

Определение пространственной взаимосвязи между случаями заболеваний, передающихся аэрогенным путем, в различных муниципальных образованиях Санкт-Петербурга

И.С. Кузнецов^{1,3}, Н.С. Полицинский^{1,3}, П.А. Куланин², В.Б. Галкин^{3,4},
Е.А. Паниди¹, Д.В. Воронов⁴, А.М. Пантелеев⁴, П.К. Яблонский^{1,3}

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге и Ленинградской области

³Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии

⁴Городской противотуберкулезный диспансер, Санкт-Петербург

Identification of the spatial relationship between cases of aerogenically transmitted diseases in various municipalities of St. Petersburg

I. Kuznetsov^{1,3}, N. Politsinsky^{1,3}, P. Kulanin², V. Galkin^{3,4},
E. Panidi¹, D. Voronov⁴, A. Panteleev⁴, P. Yablonskiy^{1,3}

¹St. Petersburg State University

²Center of Hygiene and Epidemiology in the City of St. Petersburg and the Leningrad Region, St. Petersburg

³Federal Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg

⁴St. Petersburg City TB Dispensary

© Коллектив авторов, 2025 г.

Резюме

В крупных мегаполисах существуют районы с высоким числом регистрируемых случаев заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем. Возникновение случаев туберкулеза, COVID-19 и пневмонии на одних и тех же пространственно ограниченных территориях может быть маркером эпидемических и социальных процессов. **Цель исследования:** разработка комплексной геоинформационной модели распространения трех аэрогенных заболеваний для поддержки качества надзора, оценка возможностей прогнозирования развития эпидемического процесса

в условиях мегаполиса. **Материалы и методы исследования.** Проведено геокодирование в Санкт-Петербурге 6111 мест проживания и регистрации больных туберкулезом, 33 270 случаев заболевания COVID-19 и 33 346 мест проживания больных с диагнозом «пневмония». Все пространственные данные были сохранены в формате GeoPackage в системе координат EPSG 4326. Статистическая пространственная аналитика выполнена средствами программного обеспечения GeoDa и NextGIS. Абсолютные значения были стандартизированы (метод нормализации — Z-score). Результаты статистического анализа с использованием локального ин-

декса Гетиса–Орда и Морана были преобразованы в тематические карты с помощью ГИС NextGIS. Территории с высокими значениями стандартных отклонений числа случаев заболевания и индекса пространственной связи относили к зонам высокого риска возникновения заболевания, и, соответственно, наоборот. Для оценки социальной характеристики территорий использовались данные о цене жилья, проанализировано 1596 объявлений о продаже: 1049 жилых квартир и 547 индивидуальных жилых строений (ИЖС).

Результаты. В результате проведенного исследования создана комплексная геоинформационная модель распространения трех заболеваний в масштабе муниципальных образований Санкт-Петербурга. Между количеством случаев туберкулеза и COVID-19 отмечена положительная пространственная связь, ряд территорий одновременно находятся в кластерах с высокими значениями индекса по разным заболеваниям. Статистически достоверные различия между стоимостью квартир и ИЖС в территориях с высоким и низким риском изученных респираторных заболеваний указывают на существование экономической и социальной природы кластеризации территорий по риску заболеваний.

Ключевые слова: геоинформационное картографирование, медицинская география, медицинские ГИС, эпидемиология, COVID-19, туберкулез, пневмония

Summary

In large metropolitan areas, there are districts with a high number of reported cases of airborne diseases. The occurrence of tuberculosis, COVID-19 and pneumonia cases in the same spatially limited territories can be a marker of epidemic and social processes. **The purpose** of this study is to develop a comprehensive geoinformation model for the spread of three aerogenic diseases to support

the quality of surveillance, and to assess the possibilities for predicting the development of the epidemic process in a megalopolis. **Materials and methods.** 6,111 places of residence and registration of tuberculosis patients, 33,270 cases of COVID-19 and 33,346 places of residence of patients diagnosed with pneumonia were geocoded in St. Petersburg. All spatial data were saved in GeoPackage format in the EPSG 4326 coordinate system. Statistical spatial analytics was performed using the GeoDa and NextGIS software. Absolute values have been standardized (normalization method — Z-score). **The results** of statistical analysis using the local Geothis-Ord and Moran index were transformed into thematic maps using NextGIS GIS. Territories (clusters) with high values of standard deviations in the number of cases of the disease and the spatial connectivity index were classified as high-risk areas of the disease, and vice versa. To assess the social characteristics of the territories, data on the price of housing were used, 1,596 advertisements for sale were analyzed: 1,049 residential apartments and 547 individual houses. As a result of the conducted research, a comprehensive geoinformation model of the spread of three diseases across the municipalities of St. Petersburg has been created. There is a positive spatial relationship between the number of cases of tuberculosis and COVID-19, and a number of territories are simultaneously located in clusters with high index values for various diseases. Statistically significant differences between the cost of apartments and residential housing in territories with high and low risk of the studied respiratory diseases indicate the existence of an economic and social nature of clustering territories by disease risk.

Keywords: geoinformation mapping, medical geography, medical GIS, epidemiology, COVID-19, tuberculosis, pneumonia

Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2023 г. туберкулез был зарегистрирован у 8,2 млн новых пациентов, что является самым высоким показателем с 1995 г. В 2019 г. туберкулез был основной причиной смерти от одного инфекционного агента, в 2020 г. первое место занял COVID-19. В результате заметного подъема заболеваемости туберкулезом по сравнению с 2022 годом, когда было зарегистрировано 7,5 млн новых случаев, в 2023 г. туберкулез вновь стал ведущей инфекционной причиной смертности, вытеснив с этой позиции COVID-19 [1]. Тенденции распространения этих инфекций имеют многогранные взаимосвязи, в том числе учитывая их передачу пре-

имущественно воздушно-капельным путем, влияния на проведение противоэпидемических и профилактических мероприятий, возможность негативного воздействия при сочетанном поражении и другие общие факторы риска [2–5].

Общеизвестно влияние социальных и клинических факторов риска, способствующих ослаблению резистентности, на уровень заболеваемости туберкулезом, которое сохраняется и в наше время [6–10]. В отношении COVID-19 чаще рассматриваются факторы риска развития среднетяжелой и тяжелой степени заболевания [11, 12], что влияет и на вероятность обращения за медицинской помощью с регистрацией случая и включением в показатель заболеваемости.

Геоинформационное моделирование распространения заболеваний, имеющих аэрогенный путь передачи, является важнейшей составляющей пространственного мониторинга заболеваний [13]. Геоинформационные модели могут применяться также для решения организационных задач, например, при определении зон обслуживания [14]. Геостатистический анализ и кластеризация являются основными инструментами прогнозирования распространения заболеваний, таких как COVID-19 [15]. Изучение закономерностей пространственного распределения инфекционных заболеваний позволяет рационализировать планирование и проведение профилактических и противоэпидемических мероприятий [16, 17].

Цель исследования

Разработка комплексной геоинформационной модели распространения трех аэрогенных заболеваний для поддержки качества надзора, оценка возможностей прогнозирования развития эпидемического процесса туберкулеза, новой коронавирусной инфекции COVID-19 и пневмоний в условиях мегаполиса.

Материалы и методы исследования

В рамках подготовки к исследованию были собраны и актуализированы сведения о выявленных случаях туберкулеза, COVID-19 и пневмонии. Данные о зарегистрированных случаях заболеваний были предоставлены специалистами ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге и Ленинградской области» и СПб ГБУЗ «Городской противотуберкулезный диспансер» в формате *xlsx* от Microsoft Excel. Информация о местах проживания и регистрации пациентов с туберкулезом дополнительно уточнена посредством обращения к журналам СПб ГБУЗ «Городской противотуберкулезный диспансер». Полученные сведения были ограничены разными временными периодами: для туберкулеза — все зарегистрированные случаи в 2020–2023 гг., для COVID-19 — период с мая по октябрь 2024 г. Выбор более длительного временного периода для случаев туберкулеза обусловлен низкими показателями заболеваемости туберкулезом в Санкт-Петербурге (17,7 на 100 тыс. населения в 2023 г.). Предварительно вся информация о пациентах была обезличена согласно требованиям Федерального закона «О персональных данных» от 27.07.2006 № 152-ФЗ. В качестве контрольной нозологии была использована пневмония как заболевание органов дыхания, но без значимых факторов контагиозности. Проведен учет случаев регистрации этого заболевания за период с июня по ноябрь 2024 г.

Геокодирование исходных данных выполнено с помощью зарегистрированного ФБГУ «СПб НИИФ» модуля геокодирования пространственных данных¹. Обработка пространственных материалов выполнена в открытой российской геоинформационной системе NextGIS. Геокодированные сведения о случаях заболеваний были агрегированы до уровня муниципальных образований Санкт-Петербурга, границы которых были выгружены с некоммерческого веб-картографического проекта OpenStreetMap. На конец 2024 г. в Санкт-Петербурге существует 111 муниципальных образований. Все пространственные данные были пересохранены в формат GeoPackage в системе координат EPSG 4326. После нанесения информации о выявленных случаях заболеваний они были агрегированы по 111 муниципальным образованиям (МО). Абсолютные значения были стандартизированы для их дальнейшей статистической обработки (метод нормализации — Z-score).

Статистическая пространственная аналитика выполнена средствами программного обеспечения GeoDa. В рамках исследования были исследованы две гипотезы: во-первых, между муниципальными образованиями отсутствует статистически значимая пространственная связь по числу выявленных случаев COVID-19, туберкулеза и пневмонии. Во-вторых, статистически значимые различия в абсолютном числе зарегистрированных нозологий могут быть объяснены статистически значимыми различиями в численности и плотности населения (чем выше численность и плотность населения, тем больше количество зарегистрированных случаев). Для проверки данной гипотезы статистические различия в числе случаев, а также различия в численности населения, были определены при помощи локального индекса Гетиса–Орда и Морана. Весовой коэффициент был построен на основе ассоциативной связи 1-го порядка смежности. Классификация атрибутивных сведений для муниципальных образований (численности населения и его плотности) выполнена путем деления на 6 классов по методу квантилей. Муниципалитетами с наибольшими, средними и наименьшими показателями (по численности, плотности населения, по абсолютным случаям заболевания) считались те образования, которые попадали в границы пограничных классов (по 2 класса в каждой группе). Территории (кластеры) с высокими значениями стандартных отклонений числа случаев заболевания и индекса пространственной связи мы относили к зонам высокого риска возникновения заболевания («территория (зона) высокого риска» («hot cluster») по соответ-

¹ Галкин В.Б., Коровка В.Г., Кузнецов И.С., Бельтюков М.В., Соколов Е.Г., Яблонский П.К. Геолокация очагов социально значимых инфекционных заболеваний. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS 2020665320 26.11.2020.

ствующему заболеванию). Соответственно, при низких значениях — к зонам низкого риска. Под «территорией (зоной) высокого риска» в данном исследовании понималась определенная границами муниципалитетов область пространства, в которой возникновение новых случаев наиболее вероятно.

Для оценки социальной характеристики территории использовались данные о цене жилья в Санкт-Петербурге, полученные при помощи сервиса по поиску объявлений об аренде и продаже жилой и коммерческой недвижимости ЦИАН. Всего было проанализировано 1596 объявлений, в том числе 1049 о продаже жилых квартир (1-, 2-, 3-комнатных) и 547 объявлений о продаже индивидуальных жилых строений (ИЖС). Данные были геокодированы и привязаны к адресам.

Результаты статистического анализа были преобразованы в тематические карты с помощью ГИС NextGIS.

Результаты исследования

Из 33 691 зарегистрированных в период с мая по октябрь 2024 г. случаев COVID-19 в Санкт-Петербурге удалось геокодировать и нанести на карту 33 270 (98,8%) случаев регистраций, которые были проанализированы. Всего жилых строений, в которых отмечался хотя бы 1 случай COVID-19 в исследуемый период, было 11 027, что составляет 47,8% всего жилого фонда города. За период 2020–2023 гг. зарегистрировано и нанесено на карту 6111 мест проживания и регистрации больных туберкулезом, при этом хотя бы 1 случай регистрации очага туберкулеза отмечался в 4494 жилых домах (19,5% всего жилого фонда). За период с июня по ноябрь 2024 г. зарегистрировано 33 346 мест проживания больных с диагнозом «пневмония». Всего жилых домов, в которых были зарегистрированы случаи пневмонии, — 12 352 (53,6% от всего жилого фонда).

Случаи заболевания всех трех нозологий распределены по территории города неравномерно. Отмечена положительная корреляция между выявленным числом случаев трех нозологий в муниципальных образованиях с численностью и плотностью проживающего в них населения, имеется сильная статистическая связь между территориями с большим числом абсолютных значений выявленных случаев заболеваний (табл. 1). Наибольший коэффициент корреляции (k) между численностью населения и числом выявленных случаев заболеваниями отмечается у туберкулеза, наименьший коэффициент корреляции — у COVID-19. При этом коэффициент корреляции между численностью населения и числом случаев пневмонии оказался выше, чем у COVID-19. Отмечается, что численность проживающего населения имеет большую статистическую связь с числом выявленных случаев всех трех нозологий, чем плотность населения.

По результатам классификации к территориям с минимальной численностью населения отнесены муниципальные территории с числом жителей до 30 479 человек, к территориям со средними значениями — от 31 395 до 62 216 человек, к территориям с наибольшими значениями — от 62 695 человек.

В муниципальных образованиях с минимальной численностью населения отмечался постепенный рост стандартизированной оценки числа случаев всех трех нозологий (рис. 1). Происходит плавное «усреднение» в количестве выявленных случаев заболеваний пропорционально росту численности населения. В отдельных территориях (МО №№ 64, 31, 61, 5) отмечены резкие колебания стандартизированной оценки.

В территориях с максимальными значениями численности населения (рис. 2) закономерное увеличение числа случаев заболеваний при их стандартизированной оценке не происходит плавно. В территориях с высокой численностью населения наблюдается наибольшее число флуктуаций, что свидетельствует

Таблица 1

Коэффициенты корреляции численности и плотности населения с числом нозологий

Переменные	Коэффициент корреляции (k)
Численность населения/Число случаев COVID-19	0,77
Численность населения/Число случаев пневмоний	0,89
Численность населения/Число случаев туберкулеза	0,91
Плотность населения/Число случаев COVID-19	0,34
Плотность населения/Число случаев туберкулеза	0,42
Плотность населения/Число случаев пневмоний	0,30
Число случаев туберкулеза/COVID-19	0,80
Число случаев туберкулеза/пневмоний	0,86
Число случаев COVID-19/пневмоний	0,79

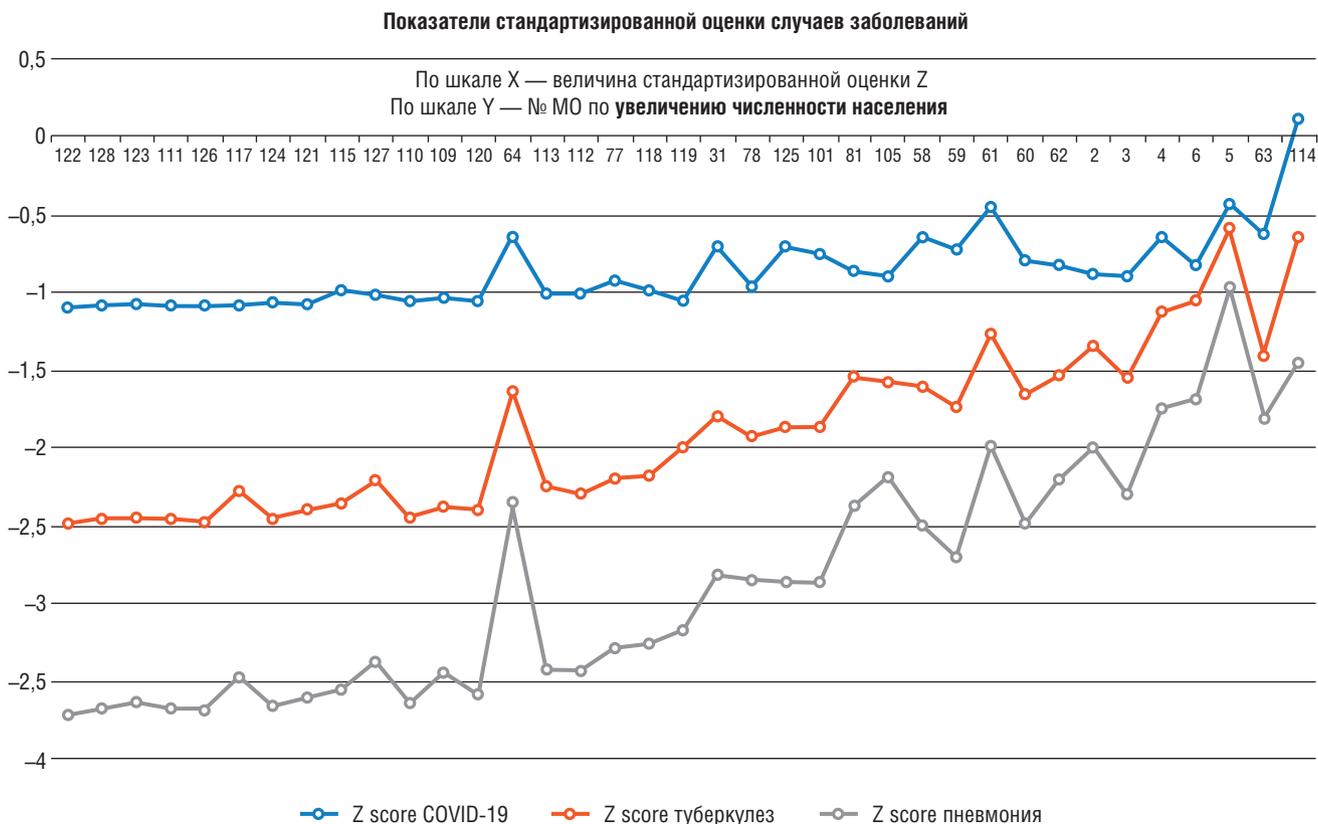


Рис. 1. Показатели стандартизированной оценки случаев заболеваний для МО с минимальной численностью населения



Рис. 2. Показатели стандартизированной оценки случаев заболеваний для МО с максимальной численностью населения

об усилении влияния различных факторов на уровень заболеваемости.

Ввиду сильной корреляцией между численностью населения и числом выявленных случаев мож-

но утверждать, что демографические характеристики территорий оказывают существенное влияние на пространственную кластеризацию данных. Результаты пространственной автокорреляции по индексам

Гетиса–Орда и Морана (при $p < 0,05$) указывают на наличие пространственной связи между субъектами. Для туберкулеза и COVID-19 можно обобщенно выделить два кластера с высокими значениями пространственной корреляции среди выявленных случаев нозологий — в северо-восточной части и юго-восточной частях города. Из 111 муниципальных образований, существующих на конец 2024 г. в Санкт-Петербурге, в перечень территорий с высокими значениями индекса пространственной автокорреляции (hot cluster) по туберкулезу и COVID-19 можно включить 22 муниципальных образования (рис. 3).

Всего в границах 14 (12,6%) муниципалитетов, расположенных в кластерах высоких значений по индексу Гетиса–Орда, было зарегистрировано 862 (14,1%) случая туберкулеза. К муниципальным образованиям с высокими стандартными отклонениями числа случаев туберкулеза и высоким индексом пространственной связи можно отнести 10 муниципальных образований в восточной и юго-восточной части города (рис. 4).

Не вошедшие в кластеризацию по индексу Морана 4 региона могут быть отнесены к территориям с низкими значениями стандартного отклонения числа случаев туберкулеза в окружении зон с высокими значениями, что может свидетельствовать о существовании случайных территорий относительного благополучия, преимущественно на юге города. При этом 3 из 4 территорий являются муниципальными образованиями с минимальной численностью населения, а одна территория (МО № 47) находится в классе муниципалитетов со средней численностью населения.

К территориям с низкими стандартными отклонениями числа случаев туберкулеза и низким индексом пространственной связи можно отнести 15 (13,5%) муниципальных образований в северо-западной и центральной части мегаполиса: всего на данных территориях было зарегистрировано 205 (3,3%) случаев туберкулеза. К ним примыкают отмеченные выше 4 территории (МО №№ 64, 31, 61, 5) с минимальной численностью населения и резкими колебаниями стандартизированной оценки. Для этих территорий

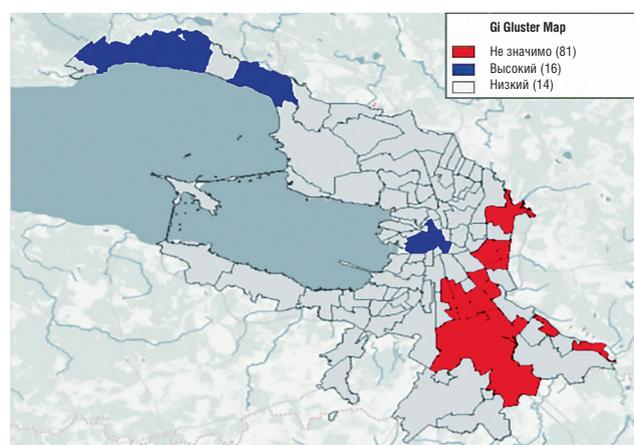
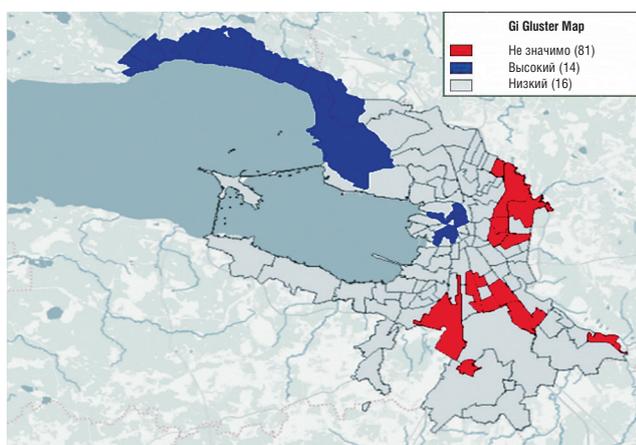


Рис. 3. Пространственная автокорреляция случаев туберкулеза (а) и COVID-19 (б) в разрезе муниципальных образований Санкт-Петербурга (метод Гетиса–Орда)

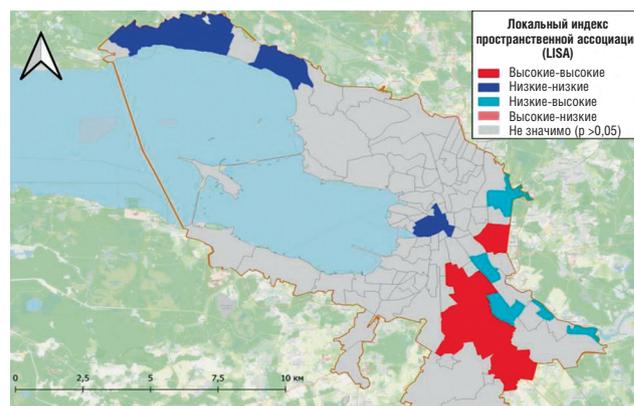
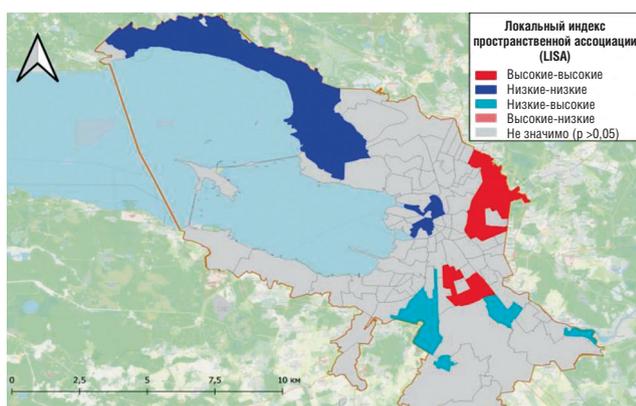


Рис. 4. Схема локального индекса пространственной автокорреляции числа случаев туберкулеза в муниципальных образованиях Санкт-Петербурга

Рис. 5. Схема локального индекса пространственной автокорреляции числа случаев COVID-19 в муниципальных образованиях Санкт-Петербурга

характерно наличие в них больших незаселенных производственных или парковых зон.

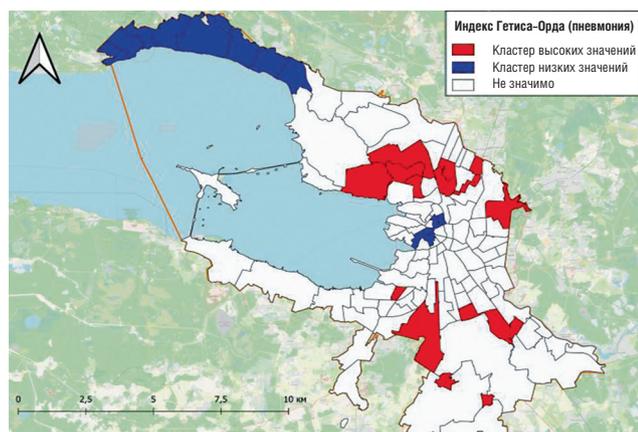
К муниципальным образованиям, находящимся в кластерах с положительной пространственной связью по выявленным случаям COVID-19, можно отнести 16 (14,4%) муниципальных образований, расположенных преимущественно на северо-востоке и юге мегаполиса: всего в этих территориях было зарегистрировано 7688 (23,1%) случаев заболевания. Из них только 10 территорий можно отнести к территориям с высокими стандартными отклонениями числа случаев COVID-19, 6 территорий могут быть отнесены к кластерам с низкими значениями стандартного отклонения в окружении территорий с высоким отклонением, при этом 2 муниципалитета (МО № 36 и № 50) находятся в классах со средней и высокой численностью населения. К территориям с низкими стандартными отклонениями числа случаев COVID-19 и низким индексом пространственной связи можно отнести 14 (12,6%) муниципальных образований в северо-западной и центральной части мегаполиса: всего на данных территориях было зарегистрировано 970 (2,9%) случаев COVID-19 (рис. 5).

Пространственная кластеризация возникающих случаев пневмонии отличается от туберкулеза или COVID-19. Кластеризация территорий с большими значениями стандартизированной оценки случаев пневмонии на основе метода Гетиса–Орда указывает на отсутствие заметной кластеризации на юге города. Напротив, на севере мегаполиса существует территория высокого риска в границах муниципалитетов №№ 64, 69, 70, 68, 13, 14, 18, не выделяемая при туберкулезе и COVID-19. Основываясь на индексе Морана, из 15 муниципалитетов, выделенных в зону повышенного риска, лишь 9 образований соседствуют с такими же образованиями с высокими значениями, а 6 территорий имеют низкое значение стандартизированной оценки (МО №№ 47, 117, 64,

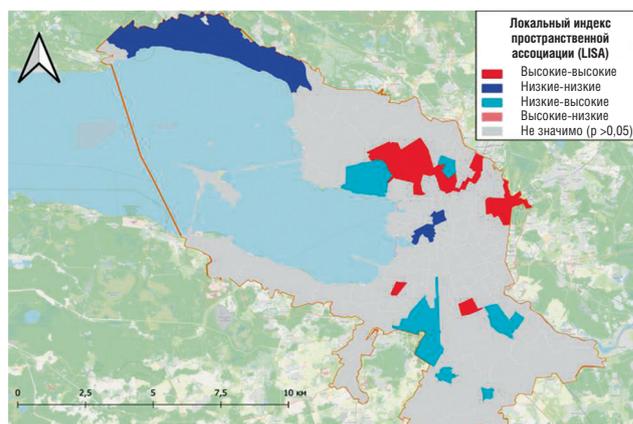
13, 107, 126). Всего в этих территориях было зарегистрировано 4942 (14,8%) случая пневмоний. К территориям с низкими стандартными отклонениями числа случаев пневмонии можно отнести 12 (10,8%) муниципальных образований в северо-западной и центральной части мегаполиса: всего на данных территориях было зарегистрировано 598 (1,8%) случаев пневмоний (рис. 6).

Таким образом, по всем трем изученным респираторным заболеваниям наиболее благополучные территории наблюдаются в северо-западной и центральной части города. Зоны риска по туберкулезу и COVID-19 располагаются в восточной и юго-восточной части города, что лишь частично совпадает с территориями повышенного риска по пневмонии.

На основании пространственной корреляции между нозологиями появилось предположение о социальной разнородности кластеризованных территорий. Для установления социальной компоненты изучалась стоимость жилья в муниципальных образованиях. Для каждой из трех нозологий выделены по 2 группы территорий: с высокой пространственной связью и низкой пространственной связью (по методу Гетиса–Орда). Из 1596 изученных случаев оценки стоимости жилья к территориям высокого и низкого риска отнесены 454 объявления о продаже жилых квартир и 167 объявлений о продаже индивидуальных жилых строений (ИЖС), в том числе в зоны высокого риска: по туберкулезу, соответственно, 129 и 29 объявлений, по COVID-19 — 151 и 29, по пневмонии — 171 и 76; в зоны низкого риска: по туберкулезу, соответственно, 73 и 69 объявлений, по COVID-19 — 36 и 25, по пневмонии — 29 и 25. В результате для каждой территории риска были определены средняя стоимость жилья и ее структура (табл. 2, 3). Абсолютные величины стоимости, без учета стоимости квадратного метра, приведены ввиду того, что для ИЖС стоимость квадратного метра в объявлениях не указывалась. С целью сохранения



а



б

Рис. 6. Пространственная автокорреляция случаев пневмонии на основании индекса Гетиса–Орда (а) и Морана (б) в Санкт-Петербурге

возможности сравнения величин стоимости квартир и ИЖС приводятся именно усредненные значения абсолютной стоимости без учета площади.

В территориях с высоким риском заболевания по всем трем нозологиям средняя стоимость жилых квартир была достоверно ниже ($p < 0,001$): при пневмонии в 1,9 раза, при COVID-19 в 2,3 раза, а при туберкулезе в 2,8 раза. Стоимость ИЖС была ниже в 1,4–1,9 раза, но из-за высокого колебания цен (от 1500 до 880 000 тыс. рублей) различия по средней стоимости ИЖС не достигали уровня достоверности (табл. 2).

При оценке структуры стоимости нами были приняты следующие градации: низкая стоимость квартир и ИЖС — менее 20 000 тыс. рублей, высокая: для квартир более 40 000 тыс. рублей, для ИЖС — более 100 000 тыс. рублей. По всем трем нозологиям получены достоверные отличия доли квартир и ИЖС с низкой и высокой стоимостью в территориях с высоким и низким риском заболевания (табл. 3). В территориях высокого риска по каждой нозологии доля квартир низкой стоимости составляла более 90%, а высокой стоимости — от 0 до 0,6%. Доля ИЖС низкой стоимо-

сти в территориях высокого риска при туберкулезе составила 62,1%, при COVID-19 — 38,2% и при пневмонии — 41,4%, что в 2,1–2,4 раза выше, чем в территориях с низким риском.

Обсуждение

Между количеством случаев туберкулеза и COVID-19 в муниципальных образованиях мегаполиса существует положительная пространственная связь. Результаты кластеризации показывают, что ряд муниципальных образований одновременно находятся в кластерах с высокими значениями индекса по разным заболеваниям. Это может свидетельствовать о существовании как «смешанных» территорий повышенного риска распространения трех нозологий одновременно, так «чистых» территорий риска по туберкулезу, пневмонии и COVID-19 отдельно. Лишь малая часть случаев всех нозологий в условиях мегаполиса сконцентрирована весьма компактно и может быть кластеризована как единая территория риска, их распределение не зависит от административных границ

Таблица 2

Средняя стоимость жилья в муниципальных образованиях с высоким и низким риском заболеваний (тыс. руб.)

Территории	Туберкулез		COVID-19		Пневмония	
	средняя	$\pm tm$	средняя	$\pm tm$	средняя	$\pm tm$
Стоимость жилых квартир, тыс. руб.						
Высокого риска	11 342	± 1075	8635	± 1028	11 474	± 528
Низкого риска	31 904	± 5143	19 871	± 7852	22 121	± 4725
p	$<0,001$		$<0,001$		$<0,001$	
Стоимость индивидуальных жилых строений, тыс. руб.						
Высокого риска	41 528	$\pm 34 810$	50 605	$\pm 36 006$	52 768	$\pm 15 737$
Низкого риска	79 761	$\pm 31 253$	77 462	$\pm 31 228$	73 502	$\pm 34 834$
p	$>0,05$		$>0,05$		$>0,05$	

Таблица 3

Структура стоимости жилья в муниципальных образованиях с высоким и низким риском заболеваний

Территории	Туберкулез			COVID-19			Пневмония		
	низкая	средняя	высокая	низкая	средняя	высокая	низкая	средняя	высокая
Стоимость жилых квартир									
Высокого риска	91,5%	8,5%	0,0%	99,3%	0,7%	0,0%	90,1%	9,4%	0,6%
Низкого риска	37,0%	35,6%	27,4%	66,7%	19,4%	13,9%	55,2%	27,6%	17,2%
p	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,01$	$<0,001$
Стоимость индивидуальных жилых строений									
Высокого риска	62,1%	31,0%	6,9%	38,2%	50,0%	11,8%	41,4%	48,3%	10,3%
Низкого риска	26,1%	53,6%	20,3%	16,0%	56,0%	28,0%	20,0%	52,0%	28,0%
p	$<0,001$	$<0,05$	$<0,05$	$<0,05$	$>0,05$	$<0,05$	$<0,05$	$>0,05$	$<0,05$

районов города. Одновременно это может создавать как трудности при реагировании на новые вспышки и других заболеваний, так и облегчить работу первичных организаций ввиду компактности территорий риска. При переходе на более мелкие (в территориальном отношении) единицы учета, например, при оценке параметров заболеваний в границах обслуживания поликлиник, возможно получить более достоверные границы территорий риска и конкретизировать работу отдельных учреждений.

Основным путем передачи обеих изучаемых инфекций является воздушно-капельный, в связи с чем обоснованным представляется предположение, что в территориях с большим количеством населения и высокой плотностью населения выше вероятность появления источника инфекции и возможности заражения окружающих, а, следовательно, выше ожидаемый показатель заболеваемости. Учитывая более высокую контагиозность COVID-19 и сравнительно короткий период инкубационного периода, в то время как между инфицированием и заболеванием туберкулезом могут пройти месяцы и годы, можно было ожидать, что фактор численности и плотности населения будет более влиятельным в отношении COVID-19. Однако корреляция с численностью населения была максимальной при туберкулезе. С учетом выявленного факта более высокого влияния на число случаев заболевания численности, чем плотности населения, возможно предположить, что в мегаполисе большую роль в заражении играют активные контакты вне зоны проживания. Эта же гипотеза подтверждается выявленным неравномерным приростом числа случаев заболевания в территориях с максимальными значениями численности населения.

Графики стандартизированной оценки, построенные для территорий с разной численностью населения, показывают, что на территориях с низкой численностью населения стандартизированная оценка числа случаев туберкулеза значительно ниже среди выявленных, чем аналогичный показатель по COVID-19. Обратная ситуация наблюдается в территориях с высокой численностью населения. Условной границей (когда различия в стандартных показателях по трем нозологиям минимальны) является численность населения в 45 000–50 000 человек. Вероятнее всего подобные различия в оценке стандартизированных значений на территориях муниципалитетов могли быть вызваны не столько эпидемиологической природой передачи заболевания, сколько социальными различиями пациентов, проживавших на них. Предполагается, что на территориях с высокими значениями пространственной связи и стандартизированной оценки экономическая активность проживающего населения ниже, что отражается, например,

на стоимости жилья. Именно стоимость жилья была выбрана показателем, указывающим на уровень экономического благополучия населения. При проведении дальнейших исследований отдельное внимание стоит уделять особенностям территории, оказывающей влияние на стоимость жилья (в первую очередь экологическим факторам). Исходя из того что источники заражения (активные контакты) вероятнее всего будут находиться за пределами территорий риска, то именно улучшение среды проживания и повышение экономического достатка постоянно проживающего населения в границах зон риска в долгосрочной перспективе позволит в некоторой степени уменьшить территории риска в пространственном отношении.

Учитывая, что туберкулез является общепризнанным социально обусловленным заболеванием, логично предположить, что зависимость заболеваемости от показателя социальной характеристики территории при туберкулезе будет выше, чем при COVID-19. Статистически достоверные различия между стоимостью квартир и ИЖС в муниципальных образованиях с высоким и низким риском изученных респираторных заболеваний указывают на существование экономической и социальной природы кластеризации территорий по риску заболеваний. Необходимо проводить более глубокие исследования социальных особенностей проживающего населения, а также социальные девиации. Социальная напряженность в территориях риска может быть связана с высокими значениями преступности, случаев алкоголизма и наркомании. Важно отметить, что социальная составляющая не исключает изучение эпидемиологических особенностей передачи заболеваний на установленных территориях. Отягощенные низким уровнем социальной адаптации граждане являются наиболее уязвимыми по отношению к социально значимым заболеваниям, профилактика и предупреждение развития заболеваний на таких территориях является первоочередной задачей медицинской службы.

Ввиду использования различных временных периодов для каждого заболевания было принято решение использовать численность населения муниципальных образований на 2023 год. Таким образом, авторы исследования допускают, что изменение абсолютных показателей зарегистрированных случаев может быть связано с изменением динамики численности населения, однако в рамках данной работы этот фактор нами не рассматривается.

Заключение

В рамках исследования разработана комплексная геоинформационная модель распространения трех аэрогенных заболеваний, определены простран-

ственные особенности их распространения в Санкт-Петербурге, получена достоверная зависимость между численностью населения, числом новых случаев заболеваний, а также стоимости жилья в территориях риска.

Благодарности. Авторский коллектив выражает благодарность Ленару Саитову и Владиславу Тополеву за предоставление материалов библиотеки Cianparser

для Python 3 на площадке GitHub (URL адрес <https://github.com/lenarsaitov/cianparser>).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии существующего или потенциального конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors have no conflict of interests to declare.

Список литературы

1. Global tuberculosis report 2024. Geneva: World Health Organization; 2024. Available at: <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2024>.
2. Global tuberculosis report 2022. 1. COVID-19 and TB. Geneva: World Health Organization; 2022. Available at: <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2022/covid-19-and-tb>.
3. Галкин В.Б., Стерликов С.А., Яблонский П.К. Тенденции развития эпидемической ситуации по туберкулезу во время и после пандемии COVID-19: Россия и СЗФО, 2020–2023 гг. Медицинский альянс 2024; 12 (3): 6–15. [Galkin V., Sterlikov S., Yablonskiy P. Trends of the tuberculosis epidemical situation during and after the COVID-19 pandemic: Russia and the northwestern federal district, 2020–2023. Medicinskij al'jans 2024; 12 (3): 6–15 (In Russ.)]. doi: 10.36422/23076348-2024-12-3-6-15.
4. Смердин С.В., Шешелякина Н.Н., Шевченко А.И., Плеханова М.А., Луданный Р.И., Воробьева Т.И. Стратификация рисков развития рецидива туберкулеза в период пандемии новой коронавирусной инфекции. Туберкулез и болезни легких 2023; 101 (2): 87–93. [Smerdin S.V., Sheshelyakina N.N., Shevchenko A.I., Plekhanova M.A., Ludanny R.I., Vorobieva T.I. Stratification of risks of tuberculosis relapses during the pandemic of the novel coronavirus infection. Tuberkuljoz i bolezni ljogkih 2023; 101 (2): 87–93 (In Russ.)]. <http://doi.org/10.58838/2075-1230-2023-101-2-87-93>.
5. Лебедева И.Б., Осинцева И.Ю., Бондаренко Т.Е., Пьянзова Т.В., Брусина Е.Б. COVID-19 в популяции больных туберкулезом: эпидемиологическая и клиническая характеристика. Фундаментальная и клиническая медицина 2021; 6 (3): 71–84. [Lebedeva I.B., Osintseva I.Yu., Bondarenko T.E., Pjanzova T.V., Brusina E.B. COVID-19 in patients with tuberculosis: epidemiological and clinical features. Fundamental'naja i klinicheskaja medicina 2021; 6 (3): 71–84 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2021-6-3-71-84>.
6. Bonaccorsi G., Baggiani L., Lorini C. et al. TB infection and marginal groups. A survey in the Florentine territory. Problemy zdorov'ya i ekologii 2006; 9 (3): 125–130.
7. Скачкова Е.И., Кучерявая Д.А. Оценка социальной дезадаптации как фактора риска развития туберкулеза. Социальные аспекты здоровья населения 2008; 6 (2): 10. [Skachkova E.I., Kucheryavaya D.A. Assessment of social disadaptation as the risk factor for tuberculosis. Social'nye aspekty zdorov'a naselenia 2008; 6 (2): 10 (In Russ.)].
8. Наркевич А.Н., Корецкая Н.М., Виноградов К.А., Наркевич А.А. Факторы риска развития туберкулеза легких и их оценка в современных условиях. Красноярск: ООО «Версо», 2016: 155. [Narkevich A.N., Koretskaya N.M., Vinogradov K.A., Narkevich A.A. Risk factors for the development of pulmonary tuberculosis and their assessment in modern conditions. Krasnoyarsk: ООО Verso, 2016: 155 (In Russ.)]. ISBN 978-5-94285-153-8.
9. Туберкулез в Российской Федерации, 2012/2013/2014 гг. Аналитический обзор статистических показателей, используемых в Российской Федерации и в мире. М., 2015: 312. ISBN 978-5-94789-711-1. [Tuberculosis in the Russian Federation, 2012/2013/2014. Analytical review of statistical indicators used in the Russian Federation and in the world. Moscow, 2015: 312 (In Russ.)]. ISBN 978-5-94789-711-1.
10. Лапшина И.С., Цыбикова Э.Б., Котловский М.Ю. Группы риска заболевания туберкулезом органов дыхания среди взрослого населения Калужской области. Туберкулез и болезни легких 2022; 100(11): 20–28. [Lapshina I.S., Tsybikova E.B., Kotlovskiy M.Yu. Groups at high risk of developing respiratory tuberculosis among adult population of Kaluga Oblast. Tuberkuljoz i bolezni ljogkih 2022; 100 (11): 20–28 (In Russ.)]. <http://doi.org/10.21292/2075-1230-2022-100-11-20-28>.
11. Сокологорский С.В., Овечкин А.М., Хапов И.В., Политов М.Е., Буланова Е.Л. Факторы риска и методы прогнозирования клинического исхода COVID-19 (обзор). Общая реаниматология 2022; 18 (1): 31–38. [Sokologorskiy S.V., Ovechkin A.M., I.V. Khapov, Politov M.E., Bulanova E.L. Risk Factors of Severe Disease and Methods for Clinical Outcome Prediction in Patients with COVID-19 (Review). Obshchaya reanimatologiya 2022; 18 (1): 31–38 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2022-1-31-38>.
12. Щербак С.Г., Камилова Т.А., Голота А.С., Вологжанин Д.А. Факторы риска тяжелого течения и летального исхода COVID-19. Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация 2022; 4 (1): 14–36. [Sherbak S.G., Kamilova T.A., Golota A.S., Vologzhanin D.A. Risk factors of the severe course and fatal outcome in COVID-19. Fizicheskaja i reabilitacionnaja medicina, medicinskaja reabilitacija 2022; 4 (1): 14–36 (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.36425/rehab104997>.
13. Куликова И.Б., Кузнецов И.С., Коровка В.Г., Бельтюков М.В., Галкин В.Б., Соколова О.П., Паниди Е.А., Яблонский П.К. Геоинформационные методы поиска территорий повышенного риска распространения социально значимых инфекций в мегаполисах (на примере туберкулеза). Медицинский альянс 2023; 11 (4): 14–27. [Kulikova I., Kuznetsov I., Korovka V., Beltyukov M., Galkin V., Sokolova O., Panidi E., Yablonskiy P. Geoinformation search methods for increased risk areas for the spread of socially significant infections in metropolitan cities (through TB as an example). Medicinskij al'jans 2023; 11 (4): 14–27 (In Russ.)]. doi: 10.36422/23076348-2023-11-4-14-27.
14. Politsinsky N., Kuznetsov I., Panidi E. Geographically corrected clustering applied to establish medical service areas, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XLVIII-5-2024: 83–88. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-5-2024-83-2024>.
15. Thi-Quynh Nguyen, Thi-Yen Mai. Spatial statistical methodologies in COVID-19 Studies: A systematic review. World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences 2023; 15 (03): 068–075. doi: <https://doi.org/10.30574/wjbpshs.2023.15.3.0389>.
16. Цыбикова Э.Б., Зубова Н.А., Мидоренко Д.А. Характеристика очагов туберкулезной инфекции и анализ их

пространственного распределения для определения численности населения, нуждающегося в проведении флюорографии. Социальные аспекты здоровья населения 2017; 56 (4): 8. [Tsybikova E.B., Zubova N.A., Midorenko D.A. Characteristics of tb focal points and analysis of their geographical distribution to estimate population subject to chest X-RAY testing. Social'nye aspekty zdorov'a naselenia 2017; 56 (4): 8 (In Russ.)]. doi: 10.21045/2071-5021-2017-56-4-8.

17. Цыбикова Э.Б., Мидоренко Д.А., Лапшина И.С., Котловский М.Ю. Организация скрининга в эпидемических тубер-

кулезных очагах в субъектах Российской Федерации с низким уровнем заболеваемости туберкулезом. Социальные аспекты здоровья населения [сетевое издание] 2023; 69 (2): 11. [Tsybikova E.B., Midorenko D.A., Lapshina I.S., Kotlovsky M.Yu. Organization of screening in TB epidemic foci in the subjects of the Russian Federation with a low incidence of tuberculosis. Social'nye aspekty zdorov'a naselenia [serial online] 2023; 69 (2): 11 (In Russ.)]. Available from: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1472/30/lang,ru/>. doi: 10.21045/2071-5021-2023-69-2-11.

Поступила в редакцию: 21.02.2025 г.

Сведения об авторах:

Кузнецов Илья Сергеевич — лаборант-исследователь ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; аспирант ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9; e-mail: ilya.kuznetsov.ilya@gmail.com; ORCID 0000-0002-8820-1637;

Полицинский Никита Сергеевич — лаборант-исследователь ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; магистр ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9; e-mail: nik.polit@mail.ru. ORCID 0009-0006-5461-769X;

Куланин Павел Александрович — координатор по учету и регистрации инфекционных и паразитарных заболеваний ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге и Ленинградской области»; 191023, Санкт-Петербург, Малая Садовая ул. 1; e-mail: p.kulanin@78cge.ru; ORCID 0009-0006-5461-7694;

Галкин Владимир Борисович — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: vbgalkin@gmail.com; ORCID 0000-0003-0672-2816; SPIN-код 9601-5362;

Паниди Евгений Александрович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой картографии и геоинформатики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9; e-mail: panidi@ya.ru, e.panidi@spbu.ru; ORCID 0000-0002-1492-4218;

Воронов Денис Владимирович — заместитель главного врача по медицинской помощи в амбулаторных условиях СПб ГБУЗ «Городской противотуберкулезный диспансер»; 196158, Санкт-Петербург, Звездная ул., д. 12; e-mail: goprtd.nmedp@zdrav.spb.ru; ORCID 0000-0002-8490-8504;

Пантелеев Александр Михайлович — доктор медицинских наук, главный врач СПб ГБУЗ «Городской противотуберкулезный диспансер»; 196158, Санкт-Петербург, Звездная ул., д. 12; ведущий научный сотрудник ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: alpanteev@gmail.com; ORCID 0000-0001-8940-9758;

Яблонский Петр Казимирович — доктор медицинских наук, профессор, заслуженный врач Российской Федерации, директор ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; проректор по медицинской деятельности, заведующий кафедрой госпитальной хирургии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9; e-mail: info@spbniif.ru; ORCID 0000-0003-4385-9643.