

# Выявление длительно существующих очагов туберкулезной инфекции в мегаполисе с помощью математических методов

А.А.Романюха<sup>1,2</sup>, А.С.Каркач<sup>1</sup>, С.Е.Борисов<sup>3</sup>, Е.М.Белиловский<sup>3</sup>, Т.Е.Санникова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт вычислительной математики РАН, Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Российская Федерация;

<sup>3</sup>Московский городской научно-практический центр борьбы с туберкулезом Департамента здравоохранения г. Москвы, Москва, Российская Федерация

**Цель.** Разработка метода поиска и оценки эпидемиологической значимости участков жилой застройки с повышенной заболеваемостью туберкулезом.

**Пациенты и методы.** Анализировались координаты проживания 19 033 больных туберкулезом легких с подтвержденным бактериовыделением, выявленных среди постоянного населения Москвы в 2000–2015 гг. С помощью метода локальных оценок плотности выделены локальные очаги повышенной заболеваемости туберкулезом. Исследована статистическая достоверность обнаруженных очагов и связь их формирования с социально-экономическими характеристиками населения.

**Результаты.** Выявлено 18 очагов с уровнем заболеваемости в среднем в 2,5 раза выше, чем на окружающей территории. Характерный радиус очага – 200 м. В очагах проживает около 1,5% постоянного населения, и на них приходится 3,5% от общего числа случаев туберкулеза. Методом статистического моделирования доказана статистическая достоверность выявленных очагов заболеваемости. Муниципалитеты, в которых выявлены локальные очаги повышенной заболеваемости туберкулезом, характеризуются более низкой долей жителей с высшим образованием и низкой стоимостью жилья по сравнению с муниципалитетами без очагов. Заболеваемость в очагах снижается начиная с 2005 г.

**Заключение.** Предложенный метод поиска позволил выявить локальные очаги повышенной заболеваемости туберкулезом. Эти очаги четко очерчены и имеют ограниченный размер, что позволяет проводить эффективные противоэпидемические (профилактические) мероприятия.

**Ключевые слова:** туберкулез, очаг инфекции, социально-экономические факторы, геоинформационная система, математическое моделирование

**Для цитирования:** Романюха А.А., Каркач А.С., Борисов С.Е., Белиловский Е.М., Санникова Т.Е. Выявление длительно существующих очагов туберкулезной инфекции в мегаполисе с помощью математических методов. *Инфекционные болезни*. 2019; 17(2): 67–73. (In Russian). DOI: 10.20953/1729-9225-2019-2-67-73

## Identification of long-existing areas of tuberculosis infection in a metropolis using mathematical methods

A.A.Romanyukha<sup>1,2</sup>, A.S.Karkach<sup>1</sup>, S.E.Borisov<sup>3</sup>, E.M.Belilovskiy<sup>3</sup>, T.E.Sannikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Computational Mathematics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation;

<sup>3</sup>Moscow City Research and Practical Center for Tuberculosis, Moscow Healthcare Department, Moscow, Russian Federation

**Objective.** To develop a method for identifying residential areas with increased incidence of tuberculosis and to evaluate their epidemiological significance.

**Patients and methods.** We analyzed coordinates of residence of 19,033 patients with smear/culture-confirmed pulmonary tuberculosis (TB) revealed among the permanent population of Moscow in 2000–2015. Using the method of local density estimation, we identified local areas of increased TB incidence. We also analyzed the statistical significance of these areas and correlation between their formation and socioeconomic characteristics of the population residing there.

**Results.** We have identified 18 areas, where TB incidence was 2.5 times higher than that in other areas. The typical radius of these area was 200 m. Approximately 1.5% of the population resides in each of these areas, whereas the proportion from the total number of TB cases reach 3.5% per each area. Using statistical modeling, we demonstrated that the difference in the TB incidence between the areas was statistically significant. Municipal districts with increased TB incidence were characterized by a lower proportion of residents with higher education and lower housing costs than those with fewer TB patients. The TB incidence in these areas has been decreasing since 2005.

### Для корреспонденции:

Каркач Арсений Сергеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института вычислительной математики РАН

Адрес: 119333, Москва, ул. Губкина, 8

Телефон: (495) 984-8120 доб. 39-90

E-mail: Arseniy@mail.ru

Статья поступила 20.12.2018 г., принята к печати 26.06.2019 г.

### For correspondence:

Arseniy S. Karkach, PhD in physics and mathematics, senior research fellow in the Institute of Computational Mathematics, Russian Academy of Sciences

Address: 8 Gubkina str., Moscow, 119333, Russian Federation

Phone: (495) 984-8120 ex. 39-90

E-mail: Arseniy@mail.ru

The article was received 20.12.2018, accepted for publication 26.06.2019

**Conclusion.** Our method allowed the detection of local areas with an increased TB incidence. These areas had clear borders and limited size, which enables effective preventive measures.

*Key words:* tuberculosis, areas of infection, socioeconomic factors, geographic information system, mathematical modeling

**For citation:** Romanyukha A.A., Karkach A.S., Borisov S.E., Belilovskiy E.M., Sannikova T.E. Identification of long-existing areas of tuberculosis infection in a metropolis using mathematical methods. *Infekc. bolezni (Infectious diseases)*. 2019; 17(2): 67–73 (In Russian). DOI: 10.20953/1729-9225-2019-2-67-73

**В** отечественной эпидемиологии очагом туберкулезной инфекции называется место нахождения (проживания, работы, отдыха) источника микобактерий, «...место пребывания источника микобактерий туберкулеза вместе с окружающими его людьми и обстановкой в тех пределах пространства и времени, в которых возможно возникновение новых заражений и заболеваний» [1]. Очагом инфекции может быть квартира, лестничная площадка, служебное помещение. Описание очага включает список лиц, которые контактировали с источником инфекции. Считается, что угроза повышенной заболеваемости сохраняется в очаге в течение года. Практика применения существующего определения очага туберкулезной инфекции для организации противоэпидемических мероприятий в условиях городской застройки показала необходимость его уточнения и дополнения. В частности, на рассматриваемый круг контактов источника микобактерий влияет не только пространственная близость к месту проживания или работы, но и социальные и демографические характеристики источника и окружающих лиц, которые определяют предпочтительный круг контактов заболевшего на прилегающей к месту жительства территории. Следовательно, нельзя исключить расширение границ очага и включение в него, например, жителей соседних домов.

Так, например, в [1] говорится, что «...особых подходов к определению границ и выявлению контактных лиц требует очаг туберкулеза в крупных городах. 'Городской' очаг не ограничивается семьей, квартирой, производством, а имеет размытые контуры, определяемые многочисленными связями больного – бытовыми, родственными, транспортными (миграционными), случайными или возможными. В связи с этим резко возрастает число контактных лиц, составляя в течение дня более 30 чел. С учетом транспортных контактов оно может достигать 50 чел., хотя официально на одного бактериовыделителя учитывается в среднем немногим более 3 чел. – членов семьи и соседей по квартире...».

Неизвестно, при каких условиях могут формироваться такие увеличенные пространственно и распределенные среди сравнительно большого числа окружающего населения очаги инфекции.

Данные картографирования показывают, что повышенное число случаев туберкулеза может наблюдаться в одном определенном многоквартирном доме или в группе рядом расположенных домов по сравнению с другими соседними домами. В таких местах выше шансы инфицирования, что может приводить к более высокому уровню заболеваемости. Однако неясно, при каких условиях выявленные близко друг к другу случаи туберкулеза становятся неслучайным, значимым для эпидемического процесса явлением. Чтобы ответить

на этот вопрос, изучаемое явление необходимо описать с помощью принятых в эпидемиологии показателей с применением определенного аппарата математической статистики, позволяющего выявлять пространственные неоднородности.

Основным эпидемиологическим показателем является заболеваемость – число новых случаев заболевания в год на 100 тыс. населения. Традиционно заболеваемость оценивается подсчетом числа случаев заболевания на территории административных единиц (городов, поселков, районов, муниципалитетов и т.д.), для которых известна численность населения. Такой подход позволяет сопоставить заболеваемость с социально-экономическими, экологическими и демографическими характеристиками среды и населения, распределять ресурсы между административными единицами в зависимости от эпидемической обстановки [2]. Ограничения этого подхода связаны с тем, что отдельно взятая административная единица (минимальная единица, для которой имеются необходимые статистические сведения, такие, как численность населения и его состав) нередко является эпидемиологически неоднородным образованием и включает участки с отличающейся эпидемической обстановкой. Причем представляют интерес именно стойкие во времени неоднородности эпидемиологической ситуации, что должно определять принятие определенных решений по обеспечению контролируемого снижения локального показателя заболеваемости туберкулезом. Следовательно, нужен метод долговременной оценки заболеваемости на отдельных выделенных частях территории административной единицы.

Разработка метода поиска и оценки эпидемиологической значимости участков жилой застройки с повышенной заболеваемостью, наблюдаемой в течение нескольких лет, – локальных долговременных очагов туберкулезной инфекции – имеет большое теоретическое и практическое значение. Устойчивые во времени территории с высокой заболеваемостью туберкулезом влияют на уровень инфицированности жителей соседних территорий и должны быть приоритетной целью противоэпидемических мероприятий. Опубликованных исследований, в которых характеризуются долговременные пространственные неоднородности заболеваемости туберкулезом, мы не нашли.

**Цель исследования** – разработка метода поиска и оценки эпидемиологической значимости участков жилой застройки с повышенной заболеваемостью туберкулезом.

## Пациенты и методы

Анализировались данные системы постоянного мониторинга туберкулеза в г. Москве в рамках эпидемиологиче-

ского исследования, которое было одобрено Департаментом здравоохранения Москвы. Исследование основано на деперсонифицированной информации (без указания ФИО и номера квартиры) о лицах с впервые выявленным туберкулезом, полученной из базы данных, разработанной и поддерживаемой ГБУЗ «Московский городской научно-практический центр борьбы с туберкулезом» Департамента здравоохранения Москвы [3]. Это препятствует распознаванию места проживания больных, поэтому индивидуальное согласие не требуется.

Анализировались данные с координатами проживания для 19 033 случаев заболеваемости туберкулезом легких с подтвержденным бактериовыделением (далее кратко обозначаемые МБТ+), выявленных и зарегистрированных в 2000–2015 гг. среди постоянного населения г. Москвы. Адреса регистрации больных были геокодированы с точностью до дома с помощью веб-сервиса геокодирования ООО «Яндекс» [4]. Каждая из полученных координат, в соответствии с адресом, была отнесена к одному из муниципалитетов города [5]. Из 146 муниципалитетов, входивших в состав Москвы в 2010–2014 гг., часть вошла в состав города в ходе реформы 2011–2012 гг. и имеет плотность населения и условия жизни, значительно отличающиеся от «традиционных» районов. Поэтому мы выделили 107 муниципалитетов, находящиеся полностью (105) или частично (2) внутри МКАД. На этой территории в 2014 г. проживало 10,6 млн человек.

**Локальный очаг инфекции.** Методы поиска пространственных неоднородностей – очагов инфекций предполагают предварительное определение размера(ов) очагов, которые предполагается искать. Для оценки минимального размера локального очага инфекции предположим, что задачей является выявление территорий с заболеваемостью как минимум в 3 раза больше средней. Средняя заболеваемость туберкулезом органов дыхания постоянного населения Москвы в 2000–2016 гг. составляла 11,5 случая МБТ+ в год на 100 тыс. населения. При заболеваемости 34,5 случая в год на 100 тыс. населения в популяции величиной 5 тысяч человек можно ожидать 1–2 случая в год. Следовательно, численность населения очага, который можно выявить, должна быть не менее пяти тысяч. В многоквартирном доме проживает от 500 до 2000 человек, следовательно, очаг должен включать как минимум 5–10 домов. Оценка для кварталов с типичной многоэтажной застройкой показывает, что 5–10 домов размещается в круге радиусом около 200 м. Для оценки максимального размера локального очага инфекции нужно учитывать пространственную организацию жилой застройки.

Москва, в основном, застроена жилыми кварталами (микрорайонами) с характерным размером около 1 км. Кварталы ограничены промышленными зонами, парками, крупными транспортными магистралями. Следовательно, радиус очага должен быть меньше 500–400 м, иначе в его границы будут попадать парки и промышленные зоны. С учетом этих ограничений мы использовали при поиске очагов круг с радиусом 200 м.

**Метод поиска локальных очагов инфекции.** Для решения задачи использовался метод локальных оценок плотности событий, описанный в [6]. Для каждого больного подсчитывалось число случаев туберкулеза в окрестности – круге с центром в месте проживания данного больного. Большое число случаев туберкулеза в круге являлось признаком очага инфекции.

**Оценка заболеваемости в локальном очаге инфекции.** Для оценки уровня заболеваемости в локальном очаге инфекции использовались данные о средней плотности населения в жилой застройке г. Москва (33 000 чел./км<sup>2</sup>). Круг с R = 200 м имеет площадь 0,126 км<sup>2</sup>. Зная плотность населения, можно подсчитать, что в очаге в среднем проживает 4145 чел. Тогда выявление в круге одного случая в год соответствует 24 случаям на 100 тыс. населения, двух – 48 случаям. Небольшая численность популяции на тестируемой территории делает оценки заболеваемости очень переменными от года к году. Поэтому для более надежной идентификации очагов нужно оценивать среднюю заболеваемость за несколько лет.

**Оценка статистической достоверности гипотезы случайного образования очагов заболеваемости.** Гипотеза случайного образования выявленных очагов заболеваемости проверялась методом Монте-Карло. Моделировалось случайное и независимое распределение известного числа случаев туберкулеза (19033 случая) на территории жилой застройки г. Москвы. Полученные данные обрабатывались методом локальных оценок плотности с R = 200 м. Эта процедура повторялась сто раз и результаты моделирования сравнивались с результатами обработки реальных данных [6].

**Социально-экономические факторы и наличие очагов повышенной заболеваемости.** Для обнаружения связей между социально-экономическими характеристиками населения муниципалитета и наличием в них очагов повышенной заболеваемости оценивались средние значения характеристик и достоверность их различия.

## Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1а показана гистограмма распределения заболеваемости на участках – очагах, формируемых в виде круга радиусом 200 м вокруг точки проживания каждого из 19 033 больных туберкулезом с МБТ+. Для поиска очагов инфекции рассмотрим круги с наибольшим значением заболеваемости туберкулезом. Правее линии В рис. 1а представлены 648 случаев-очагов, в окрестности<sup>1</sup> которых в 2000–2015 гг. средняя заболеваемость была выше 40 случаев в год на 100 тыс. На рис. 1б нанесены круги, соответствующие каждому из этих 648 случаев. Эти круги образуют 18 скоплений в 16 муниципалитетах. Для каждого из этих скоплений методом кластеризации получена окончательная оценка размера очага. В ходе процедуры кластеризации в один очаг объединялись точки 648 выбранных случаев, находящиеся на расстоянии не более 200 м друг от друга.

<sup>1</sup>В круге с центром в месте проживания больного и радиусом 200 м.

На рис. 1с показана детальная схема для двух очагов. Крестиками отмечены дома проживания больных, яркость крестика увеличивается при увеличении числа случаев в доме. Круги, показанные тонкой серой линией, соответствуют исходным очагам с  $R = 200$  м. Толстой черной линией показаны уточненные границы локальных очагов, получившиеся в результате объединения перекрывающихся исходных очагов. Видно (верхний очаг на рис. 1с), что после кластеризации площадь (и население) очага может быть больше, чем у исходных очагов. Оценка размера очага дает оценку численности населения как произведения средней плотности населения на площадь данного очага. Зная население и число случаев, можно оценить заболеваемость в очаге. Результаты приведены в табл. 1. Случаи туберкулеза также показаны за границами очагов. Видно, что плотность случаев на окружающей территории определенно ниже, чем в очагах.

В табл. 1 приведены характеристики выявленных локальных очагов повышенной заболеваемости. Число случаев

МБТ+ в очагах за 2000–2015 гг. равно 648, или 3,4% от общего числа случаев МБТ+. Среднее число случаев МБТ+ в год в очаге равно 2,25, или 2–3 случая в год. Незначительное число случаев ставит вопрос о достоверности выявленных очагов. Не являются ли эти очаги результатом случайной пространственной группировки независимых друг от друга случаев заболевания?

Чтобы ответить на этот вопрос, сравним динамику средней заболеваемости в очагах (рис. 2, сплошная толстая линия), 95%-е доверительные интервалы для этой средней величины (показаны серым фоном) и динамику средней заболеваемости МБТ+ в Москве. Видно, что величина средней заболеваемости в очагах достоверно отличается от средней по Москве.

**Достоверность выявленных очагов заболеваемости.** Еще одним способом проверить неслучайный характер выявленных очагов является сравнение распределения локальных оценок реальной заболеваемости (гистограмма на рис. 1а) и

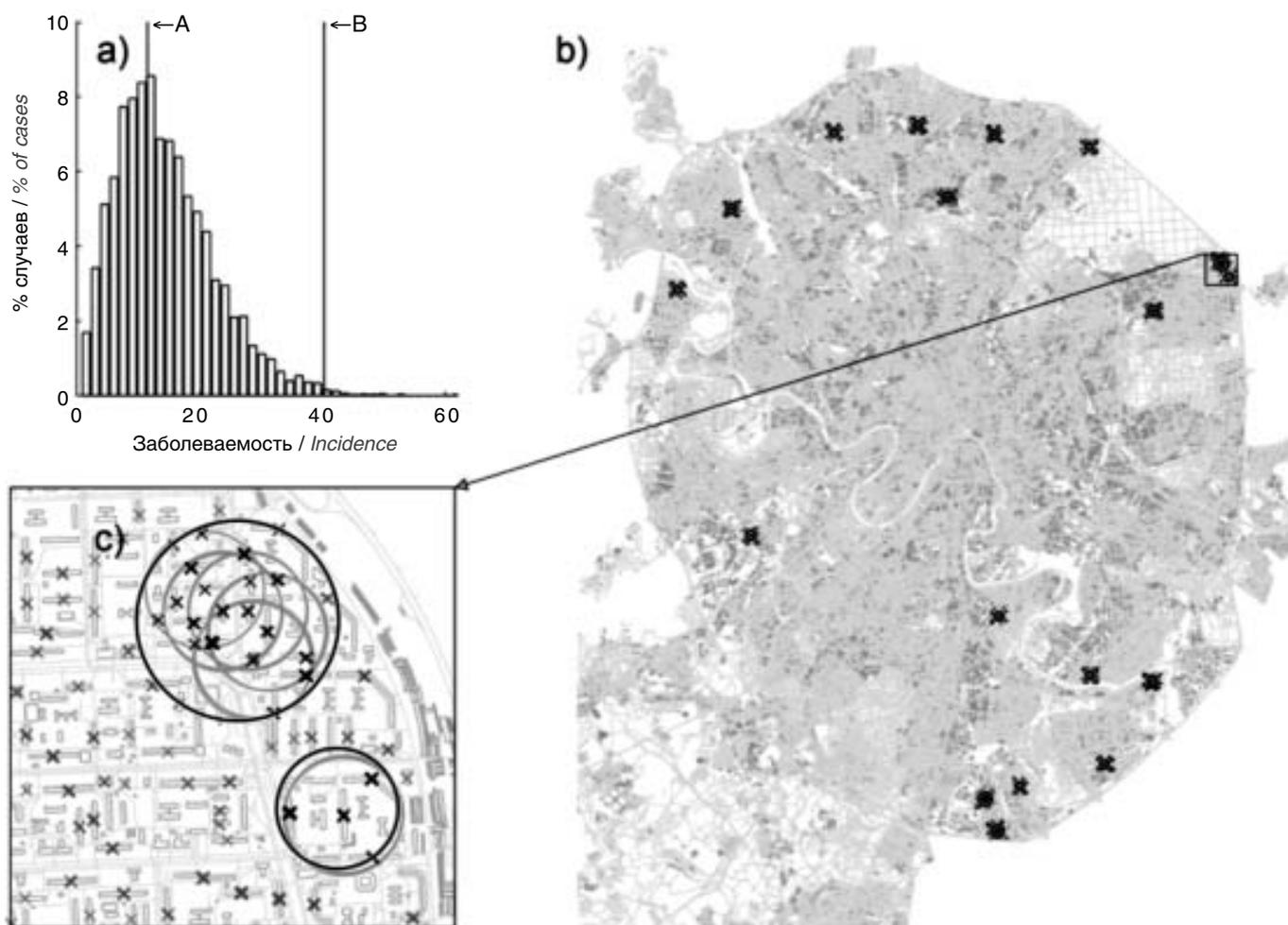


Рис. 1. **Схема метода выявления локальных очагов повышенной заболеваемости туберкулезом.** а – гистограмма распределения локальных оценок заболеваемости туберкулезом (МБТ+) в 2000–2015 гг., линия А – средняя заболеваемость постоянных жителей в 2000–2015 гг., линия В – нижняя граница заболеваемости (40 случаев/100 тыс.) в очагах; б – карта с 18 локальными очагами повышенной заболеваемости туберкулезом; в – подробная карта двух очагов (черные круги), получившихся в результате кластеризации исходных очагов (серые круги).

Fig. 1. **Scheme of the method for detecting local areas with increased tuberculosis incidence.** a – histogram reflecting the distribution of the local estimates of the incidence of smear/culture-confirmed tuberculosis in 2000–2015; line A – mean incidence among permanent residents in 2000–2015, line B – lower limit of incidence (40 cases per 100,000) in the areas of infection; b – map with 18 local areas of increased tuberculosis incidence; c – Detailed map of two areas of infection (black circles) resulted from clustering of the initial areas (gray circles).

локальных оценок заболеваемости, полученных в результате моделирования случайного и независимого между случаями распределения 19 033 случаев туберкулеза на площади, равной территории жилой застройки г. Москвы (107 выбранных муниципальных). Процедура случайного и независимого распределения повторялась 100 раз, что позволило оценить дисперсию и коэффициент вариации моделируемого распределения<sup>2</sup>. Модельное распределение очагов по уровню заболеваемости показано на рис. 3 непрерывной линией с максимальным значением около 15% для заболеваемости 13 на 100 тыс. Сравнение с реальными данными доказывает неслучайный характер распределения (рис. 1а). В частности, при случайном распределении отсутствуют очаги с заболеваемостью выше 30 случаев на 100 тыс., а в реальности таких около 9%.

Проведенный анализ динамики и достоверности выделенных очагов заболеваемости позволяет сделать вывод, что описанные в табл. 1 и показанные на рис. 1b локальные очаги повышенной заболеваемости туберкулезом отражают реальные эпидемиологические процессы и связаны с повышенным риском инфицирования в очагах.

*Социально-экономические факторы и наличие очагов повышенной заболеваемости.* На рис. 1b видно, что локальные очаги повышенной заболеваемости распределены по территории города неравномерно: одиннадцать из восемнадцати очагов находятся в Южном и Северном округах, а в Центральном и Юго-Западном округах нет ни одного

очага. Округа и составляющие их муниципалитеты отличаются друг от друга социально-экономическими характеристиками. Сравним средние значения социально-экономических характеристик 16 муниципалитетов, в которых выявлены очаги (табл. 1), и муниципалитетов без очагов.

Из приведенных в табл. 2 результатов видно, что в муниципалитетах с локальными очагами повышенной заболеваемости

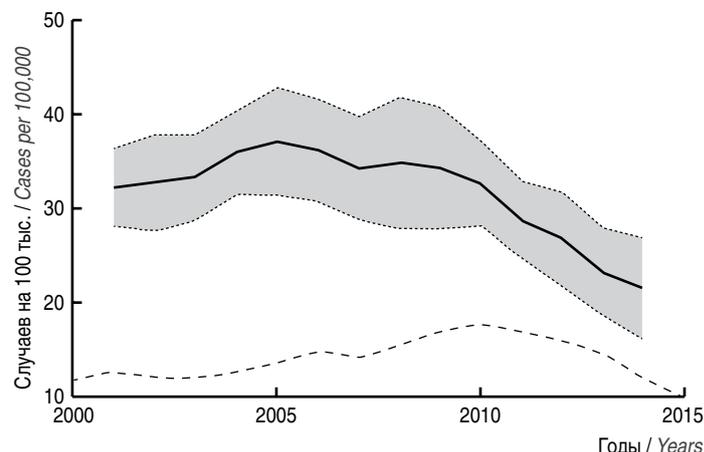


Рис. 2. Сравнение динамики средней заболеваемости туберкулезом (MTB+) в очагах (толстая черная линия и 95%-й доверительный интервал, показанный серым фоном (сглаживание трехлетним скользящим окном)) и динамики средней заболеваемости MTB+ в Москве (штриховая линия) [6].

Fig. 2. Comparison of the dynamics of the mean incidence of smear/culture-confirmed tuberculosis in the areas of infection (thick black line and 95% confidence interval shown by a gray background (smoothing by a three-year sliding window)) and the dynamics of mean incidence of smear/culture-confirmed tuberculosis in Moscow (dashed line) [6].

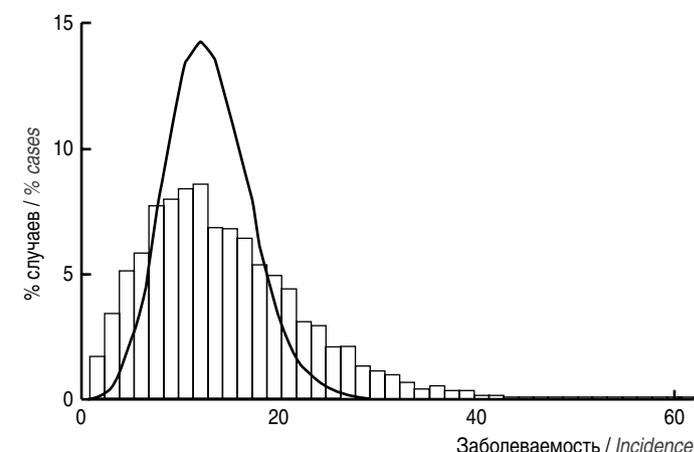


Рис. 3. Сравнение распределений локальных оценок заболеваемости туберкулезом в 2000–2015 гг. (гистограмма рис. 1а, реальные данные) с распределением локальных оценок заболеваемости, полученных при обработке случайных и независимо распределенных случаев (модельные данные, гладкая кривая).

Fig. 3. Comparison of distributions of local estimates of tuberculosis incidence in 2000–2015 (histogram on Fig. 1a, real data) with the distribution of local estimates of the incidence, obtained by processing of random and independently distributed cases (model data) – smooth curve.

Таблица 1. Характеристики локальных очагов повышенной заболеваемости туберкулезом, показанных на рис. 1b  
 Table 1. Characteristics of local areas of increased tuberculosis incidence, demonstrated on Fig. 1b

| Номер муниципалитета / Municipal district number | Число случаев в очаге в 2000–2015 гг. / Number of tuberculosis cases registered in 2000–2015 in the area of infection | Среднее число случаев в очаге в год / Mean number of cases in the area of infection per year | Средняя заболеваемость* в очаге / Mean incidence* in the area of infection | Средняя заболеваемость* в муниципалитете / Mean incidence* in the municipal district |
|--|---|--|--|--|
| 1  | 35  | 2,19   | 46,8   | 18,8   |
| 2  | 28  | 1,75   | 48,2   | 17,3   |
| 3  | 54  | 3,38   | 34,5   | 19,9   |
| 3  | 47  | 2,94   | 28,1   | 19,9   |
| 4  | 45  | 2,81   | 52,5   | 13,5   |
| 5  | 27  | 1,69   | 38,7   | 18,1   |
| 5  | 63  | 3,94   | 32,6   | 18,1   |
| 6  | 27  | 1,69   | 42,7   | 16,7   |
| 7  | 28  | 1,75   | 43,5   | 8,0  |
| 8  | 28  | 1,75   | 40,3   | 16,5   |
| 9  | 30  | 1,88   | 41,7   | 13,1   |
| 10   | 51  | 3,19   | 46,5   | 16,6   |
| 11   | 32  | 2,00   | 34,8   | 15,2   |
| 12   | 37  | 2,31   | 34,0   | 19,2   |
| 13   | 31  | 1,94   | 35,1   | 17,0   |
| 14   | 27  | 1,69   | 44,8   | 11,7   |
| 15   | 30  | 1,88   | 30,7   | 14,7   |
| 16   | 28  | 1,75   | 49,9   | 15,3   |

\* Среднее число случаев МТБ+ на 100 тыс. населения в 2000–2015 гг.  
 \* Mean number of smear/culture-confirmed tuberculosis cases per 100,000 population in 2000–2015.

<sup>2</sup>Дисперсия моделируемого распределения не показана на рис. 3, так как она меньше 0,4.

Таблица 2. Сравнение эпидемиологических и социально-экономических показателей в муниципалитетах с локальными долго-временными очагами повышенной заболеваемости туберкулезом и в муниципалитетах без очагов ( $m \pm \sigma$ ,  $m$  – среднее,  $\sigma$  – оценка дисперсии случайной величины)

Table 2. Comparison of epidemiological and socioeconomic parameters in municipal districts with local long-existing areas of increased tuberculosis incidence and municipal districts without such areas ( $m \pm \sigma$ ,  $m$  – mean;  $\sigma$  – variance)

|  | Заболеваемость МТБ+ в 2000–2015 гг. / Incidence of smear/culture-positive tuberculosis in 2000–2015 | Доля населения с высшим образованием / Proportion of people with higher education | Субсидии на оплату ЖКУ** / Housing subsidies** | Рыночная цена 1 м <sup>2</sup> жилья (USD, 2015 г.) / Housing price per square meter (USD, 2015) | Жилищный капитал на 1 человека (USD, цены 2015 г.)*** / Housing capital per 1 person (USD, as of 2015)*** |
|--|---|---|--|--|---|
| Муниципалитеты без очагов (91) / Municipal districts with no areas of infection (91) | 10,6 ± 3,8  | 0,5 ± 0,1   | 0,05 ± 0,01                                    | 3221 ± 911   | 65587 ± 31035   |
| Муниципалитеты с очагами (16) / Municipal districts with areas of infection (16)     | 15,74 ± 3,04  | 0,43 ± 0,06   | 0,05 ± 0,01                                    | 2624 ± 140   | 42515 ± 6600  |
| $p^*$  | <0,01   | <0,01   | 0,83   | 0,01   | <0,01   |

\*Достоверность гипотезы о том, что случайные выборки принадлежат распределениям с одинаковым средним.  
 \*\*Доля населения муниципалитета, имеющая доход ниже порогового, и получающая субсидии на оплату жилищно-коммунальных услуг.  
 \*\*\*Произведение среднего количества жилплощади на одного жителя муниципалитета и средней стоимости м<sup>2</sup> жилплощади в муниципалитете.  
 \*Validity of the hypothesis that random samples follow the distributions with an equal mean.  
 \*\*Proportion of municipal district inhabitants, who have low income and receive housing subsidies.  
 \*\*\*Product of the mean number of square meters of living space per one resident of a municipal district and mean housing price per square meter in this municipal district.

мости туберкулезом достоверно выше заболеваемость, ниже доля людей с высшим образованием и ниже стоимость жилья.

## Электронное издание Заключение

В результате анализа данных по пространственному распределению случаев туберкулеза (МБТ+) среди постоянного населения г. Москвы в 2000–2015 гг. были обнаружены и описаны локальные долговременные очаги повышенной заболеваемости. Заболеваемость в этих очагах, определенная по данным за 15 лет, в 2–3 раза выше, чем в среднем по Москве. В выявленных локальных долговременных очагах расположено порядка 130 домов и проживает 100–150 тыс. человек, т.е. 1–1,5% населения. В этих очагах в 2000–2015 гг. было выявлено 648 случаев МБТ+, или 3,4% от общего числа случаев. Динамика заболеваемости в очагах несколько отличается от динамики средней заболеваемости по Москве: снижение заболеваемости в очагах началось в 2005 г., а по всей Москве – в 2010 г. Вопрос о том, насколько это опережение значимо и является ли оно предвестником снижения во всей популяции, является важным с теоретической и практической точки зрения.

Устойчивая во времени повышенная заболеваемость делает обследование населения этих очагов одной из приоритетных задач противотуберкулезной службы города.

В условиях сравнительно благополучной ситуации по туберкулезу в г. Москве, где значение заболеваемости туберкулезом для постоянного населения города – одно из самых низких в Российской Федерации, дальнейшее улучшение эпидемиологических показателей требует разработки новых подходов и методов работы. Выявление и расчет локальных долговременных очагов туберкулезной инфекции делает противотуберкулезные мероприятия более адресными. В выявленных очагах будет необходимо максимально охватить население профилактическими методами, такими, как флюорографическое обследование, обследование на наличие латентной

туберкулезной инфекции (ЛТИ) и проведение профилактического лечения туберкулеза у лиц с выявленной ЛТИ.

Указанные адресные мероприятия в комплексе с осуществляемыми в настоящее время мероприятиями по профилактике, выявлению, диагностике и лечению туберкулеза могут позволить в отдельно взятом субъекте страны достичь к 2030–2035 гг. установленных ВОЗ целей в рамках Стратегии ликвидации туберкулеза [7].

### Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18–01–00856.

### Financial support

This study was funded by the grant from the Russian Foundation for Basic Research No. 18–01–00856

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Conflict of interests

The authors declare that there is not conflict of interests.

### Литература

1. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 23.03.2003 №109 «О совершенствовании противотуберкулезных мероприятий в Российской Федерации».
2. Каркач АС, Романюха АА, Борисов СЕ, Белиловский ЕМ, Санникова ТЕ, Авиллов КК. Анализ факторов, связанных с заболеваемостью туберкулезом постоянного населения г. Москвы в 2010–2014 гг. Эпидемиология и инфекционные болезни. 2017;22(3):121–7. DOI: 10.18821/1560-9529-2017-22-3-121-127
3. Противотуберкулезная работа в городе Москве. Аналитический обзор статистических показателей по туберкулезу, 2015 г. Под ред. д.м.н. Е.М.Богородской, акад. РАН В.И.Литвинова, к.б.н. Е.М. Белиловского. М.: МНПЦБТ; 2016.
4. Геокодер Яндекс.Карты. ООО «Яндекс». [доступ 20 декабря 2018] Адрес: <https://tech.yandex.ru/maps/geocoder/>
5. Moscow dump. OpenStreetMap contributors [cited 2018 dec 20]. Available from: <http://planet.openstreetmap.org>

- Waller LA, Gotway CA. Applied spatial statistics for public health data. John Wiley & Sons; 2004, 368.
- The End TB Strategy. World Health Organization [cited 2018 dec 20]. Available from: <https://www.who.int/tb/strategy/ru/>

## References

- Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of 23.03.2003 № 109 "On improvement of anti-tuberculosis measures in the Russian Federation". (In Russian).
- Karkach AS, Romanyukha AA, Borisov SE, Belilovskiy EM, Sannikova TE, Avilov KK. Analysis of factors associated with the incidence of tuberculosis in the resident population of Moscow in 2010-2014. Epidemiology and Infectious Diseases. 2017;22(3):121-7. DOI: 10.18821/1560-9529-2017-22-3-121-127 (In Russian).
- Anti-tuberculosis work in Moscow. Analytical review of statistical indicators for tuberculosis, 2015. Edited by E.M.Bogorodskaya, V.I.Litvinov, E.M.Belilovskii. Moscow, 2016. (In Russian).
- Yandex Geocoder.Maps. OOO «Yandex». [cited 20 dec 2018] Available from: <https://tech.yandex.ru/maps/geocoder/> (In Russian).
- Moscow dump. OpenStreetMap contributors [cited 2018 dec 20]. Available from: <http://planet.openstreetmap.org>
- Waller LA, Gotway CA. Applied spatial statistics for public health data. John Wiley & Sons; 2004, 368.
- The End TB Strategy. World Health Organization [cited 2018 dec 20]. Available from: <https://www.who.int/tb/strategy/ru/>

## Информация о соавторах:

Романюха Алексей Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора по науке Института вычислительной математики РАН, профессор кафедры вычислительных технологий и моделирования Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова  
Адрес: 119333, Москва, ул. Губкина, 8  
Телефон: (495) 984-8120 доб. 37-65  
E-mail: eburg101@mail.ru

Борисов Сергей Евгеньевич, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научно-клинической работе Московского городского научно-практического центра борьбы с туберкулезом Департамента здравоохранения г. Москвы  
Адрес: 107014, Москва, ул. Стромынка, 10  
Телефон: (499) 785-2082  
E-mail: barsik@online.ru

Белиловский Евгений Михайлович, кандидат биологических наук, заведующий отделом эпидемиологического мониторинга туберкулеза Московского городского научно-практического центра борьбы с туберкулезом Департамента здравоохранения г. Москвы  
Адрес: 107014, Москва, ул. Стромынка, 10  
Телефон: (499) 785-2082  
E-mail: belilo5@mail.ru

Санникова Татьяна Евгеньевна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института вычислительной математики РАН  
Адрес: 119333, Москва, ул. Губкина, 8  
Телефон: (495) 984-81-20 доб. 39-90  
E-mail: tatiana@inm.ras.ru

## Information about co-authors:

Aleksey A. Romanyukha, DSc in physics and mathematics, Professor, deputy director for research in the Institute of Computational Mathematics, Russian Academy of Sciences, Professor in the Department of Computer Technologies and Modeling, M.V.Lomonosov Moscow State University  
Address: 8 Gubkina str., Moscow, 119333, Russian Federation  
Phone: (495) 984-8120 ex. 37-65  
E-mail: eburg101@mail.ru

Sergey E. Borisov, MD, PhD, DSc, Professor, deputy director for research and clinical work in Moscow City Research and Practical Center for Tuberculosis, Moscow Healthcare Department  
Address: 10 Stromynka str., Moscow, 107014, Russian Federation  
Phone: (499) 785-2082  
E-mail: barsik@online.ru

Evgeniy M. Belilovskiy, PhD in biology, head of the Department of Epidemiological Monitoring of Tuberculosis, Moscow City Research and Practical Center for Tuberculosis, Moscow Healthcare Department  
Address: 10 Stromynka str., Moscow, 107014, Russian Federation  
Phone: (499) 785-2082  
E-mail: belilo5@mail.ru

Tatyana E. Sannikova, PhD in physics and mathematics, research fellow in the Institute of Computational Mathematics, Russian Academy of Sciences  
Address: 8 Gubkina str., Moscow, 119333, Russian Federation  
Phone: (495) 984-81-20 ex. 39-90  
E-mail: tatiana@inm.ras.ru

## Издательство «Династия» выпускает научно-практический журнал Национальной ассоциации диетологов и нутрициологов «Вопросы диетологии»

### Почетный главный редактор

член-корреспондент РАН, профессор **Б.С.Каганов**  
Председатель Национальной Ассоциации диетологов и нутрициологов



### Главный редактор

профессор **С.Ю.Калинченко**  
заведующая кафедрой эндокринологии факультета повышения квалификации медицинских работников  
Российского университета дружбы народов

### Заместители главного редактора

член-корреспондент РАН, профессор **Д.Б.Никитюк**  
директор Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи  
профессор **Х.Х.Шарафетдинов**  
заведующий отделением болезней обмена веществ Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи

Журнал ориентирован на широкую аудиторию специалистов в области здравоохранения – диетологов, нутрициологов, терапевтов, педиатров, семейных врачей, гастроэнтерологов, кардиологов, эндокринологов, реаниматологов, гигиенистов, реабилитологов, спортивных врачей, организаторов здравоохранения, преподавателей ВУЗов и научных работников.  
В журнале публикуются оригинальные статьи, обзоры, лекции, клинические наблюдения, посвященные современным аспектам клинической диетологии – здоровому, лечебному и профилактическому питанию, рациональной модификации рационов для различных групп населения (лиц, занимающихся спортом и профессиональных спортсменов, пожилых людей и др.), организации питания в стационарах, нутритивной поддержке лиц, находящихся в критическом состоянии.

Журнал индексируется в Ulrich's Periodicals Directory и в Российском индексе научного цитирования.  
Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК.

Адрес: 119019, Москва, Г-19, а/я 229, Издательство «Династия». тел./факс: (495) 660-6004, e-mail: red@phdynasty.ru  
По вопросам подписки обращаться: тел./факс: (495) 660-6004, e-mail: podpiska@phdynasty.ru  
Отдел рекламы: тел.: (495) 517-7055, тел./факс: (495) 660-6004, e-mail: reklama@phdynasty.ru



www.phdynasty.ru