

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТУБЕРКУЛЕЗА СРЕДИ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. Ю. ЗОРКАЛЬЦЕВА¹, В. И. ЗОРКАЛЬЦЕВ², С. Н. ШУГАЕВА¹

A SIMULATION MODEL OF THE EPIDEMIC PROCESS OF TUBERCULOSIS AMONG THE PEDIATRIC POPULATION OF THE IRKUTSK REGION

E. YU. ZORKALTSEVA¹, V. I. ZORKALTSEV², S. N. SHUGAEVA¹

¹ ГБОУ ДПО «Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования» МЗ РФ,
² Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск

¹ Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education, Ministry of Health of the Russian Federation, Irkutsk, RF,
² L. A. Melentyev Institute of Power Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, RF

Приведен опыт имитационного моделирования эпидемического процесса при туберкулезе на примере детского населения Иркутской области. В модели использованы результаты анкетирования родителей 439 детей. Установлено, что наибольшее влияние на эпидемическую ситуацию по туберкулезу среди детского населения оказывает группа детей из малообеспеченных семей, имеющих контакт с больными туберкулезом (6%). Ее вклад в показатель заболеваемости составляет 60%. Проведение контролируемого превентивного лечения детям из групп риска позволяет снизить показатель заболеваемости детей на 45%.

Ключевые слова: туберкулез у детей, группы риска, имитационная модель, превентивное лечение.

The paper describes the experience in simulating the epidemic process of tuberculosis in case of the pediatric population of the Irkutsk Region. The model is based on the results of questionnaire surveys of the parents of 439 children. A group of children from low-income families that are in contact with tuberculosis patients (6%) has been ascertained to have the greatest impact on the epidemiological situation of the disease. The group's contribution to morbidity rates is 60%. Controlled preventive treatment in risk-group children may reduce morbidity rates for children by 45%.

Key words: tuberculosis in children; risk groups, simulation model, preventive treatment.

В целях оптимизации противотуберкулезных мероприятий в условиях напряженной эпидемической ситуации целесообразно использование современных научных и компьютерных технологий [6]. В последние десятилетия для изучения проблем эпидемиологии и профилактики туберкулеза используют различные математические модели [9, 10]. Имеются данные об успешном опыте применения математических моделей территориального значения среди взрослого населения [2, 7]. Создание имитационной модели помогает уточнить значимость отдельных групп риска, выяснить их вклад в показатель общей заболеваемости и разработать оптимальную тактику профилактических мероприятий, в том числе и среди детского населения. Важно отметить, что в настоящее время, несмотря на снижение заболеваемости туберкулезом детей в целом, в группах риска они остаются высокими [1].

Цель исследования – разработать имитационную модель для формирования системного представления об эпидемическом процессе при туберкулезе и оценки эффективности профилактических мероприятий среди детского населения.

Материалы и методы

Базисом для создания имитационной модели стали результаты анкетирования родителей

439 детей, проживающих на территории Иркутской области: не инфицированных микобактериями туберкулеза (МБТ) – 150 детей, с латентной туберкулезной инфекцией (ЛТИ) – 172 ребенка, больных туберкулезом – 117 детей. Анкета предусматривала определение 7 медико-биологических, социальных и эпидемических факторов риска [3]. Использовали статистические отчетные материалы противотуберкулезных учреждений и Статуправления Иркутской области. Исследование одобрено локальным этическим комитетом.

Расчетные величины модели включали:

H_t^{ij} – доля не инфицированных МБТ детей к возрасту t лет социальной группы $i = 1, \dots, n$, находящихся в степени контакта с больными туберкулезом $j = 1, \dots, m$ в общей численности детей возраста $t = 1, \dots, 14$ лет. I_t^{ij} – доля детей с ЛТИ к возрасту t социальной группы i , находящихся в степени контакта j в общей численности детей возраста t . T_t^{ij} – доля заболевших туберкулезом детей к возрасту t социальной группы i , находящихся в степени контакта j в общей численности детей возраста t .

Выделены две социальные группы – дети из семей с доходом более 1\$ на 1 члена семьи в день ($i = 1$) и дети из семей с доходом менее 1\$ ($i = 2$) и две эпидемические группы – дети, проживающие в контакте с больными туберкулезом, и не имеющие контакта с больными туберкулезом.

$H_t^{i0}, I_t^{i0}, T_t^{i0}$ – доля не инфицированных МБТ детей, детей с ЛТИ и заболевших к возрасту t детей социальной группы i по всем степеням контакта в общей численности детей возраста t ;

$H_t^{ij}, I_t^{ij}, T_t^{ij}$ – доля не инфицированных МБТ, детей с ЛТИ и заболевших к возрасту t детей в степени контакта j по всем социальным группам в общей численности детей возраста t ;

$H_t^{\Sigma}, I_t^{\Sigma}, T_t^{\Sigma}$ – доля не инфицированных МБТ, детей с ЛТИ и заболевших туберкулезом к возрасту t детей по всем социальным и эпидемическим группам.

Уравнения динамики [4] показывают изменение с увеличением возраста долей не инфицированных МБТ, детей с ЛТИ и заболевших туберкулезом детей разных социальных и эпидемических групп.

1. Изменение по возрастам доли не инфицированных МБТ детей:

$$H_t^{ij} = H_{t-1}^{ij} - \alpha_t^{ij} H_{t-1}^{ij} - \gamma_t^{ij} H_{t-1}^{ij} (1),$$

где: $\alpha_t^{ij} H_{t-1}^{ij}$ – доля детей в возрасте t с первичным инфицированием социальной группы i и степени контакта j в общей численности детей возраста t ,

$\gamma_t^{ij} H_{t-1}^{ij}$ – доля детей в возрасте t , заболевание туберкулезом у которых было выявлено при обследовании по выражу туберкулиновых проб, социальной группы i и степени контакта j в общей численности детей возраста t .

2. Изменение по возрастам доли детей с ЛТИ:

$$I_t^{ij} = I_{t-1}^{ij} + \alpha_t^{ij} H_{t-1}^{ij} - \beta_t^{ij} I_{t-1}^{ij} (2),$$

где $\beta_t^{ij} I_{t-1}^{ij}$ – доля заболевших туберкулезом детей в возрасте t из инфицированных МБТ к этому возрасту для социальной группы i и эпидемической группы j в общей численности детей возраста t .

3. Изменение по возрастам доли заболевших туберкулезом детей:

$$T_t^{ij} = T_{t-1}^{ij} + \beta_t^{ij} I_{t-1}^{ij} + \gamma_t^{ij} H_{t-1}^{ij} (3).$$

Расчет по уравнениям динамики осуществлялся последовательно для возраста от 0 до 14 лет. В уравнениях 1-3 используются положительные меньше единицы коэффициенты:

α_t^{ij} – первичное инфицирование МБТ детей, оставшихся здоровыми (т. е. не заболевших туберкулезом) в возрасте t социальной группы i при степени контакта j ,

γ_t^{ij} – заболеваемость одновременно с первичным инфицированием в возрасте t детей социальной группы i при степени контакта j ,

β_t^{ij} – заболеваемость в возрасте t инфицированных детей социальной группы i при степени контакта j .

Первым этапом исследования явились пробные расчеты с помощью модели без выделения социально-эпидемиологических групп для оценки правильности их подбора.

Расчеты без выделения социально-эпидемических групп показали, что выбранные исходные данные оптимально отражают современную эпидемическую ситуацию по туберкулезу среди детского населения, что дало возможность перейти к следующему этапу исследования – разделению показателей по группам риска: социальным и эпидемиологическим.

Выделено четыре группы детей (соответственно градациям признаков $i = 1, 2; j = 1, 2$):

1-1 – дети без факторов риска, из материально обеспеченных семей;

1-2 – дети из материально обеспеченных семей, имеющие контакт с больным туберкулезом;

2-1 – дети из малообеспеченных семей, не имеющие контакта с больным туберкулезом;

2-2 – дети из малообеспеченных семей, имеющие контакт с больным туберкулезом.

По результатам проведенного ранее анкетирования установлено, что среди не инфицированных МБТ доля детей из контакта с больными туберкулезом составила 1,4% (0,014). Среди детей с ЛТИ этот показатель составил 4,9% (0,049), а среди больных – 60,0% (0,6).

С учетом сведений о доле неинфицированных, инфицированных и больных туберкулезом детей к 14 годам вычислена доля детей, имевших контакт с больными туберкулезом. В частности, установлено, что 2,4% (0,024) из всех детей имели на протяжении 14 лет контакт с больными туберкулезом.

Далее рассмотрена взаимосвязь контакта и материального достатка у детей – из материально обеспеченных семей 0,013 составляют дети из контакта с больным туберкулезом, а из малообеспеченных семей – 0,052 [5]. Зная долю детей из материально обеспеченных и малообеспеченных семей, определена доля детей – жителей Иркутской области, имеющих социальные и эпидемические риски туберкулеза (табл. 1).

Кроме того, основываясь на результатах анкетирования, были введены коэффициенты усиления, позволяющие учесть, насколько чаще происходят инфицирование и заболевание туберкулезом среди

Таблица 1

Доля детей Иркутской области, имеющих социальные и эпидемические факторы риска туберкулеза

Наличие контакта	Дети из материально обеспеченных семей	Дети из малообеспеченных семей
У детей контакт отсутствует	0,687	0,248
У детей контакт имеется	0,013	0,052
Всего	0,7	0,3

детей из социальных и эпидемических групп риска. Так, дети из малообеспеченных семей болеют туберкулезом в 4 раза чаще, а при сочетании контакта и низкого достатка – в 45 раз чаще.

В соответствии с данными [8] было задано соотношение показателей вклада инфицированных МБТ и заболевших туберкулезом в общую эпидемическую ситуацию (1 к 10).

При наличии всех входных данных для модели по группам риска был осуществлен следующий этап расчетов. Показатель, отражающий число переболевших туберкулезом детей к 14 годам, составил

0,00320, т. е. ежегодно заболеваемость составляет $0,00320 : 14 = 0,000228$. Этот показатель соответствовал показателю заболеваемости детей туберкулезом в текущем году.

Расчеты с помощью имитационной модели показали, что эпидемическую ситуацию по туберкулезу среди детского населения в значительной степени определяет группа детей из малообеспеченных (дети из социально неблагополучных семей полностью вошли в группу малообеспеченных) семей, имеющих контакт с больными туберкулезом (рис. 1-3). За весь период расчетов с помощью

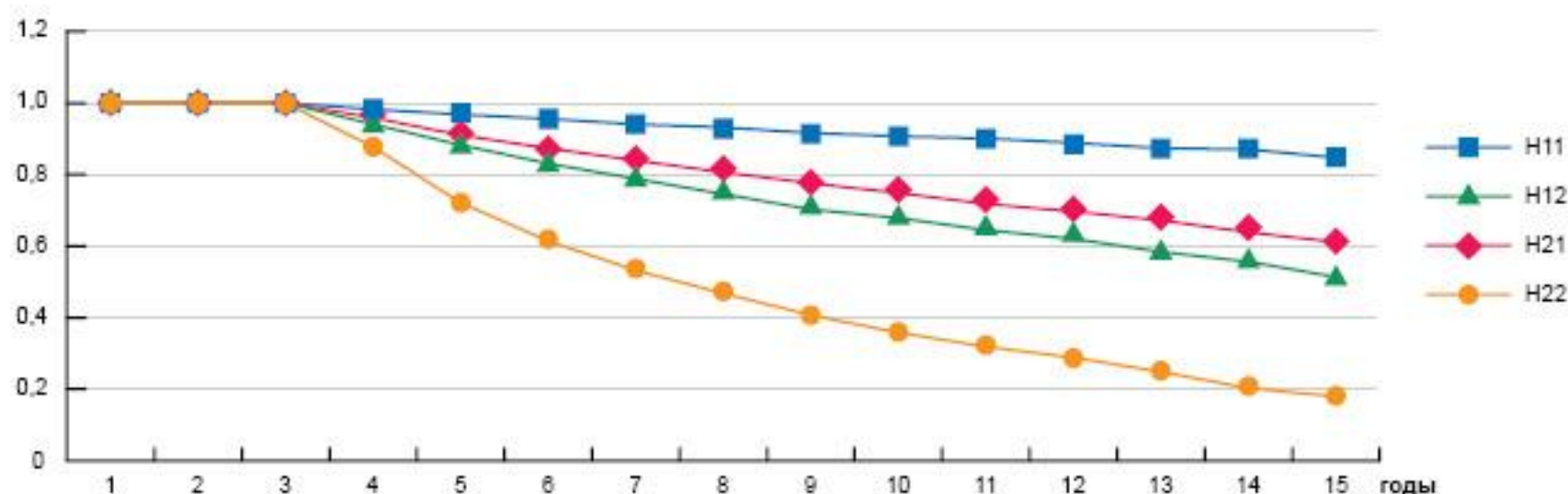


Рис. 1. Динамика доли не инфицированных МБТ детей групп риска; H – здоровые дети

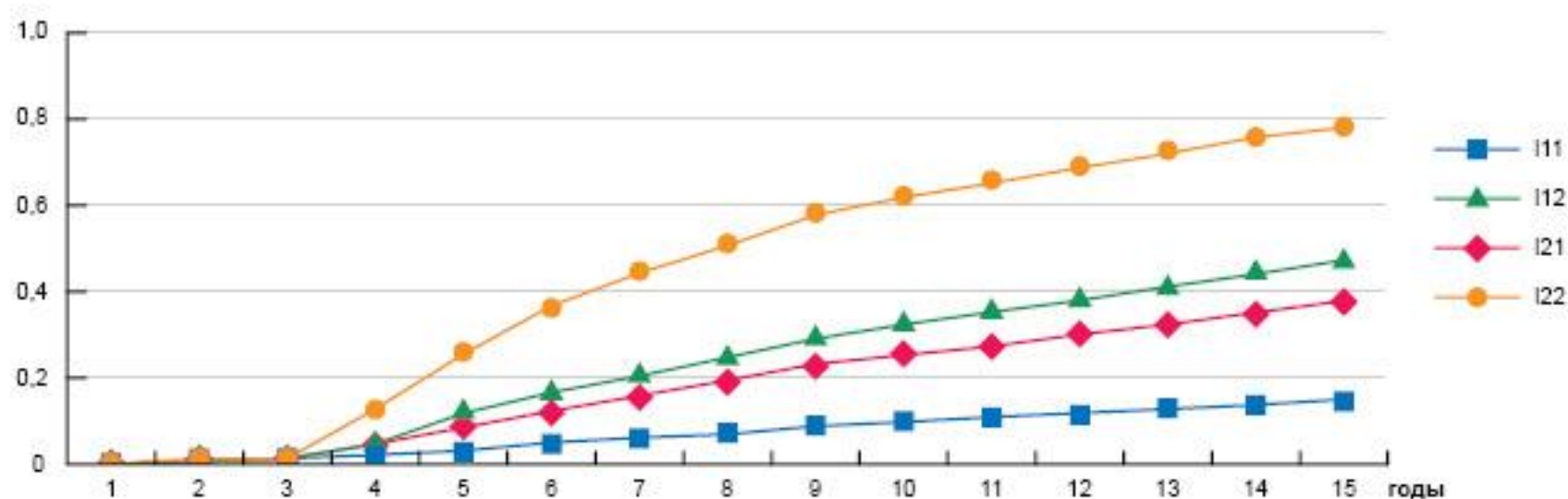


Рис. 2. Динамика доли детей с ЛТИ групп риска; I – дети с ЛТИ

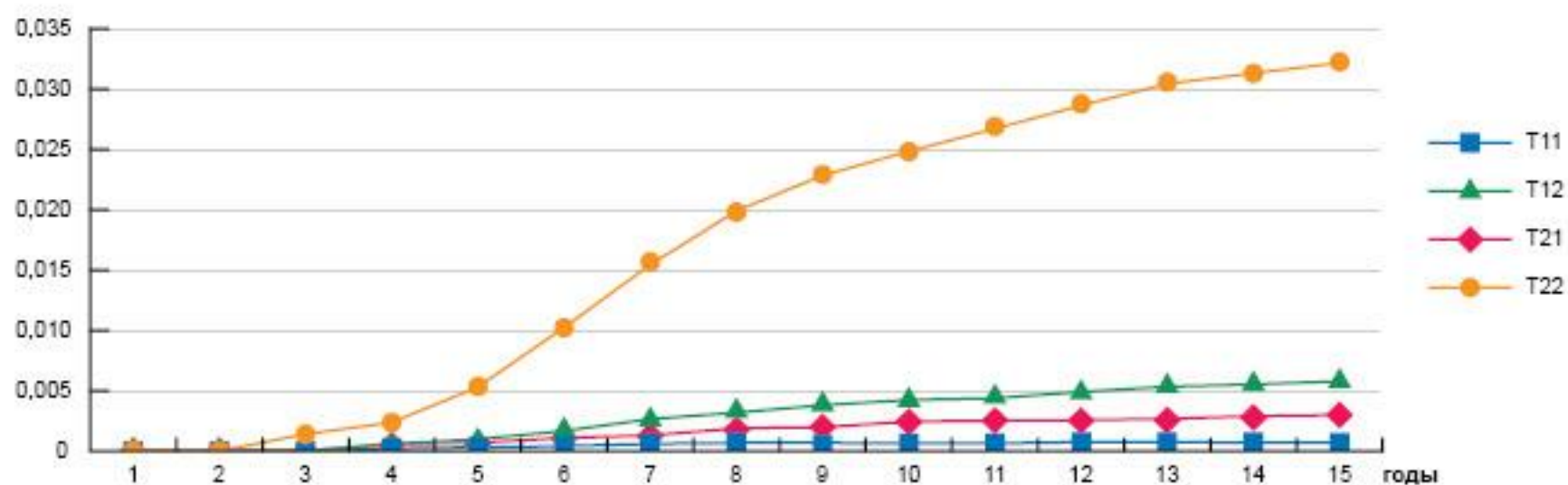


Рис. 3. Динамика доли больных туберкулезом детей групп риска; T – дети, больные туберкулезом

модели (все дети, родившиеся в области в данном году, были приняты за 1,0; цикл расчетов повторялся от 0 до достижения 14 лет), доля детей этой группы составила 6%. В то же время среди заболевших туберкулезом детей на протяжении от 0 до 14 лет доля детей из малообеспеченных семей и имеющих контакт с больными туберкулезом составила 60%.

На второй позиции по вкладу в заболеваемость находится группа детей из материально обеспеченных семей, имеющих контакт с больными туберкулезом. Группа детей из малообеспеченных (в том числе неблагополучных) семей без установленного контакта занимает третье место, а дети из материально обеспеченных семей вне контакта дают самый незначительный вклад в суммарную заболеваемость.

Как было показано ранее, дети из группы риска, получившие контролируемое превентивное лечение, в 3 раза реже заболевают туберкулезом по сравнению с детьми, получившими неконтролируемое лечение в амбулаторных условиях [3]. Проведена коррекция исходных данных модели, позволившая

установить, что превентивное лечение в санаторных условиях детям из малообеспеченных семей, имеющих контакт с больными туберкулезом, снижает общий показатель заболеваемости на 45% и уменьшает уровень инфицированности МБТ на 8% (табл. 1). Улучшение эпидемиологических показателей в результате обратной связи приведет к изменению соотношения групп риска (табл. 2, 3).

Полученные данные позволили выдвинуть гипотезу, что усиление профилактических мероприятий в группе детей из малообеспеченных семей, имеющих контакт с больными туберкулезом, окажет положительное влияние на уровень детской заболеваемости. Этим был обоснован ряд внедрений в практическую работу фтизиатров Иркутской области: первоочередное помещение детей, имеющих указанные факторы высокого риска заболевания туберкулезом, в детские санаторные противотуберкулезные учреждения области и санаторные группы детских дошкольных учреждений; внедрение амбулаторного контролируемого превентивного лечения в условиях дошкольных и школьных детских

Таблица 2

Доля детей, перенесших туберкулез, и детей с ЛТИ до и после дифференцированных профилактических мероприятий (к 14 годам, в долях от всех детей этого возраста)

Группы детей	Доля детей, перенесших туберкулез		Доля детей с ЛТИ	
	до превентивного лечения	после превентивного лечения	до превентивного лечения	после превентивного лечения
Материально обеспеченные, контакта нет	0,000488	0,000458	0,10229	0,09635
Материально обеспеченные, контакт есть	0,000085	0,000072	0,00700	0,00601
Малообеспеченные, контакта нет	0,000690	0,000641	0,09139	0,08511
Малообеспеченные, контакт есть	0,00193	0,000591	0,04706	0,03909
Всего	0,00319	0,00176	0,24774	0,22656

Таблица 3

Распределение детей по социальным и эпидемическим группам до и после проведения профилактических мероприятий

Группы детей	До превентивного лечения	После превентивного лечения
Материально обеспеченные, контакта нет	0,685	0,686
Материально обеспеченные, контакт есть	0,015	0,014
Материально не обеспеченные, контакта нет	0,240	0,249
Материально не обеспеченные, контакт есть	0,060	0,051
Всего	1,000	1,000

учреждений детям из социально неблагополучных семей, если они по разным причинам не были помещены в учреждения санаторного типа.

Подтверждением выдвинутой гипотезы служит динамика показателя заболеваемости детей туберкулезом в Иркутской области: постепенное снижение с 40,3 на 100 тыс. детского населения в 2010 г. до 36,0 в 2013 г. (среднегодовой темп снижения 3,6%), что расценено как положительный результат комплексных противотуберкулезных мероприятий и как доказательство работоспособности имитационной модели.

Заключение

Имитационная модель эпидемического процесса туберкулезной инфекции среди детского населения обеспечивает системный подход к проблеме детского туберкулеза, позволяет отследить динамику процессов инфицирования и заболевания в разных социальных и эпидемических группах, эффективно мониторить действенность противотуберкулезных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенова В. А., Клевню Н. И., Севостьянова Т. А. Эпидемическая ситуация по туберкулезу у детей и подростков в России // *Туб.* – 2011. – № 4. – С. 22.
2. Девятков М. Ю. Интегральная факторная оценка системы профилактических мероприятий при туберкулезе // *Пробл. туб.* – 1997. – № 4. – С. 8-9.
3. Зоркальцева Е. Ю. Факторы риска инфицирования и заболевания туберкулезом детей в Иркутской области / *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН.* – 2004. – Т. 1, № 2. – С. 112-116.
4. Зоркальцева Е. Ю. Опыт имитационного моделирования протекания эпидемиологического туберкулезного процесса среди детского населения / *Методы оптимизации и их приложения. Труды XIV Байкальской международной школы-семинара.* Издательство: Институт систем энергетики имени Л. А. Мелентьева СО РАН. – 2008. – С. 48-62.
5. Зоркальцева Е. Ю., Зоркальцев В. И. Имитационное моделирование эпидемиологического туберкулезного процесса: Метод. реком. – Иркутск, 2009. – 31 с.
6. Ильичева Е. Ю. Экономические аспекты выявления туберкулеза в группах риска, сформированных на основе анкетного скрининга // *Пробл. туб.* – 1996. № 2. – С. 3-5.
7. Лукьяненко Н. В. Эпидемиологический надзор за туберкулезом как основа системного подхода к борьбе с социально-обусловленными заболеваниями (функциональная модель Алтайского края): Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Кемерово. – 2002. – 42 с.
8. Хрулева Т. С. Резервуар туберкулезной инфекции // *Пробл. туб.* – 2001. – № 6. – С. 11-14.

9. Anderson Roy M., Tuberculose, chiffres et polemique // *Recherche.* – 1999. – № 319. – P. 36-39.
10. Lietman T., Blower Sn. Potential impact of tuberculosis vaccines as epidemic control agents // *Clin. Infec. Diseases.* – 2000. – № 30-3. – P. 316-322.

REFERENCES

1. Aksenova V. A., Klevno N. I., Sevostyanova T. A. TB situation in children and adolescents in Russia. *Tub.*, 2011, no. 4, pp. 22. (In Russ.)
2. Devyatkov M. Yu. Integral factorial evaluation of TB prevention activities. *Prob. Tub.*, 1997, no. 4, pp. 8-9. (In Russ.)
3. Zorkaltseva E. Yu. Risk factors for TB infection and developing the active disease in children in Irkutsk Region. *Byulleten VCNCS CO RAMN*, 2004, vol. 1, no. 2, pp. 112-116. (In Russ.)
4. Zorkaltseva E. Yu. [Simulation of TB situation development in children population. *Methods of optimization and their application, Abstracts of XIV Baikal International Seminar. Opyt imitatsionnogo modelirovaniya protekaniya epidemiologicheskogo tuberkuleznogo protsessa sredi detskogo naseleniya. Metody optimizatsii i ikh prilozheniya. Trudy XIV Baikalskoy mezhdunarodnoy shkoly-seminara.* Publ. Institute of Energy Systems of L. A. Melentiev SD of RAS, 2008, pp. 48-62.
5. Zorkaltseva E. Yu., Zorkaltsev V.I. *Imitatsionnoye modelirovaniye epidemiologicheskogo tuberkuleznogo protsessa. Metod. Rekom.* [Simulation of TB situation development. Guidelines], Irkutsk, 2009, 31 p.
6. Ilyicheva E. Yu. Economic aspects of TB detection in risk groups, identified through screening by questionnaires. *Prob. Tub.*, 1996, no. 2, pp. 3-5. (In Russ.)
7. Lukyanenko N. V. *Epidemiologicheskii nadzor za tuberkulezom kak osnova sistemnogo podkhoda k bor'be s sotsialno obuslovlennymi zabolevaniyami. Funktsionalnaya model Altaiskogo kraia.* Doct. diss. [TB epidemiological surveillance as a systematic approach to control of social diseases (functional model of Altai Region)]. Doct. Diss., Kemerovo, 2002. 42 p. (In Russ.)
8. Khruleva T. S. TB reservoir. *Prob. Tub.*, 2001, no. 6, pp. 11-14. (In Russ.)
9. Anderson Roy M. Tuberculose, chiffres et polemique. *Recherche*, 1999, no. 319, pp. 36-39.
10. Lietman T., Blower Sn. Potential impact of tuberculosis vaccines as epidemic control agents. *Clin. Infec. Diseases*, 2000, no. 30-3, pp. 316-322.

ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

Зоркальцева Елена Юльевна

ГБОУ ДПО «Иркутская государственная академия последипломного образования» МЗ РФ,

доктор медицинских наук,

заведующая кафедрой туберкулеза.

664079, г. Иркутск, м-н Юбилейный, д. 100.

Тел. 8 (950) 051-70-12.

E-mail: zorkaltseva@mail.ru

Поступила 30.10.2014