

Н. В. Иванова¹, А. И. Самаркин¹, В. С. Белов¹, М. С. Прокофьев²

**ПРИМЕНЕНИЕ СПАТИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ И СМЕРТНОСТИ ОТ COVID-19
(на примере Псковской области)**

¹Псковский государственный университет, Псков, Россия

²Национальный медицинский исследовательский центр

им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 25.11.2022 г.

Принята к публикации 28.12.2022 г.

doi: 10.5922/gikbfu-2023-1-2

Для цитирования: Иванова Н. В., Самаркин А. И., Белов В. С., Прокофьев М. С. Применение спатимального анализа показателей заболеваемости и смертности от COVID-19 (на примере Псковской области) // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. 2023. №1. С. 22–35. doi: 10.5922/gikbfu-2023-1-2.

Возникновение и развитие пандемии нового коронавируса COVID-19 (SARS-CoV-2) помимо биомедицинских и организационных проблем поставили новые масштабные задачи создания и совершенствования математических и информационных технологий, обеспечивающих разнообразные операции с пространственными данными при статистическом анализе и прогнозировании. Выбор регионального уровня спатимального анализа заболеваемости и смертности от COVID-19 обусловлен наличием доступной статистики, а также данных о географических закономерностях, характеристиках пространства распространения (плотности населения, концентрации в одном городе, плотности транспортной сети, расстоянии до очага заболевания и т. д.). На примере Псковской области показано, что региональная система здравоохранения характеризуется существенным дефицитом кадров и заметной нехваткой ресурсов. Необходимо учитывать эти моменты при выработке эффективной, научно обоснованной политики в области здравоохранения, при проведении оценки имеющейся и перспективной инфраструктуры здравоохранения. Показано, что для адекватного моделирования на межрегиональном и региональном уровне перспективными являются модели, основанные на графах, тогда как для анализа процессов по отдельным населенным пунктам следует учитывать географическое распределение пациентов.

Ключевые слова: COVID-19, пандемия нового коронавируса, заболеваемость и смертность от COVID-19, математическое моделирование, ГИС-картографирование, медицинская география

Введение

Формирование и развитие пандемии нового коронавируса COVID-19 (SARS-CoV-2) помимо биомедицинских и организационных проблем поставило новые масштабные задачи создания, совершенствования



и применения математических и информационных технологий в целях сбора, преобразования, представления и использования пространственных данных для статистического анализа, прогнозирования и управления критическими ситуациями. Осуществляется оперативный мониторинг изменения во времени количества установленных случаев заражения, числа выздоровевших и умерших с построением многочисленных эпидемических кривых и ГИС-картографированием накопленной информации на глобальном, государственном, региональном и местном уровнях с учетом демографической структуры большого населения, факторов и условий развития эпидемии коронавируса по различным странам [5]. В регионах России подтвержденная заболеваемость населения коронавирусной инфекцией в первом приближении подчиняется общим пространственным закономерностям диффузии нововведений [4]. В географии распространения зарегистрированных случаев заболевания прослеживаются классические факторы диффузии нововведений, учитывающей структуру местных сообществ по плотности населения, связям, социальной активности, доходам и т. д. [1; 2]. Выбор нами регионального уровня анализа обусловлен наличием доступных статистических данных, а также данных о географических закономерностях, характеристиках пространства распространения заболевания, таких как плотность населения, концентрация в одном городе, плотность транспортной сети, расстояние до очага заболевания и т. д. Именно на региональном уровне особенно важна эффективная, научно обоснованная политика в области организации здравоохранения, так как Псковская область характеризуется существенным дефицитом медицинских кадров, недостаточно развитой инфраструктурой и относительно невысокой транспортной связностью между населенными пунктами.

Степень изученности проблемы

Общеизвестно, что перечень наиболее значимых угроз здоровью человека и конкретные методы их преодоления различны не только для крупных промышленных центров, с одной стороны, и сельской местности — с другой, но и в более «мелких» масштабах — в рамках одного города или вблизи одного природного очага инфекции. Анализ и понимание соответствующих пространственно-географических закономерностей и принятие на этой основе практических решений о развитии системы здравоохранения являются важнейшими задачами, решаемыми с помощью современных геоинформационных систем (ГИС). Становление и развитие медицинской географии (или географии медицины) как научного направления имеет многовековые традиции. На протяжении длительного времени география и средства пространственного анализа и моделирования использовались в медицинской практике преимущественно для отображения данных о распространении инфекционных заболеваний. Начиная с прошлого столетия круг интересов медицинской географии существенно расширился, включив в себя не только природные особенности местности, но и ее социально-экономические показатели. В последние 20–30 лет благодаря развитию ГИС-технологий был достигнут значительный прогресс в этой области. Данные тех-



нологии предоставили реальную возможность проведения столь важного комплексного многопараметрического пространственного анализа [3]. Геоинформационные системы объединяют картографию и многомерный статистический анализ, позволяющий исследовать сложные пространственные отношения (связывая людей с местом) и в то же время представлять информацию в яркой и наглядной форме.

ГИС — это инструмент, который может применяться в ряде случаев для понимания взаимосвязи между результатами системы здравоохранения и социальными, демографическими, экономическими и политическими характеристиками территории. Происходит активное расширение использования ГИС как средства эффективного связывания и анализа диапазона данных, необходимых для решения сложных вопросов в области укрепления здоровья, общественного здравоохранения, эпидемиологии и в ряде других областей [10].

Исследователи пространственных характеристик распространения инфекций уподобляли этот процесс диффузии инноваций еще задолго до пандемии COVID-19 [13]. Во многих странах мира, например в Швеции, коронавирус не всегда распространялся исключительно от крупных городов к менее плотно населенным территориям — нередко очагами заболеваемости становились небольшие изолированные объекты, в частности дома престарелых [8]. Затем из изолированных очагов вирус распространялся уже на соседние, не закрытые территории. С проблемой таких локальных закрытых анклавов столкнулась и Псковская область. Здесь очагами распространения коронавируса оказались дома-интернаты для престарелых, психоневрологические диспансеры и монастыри [6]. Такие объекты были проблемными и в других регионах, но в Псковской области масштаб вспышек и количество локальных очагов заболеваемости были особенно значительными.

Цель исследования — изучить спатальные (пространственные) тенденции показателей заболеваемости и смертности населения на фоне новой коронавирусной инфекции (COVID-19) на территории Псковской области в 2020—2021 гг., а также оценить возможные факторы, влияющие на этот процесс в регионе.

Об имитационном моделировании распространения вирусных инфекций

Значительное распространение в моделировании распространения вирусных инфекций получили компартментные модели, основанные на работах У. Кермака и А. МакКендрика [8]. В соответствии с этими моделями популяция делится на группы (компартменты), участники которых подвергаются (с определенной интенсивностью) процессам заражения и выздоровления. Например, модель SIR учитывает три группы: подверженные заражению (Suspected), инфицированные (Infected) и выздоровевшие и приобретшие иммунитет (Recovered). Ключевым параметром модели выступают комплексный коэффициент передачи R_0 — среднее число лиц, инфицированных одним случаем заболевания в полностью восприимчивой популяции при отсутствии мероприятий, направленных на борьбу с инфекцией. Он учитывает как контагиоз-



ность вируса, так и частоту контактов вирусоносителя с восприимчивой популяцией. Указанная модель непосредственно применима в ограниченном числе случаев, поскольку является детерминированной, не учитывает ангиэпидемиологические мероприятия и не рассматривает географические аспекты размещения участников компартов [7]. Учет большего количества компартов (новорожденных с врожденным иммунитетом, лиц в инкубационном периоде, переносчиков вирусов и т. д.) или более сложных процессов, таких как рождение и смерть, вакцинация, возрастные особенности, не просто усложняет модель, но и делает ее реализацию возможной только с помощью численных методов. Пространственные факторы в распространении вируса могут быть учтены модификацией модели, использующей графовое представление территории [12] или учитывающей диффузию между соседними областями [11; 14].

Вместе с тем существуют модели, основанные на рассмотрении поведения агентов, имитирующих поведение реальных акторов, — мультиагентные модели. Ниже представлена характеристика такой мультиагентной модели, пригодной для описания эпидемиологических процессов.

Имитационная модель системы «инфицированные — заболевшие»

Эволюция модели происходит в дискретное модельное время. За единицу времени изменяется состояние модели, затем время увеличивается на единицу и происходит следующая итерация.

Ареал распространения инфекции (город, район, область) моделируется в виде прямоугольной области, которой сопоставлена ортогональная система координат XY. Ячейки области могут обладать собственными характеристиками, например ограничивать движение в некоторой области. Модельное время фиксируется на уровне ареала обитания (рис. 1).

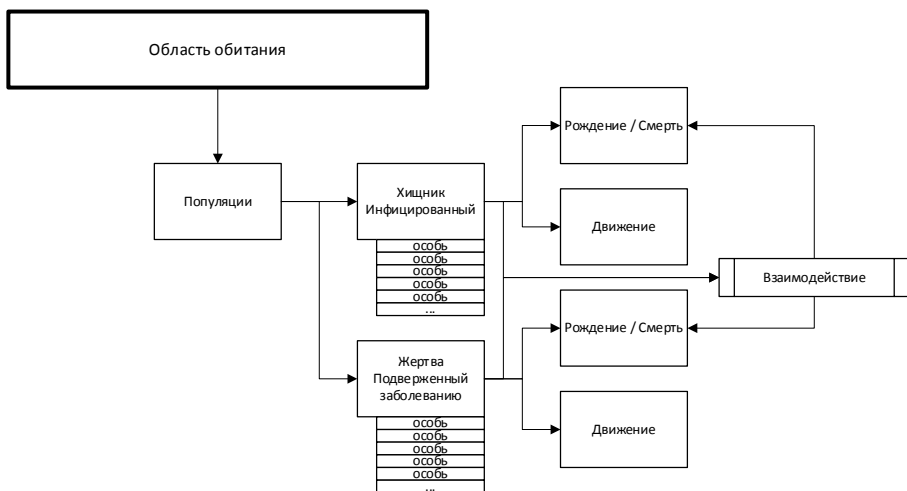


Рис. 1. Структура модели

Компартменты моделей класса SIR рассматриваются как популяции особей, расположенные на территории ареала. В отличие от диффузионных моделей, которые рассматривают инфицированных в качестве концентрированных веществ, растворяющихся пропорционально разнице концентраций в окружающей среде, каждая особь в популяции (или группа особей) моделируется точкой в координатах XU , способной совершать движение.

В качестве модели движения используется модель броуновского фрактального движения, в соответствии с которой точка обладает скоростью и углом вектора скорости относительно оси X системы координат. За каждую итерацию точка совершает движение на длину вектора скорости в заданном направлении (рис. 2).

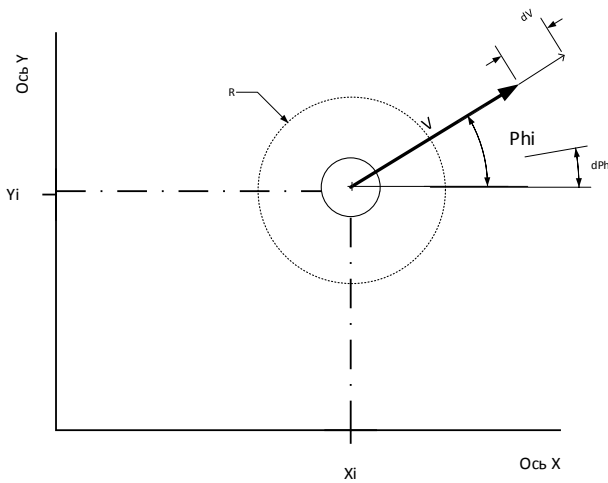


Рис. 2. К расчету движения точки

После окончания движения скорость и угол модифицируются на генерируемые случайным образом величины. Имеются ограничения на предельную скорость движения для особей определенной популяции, а также предельные значения для изменения скорости и угла.

За каждый такт моделирования представители популяции с определенной настраиваемой вероятностью могут дать потомство, не измениться или умереть (в том числе в связи с наступлением предельного возраста), причем за каждый такт возраст особей увеличивается.

Если рассматриваются несколько популяций, то между ними происходят взаимодействия, в простейшем случае описываемые моделью «хищник – жертва».

Популяция, которая в данной паре является «хищником», обладает настраиваемым радиусом влияния. Если в окружность указанного радиуса вокруг «хищника» попадает «жертва», то моделируется одно из трех событий (каждый вариант обладает собственной вероятностью наступления и исключает два других): неудачное для хищника взаимодействие (оба объекта живы), смерть жертвы, смерть жертвы и появление нового хищника (рис. 3).

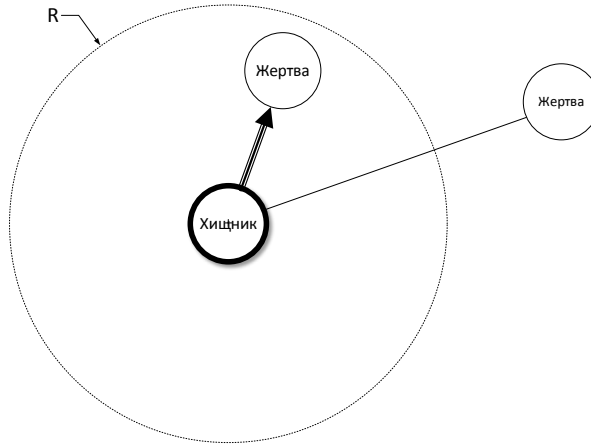


Рис. 3. Взаимодействие «хищник — жертва»

На начальном этапе происходит инициализация популяций со случайными координатами и параметрами скорости.

За каждый такт моделирования происходят:

- элиминация «умерших» и добавление «новорожденных»;
- перемещение особей ($x_{i+1} = x_i + v_i \cos \phi_i$, $y_{i+1} = y_i + v_i \sin \phi_i$);
- изменение скорости и угла ($v_{i+1} = v_i + dv_i$, $\phi_{i+1} = \phi_i + d\phi_i$);
- генерация значений изменения скорости и угла для следующего шага;
- проверка на рождение или смерть на следующем ходе.

Для каждого хищника осуществляется:

- поиск жертвы в радиусе влияния;
- взаимодействие с одним из трех исходов.

Цикл повторяется до исчерпания популяции.

Ниже представлен интерфейс разработанной авторами программы на языке С# (рис. 4). На рисунке показаны результаты визуализации расположения особей двух популяций после первичной инициализации при совместном расположении двух популяций в пределах ареала.

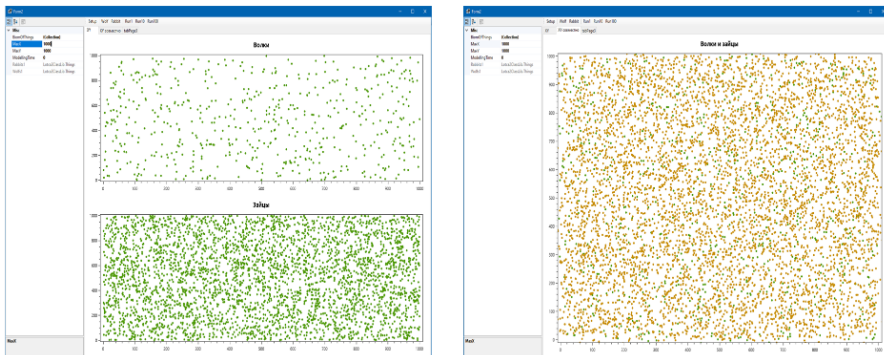


Рис. 4. Расположение двух популяций в ареале обитания

На рисунке 5 представлены колебания численности хищников и жертв на момент окончания расчета. Наблюдается волновой характер процесса, который нельзя смоделировать с помощью модели SIR.

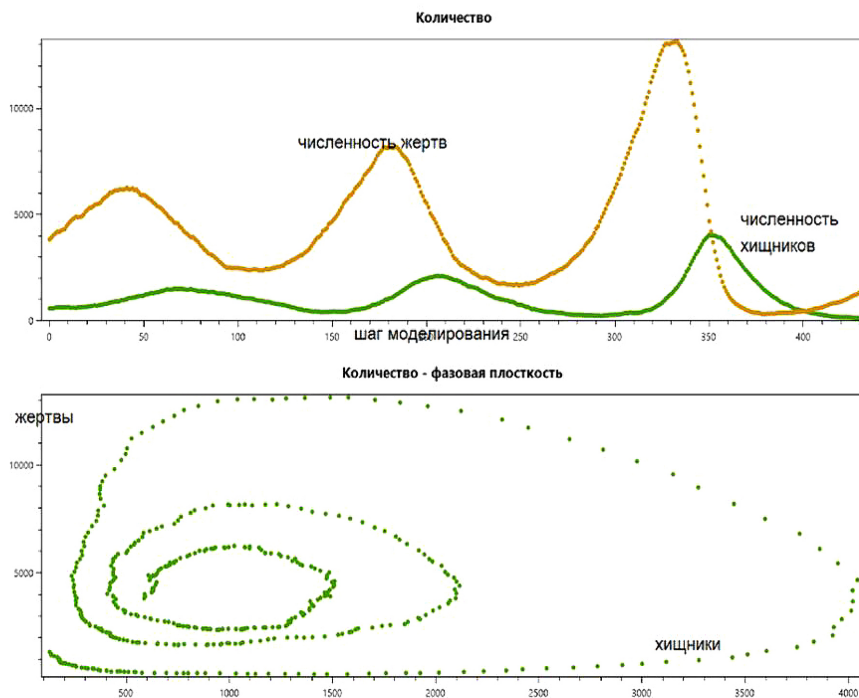


Рис. 5. Результаты моделирования

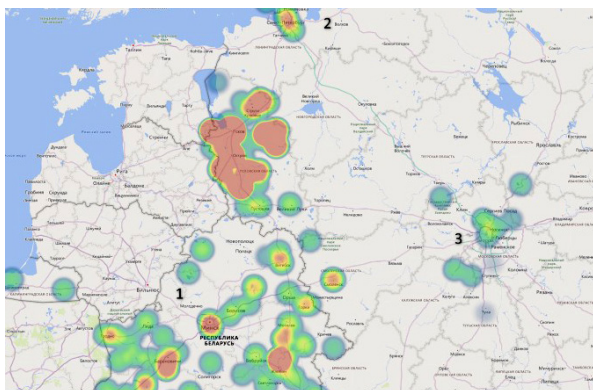
Пространственный анализ заболеваемости пациентов в регионе

По представленным данным были составлены тепловые карты адресов пациентов, поступивших в инфекционную больницу г. Пскова.

На межрегиональном уровне следует отметить три основных источника инфицированных лиц в регионе (рис. 6). Заметим, что на стационарное лечение поступают не все пациенты, а лишь в сравнительно тяжелом состоянии или лишенные возможности получить необходимый уход на дому.

Белоруссия на государственном уровне достаточно долго не вводила серьезных ограничительных мер, поэтому (с учетом значительных транспортных связей между Российской Федерацией и Белоруссией) ее первое место является ожидаемым. Обращает на себя внимание также концентрация пациентов по транспортным узлам Белоруссии.

Второй источник инфицированных — Санкт-Петербургская агломерация (г. Санкт-Петербург и область), что соответствует объему транспортных перевозок в общем грузопассажирском потоке в Псковской области.

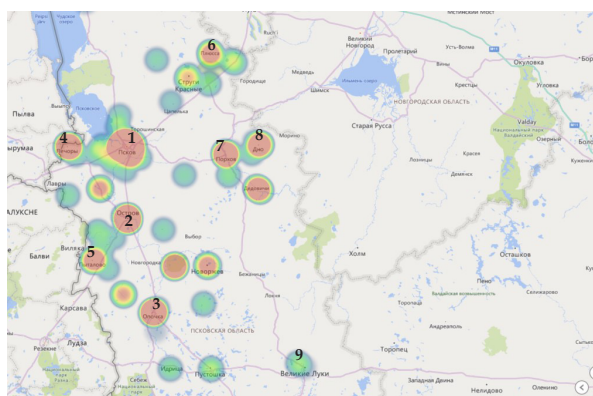


- 1 – Белоруссия (Минск, Барановичи, Бобруйск)
- 2 – Санкт-Петербургская агломерация
- 3 – Московская агломерация

Рис. 6. Межрегиональные источники инфицирования

Третий источник – Московская агломерация. Отметим, что меньший процент инфицированных из московской агломерации, вероятно, отражает еще и лучший контроль над пассажиропотоками.

Источники инфицированных на территории Псковской области показаны на рисунке 7. Обращает на себя внимание концентрация центров группировки по транспортным узлам. Малое количество пациентов из г. Великие Луки объясняется наличием в городе собственных ресурсов по лечению пациентов.



- 1 – Псков
- 2 – Остров
- 3, 4, 5 – Опочка, Печоры, Пыталово
- 6, 7, 8 – Плюсса, Порхов, Дно
- 9 – Великие Луки

Рис. 7. Источники инфицирования в Псковской области

Печоры являются таможенным и транспортным хабом со странами Прибалтики, а также центром православного паломничества, что объясняет высокую концентрацию заболевших в этом городе. Плюсса формирует зону прибытия населения из Петербурга, Дно – Порхов – Дедовичи – крупный железнодорожный узел, Опочка, Остров и Пыталово – транспортные узлы с Прибалтикой, Беларуссией и южными областями России.

Источники инфицирования в г. Пскове показаны на рисунке 8. Из рисунка следует, что географические территориальные кластеры отражают, с одной стороны, транспортную связность города, разделенного реками Пскова и Великая на три основных района (Центр, Запсковье и Завеличье), а также плотность застройки районов города. Так, генератором инфицированных является дальнее Запсковье (район 4), застроенное многоэтажными домами с более высокой концентрацией населения в сравнении с менее насыщенным районом ближнего Запсковья (район 3).

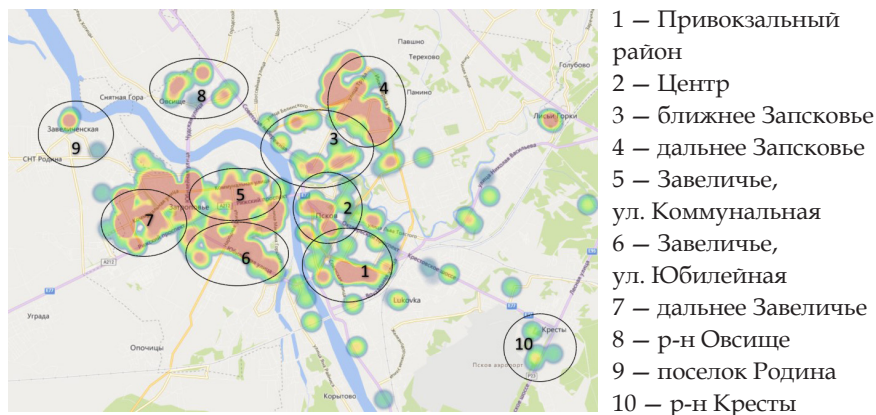


Рис. 8. Источники инфицирования в черте г. Пскова

Аналогичное подразделение можно произвести для района Завеличье (районы 5–7).

Анализ тепловых карт позволяет сделать следующие выводы.

На межрегиональном уровне основным источником заболевших являются (в порядке убывания) Белоруссия, Санкт-Петербург и Ленинградская область, Москва и Московская область. На региональном уровне – транспортные узлы Псков, Печоры, Дно, Плюссы, Остров, Опочка, Великие Луки. На уровне г. Пскова – Центр (по районам), Завеличье (по районам), Запсковье (по районам), а также отдельные поселки и районы (Родина, Кресты, Овсище).

Результаты исследования и их обсуждение

Первичные данные были получены в ГБУЗ «Псковская областная инфекционная клиническая больница» и ГКУЗ Псковской области «Медицинский информационно-аналитический центр», также данные по заражениям и летальности от новой коронавирусной инфекции были взяты из годовых отчетов Росстата. Обезличенные данные представлены в виде таблиц со сведениями о возрасте и причинах смерти населения (на основе форм Росстата) за 2020–2021 гг. В таблицы включены следующие поля (столбцы): дата рождения; пол; дата смерти; возраст (полных лет); дата выдачи свидетельства о смерти; вид свидетельства; место смерти; причина смерти (непосредственная причина, первоначальная при-



чина, внешние причины смерти). Выборка составила 22 665 записей, по которым проводилась первичная обработка с последующим построением графических схем.

В результате анализа распределения инфицированных можно сделать вывод о возможности представления региона в виде дискретной модели графового типа, причем переход инфицированных между узлами графа происходит пропорционально разности концентраций заболевших и пропорционально интенсивности транспортного потока в соответствии с компартментной моделью диффузии. Для анализа достаточно учесть три крупных внешних компартмента (рис. 9).

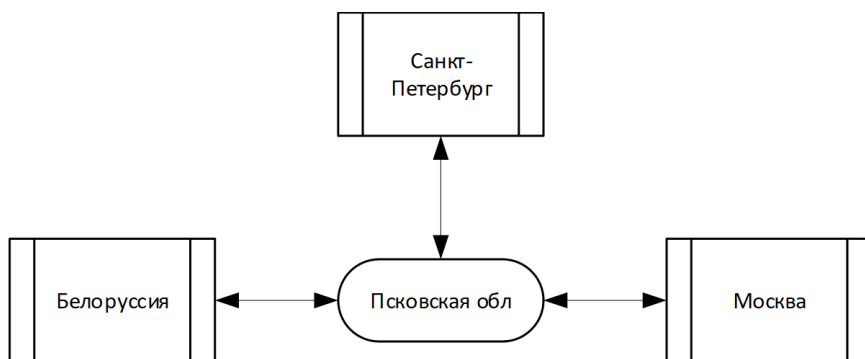


Рис. 9. Граф трансмиссии инфицированных лиц в регион Псковской области

Аналогичным образом внутренняя структура области может быть описана графом, представленным на рисунке 10. Здесь узлами и подузлами графа являются транспортные узлы. В пределах подузлов можно использовать как компартментные модели с учетом экзогенного воздействия на число инфицированных, так и имитационные модели, предложенные авторами.

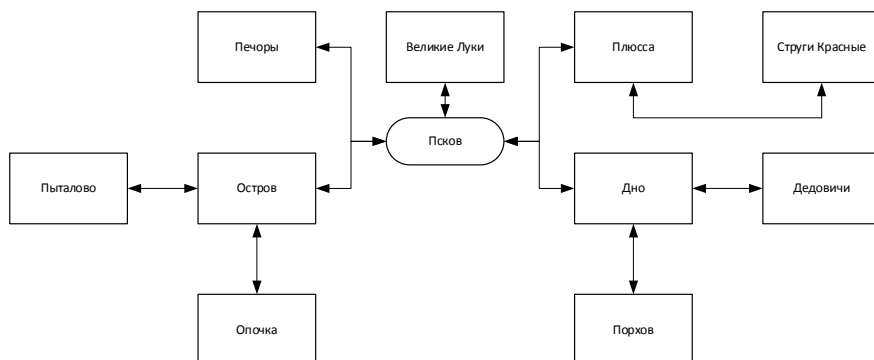


Рис. 10. Граф трансмиссии инфицированных в пределах региона



Собственно город ввиду относительно высокой плотности населения и своей высокой транспортной связности предполагает описание в виде продемонстрированной нами мультиагентной модели или в виде графа из трех районов и мультиагентной модели по каждому району.

Выводы

Рассмотрены некоторые виды моделей распространения вирусной инфекции. Показана их недостаточность для объяснения волновой природы распространения COVID-19.

Представлены разработанный авторами алгоритм и основанная на нем программа, имитирующая распространение инфекции в пределах географического кластера с учетом пространственного расположения и броуновского движения лиц, входящих в компартменты. Взаимодействие между компартментами при этом описывается в терминах «хищник – жертва» при вероятностном характере процессов рождения и смерти, успешности или неуспешности взаимодействия хищника и жертвы. Текст программы представлен в репозитории Github по адресу (GitHub – Alex-Samarkin/Predator2023: Lotca-Volterra system).

На основе анализа информации по Псковской области о пациентах, перенесших COVID-19, составлены тепловые карты источников инфекции на межрегиональном, внутрирегиональном и городском уровнях.

Показано, что межрегиональные и внутрирегиональные процессы распространения вируса могут быть описаны графами относительно малой размерности (4 – для межрегионального уровня, 10 – для внутрирегионального). Для отдельных узлов графа можно использовать модель SIR с учетом поступления инфицированных извне узла или их оттока за его пределы либо разработанное авторами программное обеспечение.

На уровне г. Пскова возможно применение как мультиагентной модели, так и модели в виде графа из трех узлов (районов города) с мультиагентными подмоделями для каждого из его районов.

Список литературы

1. Бабурин В.Л., Земцов С.П. Регионы-новаторы и инновационная периферия России. Исследование диффузии инноваций на примере ИКТ-продуктов // Региональные исследования. 2014. №3. С. 27–37.

2. Бабурин В.Л., Земцов С.П. Инновационный потенциал регионов России : монография. М., 2017.

3. Гохман В.В. Геоинформационные системы для здравоохранения и медицины // Век качества. 2012. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnye-sistemy-dlya-zdravoohraneniya-i-meditsiny> (дата обращения: 23.10.2022).

4. Земцов С.П., Бабурин В.Л. COVID-19: пространственная динамика и факторы распространения по регионам России // Известия РАН. Сер. Географическая. 2020. Т. 84, №4. С. 485–505. doi: 10.31857/S2587556620040159.



5. Черкашин А. К., Лесных С. И., Красноштанова Н. Е. Геоинформационный мониторинг и математическое моделирование развития пандемии коронавируса COVID-19 // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. №1 (21). С. 17–35. doi: 10.38028/ESI.2021.21.1.002.

6. В Псковской области осталось восемь очагов распространения COVID-19 // Деловой Петербург. URL: https://www.dp.ru/a/2021/01/12/V_Pskovskoj_oblasti_ostal (дата обращения: 23.10.2022).

7. Brauer F. Compartmental Models in Epidemiology // Brauer F., van den Driessche P., Wu J. (eds.). Mathematical Epidemiology. Lecture Notes in Mathematics, vol. 1945. Springer, 2008. doi: 10.1007/978-3-540-78911-6_2.

8. Florida R., Mellander C. The geography of COVID-19 in Sweden // The Annals of Regional Science. 2022. Vol. 68. P. 125–150. doi: 10.1007/s00168-021-01071-0.

9. Kermack W. O., McKendrick A. G. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics // Proceedings of the Royal Society of London. Ser. A: Containing Papers of a Mathematical and Physical Character. 1927. Vol. 115, №772. P. 700–721. doi:10.1098/rspa.1927.0118.

10. McLafferty S. L., Sara L. GIS and health care // Annual Rev. Public Health. 2003. P. 25–42.

11. Noble J. V. Geographic and temporal development of plagues // Nature. 1974. Vol. 250, №5469. P. 726–729. doi: 10.1038/250726a0.

12. Paeng S. H., Lee J. Continuous and discrete SIR-models with spatial distributions // J. Math. Biol. 2017. Vol. 74 (7). P. 1709–1727. doi: 10.1007/s00285-016-1071-8.

13. Schærström A. Disease Diffusion // Kitchin R., Thrift N. (eds.). International Encyclopedia of Human Geography. Elsevier, 2009. P. 222–233.

14. Te Vrugt M., Bickmann J., Wittkowski R. Effects of social distancing and isolation on epidemic spreading modeled via dynamical density functional theory // Nat Commun. 2020. Vol. 11 (1). Art. №5576. doi: 10.1038/s41467-020-19024-0.

Об авторах

Наталья Владимировна Иванова — д-р мед. наук, проф., Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: zdravuniver@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8238-9491>

Александр Иванович Самаркин — канд. техн. наук, доц., Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: alexsamarkinru@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4327-2175>

Владимир Семенович Белов — канд. техн. наук, доц., Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: vsbb@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9036-2707>

Марк Сергеевич Прокофьев — клинический ординатор, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова, Россия.

E-mail: mark04069@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7277-0448>



N. V. Ivanova¹, A. I. Samarkin¹, V. S. Belov¹, M. S. Prokofiev²

APPLICATION OF SPATIAL ANALYSIS OF MORBIDITY AND MORTALITY FROM COVID-19
(the case of the Pskov region)

¹ Pskov State University, Pskov, Russia

² Almazov National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

Received 25 November 2022

Accepted 28 December 2022

doi: 10.5922/gikbfu-2023-1-2

34

To cite this article: Ivanova N. V., Samarkin A. I., Belov V. S., Prokofiev M. S., 2023, Application of spatial analysis of morbidity and mortality from COVID-19 (the case of the Pskov region), *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences*, №1. P. 22 – 35. doi: 10.5922/gikbfu-2023-1-2.

Apart from biomedical and organizational issues, the emergence of the new coronavirus COVID-19 (SARS-CoV-2) pandemic, set large-scale tasks for creating and improving mathematical and information technologies that operate spatial data in statistical analysis and forecasting. The regional level is seen as a suitable choice for spatial analysis of COVID-19 morbidity and mortality due to the availability of statistics, as well as data on geographical patterns, characteristics of the distribution space (population density, concentration in one city, density of the transport network, distance to the focus of the disease, etc.). The case of the Pskov region shows that the regional healthcare system experiences a significant shortage of personnel and a noticeable lack of resources. When assessing the existing and prospective healthcare infrastructure, it is advisable to take these points into account while developing an effective, evidence-based healthcare policy. The article shows that graph-based models are more likely to be efficient for adequate modeling at the interregional and regional level, while the geographical distribution of patients should be taken into account for the analysis of processes in individual settlements.

Keywords: COVID-19, the pandemic of the new coronavirus, morbidity and mortality from COVID-19, mathematical modeling, GIS mapping, medical geography

The authors

Prof. Natalya V. Ivanova, Professor, Pskov State University, Russia.

E-mail: zdravuniver@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8238-9491>

Dr Alexander I. Samarkin, Associate Professor, Pskov State University, Russia.

E-mail: alexsamarkinru@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4327-2175>

Dr Vladimir S. Belov, Associate Professor, Pskov State University, Russia.

E-mail: vsbb@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9036-2707>



Mark S. Prokofiev, Clinical Resident, Almazov National Medical Research Center,
St. Petersburg, Russia.

E-mail: mark04069@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7277-0448>