

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО НАДЗОРА ЗА COVID-19 В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Блох А.И.^{1,2}, Пенъевская Н.А.^{1,2}, Рудаков Н.В.^{1,2}, Михайлова О.А.³,

Федоров А.С.³, Санников А.В.^{1,2}, Никитин С.В.³

¹ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора, г. Омск, Россия

²ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Омск, Россия

³ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Омской области», г. Омск, Россия

Введение: Появление и стремительное распространение COVID-19 стало серьёзным испытанием для систем здравоохранения всех стран. Целью исследования было выявление областей пространственной кластеризации случаев COVID-19 в течение первых трех месяцев от начала эпидемии на территории крупного города с населением более 1 млн человек (на примере г.Омска).

Материалы и методы: Материалом исследования послужили данные эпидемиологических расследований случаев COVID-19, подтверждённых методом ПЦР на территории г. Омска за период с начала регистрации заболевания до 1 июля 2020 года. Создавали теплокарты с Епанечниковым ядром, рассчитывали общий индекс Гетиса-Орда (G_i^*). Анализ геоданных проводили в приложении QGIS 3.14 Pi (qgis.org) с использованием плагина Visualist.

Результаты: Визуальное исследование пространственного распределения случаев COVID-19 на конец анализируемого периода позволяет выделить нескольких зон с повышенной концентрацией, совпадающих с расположением медицинских организаций. В первую очередь распространение COVID-19 охватывало Советский, Центральный и Кировский районы, а вовлечение Ленинского и Октябрьского административных районов произошло спустя короткое время.

Выводы: установлено неравномерное распределение случаев новой коронавирусной инфекции по территории Омска: выявлены тринадцать статистически значимых кластеров во всех административных районах города. Включение оперативной оценки пространственного распределения имеет огромный потенциал в планировании противоэпидемических мероприятий и является достаточно простой операцией, которая может быть выполнена в реальном времени.

Ключевые слова: COVID-19, ГИС, эпидемиология, SARS-CoV-2.

GEOINFORMATIONAL SYSTEMS AS A PART OF EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE FOR COVID-19 IN URBAN AREA

Blokh A.I.^{1,2}, Penyevaskaya N.A.^{1,2}, Rudakov N.V.^{1,2}, Mihailova O.A.³,

Fedorov A.S.³, Sannikov A.V.^{1,2}, Nikitin S.V.³

¹ Omsk Research Institute of Natural Focal Infections, Omsk, Russian Federation

² Omsk State Medical University, Ministry of Healthcare of Russian Federation, Omsk, Russian Federation

³ Center for Hygiene and Epidemiology in Omsk region, Omsk, Russian

Aim: The aim of this study was to identify zones of spatial clustering of COVID-19 cases during first 3 months of epidemic in a city with more than 1 billion population (on the example of Omsk).

Materials and Methods: The material for the study was data from epidemiological investigations of COVID-19 cases confirmed by PCR in the city of Omsk for the period from the beginning of the registration of the disease until July 1, 2020. A heat map was created with an Epanechnikov core, and the general Getis-Ord index (G_i^*) was also calculated. Geodata analysis was carried out in the QGIS 3.14 Pi (qgis.org) application using the Visualist plugin.

Results: A visual inspection of the spatial distribution of COVID-19 cases at the end of the analyzed period made it possible to identify several areas with increased concentration, coinciding with the location of medical organizations. First of all, the spread of COVID-19 covered the Soviet, Central and Kirov districts, and the involvement of the Leninsky and Oktyabrsky administrative districts occurred a short time later.

Conclusions: the uneven distribution of cases of new coronavirus infection across the territory of Omsk was established: thirteen statistically significant clusters were identified in all administrative districts of the city. The inclusion of a rapid assessment of spatial distribution may possess enormous potential in anti-epidemic planning and is a fairly simple operation that can be performed in real time.

Key words: COVID-19, GIS, epidemiology, SARS-CoV-2.

Введение

Появление и стремительное распространение COVID-19 стало серьёзным испытанием для систем здравоохранения всех стран, принимавших различные модели реагирования на угрозу. Как отмечал Кутырев В.В. с соавт. (2020) в нашей стране с самого начала был взят курс на реализацию стратегии «опережающего реагирования» [1], тем не менее полностью избежать вовлечения всех регионов в эпидемический процесс не

удалось. К 1 июля количество выявленных случаев новой коронавирусной инфекции в России составляло 654405, а в мире – 10357662 [2]. Пандемии прошлого в значительной мере отличались от современной ситуации, в том числе из-за стремительных процессов урбанизации в XX веке, агрегировавших большую часть населения в городах. В этой связи необходимо адаптировать современные системы эпидемиологического надзора и реагирования на угрозы биологической безопасности населения к городским условиям [3]. Развитие вычислительной техники и средств связи сегодня позволяют накапливать и обрабатывать огромные массивы эпидемиологических данных, недоступных в прошлом. Одной из разновидностей таких данных являются геоданные, содержащие сведения о положении событий и явлений на земной поверхности. Обработка данных геоинформационными системами, реализованными в виде компьютерных приложений, позволяет не только визуализировать пространственное расположение эпидемиологически значимых событий, но и анализировать его, выявляя закономерности, которые могут быть использованы для совершенствования эпидемиологического надзора и принятия оперативных решений.

Цель исследования

Выявление областей пространственной кластеризации случаев COVID-19 в течение первых трех месяцев от начала эпидемии на территории крупного города с населением более 1 млн человек (на примере г.Омска).

Материалы и методы

Материалом исследования послужили данные эпидемиологических исследований случаев COVID-19, подтверждённых методом ПЦР на территории г. Омска за период с начала регистрации заболевания до 1 июля 2020 года. Геокодирование проводили в системе координат World Geodetic System 1984 (WGS-84) на основе предварительно обезличенных сведений об адресах проживания заразившихся. Дополнительно по каждому случаю анализировали дату его регистрации (для отслеживания динамики

распространения), демографические характеристики, а также эпидемиологический анамнез. По этическим соображениям точное положение очагов COVID-19 не представлено.

Омск был основан в 1716 году, а сегодня это крупный промышленный, научный и культурный центр Западной Сибири с населением 1154507 человек на 1 января 2020 года [4]. Через город проходит Транссибирская железнодорожная магистраль, автодороги федерального значения. Территория города, составляющая 556,9 км², разделена протекающей с юга на север рекой Иртыш: на правом берегу расположены четыре административных округа: Советский, Центральный, Октябрьский, Ленинский, а на левом берегу лишь один – Кировский [4]. Правый и левый берега соединены двумя автодорожными мостами. В Кировском административном округе расположен международный аэропорт имени Дмитрия Карбышева «Омск-центральный». В городе развита система общественного транспорта, представленная автобусами, троллейбусами и трамваями, при этом метро отсутствует [4]. Для изучения нами выбрана территория города, без охвата населенных пунктов Омского муниципального района, расположенных вблизи города.

Анализ геоданных проводили в приложении QGIS 3.14 Pi (qgis.org) с использованием плагина Visualist [8]. Для первичной визуальной оценки распределения случаев COVID-19 создавали теплокарты с Епанечниковым ядром радиусом, определённым по Silverman B.W. (1986) [5]. Мы использовали «статичную» теплокарту по состоянию на конец изученного периода, а также «динамическую» панель теплокарт, построенных по состоянию на 15 апреля, 30 апреля, 15 мая, 31 мая, 15 июня и 30 июня соответственно и отражающих распределение плотности ядра того же радиуса, что был принят для построения «статической» теплокарты. В качестве основного метода для выявления областей повышенной («горячие» пятна) и пониженной («холодные» пятна) плотности расположения очагов COVID-19 применяли общий индекс Гетиса-Орда (G_i^*) с соседством по

смежности по правилу ферзя на условных решётках с размером ячеек в 0,25 км² (0,5x0,5 км) и 0,01 км² (0,1x0,1 км) в пределах административных границ г. Омска. Условную решётку формировали в проекционной системе координат ESRI:102025, поскольку эта система координат позволяет сохранить площади объектов неискажёнными. Поскольку общий индекс Гетиса-Орда учитывает соседство, то кластеризация как высокой, так и низкой плотности означает, что не только целевая ячейка решётки характеризуется высокой или низкой плотностью расположения случаев, но и соседние с ней ячейки имеют сходные характеристики. Для наглядности результат анализа представлен в виде нормализованных Z-оценок, которые могут быть легко интерпретированы в следующем контексте: абсолютные значения Z-оценки, превышающие 1,64, соответствуют 90% доверительной вероятности; превышающие 1,96 – 95% доверительной вероятности, а превышающие 2,58 – 99% доверительной вероятности соответственно. В свою очередь положительные значения Z-оценки отмечают кластеризацию высокой плотности, а отрицательные – низкой плотности.

Выходные фоновые картограммы представлены в проекционной системе координат EPSG:4326, которая чаще всего используется в неспециализированных целях и более привычна для восприятия. В качестве карты-подложки использованы данные спутниковой карты Google Maps.

Результаты

Динамика распространения новой коронавирусной инфекции в Омской области описана нами ранее [6]. По данным официальной регистрации к 1 июля на территории Омской области было выявлено 3780 случаев COVID-19, из которых 78,0% (2949/3780) проживали в Омске и 22,0% (831/3780) - на территории области. Поскольку анализ был ограничен случаями, место проживания которых находилось в пределах административных границ города Омска, то из 2949 соответствующих случаев был исключен 71 случай, по которым место проживания было указано не полностью или не точно (что не позволяло геокодировать данные) или указано отсутствие определённого

места жительства. Значимых отличий между исключёнными и включёнными случаями по возрастно-половым характеристикам не выявлено. Таким образом, в анализ вошли 2878 случаев COVID-19, в том числе 1603 - у женщин и 1263 - у мужчин, не был указан пол – у 12 инфицированных.

Случаи новой коронавирусной инфекции за изученный период были выявлены во всех административных районах Омска. Визуальное исследование пространственного распределения случаев COVID-19 на конец анализируемого периода позволяет установить, что плотность ядра в целом соответствует местам расселения жителей, но также выделяются нескольких зон с повышенной плотностью ядра. Для облегчения идентификации в последующем зоны повышенной плотности ядра были пронумерованы от одного до тринадцати по часовой стрелке (рис. 1А). В шести зонах (3, 4, 7, 8, 12, 13) отмечено уплотнение ядра. Одиннадцать зон (кроме 2 и 3) визуально совпадают с местами расположения медицинских организаций, как специализированных для обслуживания пациентов с COVID-19, так и неспециализированных (рис. 1В). Это согласуется с известной ролью медицинских организаций в распространении инфекционных заболеваний, отмеченной ещё во время эпидемии ТОРС в 2002 году [9] и позднее во время пандемии COVID-19 [3].

Лишь зоны №2 и №3 с высокой плотностью ядра, выявленные в северо-восточной части Омска, не были расположены в непосредственной близости от какой-либо медицинской организации: предположительно случаи могут быть связаны общими маршрутами следования к ближайшей остановке общественного транспорта или торговой точке. Необходимо отметить, что плотность ядра не позволяет делать выводы о наличии причинно-следственных связей, поскольку является в большей степени описательной техникой, нежели аналитической.

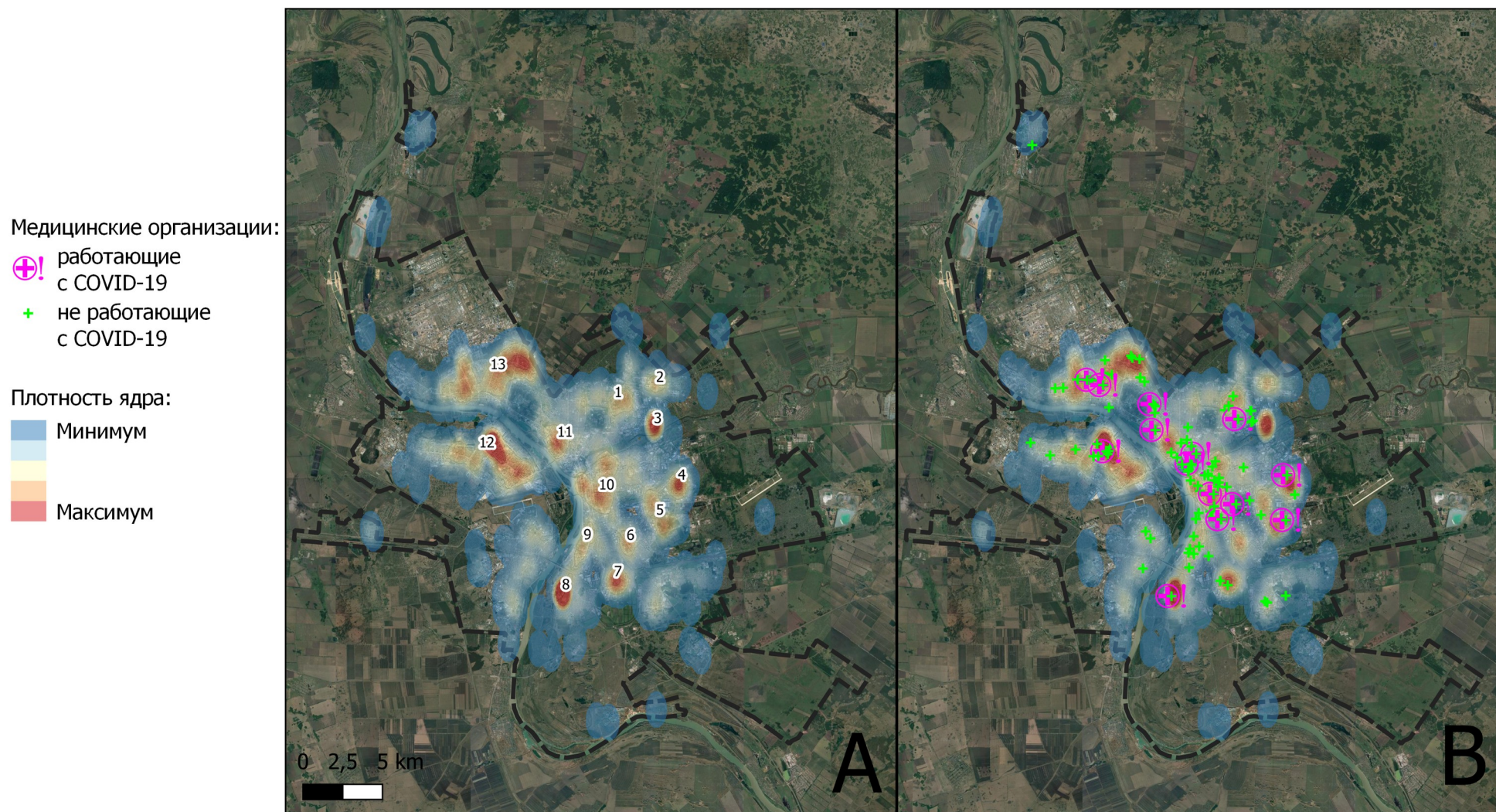


Рис. 1. Теплокарта распределения случаев COVID-19, выявленных до 1 июля в Омске (А), и медицинские организации, не работающие и работающие с инфицированными COVID-19 (В).

В дальнейшем было установлено, что во всех выявленных зонах высокой плотности ядра количество случаев COVID-19 статистически значимо выше, чем в целом по изученной территории – были идентифицированы так называемые «горячие» пятна во всех семи зонах повышенной плотности ядра (рис. 2).

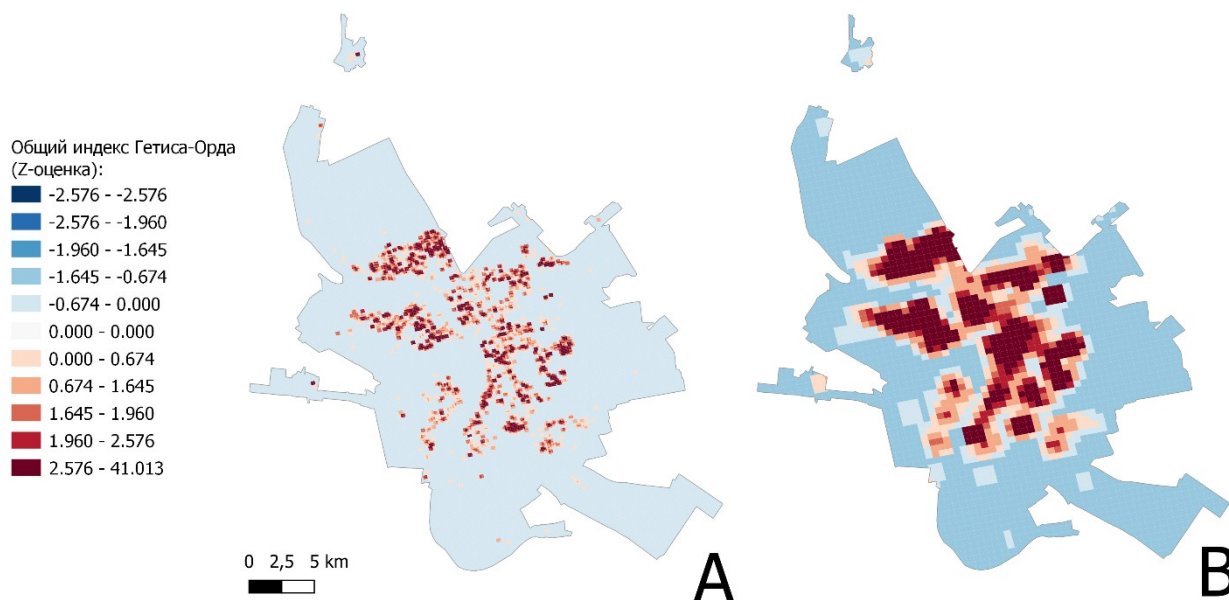


Рис. 2. Зоны повышенной плотности расположения случаев COVID-19 на крупной и мелкой решётке

Как использование крупной решётки (рис. 2B), так и использование мелкой решётки (рис. 2A) для вычисления общего индекса Гетиса-Орда позволило выявить статистически значимые кластеры в тех местах, где визуально отмечена повышенная плотность ядра. В то же время на «мелкой» решётке (рис. 2A) кластеризация имеет характер точечной, что может свидетельствовать о повышенном риске заражения в местах, где уже проживают заболевшие, вследствие прямого контакта с источниками возбудителя инфекции до их выявления, например, на латентной стадии или при бессимптомном течении.

Динамические изменения плотности ядра позволили установить, что в первую очередь распространение COVID-19 охватывало Советский, Центральный и Кировский районы. Вовлечение Ленинского и Октябрьского

административного районов произошло, спустя короткое время после, что может быть связано с тесными логистическими связями между районами: миграция населения между «спальными» и «промышленными» районами в достаточной мере согласуется с картиной распространения COVID-19 по территории города. Кроме того, во всех зонах, кроме восьмой, распространение COVID-19 происходило постепенно, вовлекалось всё больше населения – будущие зоны формировались на протяжении длительного времени и присутствуют на всех панелях рисунка 3. Необходимо отметить, что формирование некоторых зон имело прогрессирующий характер (например, зона 8 и в восточная часть зоны 12), а в зонах 3, 13 и западной части зоны 12 происходил регресс, отражающий более медленное распространение новой коронавирусной инфекции. Формирование зоны №8 произошло стремительно: на панелях А-Д плотность ядра в зоне достаточно низкая, лишь к 15 июня появляются некоторые признаки уплотнения (рис. 3Е), а к 30 июня плотность ядра в зоне резко увеличивается (рис. 3F). Это может быть связано со включением медицинской организации, расположенной в этой зоне в процесс оказания медицинской помощи пациентам с COVID-19: первый пациент был госпитализирован около 15 мая, а две недели спустя обнаруживаются первые признаки повышения плотности ядра (рис. 3Е).

Обсуждение

В отечественной литературе в достаточной степени представлены различные исследования территориального распределения случаев COVID-19 на региональным или районном уровне, и лишь в одном [7] описывается точное положение случаев в пространстве, но без использования аналитических техник. Нами предпринята первая попытка глубже проанализировать связь факторов городской среды с распространением новой коронавирусной инфекции в Российских условиях.

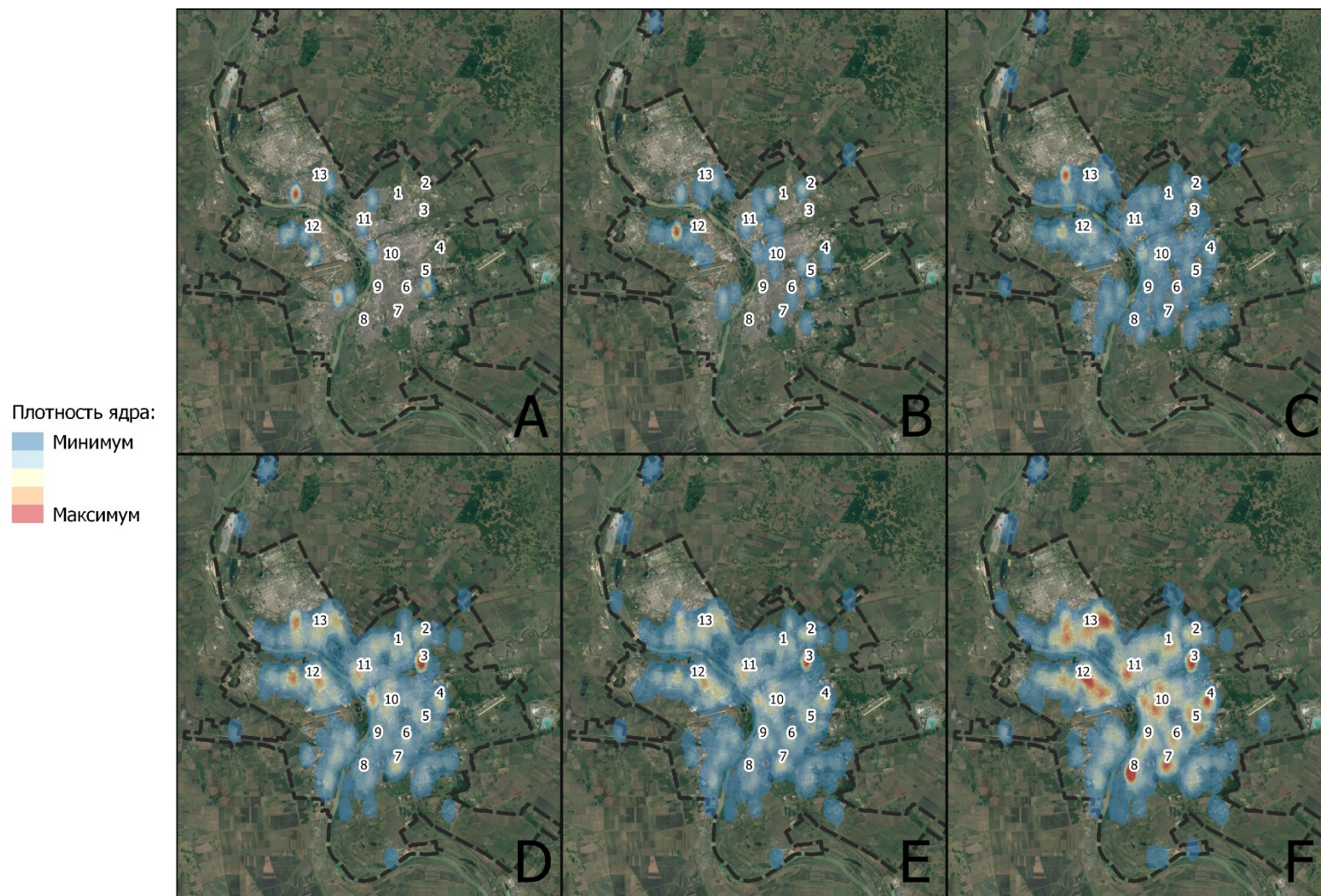


Рис. 3. Теплокарта динамики распределения случаев COVID-19, выявленных до 1 июля 2020 г., в Омске по состоянию на 15 апреля (A), 30 апреля (B), 15 мая (C), 31 мая (D), 15 июня (E) и 30 июня (F).

В отсутствии свободного доступа ко многим необходимым геоданным, необходимо отметить, что выявленная кластеризация может быть объяснена и другими факторами, анализ которых не вошёл в программу данного исследования. Так местоположение медицинских учреждений, вероятно, отражает плотность расселения жителей города, обеспечивая возможно одинаковую доступность медицинской помощи, что могло привести к ошибочной идентификации кластеров в более густонаселённых частях города. С другой стороны, при наличии развитой сети социальных контактов, которая более характерна для старших поколений, проживающих в старых районах, более быстрое распространение новой коронавирусной инфекции может «тяготеть» к таким частям города [3]. Нужно отметить и некоторую субъективность метода оценки плотности ядра, поскольку на сегодняшний день достоверных данных об обычном радиусе перемещения жителей города не имеется.

Заключение

Таким образом, установлено неравномерное распределение случаев новой коронавирусной инфекции по территории Омска: выявлены тринадцать статистически значимых кластеров во всех административных районах города. Статистически значимая кластеризация случаев COVID-19 позволяет рационально перераспределять ограниченные материальные и человеческие ресурсы в те районы города, где отмечается наиболее неблагоприятная ситуация с распространением новой коронавирусной инфекции. Однако, для достоверного объяснения выявленной кластеризации и выявления причин и условий, а также факторов, способствовавших именно такому пространственному распространению новой коронавирусной инфекции, требуются дополнительные исследования. Включение оперативной оценки пространственного распределения при наличии отлаженных механизмов обмена данными между заинтересованными министерствами и ведомствами имеет огромный потенциал в планировании противоэпидемических мероприятий и является достаточно простой

операцией, а при наличии достаточных ресурсов может быть выполнена в реальном времени.

Литература

1. Кутырев В.В., Попова А.Ю., Смоленский В.Ю., Ежлова Е.Б., Демина Ю.В., Сафронов В.А., Карнаухов И.Г., Иванова А.В., Щербакова С.А. Эпидемиологические особенности новой коронавирусной инфекции(COVID-19). Сообщение 1: Модели реализации профилактических и противоэпидемических мероприятий. Проблемы особо опасных инфекций. 2020;(1):6-13. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2020-1-6-13>
2. World Health Organization (WHO). Coronavirus disease (COVID-19) Situation Report – 163. Available at: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200701-covid-19-sitrep-163.pdf?sfvrsn=c202f05b_2
3. Li, X.; Zhou, L.; Jia, T.; Peng, R.; Fu, X.; Zou, Y. Associating COVID-19 Severity with Urban Factors: A Case Study of Wuhan. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 6712. doi:10.3390/ijerph17186712
4. Омск — город будущего! Режим доступа: <https://admomsk.ru/web/guest/city>
5. Silverman, B.W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. London: Chapman & Hall/CRC. 1986. p. 45. ISBN 978-0-412-24620-3.
6. Блох А.И., Пенъевская Н.А., Рудаков Н.В., Лазарев И.И. Эпидемический потенциал COVID-19 в Омской области и оценка возможного влияния противоэпидемических мероприятий. Фундаментальная и клиническая медицина. 2020;5(3):8-17. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2020-5-3-8-17>
7. Побединский Г. Г., Сарсков С. А., Вьюшков М. В. Прототип раздела эпидемиологического атласа «Мониторинг заболеваемости COVID-19». COVID19-PREPRINTS.MICROBE.RU. 2020. <https://doi.org/10.21055/preprints-3111747>.

8. Rossy, Q. (2019) Visualist: a spatial analysis plugin for crime analysts. Ecole des sciences criminelles, Lausanne. <https://plugins.qgis.org/plugins/visualist/>
9. Wang JF, Meng B, Zheng XY, et al. [Analysis on the multi-distribution and the major influencing factors on severe acute respiratory syndrome in Beijing]. Zhonghua liu Xing Bing xue za zhi = Zhonghua Liuxingbingxue Zazhi. 2005 Mar;26(3):164-168.