВА

Медицинский институт, Тульский государственный университет, ул. Болдина, 128, Тула, Россия, 300012

Аннотация. Проведенный эпизоотологический мониторинг за природными очагами туляремии с 1976 по 2014 годы показал, что основным источником инфекции туляремии является обыкновенная полевка. На долю обыкновенной полевки приходится 51,2% выделенных культур туляремии. Ее численность и инфицированность подвержены колебаниям. За период с 1976 по 2006 годы природные очаги туляремии проявляли высокую активность, начиная с 2007 г. – низкую. С помощью метода искусственных нейронных сетей разработана математическая модель прогнозирования эпизоотий туляремии и установлено, что ведущую роль в снижении численности и низкой активности эпизоотий играют метеорологические факторы: количество осадков, температура воздуха и снежный покров в декабре. Эпизоотии проявляются при холодной зиме, многочисленных осадках и высокой глубине снежного покрова.

Ключевые слова: туляремия, эпизоотия, обыкновенная полевка, численность, инфицированность, природный очаг, метеорологические факторы, искусственные нейронные сети.

ABOUT NEURAL NETWORK MODELING AND PREDICTION EPIZOOTIC TULAREMIA
AT TULA STATE TERRITORY

V. A. EVSTEGNEEVA, T. V. CHESTNOVA, O. L. SMOLJANINOVA

Medical Institute, Tula State University, str. Boldin, 128, Tula, Russia, 300012

Abstract. Epizootical monitoring of natural tularemia focuses for 1976-2014 years showed that main carrier of infection is common vole (*Microtus arvalis*). For the part of all obtained cultures of tularemia bacteria common vole has 51,2%. Its strength and infection can change. At period for 1976-2006 years, natural tularemia focuses were at high activity level, but since 2007 year for now, they are at low activity level. By using method artificial neural network made mathematical model of prediction epizootical tularemia; found that climatic factors (downfalls, temperature, snow depth) playing main role at processes reduction activity and strength of natural tularemia focuses, for example, tularemia epizootia can happen in case of froze December, numerous downfalls and high snow depth.

Key words: tularemia, epizootia, common vole (*Microtus arvalis*), artificial neural network, strength, infection, natural tularemia focus, climatic factors.

Основной задачей в работе зоологов и эпидемиологов противочумных учреждений и учреждений Роспотребнадзора в субъектах Российской Федерации является проведение мониторинга за природными очагами инфекций, прогнозирование численности основных носителей и переносчиков природно-очаговых инфекций и заболеваемости этих инфекций соответственно [7-9].

Тульская область является одной из крупнейших в России очаговых территорий по туляремии луго-полевого типа. Основным источником инфекции по всей области являются обыкновенные полевки, но могут вовлекаться в эпизоотию домовая мышь, рыжая полевка, лесная, полевая мышь, мышь-малютка, серая крыса. Циркуляция возбудителя осуществляется, в основном, через иксодовых клещей *Dermacentor reticulatus*.

Туляремия – природно-очаговая, особо опасная, антропозоонозная инфекция, вызываемая бактерией *F. tularensis* и передающаяся человеку контактным, водным, алиментарным, аспирационным и трансмиссивными путями. Клиника туляремии характеризуется острым началом, лихорадкой, симптомами интоксикации, увеличением лимфоузлов.

Название свое болезнь получила по наименованию местности (озеро Туляре в Калифорнии), где впервые в 1911 г. Г. Мак-Кой и Ч. Чепин выделили возбудитель от суслика.

Туляремия в СССР впервые была официально зарегистрирована в 1926 г. в низовьях Волги, в Астрахани врачами Астраханской противочумной станции С.В. Суворовым, А.А. Вольферц. Большой вклад в учение о туляремии внесли советские ученые Е.И. Марциновский, Н.А. Гайский, Е.Н. Павловский, Б.Я. Эльберт, Н.Г. Олсуфьев.

Первая культура возбудителя туляремии была выделена на территории Тульской области зимой 1935г. Н.А. Яблоковым из воды колодца с. Богословское Ивановского района.

Библиографическая ссылка:

Евстегнеева В.А., Честнова Т.В., Смольянинова О.Л. О нейросетевом моделировании и прогнозировании эпизоотий туляремии на территории Тульской области // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. №1. Публикация 1-9. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/5022.pdf> (дата обращения: 01.12.2014).

Большой вклад в изучении природных очагов туляремии Средне-Русской возвышенности, внес наш туляк Ю. Мясников за период с 1948 по 1963 годы.

Туляремия проявляет себя в разные годы то заболеваемостью среди людей, то эпизоотиями среди грызунов с выделением культур. На территории Тульской области последний случай заболевания людей туляремией и выделения культур был отмечен в 2006 г.

Снижение заболеваемости связано с проведением в первую очередь широкой иммунизации против туляремии среди сельских жителей, а отсутствие выделения культур на современном этапе с низким проявлением активности природных очагов.

Однако, значимость туляремийного микроба, как этиологического фактора в патологии человека, не только не снижается, но и проявляет тенденцию к нарастанию. Это связано, прежде всего, с тем, что возбудитель туляремии входит в перечень патогенных биологических агентов, которые могут быть использованы в качестве биологического оружия. Возможность использования противником *F. tularensis* в качестве бактериологического оружия в локальных войнах, вооруженных конфликтах или при террористических актах является серьезной проблемой для любой страны. Поэтому осуществление эпиднадзора за природными очагами туляремии и прогнозирование эпизоотий среди грызунов и заболеваемости среди людей на территории нашей области и в РФ не теряет своей актуальности.

Нами установлено, что на территории Тульской области за 73-летний период эпизоотологического наблюдения (1942-2014 годы) зарегистрировано 537 населенных пунктов, где была выделена 1131 культура туляремийного микроба.

Из общего количества выделенных культур на долю обыкновенной полевки приходится 51,2%, ее эктопаразитов (гамазовых клещей – 7,4%, блох – 1,1%, вшей – 1,0%), экскрементов – 16,7%, шкурков – 5,3%, талого снега с ометов – 2,0%. Также была выделена 1 культура (0,1%) в 1986 г. из воды реки Дон д. Лешки Новомосковского района. На долю иксодовых клещей от общего числа выделенных культур приходится: *I. ricinus* – 0,2%, *D. reticulatus* – 5,5%. В 1981 году в Ленинском районе, д. Крюковка было выделено 5 культур из воды колодца (0,6%), 2 культуры из воды пруда (0,2%), 1 культура – из ручья (0,1%). Процент выделенных культур от других видов млекопитающих составил: мыши-малютки – 1,7%, домовая мышь – 1,0%, серой крысы – 0,8%, ласки и лесной мыши – по 0,6%, малой белозубки – 0,5%, черной крысы и обыкновенной бурозубки – по 0,3%, рыжей полевки – 0,2%, куторы – 0,1%.

Пейзаж выделенных культур туляремийного микроба из объектов окружающей среды и инфицированность обыкновенной полевки возбудителем туляремии за период с 1964 по 2014 годы представлены на рис. 1.

Таким образом, мы видим, что в распространении туляремийной инфекции ведущее место принадлежит обыкновенной полевке.

Обыкновенная полевка является самым распространенным видом зверьков на территории области. Этот грызун заселяет все станции, включая жилые дома и, нежилые постройки, а в полевых станциях является ведущим видом среди мелких млекопитающих, как по численности, так и по эпидемиологическому значению. Н. В. Башенина (1949) относит территорию Тульской области к зоне преобладания и максимальной вредности обыкновенной полевки.

Обыкновенная полевка роет сложные норы, имеющие 3-5 отверстий. У самцов встречаются норы с 11-15 отверстиями и даже большим числом их. Глубина норы – до 30 см, у самцов иногда глубже. В постоянной норе имеется гнездовая камера и несколько камер для запасов корма. В отдельных камерах полевка устраивает уборные. В скирдах уборные помещаются в углублениях наружного слоя соломы и никогда не встречаются во внутренних частях его. Большинство ходов полевки расположено в дерновом слое почвы, так как зверек поедает попадающиеся при рытье корни растений. Подземные ходы переходят в наземные, проделанные среди травы. Такие ходы удаляются от норы иногда на несколько метров. Эти «тропинки» полевка использует, отправляясь кормиться. При большой численности зверьков норы или, как их неправильно называют, «колонии» сливаются, соединяясь как наземными, так и подземными ходами.

Зимой, особенно при неблагоприятных климатических условиях, полевки устраивают из сухой травы подснежные гнезда, от которых идет во все стороны система подснежных ходов.

Питается обыкновенная полевка обычно зелеными частями растений, но может в большом количестве поедать семена, в том числе зерна хлебных злаков, корни диких растений, картофель, корнеплоды. Иногда в желудках зверьков встречаются остатки – насекомых. Среди обыкновенных полевки сильно развит каннибализм (поедание ослабленных зверьков своего вида), что очень важно для динамики эпидемического процесса.

Размножается обыкновенная полевка очень быстро.

Библиографическая ссылка:

Евстегнеева В.А., Честнова Т.В., Смольянинова О.Л. О нейросетевом моделировании и прогнозировании эпизоотий туляремии на территории Тульской области // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. №1. Публикация 1-9. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/5022.pdf> (дата обращения: 01.12.2014).

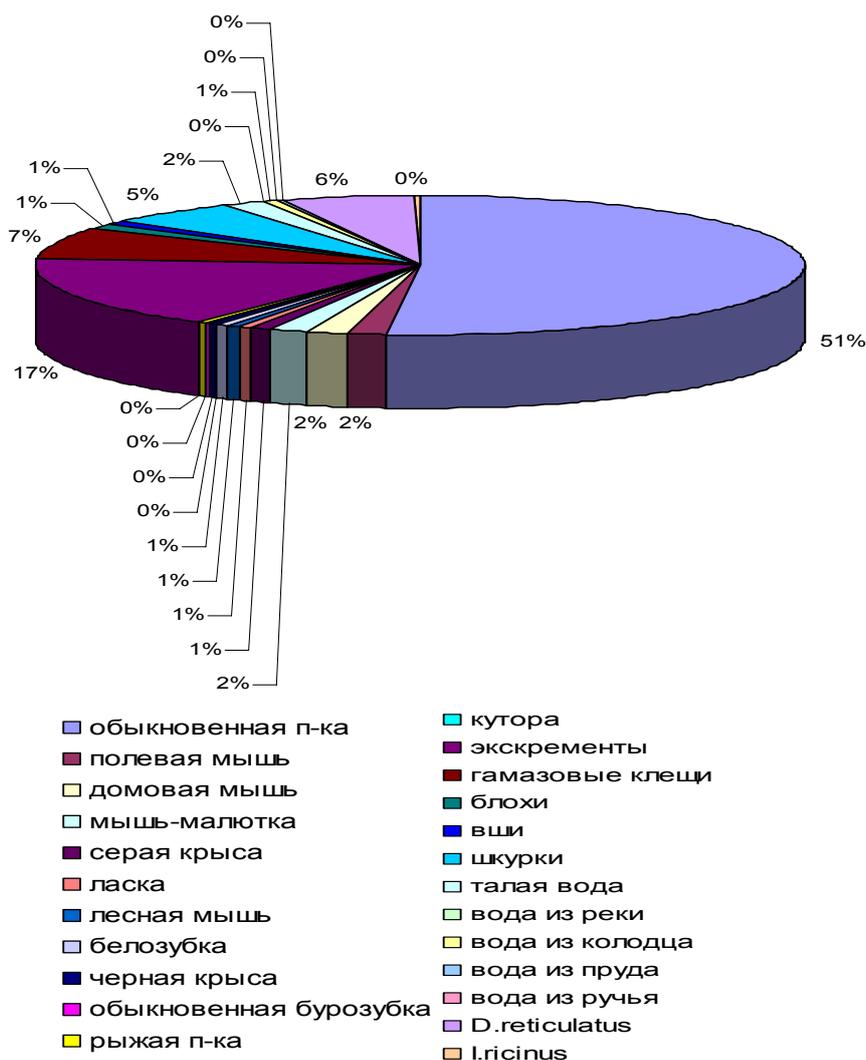


Рис. 1. Пейзаж выделенных культур туляремийного микроба за период с 1964 по 2014 годы.

В постройках, скирдах и ометах размножение продолжается всю зиму. В полях с марта - апреля по октябрь - ноябрь, в зависимости от метеорологических условий. Беременность длится около 20 дней. Самка приносит 4-7 молодых зверьков, а иногда до 15. Новое спаривание происходит вскоре после родов. Таким образом, выводок у полевок бывает приблизительно каждый месяц. Молодые самки могут забеременеть уже в месячном возрасте [6].

По результатам учета численности мелких млекопитающих, было установлено, что за период с 1985 по 2014 годы, численность обыкновенной полевки колеблется от 0,3 до 8,5% при средней многолетней – 4,4%, в лесной зоне – от 0,4 до 17,6% (СМЧ -5,1%), в лесостепной зоне – от 0,2 до 10% (СМЧ – 3,6%). Высокая численность обыкновенной полевки в области отмечалась в 1985, 1987, 1989, 1991, 1993, 2005 годах, в лесной зоне была отмечена дополнительно высокая численность в 1992, 1997, 1998, 2000 годах, в лесостепной зоне – в 1999, 2001, 2003 годах.

Эпизоотии туляремии среди обыкновенных полевок проявляются в виде ее инфицированности. Продолжительность эпизоотий туляремии за период с 1964 по 2014 годы на территории Тульской области испытывает колебания в разные годы от 1 года до 6 лет. Межэпизоотийный период также подвержен колебаниям от 1 года до 8 лет. Так самые продолжительные межэпизоотийные периоды длились с 1956 по 1964 и с 2007 по 2014 годы. Эпизоотии туляремии наблюдались в 1966, 1967, 1968, 1973, 1974, 1976, 1977, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987, 1989, 1990, 1991, 1993, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2003, 2005 годах.

В настоящее время в литературе приводится мало сведений о конкретных результатах прогнозирования заболеваемости природно-очаговыми инфекциями с использованием методов системного анализа. К общепринятым и хорошо исследованным методам многомерного статистического анализа относятся: корреляционный анализ, регрессионный анализ, дискриминантный анализ, анализ временных рядов,

Библиографическая ссылка:

Евстигнеева В.А., Честнова Т.В., Смольянинова О.Л. О нейросетевом моделировании и прогнозировании эпизоотий туляремии на территории Тульской области // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. №1. Публикация 1-9. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/5022.pdf> (дата обращения: 01.12.2014).

метод группового учета аргументов, алгебраическая модель конструктивной логики [1-5], а в нашей работе мы использовали искусственные нейронные сети.

Используя временной ряд для прогнозирования эпизоотий с помощью полиномиального тренда, мы видим, что коэффициент корреляции имеет очень слабую связь (рис.2).

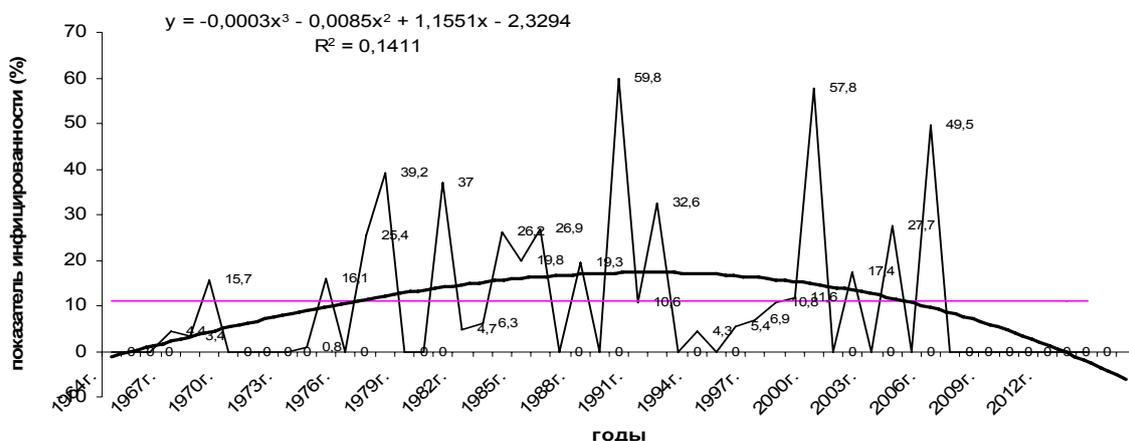


Рис. 2. Динамика инфицированности обыкновенной полевки туляремийной инфекцией за период с 1964 по 2014 годы

Для разработки научно обоснованной системы управленческих мер по оптимизации эпиднадзора за туляремией, необходимо правильно прогнозировать складывающуюся эпидемическую ситуацию на основании данных эпизоотологического мониторинга с помощью методов системного анализа. Особенностью прогнозирования эпизоотий является получение ее прогностической модели.

В связи с этим, был проведен анализ данных влияния на эпизоотии туляремии климатических факторов, численности обыкновенных полевков и численности иксодовых клещей *D. reticulatus* за период с 1976 по 2014 гг.

Для этого был использован метод *искусственных нейронных сетей* (ИНС), а именно многослойный перцептрон. Цель – разработать математическую модель, используемую для прогнозирования эпизоотий туляремии и выявить факторы, влияющие на активность проявления эпизоотий туляремии.

Исходя из условий моделирования сложных систем, к которым могут быть отнесены: возможные нелинейные влияния элементов на выходной параметр, синергетика и реципрокность при совместном влиянии отдельных факторов, необходимость учета в отдельных случаях категориальных факторов и нескольких выходных параметров сложной системы, мы выбрали ИНС. Это позволяет реализовать указанные условия при получении математической модели системы.

Рассмотрены различные типы сетей для решения задач регрессии системы: многослойный перцептрон, радиальная базисная функция, линейная и обобщенная регрессионная нейронная сеть.

В ходе сравнительного анализа для всех приведенных типов сетей успешности моделирования были определены в качестве базовых многослойные перцептроны.

Для прогнозирования эпизоотий туляремии в качестве выходных параметров модели (y) была представлена инфицированность обыкновенной полевки туляремийной инфекцией за период с 1976 по 2014 годы. В качестве входных параметров модели (x) были представлены следующие факторы: – численность обыкновенной полевки в лесной зоне Тульской области (X_1), численность обыкновенной полевки в лесостепной зоне Тульской области (X_2), численность иксодовых клещей *D. reticulatus* (X_3), численность лесного клеща *I. ricinus* (X_4), средняя температура воздуха января (X_5), средняя температура февраля (X_6), средняя температура марта (X_7), средняя температура апреля (X_8), средняя температура мая (X_9), средняя температура июня (X_{10}), средняя температура июля (X_{11}), средняя температура августа (X_{12}), средняя температура сентября (X_{13}), средняя температура октября (X_{14}), средняя температура ноября (X_{15}), средняя температура декабря (X_{16}), среднее количество осадков января (X_{17}), среднее количество осадков февраля (X_{18}), среднее количество осадков марта (X_{19}), среднее количество осадков апреля (X_{20}), среднее количество осадков мая (X_{21}), среднее количество осадков июня (X_{22}), среднее количество осадков июля (X_{23}), среднее количество осадков августа (X_{24}), среднее количество осадков сентября (X_{25}), среднее количество осадков октября (X_{26}), среднее количество осадков ноября (X_{27}), среднее количество осадков декабря (X_{28}), глубина снежного покрова декабря (X_{29}), глубина снежного покрова января (X_{30}), глубина снежного покрова февраля (X_{31}), глубина снежного покрова марта (X_{32}), а если учитывать предысторию процесса, т.е. влияние факторов предыдущего года на текущую заболеваемость, то количество факторов еще увеличится.

Библиографическая ссылка:

Евстегнеева В.А., Честнова Т.В., Смольянинова О.Л. О нейросетевом моделировании и прогнозировании эпизоотий туляремии на территории Тульской области // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. №1. Публикация 1-9. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/5022.pdf> (дата обращения: 01.12.2014).

В ходе моделирования эпизоотий туляремии получена ИНС на основе трехслойного *многослойного перцептрона* (МП) с архитектурой МП 22:22 – 12-1:1 (рис. 3).

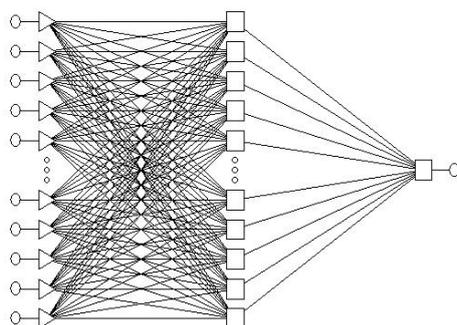


Рис. 3. Архитектура ИНС системы «инфицированность туляремией обыкновенной полевки – метеорологические факторы – численность обыкновенной полевки – численность иксодовых клещей»

Анализ производительности обучения (отношение предсказанного и наблюдаемого стандартных отклонений) показывает, что контрольная (0,00) и тестовая ошибки (0,00) не различаются, что говорит о том, нейронная сеть обучена хорошо.

Параметры регрессии, полученной в ходе моделирования, показали, что среднее значение составляет 20,67, а стандартное отклонение – 1,074, вычисленные соответственно для обучающих данных и для ошибки прогноза. Важным показателем является стандартное отклонение ошибки прогноза. Оно существенно меньше стандартного отклонения обучающих данных равного 31,61. Отношение стандартного отклонения ошибки прогноза к стандартному отклонению обучающих данных (0,034) существенно меньше единицы, что говорит о хорошем качестве регрессии. Оно показывает 0,99942 доли дисперсии, объяснено полученной моделью.

Расположение факторов по чувствительности (рангу) полученной модели показаны в табл.

Таблица

Расположение факторов по чувствительности

| Название факторов | Ранг |
|---|------|
| Численность обыкновенной полевки в лесостепной зоне | 4 |
| Численность обыкновенной полевки в лесной зоне | 7 |
| Средняя температура воздуха октября | 16 |
| Средняя температура воздуха ноября | 19 |
| Средняя температура воздуха декабря | 1 |
| Средняя температура воздуха января | 11 |
| Средняя температура воздуха февраля | 6 |
| Средняя температура воздуха марта | 8 |
| Средняя температура воздуха апреля | 5 |
| Среднее количество осадков в октябре | 10 |
| Среднее количество осадков в ноябре | 18 |
| Среднее количество осадков в декабре | 3 |
| Среднее количество осадков в январе | 12 |
| Среднее количество осадков в феврале | 13 |
| Среднее количество осадков в марте | 20 |
| Среднее количество осадков в апреле | 9 |
| Глубина снежного покрова в декабре | 2 |
| Глубина снежного покрова в январе | 17 |
| Глубина снежного покрова в апреле | 22 |
| Глубина снежного покрова в марте | 15 |
| Численность клещей <i>D. reticulatus</i> | 21 |
| Численность клещей <i>I. ricinus</i> | 14 |

Библиографическая ссылка:

Евстегнеева В.А., Честнова Т.В., Смольянинова О.Л. О нейросетевом моделировании и прогнозировании эпизоотий туляремии на территории Тульской области // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. №1. Публикация 1-9. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/5022.pdf> (дата обращения: 01.12.2014).

Все переменные модели имеют отношение значительно больше 1 (от 4,1 до 20,87). Оценка регрессионной зависимости показывает высокий показатель коэффициента корреляции равный 0,9994.

Анализ результатов моделирования показывает, что наиболее существенное влияние на эпизоотии туляремии (инфицированность обыкновенной полевки) оказывают метеорологические факторы: температура воздуха, глубина снежного покрова и осадки в декабре месяце. Влияние на эпизоотии туляремии температуры декабря представлено на рис.4.

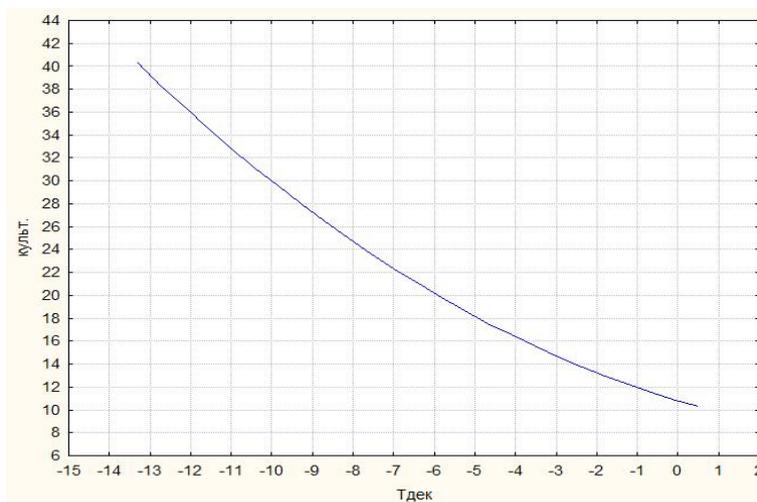


Рис. 4. Влияние температуры воздуха декабря на эпизоотии туляремии

Таким образом, разработана нейросетевая математическая модель для прогнозирования эпизоотий туляремии. Впервые доказано, что в возникновении эпизоотий туляремии среди обыкновенных полевок важную роль играет комплексное, нелинейное влияние метеорологических факторов. Наиболее существенное влияние оказывают: температура воздуха, глубина снежного покрова и осадки в декабре месяце.

Литература

1. Честнова Т.В., Хромушин В.А. Контекстно-развивающаяся база данных для логической интеллектуальной системы, используемой в здравоохранении // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2001. № 4. С. 38–40.
2. Честнова Т.В. Логико-математическая модель дифференциальной диагностики листериоза // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2001. № 5. С. 49–50.
3. Новохатка А.Д., Смольянинова О.Л., Честнова Т.В. Влияние инфицированности и численности мелких млекопитающих по ландшафтно-географическим зонам Тульской области на заболеваемость лептоспирозом серогруппы гриппотифоза // Вестник новых медицинских технологий. 2005. №1. С.122–124.
4. Честнова Т.В., Смольянинова О.Л., Логвинов С.И. К вопросу о выборе метода прогнозирования заболеваемости лептоспирозом // Вестник новых медицинских технологий. 2011. № 4. С. 18–21.
5. Честнова Т.В., Смольянинова О.Л., Смольянинова В.А. К вопросу прогнозирования численности иксодовых клещей *I. ricinus* в природных биотопах с помощью искусственных нейронных сетей // Вестник новых медицинских технологий. 2012. № 1. С. 231–232.
6. Смольянинова О.Л., Честнова Т.В. Лептоспироз в Тульской области. Тула: издательство ТулГУ, 2013. 201 с.
7. Смольянинова О.Л., Честнова Т.В. Системный анализ и прогнозирование заболеваемости лептоспирозом. Тула: Издательство ТулГУ, 2006. 116 с.
8. Честнова Т.В., Смольянинова О.Л. Лабораторная диагностика особо опасных инфекционных заболеваний. Тула, 2009. 168 с.
9. Честнова Т.В. Эпидемиологический надзор при листериозе. Тула, 2003. 140 с.

References

1. Chestnova TV, Khromushin VA. Kontekstno-razvivayushchayasya baza dannykh dlya logicheskoy intellektual'noy sistemy, ispol'zuemoy v zdravookhraneni. Epidemiologiya i infektsionnye bolezni. 2001;4:38-40. Russian.

Библиографическая ссылка:

Евстегнеева В.А., Честнова Т.В., Смольянинова О.Л. О нейросетевом моделировании и прогнозировании эпизоотий туляремии на территории Тульской области // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. №1. Публикация 1-9. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/5022.pdf> (дата обращения: 01.12.2014).

2. Chestnova TV. Logiko-matematicheskaya model' differentsial'noy diagnostiki listerioza. Epidemiologiya i infektsionnye bolezni. 2001;5:49-50. Russian.

3. Novokhatka AD, Smol'yaninova OL, Chestnova TV. Vliyanie infitsirovannosti i chislennosti melkikh mlekopitayushchikh po landshaftno-geograficheskim zonam Tul'skoy oblasti na zaboлеваemost' leptospirozom serogruppy grippotifoza. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2005;1:122-24. Russian.

4. Chestnova TV, Smol'yaninova OL, Logvinov SI. K voprosu o vybore metoda prognozirovaniya zaboлеваemosti leptospirozom [The question of choosing the method of mathematical analysis for solving the problem of medical forecasting leptospirosis morbidity]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;4:18-21. Russian.

5. Chestnova TV, Smol'yaninova OL, Smol'yaninova VA. K voprosu prognozirovaniya chislennosti ikso-dovykh kleshchey I. ricinus v prirodnykh biotopakh s pomoshch'yu iskusstvennykh neyronnykh setey [Forecasting the number of ixodidae ix ricinus in natural biotopes by means of artificial neural networks]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2012;1:231-2. Russian.

6. Smol'yaninova OL, Chestnova TV. Leptospiroz v Tul'skoy oblasti. Tula: izdatel'stvo TulGU; 2013. Russian.

7. Smol'yaninova OL, Chestnova TV. Sistemnyy analiz i prognozirovanie zaboлеваemosti leptospirozom. Tula: Izdatel'stvo TulGU; 2006. Russian.

8. Chestnova TV, Smol'yaninova OL. Laboratornaya diagnostika osobo opasnykh infektsionnykh zabolevaniy. Tula; 2009. Russian.

9. Chestnova TV. Epidemiologicheskiy nadzor pri listerioze. Tula; 2003. Russian.

Библиографическая ссылка:

Евстегнеева В.А., Честнова Т.В., Смольянинова О.Л. О нейросетевом моделировании и прогнозировании эпизоотий туляремии на территории Тульской области // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. №1. Публикация 1-9. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/5022.pdf> (дата обращения: 01.12.2014).