ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТАТИСТИКА И ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ ЭПИДЕМИИ НОВОГО КОРОНАВИРУСА ПНЕВМОНИИ 2019 Г. В ПРОВИНЦИИ ХУБЭЙ, КИТАЙ

АННОТАЦИЯ

Глубокое понимание пространственно-временных динамических характеристик инфекционных заболеваний может быть полезным для профилактики эпидемии и борьбы с ней. На основе новых данных о новой коронавирусной пневмонии (НКП), опубликованных на официальных веб-сайтах, методы пространственной статистики ГИС и корреляции Пирсона были использованы для анализа пространственной автокорреляции и факторов влияния эпидемии НКП период с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020. Результаты исследования показали, что: (1) В период проведения исследования провинция Хубэй была единственной значимой кластерной зоной и "горячей точкой" совокупных случаев, подтвержденных заражением НКП в Китае в провинциальном масштабе; (2) эпидемия заражения НКП в Китае в префектурно-городском масштабе имела весьма значимую глобальную пространственную автокорреляцию, а Ухань всегда был значимой "горячей точкой" и "городом-кластером" совокупных случаев, подтвержденных заражением НКП в целом по стране; (3) Кумулятивные подтвержденные случаи COVID-19 в провинции Хубэй в масштабе района имели весьма значительную глобальную пространственную автокорреляцию, а окружные районы под юрисдикцией Ухани и его соседнего района Хуанчжоу в городе Хуанган были значительными "горячими точками" и пространственными кластерами кумулятивных подтвержденных случаев COVID-19. (4) Согласно корреляционному анализу Пирсона, число подтвержденных накопительных случаев заражения НКП в провинции Хубэй на шкале городского округа и на шкале района за исследуемый период также имело весьма существенную и положительную корреляцию ($p < 0,01$) с четырьмя показателями численности регистрируемого населения, численности постоянного населения, регионального ВВП и общего объема розничных продаж потребительских товаров; (5) число подтвержденных накопительных случаев заражения НКП в провинции Хубэй на шкале городского округа также имело весьма существенную и положительную корреляцию ($p < 0$). 01) с индексом миграции Байду и плотностью населения, но не с размером территории, тогда как в провинции Хубэй на шкале района имела место существенная и положительная корреляцию ($p < 0,05$) с размером территории, но не с плотностью населения в период с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года. Установлено, что эпидемия НКП в провинции

Хубэй имеет отличительные черты значительно централизованной вспышки, значительную пространственную автокорреляцию и сложные факторы влияния, и что пространственный масштаб оказывает существенное влияние на глобальную пространственную автокорреляцию эпидемии НКП. Полученные результаты помогают углубить понимание закономерностей пространственного распределения и тенденций передачи эпидемии НКП, а также могут оказаться полезными для научной профилактики и борьбы с эпидемиями, включая новую коронавирусную пневмонию 2019 года.

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

В декабре 2019 г. в Ухане начались острые респираторные заболевания, вызванные новым коронавирусом 2019 г., который быстро распространился на другие районы Китая [1]. Внезапная вспышка и распространение этой новой коронавирусной пневмонии (НКП) привлекли большое внимание со стороны китайского правительства и мировой общественности [2-3]. Масштабы вспышки были признаны Центральным комитетом партии и Государственным советом. Они оперативно реализовали комплексные меры по профилактике и борьбе с эпидемией и потребовали "доверия, помощи друг другу, научной профилактики и контроля, а также точного осуществления политики". Правительства Китая на всех уровнях принимают срочные меры для предотвращения распространения эпидемии. 31 января 2020 года Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) объявила, что эпидемия НКП в Китае представляет собой чрезвычайную ситуацию в области общественного здравоохранения, вызывающую международную озабоченность. Во время эпидемии НКП наступил Лунный новый год в Китае, и собравшееся большое количество людей активизировало передачу и распространение нового коронавируса, представляющего серьезную угрозу жизни и здоровью населения. По состоянию на 28 марта 2020 года в Китае было зарегистрировано 82 278 подтвержденных случаев заболевания НКП и 3301 случай смерти. Более чем в 200 странах мира за пределами Китая было зарегистрировано 523 213 подтвержденных случаев и 23 834 смерти, при этом был отмечен стремительный рост числа подтвержденных случаев заболевания НКП в Северной Америке и Европе. В настоящее время рост эпидемии ПНК в Китае замедляется. Однако глобальная эпидемия НКП ускоряется, и первостепенное значение имеют профилактика и контроль.

Вскоре после вспышки НКП ученые провели обширные исследования по этиологии, эпидемиологии, молекулярной биологии, геномике, визуализации и клиническим характеристикам НКП [4-14]. Полученные результаты заложили важную научную основу для диагностики и лечения

НКП, а также профилактики и борьбы с эпидемией. Некоторые университеты, исследовательские институты и онлайновые платформы также запустили ежедневные эпидемиологические динамические информационные службы на основе эпидемиологических карт и статистических данных, которые обеспечивают правительствам и общественности существенную информационную поддержку, позволяющую быстро и интуитивно понять прогресс эпидемии. Однако до сих пор отсутствуют исследования по пространственно-статистическим характеристикам и временной и пространственной эволюции эпидемии НЦП, а механизм пространственной эволюции эпидемии НЦП до сих пор остается неясным. Пространственная статистика может помочь выявить пространственно-временные характеристики и распространение эпидемии, способствуя, таким образом, профилактике эпидемии и борьбе с ней, а также принятию научных решений [15]. В предыдущих исследованиях изучалась сеть передачи [16], пространственная корреляция [17-19], пространственно-временная динамика передачи [20], эпидемические характеристики и закон пространственно-временной передачи [21] эпидемии SARS 2003 года, что послужило полезным справочным материалом для изучения пространственной статистики эпидемии НКП. НКП - инфекционное заболевание, похожее на атипичную пневмонию [22], передающееся главным образом от человека к человеку через дыхательные капли, при личном контакте и при контакте фекалий с ротовой полостью [1]. Будет ли эпидемия НКП так же пространственно коррелирована, как и эпидемия SARS? Поскольку эпидемия НКП все еще распространяется, профилактика и борьба с ней являются неотложными задачами, в частности, в том, что касается пространственных статистических характеристик и влияющих факторов. Провинция Хубэй серьезно пострадала от НКП, и отсутствие анализа временной и пространственной эволюции эпидемии НКП на уровне городов и районов на ранней стадии вызвало определенные трудности в использовании материалов по профилактике и борьбе с эпидемией, а также в службах медицинского обеспечения в некоторых городах и районах. В данном исследовании используется пространственная статистика ГИС и методы корреляционного анализа Пирсона для систематического анализа пространственных автокорреляционных характеристик и влияющих факторов эпидемии НКП с трех шкал - провинция, префектура и район с целью предоставления исходных данных для принятия решений о временной и пространственной эволюции эпидемии НКП, а также для научной профилактики и борьбы с ней.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

1.1 Обзор области исследования

Провинция Хубэй расположена в центральном Китае (108 ° 21′42 〜 116 ° 07′50 ″ в.д., 29 ° 01′53 ″ 〜 33 ° 6′47 ″ в.д.) (рис. 1). Площадь провинции составляет 18,59 × 104 км2, что составляет 1,94% от общей площади страны. Местность на востоке, западе и севере гористая, а в центральной части низок, с неполным бассейном, немного открывающимся к югу. Большая часть территории в провинции имеет субтропический муссонный влажный климат со средней годовой температурой от 15 ° C до 17 ° C и среднегодовым количеством осадков от 800 мм до 1600 мм. В настоящее время провинция Хубэй имеет 12 городов на уровне префектур (Ухань, Хуанши, Шиян, Ичан, Сянъян, Эчжоу, Цзинмэнь, Сяогань, Цзинчжоу, Хуанган, Сяньнин, Суйчжоу), одна автономная префектура (Эньшуйская провинция Туцзя и Мяо), три муниципалитета, находящиеся в непосредственном подчинении администрации (Сяньтао, Цяньцзян и Тяньмэнь) и один лесной район (лесной район Шеннонцзя), в следующем анализе все именуемые города называются городами уровня префектуры. Административные единицы на уровне округов в Хубэй включают 39 муниципальных районов, 22 города на уровне округов (исключая три муниципалитета, находящихся непосредственно под управлением правительства провинции), 36 округов и два автономных округа (Рисунок 1). К концу 2018 года общая численность постоянного населения провинции составляла 5,9 × 107 с уровнем урбанизации 60,3%; общая протяженность дороги составила 2,75 × 105 км, из которых на высококачественные автомагистрали пришлось 3,56 × 104 км, а общий пассажиропоток - 9,87 × 108. Общий ВВП провинции в 2018 году составил 3,94 × 1012 юаней с коэффициентом прироста 7,8%.

Ухань, столица провинции, расположена в восточной части равнины Цзянхань и в среднем течении реки Янцзы. Город известен как "проезд девяти областей" из-за его национального всестороннего транспортного узла. Площадь земельного участка Ухани составляет 8,57 × 104 км2. К концу 2019 года численность зарегистрированного населения Ухани составляла 9,08 × 106, а численность текучего народонаселения - 5,10 × 106. К концу 2018 года в Ухани было 6,34 × 103 медицинских учреждений, 9,59 × 104 койко-мест, 7,48 больничных коек на 1 тысячу человек, 10,67 × 104 медицинских работников и 3,42 врача на тысячу человек. Уровень заболеваемости инфекционными болезнями A и B класса составил 18/104 человек в год.

1.2 Источники данных

Данные географической базовой карты на уровне провинций и префектур (2015 г.) были получены из Центра данных о ресурсах и окружающей среде Китайской академии наук, а данные базовой карты на уровне округа были получены с веб-сайта бывшего Национального бюро геодезии и картографии, и некоторые административные районы были отредактированы и обновлены в соответствии с последней стандартной картой (2018 г., загруженной из Департамента природных ресурсов Хубэй). Данные о земельной площади, населении, региональном ВВП и общих розничных продажах социальных потребительских товаров в городах и округах (районах, муниципалитетах) на уровне префектур в провинции Хубэй (2018 год, часть 2017 года) были получены из «Статистического ежегодника Хубэй, 2019 год», и из статистического ежегодника 2018 года для городов на уровне префектур; соответствующие данные за 2019 год не были собраны. Данные по миграционному индексу Baidu (с 17 января 2020 года по 1 февраля 2020 года) были получены с карты Smarteye (Baidu). Подтвержденные данные о случаях НКП по провинции Хубэй и ее 12 городам уровня префектуры, одного округа, трех городов прямого управления и одного лесного округа уровня префектуры были получены на официальном сайте провинциального комитета здравоохранения провинции Хубэй. За исключением данных об эпидемии НКП для округов (районов, городов), находящихся под юрисдикцией Уханя, Эчжоу и Цзинчжоу, данные для округов (районов, городов) под юрисдикцией других девяти городов уровня префектуры в провинции Хубэй можно найти в Интернете, а данные об эпидемии были получены на официальных сайтах муниципальных органов власти или на сайтах, связанных с ними комитетов по здравоохранению. Данные по подтвержденным случаям НКП на уровне провинций и данные по выздоровлениям и смертям, связанным с НКП, в городах на уровне префектуры в провинции Хубэй были собраны и предоставлены Meishuclass информационного агентства The Paper. После того, как соответствующие данные были отсортированы, ArcGIS использовалась для создания национальной (с акцентом на провинцию Хубэй) эпидемиологической геопространственной базы данных НКП.

1.3 Методы исследования

В этом исследовании сначала использовалась технология пространственной автокорреляции для проверки того, имеют ли число случаев в статистической области на уровне провинций, префектур и округов и в соседних областях существенные глобальные или локальные пространственные характеристики автокорреляции, которые были достигнуты с использованием пространственного статистического моделирования ArcGIS 10.7. Затем, SPSS

22 использовался для проведения статистического корреляционного анализа Пирсона с целью выявления корреляций между подтвержденными случаями НКП на уровне префектуры и округа и другими показателями, такими как население, экономика и окружающая среда, для изучения влияющих факторов.

Пространственная автокорреляция является исследовательским методом пространственного статистического анализа, который широко используется для изучения пространственного распределения населения [23-24], региональных экономических моделей [25], эпидемических ситуаций [181719] и городских тепловых сред [26] и может быть разделен на два метода: глобальная пространственная автокорреляция и локальная пространственная автокорреляция. В этом исследовании глобальная пространственная автокорреляция является мерой пространственных характеристик числа случаев во всем регионе. Он используется для анализа общей пространственной корреляции и пространственных различий в регионе. Глобальный индекс Морана I часто используется для измерения глобальной пространственной корреляции [25]. Диапазон значений индекса Морана I составляет [-1,1]. Если индекс Морана I является статистически положительным, в пространственном распределении существует положительная корреляция, и существует эффект пространственной кластеризации; в противном случае существует отрицательная пространственная корреляция. Если индекс Морана I равен нулю, имеет место быть случайное распределение. Статистический Z-показатель и p-значение должны быть объединены для определения статистической значимости. Локальная пространственная автокорреляция обычно характеризуется локальным Мораном I и Гетис-Орд Gi *. Локальный Моран I является разложением глобального Морана I на различные региональные единицы, также известные как локальные индикаторы пространственной ассоциации (LISA) [27]. Кластеризация ArcGIS и анализ аномалий (Anselin local Moran's I, ALMI) [27] используются для обнаружения локальных пространственных автокорреляционных характеристик случаев НКП и выявления областей с высокой / низкой значимостью кластеризации. Getis-Ord Gi * также используется для определения пространственной ассоциации между горячими точками и холодными точками со статистической значимостью [28] и для определения того, указывают ли количество случаев в каждом пространстве на агрегирование высокого или низкого значения.

ЭПИДЕМИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА НКП

В этом разделе анализируются характеристики вариаций временных рядов глобальной пространственной автокорреляции и локальной пространственной автокорреляции (кластеризация и аномалия, точки доступа Гетиса-Орда) эпидемии НКП в провинции Хубэй по трем шкалам: на уровне провинции, префектуры и округа.

2.1 Пространственный автокорреляционный анализ вспышек НКП на уровне провинций по всей стране

Результаты глобального пространственного автокорреляционного анализа показали, что с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года не было значительных глобальных пространственных автокорреляций в совокупных подтвержденных случаях НКП в различных провинциях (муниципалитетах и автономных регионах) по всей стране. ($p > 0,05$, $Z < 1,96$).

Результаты анализа Морана I (ALMI) Anselin (Рисунок 2) на локальном уровне показали, что с 19 января 2020 года по 18 февраля 2020 года провинция Хубэй была значительным аномальным районом совокупных подтвержденных случаев НКП по всей стране (надежность 95%) и что некоторые окружающие провинции были значительными регионами с низкой аномалией. Результаты анализа горячих точек (Getis-Ord Gi *) (рисунок 3, другие даты не указаны) также показали, что с 19 января 2020 года по 18 февраля 2020 года провинция Хубэй была единственной чрезвычайной областью горячих точек (достоверность 99%) по кумулятивно подтвержденным случаям НКП на уровне провинций по всей стране. Результаты локального пространственного автокорреляционного анализа показали, что провинция Хубэй имела наиболее существенную статистику эпидемии НКП на уровне провинции.

2.2 Пространственный автокорреляционный анализ вспышек НКП на уровне префектур.

Из рисунка 4 видно, что с 19 января 2020 года по 22 января 2020 года не было значительной глобальной пространственной автокорреляции в кумулятивных случаях, подтвержденных на уровне префектур по всей стране ($p > 0,05$, $Z < 1,96$), что может быть связано с ограниченными национальными отчетами о подтвержденных случаях НКП в городах на уровне префектур за этот период. 23 января 2020 г. произошла значительная глобальная пространственная автокорреляция ($p < 0,05$, $Z > 1,96$). С 24 января 2020 года по 18 февраля 2020 года наблюдалась чрезвычайно значительная глобальная пространственная автокорреляция ($p < 0,01$, $Z > 2,58$); это указывало на то, что случаи НКП на уровне префектур имели весьма существенную особенность агрегации. Индекс Морана I на рисунке 4 отображал две фазы: начальное увеличение, а затем снижение около 30 января 2020 года, что указывает на то, что 30 января

2020 года был поворотным моментом в глобальной пространственной автокорреляции (индекс Морана I) совокупных подтвержденных случаев НКП на уровне префектур по всей стране.

Результаты ALMI показали, что с 19 января 2020 года по 18 февраля 2020 года в провинции Хубэй наблюдалось чрезвычайно большое количество очагов инфекции, а в некоторых городских округах провинции Хубэй имелись районы с незначительном высоким количеством. На рисунке 5 показано, что 18 февраля 2020 года 13 городских округов, а именно Ухань, Сяоган, Хуанган, Эчжоу, Хуанши, Сяньнин, Суйчжоу, Сяньян, Цзинмэнь, Ичан, Цзинчжоу, Тяньмэнь и Сяньтао в провинции Хубэй, представляли собой значительные кластерные районы с большим количеством подтвержденных случаев НКП. Синьян в провинции Хэнань, Чанша в провинции Хунань и Наньчан в провинции Цзянси также были чрезвычайно опасными очаговыми районами. В то же время, некоторые районы, расположенные в непосредственной близости от этих городов, были районами с незначительно-высоким количеством очагов инфекции.

Результаты анализа горячей точки (Getis-Ord Gi *) (рисунок 6, другие даты не указаны) показали, что провинция Хубэй с 19 января по 18 февраля 2020 года Ухань являлась чрезвычайно опасной областью в плане совокупно подтвержденных случаев НКП на уровне префектур (достоверность 99%, рис. 6a-6d). 24 января 2020 года город Хуанганг стал значительной горячей точкой (доверие 95%) из-за увеличения совокупных подтвержденных случаев НКП; 25 января она стала чрезвычайной горячей точкой (доверие 99%), а 8 февраля вернулась на значительную область горячих точек (доверие 95%, рисунок 6c) Из-за резкого увеличения числа подтвержденных случаев ПНК в Ухане после 12 февраля, город Хуанган стал районом с незначительным количеством горячих точек. 28 января 2020 г. совокупное увеличение числа подтвержденных случаев НКП в г. Сяогань сделало город зоной со значительным количеством горячих точек (доверие 95%, Рисунок 6b); 29 января он стал зоной с чрезвычайно большим количеством горячих точек (доверие 99%), а 11 февраля - с большим количеством горячих точек" (доверие 95%). После 12 февраля Сяогань стал районом с незначительным количеством из-за резкого увеличения числа подтвержденных случаев НКП в Ухане. Хотя в других городах провинции Хубэй также было большое количество подтвержденных случаев НКП по сравнению с другими внутренними городами, в них не имелось большого количества горячих точек из-за чрезмерно большого совокупного числа подтвержденных случаев НКП в Ухане. Это говорит о том, что Ухань был городом с самой интенсивной эпидемией НКП в провинции Хубэй и в стране, так же как и Хуанган и город Сяоган в течение определенного периода времени.

2.3 Пространственный автокорреляционный анализ вспышек НКП на уровне округов в провинции Хубэй

Поскольку данные об эпидемии НКП на уровне округов были временно недоступны, были собраны данные наиболее серьезных вспышек эпидемии НКП в провинции Хубэй. Однако данные об эпидемии НКП на уровне округов для Уханя, Эчжоу и Цзинчжоу провинции Хубэй отсутствовали, поэтому были собраны только данные об эпидемии НКП на уровне округов. Для устранения избыточных статистических данных по Ухани, Цзинчжоу и Эчжоу, совокупные подтвержденные случаи НКП были взвешены по населению местных округов (городов, районов) для проведения пространственного автокорреляционного анализа. Мы выбрали для анализа данные НКП на уровне округов по провинции Хубэй за период с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года.

Результаты глобального пространственного автокорреляционного анализа (рис.7) показали, что с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года совокупные подтвержденные случаи НКП в провинции Хубэй на уровне округов имели чрезвычайно значительную пространственную автокорреляцию ($p<0,01$, $Z>2,58$) и что Глобальный индекс Морана I и Z-балл увеличились с 31 января, что указывает на то, что эпидемия НКП на уровне округов в провинции Хубэй имела очень значительные агрегационные и распределительные характеристики и что пространственная автокорреляция становилась все более интенсивной. Сравнивая рис. 7 и рис.4, можно обнаружить, что общая пространственная автокорреляция эпидемии НКП на уровне округа в провинции Хубэй была значительно выше, чем у эпидемии НКП на уровне округов, и что тенденции с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года также отличались. Это свидетельствует о том, что пространственный масштаб оказывает значительное влияние на глобальную пространственную автокорреляцию эпидемии НКП.

Результаты ALMI (Рисунок 8, в других случаях пропущенные) показали, что с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года были значительные кластеры и аномальные области относительно кумулятивных подтвержденных случаев НКП на уровне округов в Хубэй ($p<0,05$); 12 районов Ухани и соседний район Сяонань и город Ханьчжуань (город Сяоган) были значительными районами с высоким уровнем кластеризации (Рисунок 8). Район Ухани Ханьнань и его округ Хунъань (город Хуанган), район Хуарун и район Лянчжу (город Чжоу) были значительными районами с низкими отклонениями, и большинство окружных административных районов на юго-западе Хубэй были районами со значительно низким количеством кластеров. Это указывало на то, что эпидемия НКП на уровне округов в Ухане в этот период была серьезной. Примечательно, что в районе Силин города Ичан с 30 января по 9 февраля 2020 г. наблюдалось весьма низкая аномалия (Рис. 8), что указывает на то, что совокупное число подтвержденных случаев заболевания НКП в этом округе

было значительно выше, чем в его окрестностях. В соседних округах и районах эпидемия НКП была относительно серьезной по сравнению с прилегающими районами; в период с 10 февраля 2020 года по 18 февраля 2020 года аномальных признаков не наблюдалось, что указывало на то, что эпидемия НПК в регионе за этот период была относительно снижена.

Результаты анализа "горячих точек" (Getis-Ord Gi*), основанном на обратном расстоянии (Рис. 9), показали, что с 30 января 2020 г. по 18 февраля 2020 г. чрезвычайно значительными "горячими точками" (99% доверия) и значительными "горячими точками" (95% доверия) относительно совокупных подтвержденных случаев НКП на уровне округов провинции Хубэй были основные городские районы в Ухане, округе Хуанхуа и Цзянсиа, а также соседний округ Хуанчжоу. С точки зрения развития временных рядов, произошли также некоторые изменения в горячих точках кумулятивных подтвержденных случаев НКП на уровне округов в Ухане, которые не будут описаны здесь. Вкратце, результаты анализа локальной пространственной автокорреляции показали, что районы, находящимися под юрисдикцией Ухани, являются территории с наиболее серьезными случаями НКП на уровне округов в провинции Хубэй. Хотя число подтвержденных случаев НКП в других округах провинции Хубэй было относительно высоким, они не считались "горячими точками", так как число подтвержденных случаев НКП среди этих округов в Ухане было слишком большим.

ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ ЭПИДЕМИИ НКП

Эпидемия НКП в провинции Хубэй была серьезной, с сосредоточенными вспышками и замкнутой пространственной корреляцией. Для изучения причин пространственно-временных изменений эпидемии НКП и влияющих факторов мы проанализировали следующие три аспекта на уровне округов и районов эпидемии НКП в провинции Хубэй: природу (площадь суши), общество (зарегистрированное население, постоянное население, плотность населения и индекс миграции Байду) и экономику (региональный ВВП и общий объем розничных продаж потребительских товаров).

3.1 факторы влияния вспышек НКП на уровне префектур в провинции Хубэй

Таблица 1 Результаты корреляции кумулятивных подтвержденных случаев НКП на уровне городских округов провинции Хубэй

Факторы	кумулятивные подтвержденные случаи НКП						
	1/30/2020	2/2/2020	2/6/2020	2/10/2020	2/14/2020	2/18/2020	значение[#]
Земельная площадь	-0.007	0.004	-0.032	-0.049	-0.065	-0.070	-0.056

плотность населения	0.813**	0.807**	0.819**	0.823**	0.818**	0.819**	0.820**
зарегистрированное население	0.696**	0.709**	0.671**	0.643**	0.605*	0.598*	0.623**
Постоянное население	0.837**	0.846**	0.819**	0.799**	0.770**	0.765**	0.785**
Индекс миграции Байду	0.916**	0.900**	0.912**	0.918**	0.942**	0.940**	0.931**
региональный ВВП	0.949**	0.951**	0.950**	0.952**	0.951**	0.950**	0.952**
Общий объем розничных продаж социальных потребительских товаров	0.970**	0.972**	0.970**	0.970**	0.966**	0.965**	0.969**

метка ** указывает на то, что корреляция является значительной, когда достоверность (двойной тест) равна 0,01; метка * указывает на то, что корреляция значительная, когда достоверность (двойной тест) равна 0,05; метка.# относится к среднему совокупному количеству подтвержденных случаев НКП за 20 дней с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года.

НКП - это новое инфекционное заболевание, и механизм его передачи до сих пор неясен [29]. Анализ с позиций природы, общества и окружающей среды может помочь получить представление о факторах влияния эпидемии НКП и механизме передачи инфекции. Результаты корреляционного анализа Пирсона (табл.1, Данные пропущены для внесения других дат) показали, что с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года (20 дней) кумулятивные подтвержденные случаи НКП на уровне префектуры провинции Хубэй имели чрезвычайно значимую положительную корреляцию с пятью показателями (плотность населения, постоянное население, миграционный индекс Байду, региональный ВВП и общий объем розничных продаж потребительских товаров (P<0,01)) и чрезвычайно значимую положительную корреляцию с зарегистрированным населением с 30 января 2020 года по 13 февраля 2020 года (P<0,01). С 14 февраля 2020 года по 18 февраля 2020 года корреляция была значимой и положительной (P<0,05), в то время как корреляция с площадью суши не была значительной. Чтобы исключить возможную нестабильность данных, для корреляционного анализа с вышеперечисленными семью показателями был использован средний

кумулятивный показатель подтвержденных случаев НКП на уровне префектуры провинции Хубэй с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года (20 дней). Из таблицы 1 видно, что это среднее значение имело чрезвычайно значительную и положительную корреляцию с плотностью населения, индексом миграции Байду, региональным ВВП и общим объемом розничных продаж потребительских товаров (P<0,01), а также чрезвычайно значимую положительную корреляцию с численностью постоянного населения и зарегистрированным населением (P<0,01). Корреляция с размером территории не была существенной.

Судя по коэффициентам корреляции кумулятивных подтвержденных случаев НКП на уровне префектуры провинции Хубэй (табл. 1), плотность населения, миграционный индекс Байду, региональный ВВП и общий объем розничных продаж потребительских товаров были выше 0,8, что является экстремальным уровнем корреляции, свидетельствующим о том, что приток населения и социально-экономическое развитие оказали значительное влияние на распространение эпидемии НКП; тенденции зарегистрированного населения и постоянного населения были устойчивыми. То есть с 30 января 2020 года по 2 февраля 2020 года наблюдалась тенденция возрастания, а затем снижения вплоть до 18 февраля. До 9 февраля 2020 года коэффициент корреляции постоянного населения был больше 0,8-экстремальный уровень корреляции, а затем он колебался от 0,6 до 0,8-сильный уровень корреляции. Коэффициент корреляции для зарегистрированного населения составлял от 0,6 до 0,8 в течение 20 дней, что указывает на сильную корреляцию. Это показало, что количество людей также является фактором влияния, который нельзя игнорировать при распространении эпидемии НКП. Чем более мобильны люди и чем выше плотность населения, тем выше риск заражения новым коронавирусом.

На рисунке 10 показано, что индекс миграции Байду в городах Ухань, Сяоган и Хуанган провинции Хубэй был значительно выше, чем в других городах, что было сопоставимо с текущими статистическими результатами интенсивности эпидемии НКП в городах Сяоган и Хуанган по сравнению с другими городами провинции Хубэй. Ухань, как столица провинции Хубэй, имеет сильное влияние на окружающие города [30], а его связь через движение [31] и экономические связи [32] с Сяоганем, Хуанганом, Цзинчжоу и Сяньнингом также выше, чем с другими городами. Следовательно, между Уханью и этими городами имелись многочисленные кадровые и коммерческие контакты, что увеличивало шансы передачи и распространения нового коронавируса.

Результаты корреляционного анализа Пирсона (сокращенная таблица) показали, что с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года (20 дней) корреляции между количеством вновь подтвержденных случаев заболевания в городских округах провинции Хубэй и плотностью населения, постоянно проживающим населением, региональным ВВП и общим объемом розничных

продаж потребительских товаров были положительными и чрезвычайно значимыми (P<0,01). С 30 января 2020 года по 3 февраля 2020 года, корреляция между количеством вновь подтвержденных случаев заболевания в городских округах провинции Хубэй и зарегистрированным населением была положительной и чрезвычайно значимой (P<0,01). С 3 февраля 2020 года по 18 февраля 2020 года корреляция была положительной и чрезвычайно высокой (P<0,05). С 30 января 2020 года по 6 февраля 2020 года корреляция между количеством вновь подтвержденных случаев заболевания в городских округах провинции Хубэй и зарегистрированным населением была положительной и чрезвычайно значимой (P<0,01), а с 7 февраля 2020 года по 18 февраля 2020 года-положительной умеренно значимой (P<0,05). С 30 января 2020 г. по 11 февраля 2020 г. она имела чрезвычайно сильную положительную корреляцию с индексом миграции Байду (p <0,01), а с 12 февраля 2020 г. по 18 февраля 2020 г. эта связь была нестабильной, что может быть связано с вновь подтвержденными случаями, в том числе и с чрезмерно клинически подтвержденными случаями. Корреляция с размером территории не была значительной.
С 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года (20 дней) корреляции между средним числом вновь подтвержденных случаев НКП на уровне префектуры провинции Хубэй и плотностью населения, индексом миграции Байду, региональным ВВП и общим объемом розничных продаж социальных потребительских товаров были положительными и чрезвычайно значимыми (P<0,01). Корреляция между средним числом вновь подтвержденных случаев НКП на уровне префектуры провинции Хубэй и постоянным населением была положительной и чрезвычайно значимой, а корреляция между средним числом вновь подтвержденных случаев НКП на уровне префектуры провинции Хубэй и зарегистрированным населением-положительной и умеренно значимой (P<0,05); корреляция с размером территории не была значимой.

Примечание: ** указывает, что корреляция значима, когда достоверность (двойной тест) составляет 0,01; * указывает, что корреляция значима, когда достоверность (двойной тест) составляет 0,05. # Относится к среднему значению совокупных подтвержденных случаев НКП за 20 дней с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основываясь на общедоступных эпидемических данных, в этом исследовании использовались методы пространственного анализа ГИС для систематического анализа пространственной автокорреляции вспышек НКП на уровне провинций, префектур и округов, а также изучались факторы влияния с использованием корреляционного анализа Пирсона.

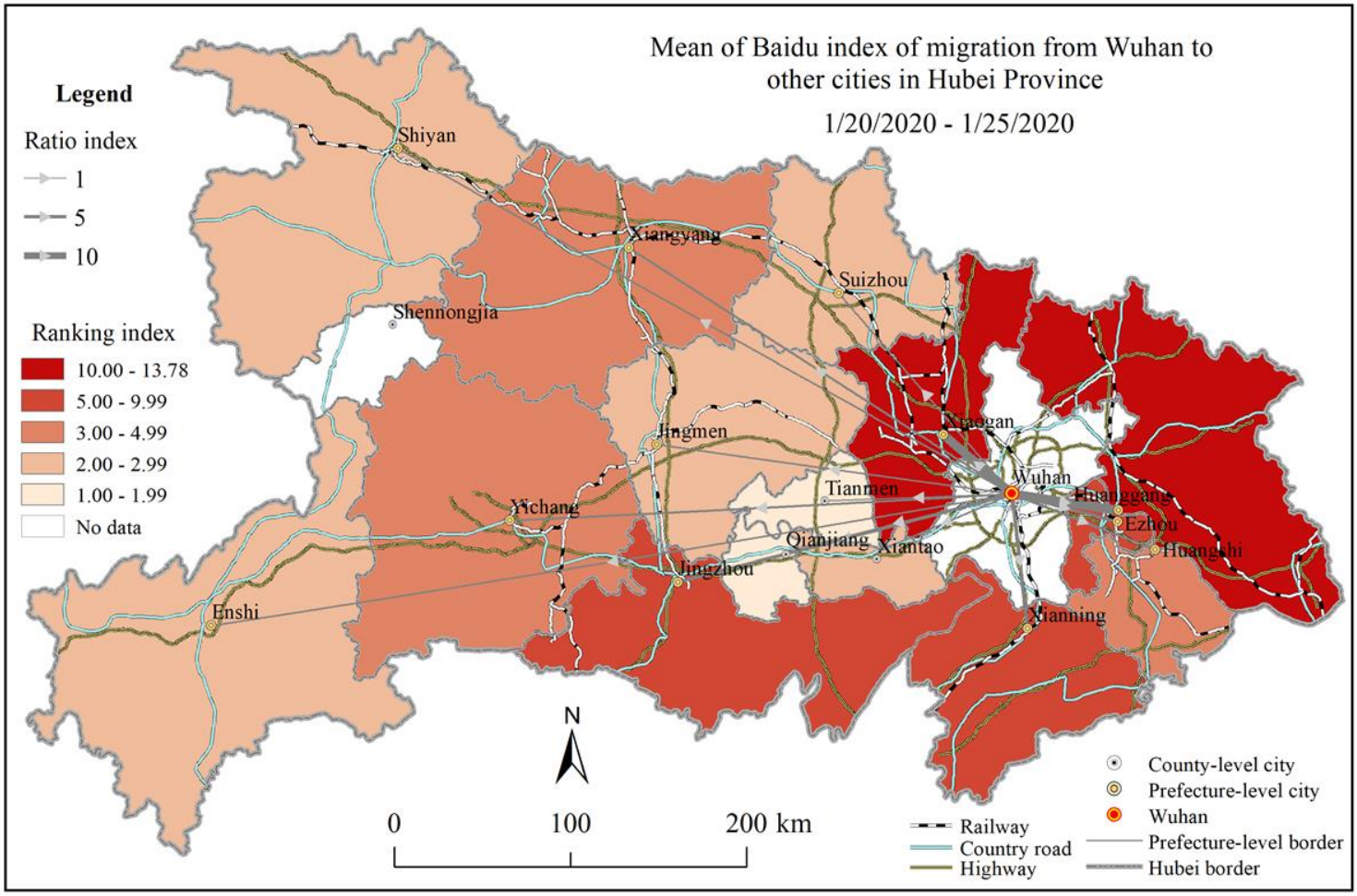
Исследование показало, что пространственный масштаб значительно повлиял на глобальную пространственную автокорреляцию эпидемии НКП.

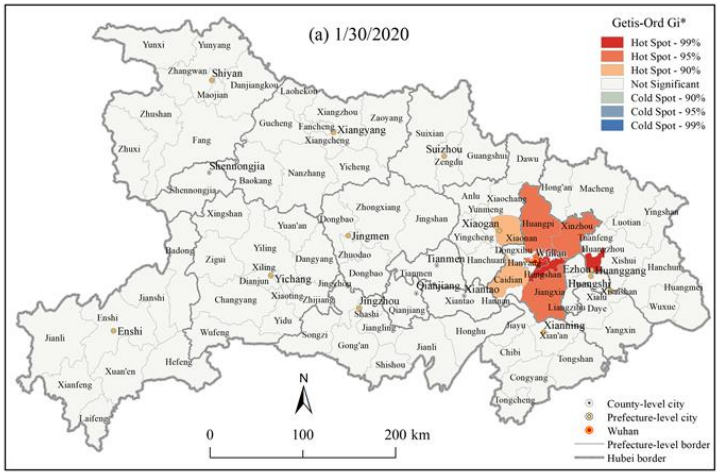
Кумулятивные подтвержденные случаи НКП на уровне провинций, префектур и округов имели значительные локальные пространственные характеристики автокорреляции и кластеризации, но не было глобальной пространственной автокорреляции на уровне провинций. Глобальная пространственная автокорреляция кумулятивно подтвержденных случаев НКП на уровне округов в провинции Хубэй была значительно выше, чем на уровне префектуры, и тенденции к быстрому распространению эпидемии НКП с 30 января 2020 года по 18 февраля 2020 года были тоже разные. Кумулятивно подтвержденные случаи НКП имели значительные локальные кластерные характеристики, а именно, региональные характеристики вспышек. Это указывает на то, что во время вспышки и распространения эпидемии НКП необходимо было сосредоточиться на лечении наиболее серьезно затронутых районов, проведении классифицированного социального управления и оказании медицинской помощи для обеспечения научной профилактики и контроля и точной реализации политики.

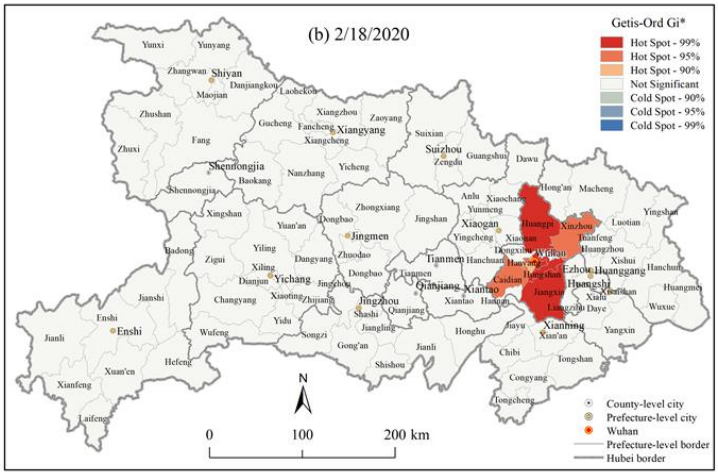
Распространение эпидемии НКП связано не только с природной средой, населением и социально-экономической деятельностью, но и тесно связано с профилактикой эпидемии и борьбой с ней. Информация, касающаяся эпидемии НКП, долгое время не предавалась гласности, а правильные меры раннего предупреждения и предварительного контроля не принимались своевременно. Была упущена лучшая возможность "раннего выявления, раннего сообщения, ранней изоляции и раннего лечения", что привело к быстрой и концентрированной вспышке эпидемии. Большое число людей, переехавших до традиционного китайского праздника весны, также ускорило распространение эпидемии. В данном исследовании изучались последствия эпидемии НКП и корреляция между кумулятивными подтвержденными случаями НКП и семью показателями, тесно связанными с природной средой, населением и социально-экономической деятельностью, такими как земельная площадь, зарегистрированное население, постоянно проживающее население, плотность населения, индекс миграции Байду, региональный ВВП и общий объем розничной торговли потребительскими товарами. Были получены некоторые знания, но они не являются всеобъемлющими или достаточно глубокими. Результаты показали наличие существенной корреляции между эпидемией НКП, населением и экономикой, которая заслуживает дальнейшего рассмотрения. Это указывает на то, что меры по профилактике и борьбе с эпидемией, ограничивающие передвижение населения и контролирующие экономический обмен, были правильными и необходимыми для предотвращения дальнейшего распространения эпидемии.

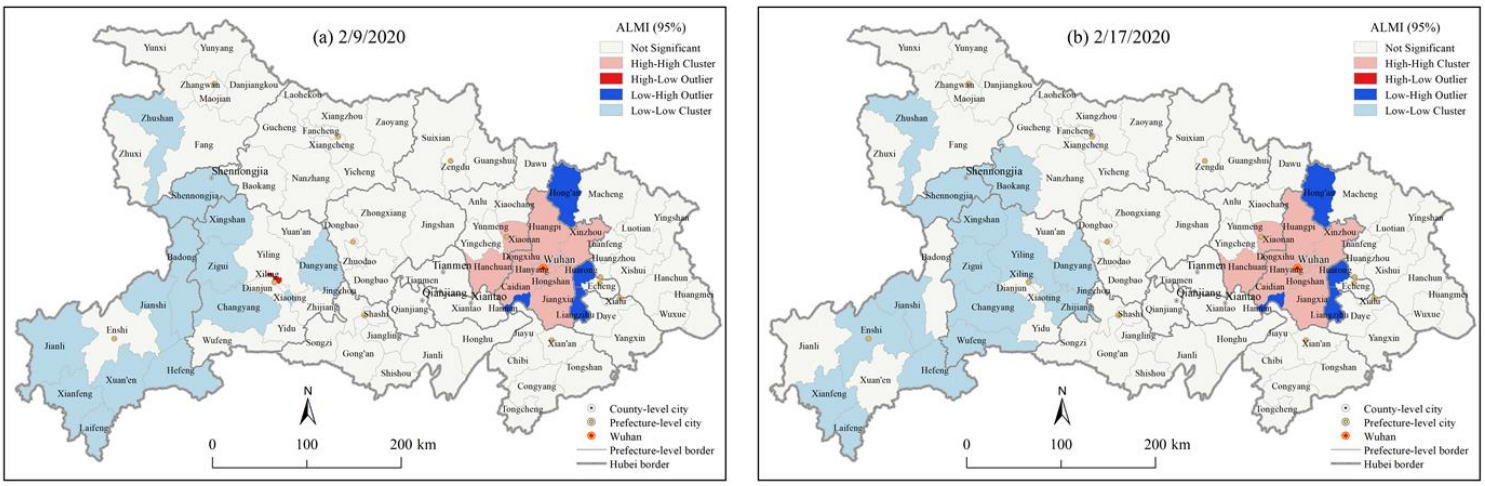
Открытость, прозрачность и обмен данными об эпидемии имеют важное значение для предотвращения эпидемий, борьбы с ними и научных исследований. Ограниченный доступностью данных, анализ пространственно-

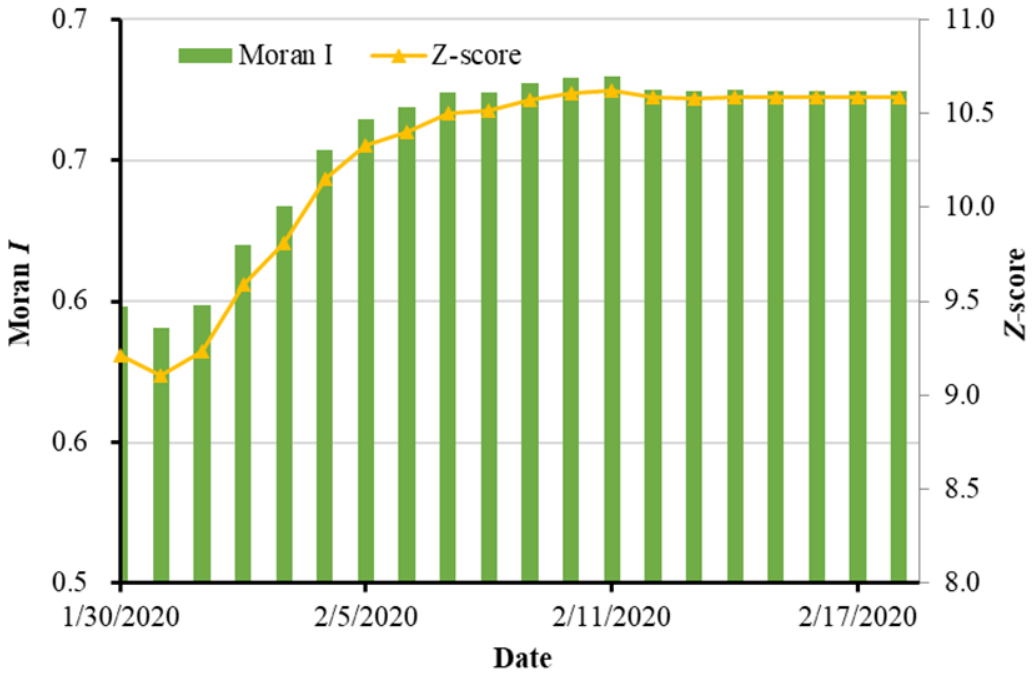
временных характеристик эпидемии НКП в масштабе округов в этом исследовании не является исчерпывающим. В будущих исследованиях мы продолжим обновлять соответствующие данные и анализировать механизмы воздействия эпидемии, социальных, экономических и экологических показателей НКП на уровне провинций, префектур и округов (даже городов и улиц) более всеобъемлющим и углубленным образом. Мы будем проводить эпидемиальное пространственно-временное моделирование НКП на основе GTWR и географических детекторов для дальнейшего изучения схемы пространственного распределения и тенденции распространения НКП и предоставим более точные и надежные рекомендации для принятия решений для научной профилактики и борьбы с эпидемией нового коронавируса.

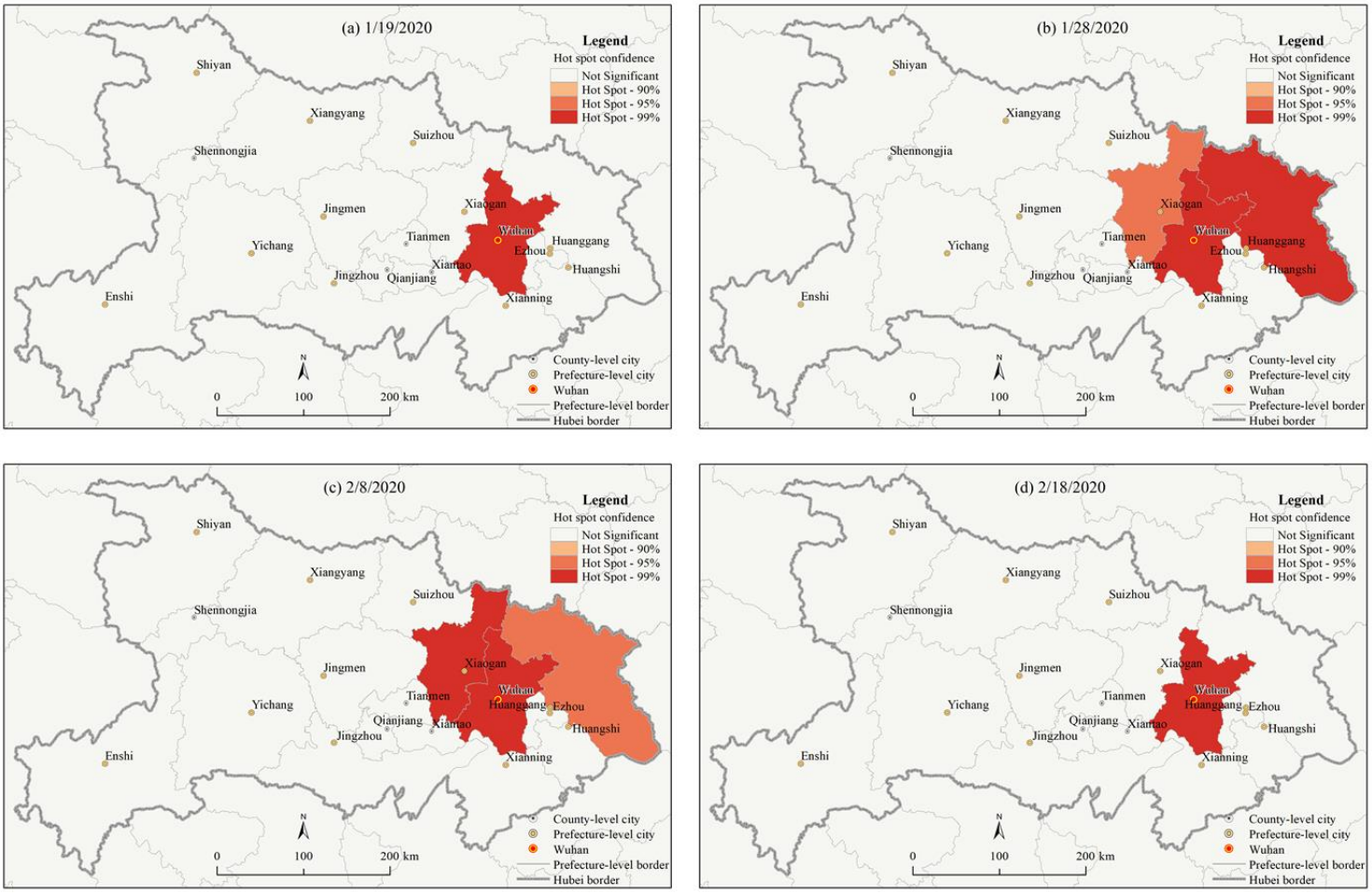

Mean of Baidu index of migration from Wuhan to other cities in Hubei Province
1/20/2020 - 1/25/2020
Legend
Ratio index
1
5
10
Ranking index
10.00 - 13.78
5.00 - 9.99
3.00 - 4.99
2.00 - 2.99
1.00 - 1.99
No data
Shiyan
Xiangyang
Suizhou
Shennongjia
Xiaogan
Jingmen
Wuhan
Tianmen
Huanggang
Yichang
Ezhou
Qianjiang
Xiantao
Huangshi
Jingzhou
Enshi
Xianning
N
0
100
200 km
County-level city
Prefecture-level city
Wuhan
Railway
Country road
Highway
Prefecture-level border
Hubei border

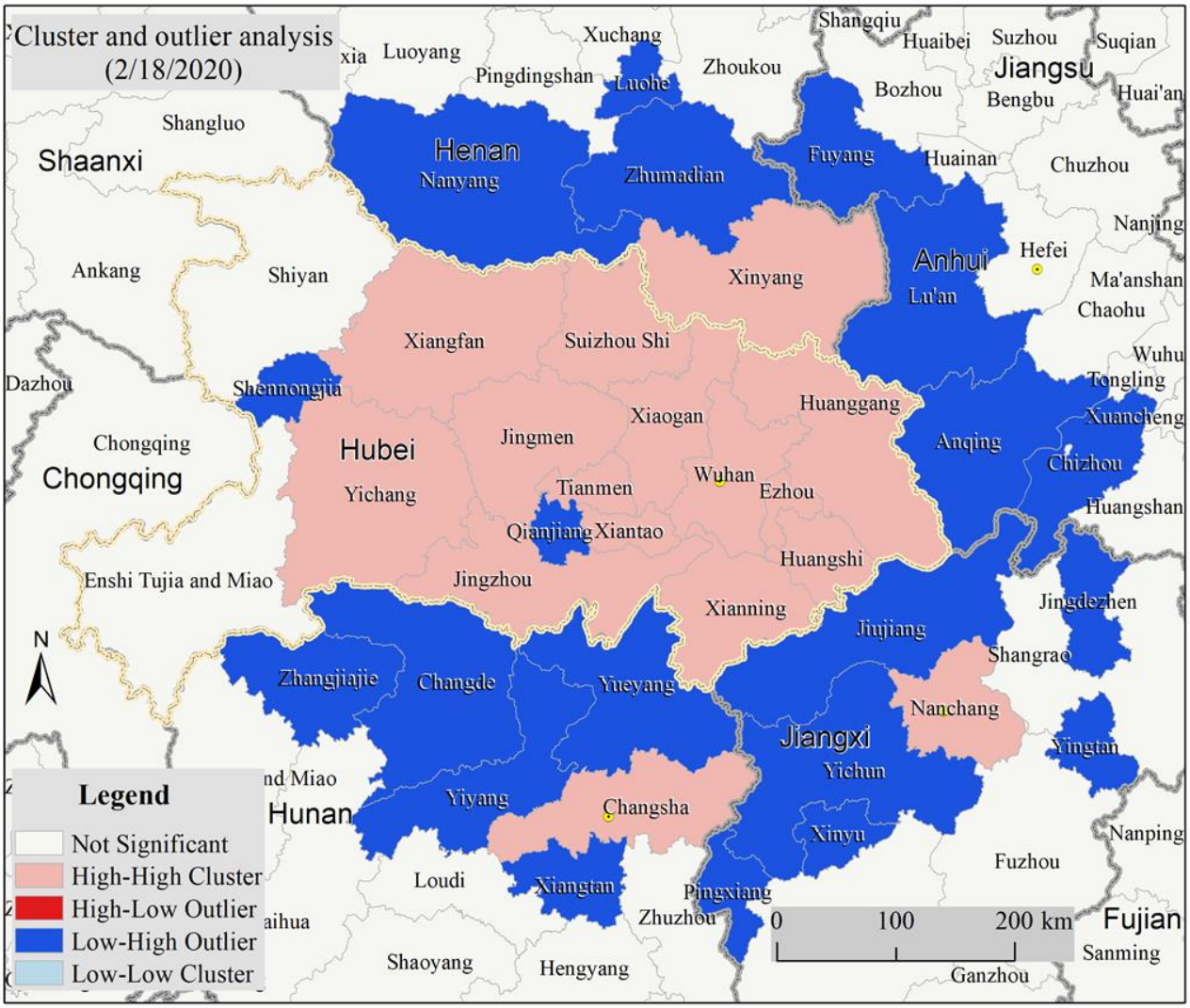

(a) 1/30/2020
Getis-Ord Gi*
Hot Spot - 99%
Hot Spot - 95%
Hot Spot - 90%
Not Significant
Cold Spot - 90%
Cold Spot - 95%
Cold Spot - 99%
N
0
100
200 km
County-level city
Prefecture-level city
Wuhan
Prefecture-level border
Hubei border

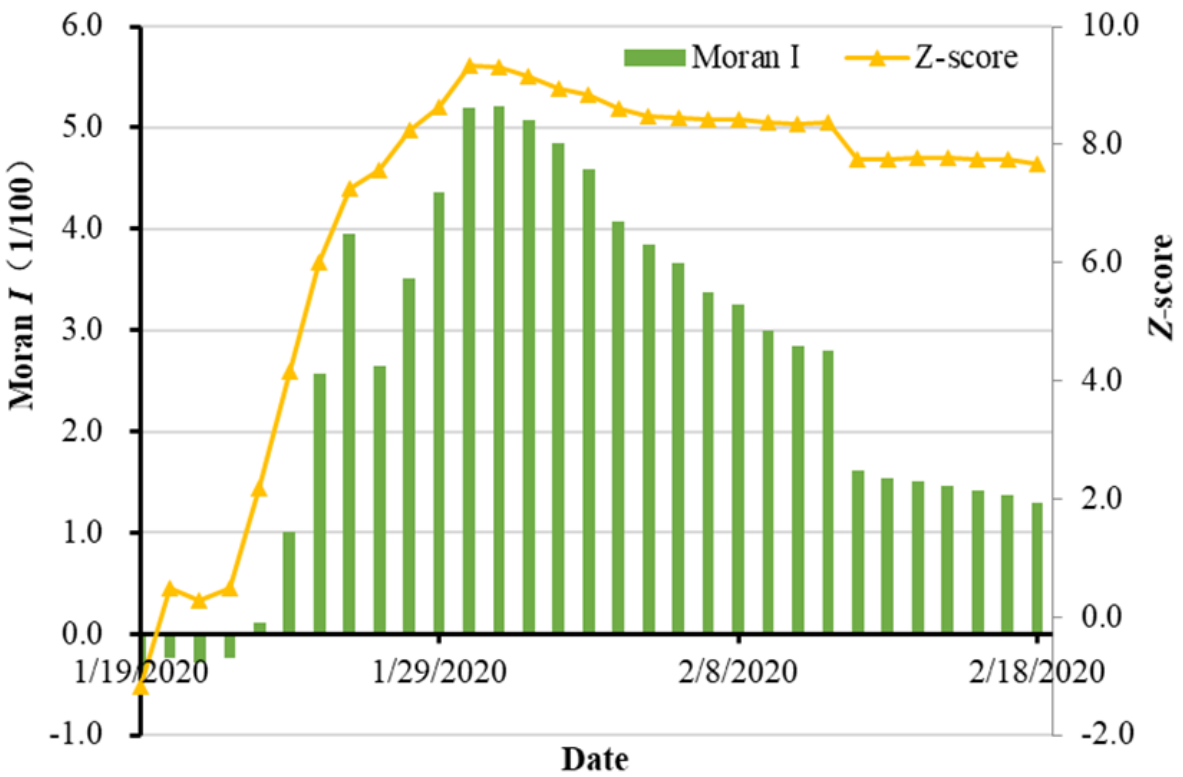

(b) 2/18/2020
Getis-Ord Gi*
Hot Spot - 99%
Hot Spot - 95%
Hot Spot - 90%
Not Significant
Cold Spot - 90%
Cold Spot - 95%
Cold Spot - 99%
N
0
100
200 km
County-level city
Prefecture-level city
Wuhan
Prefecture-level border
Hubei border

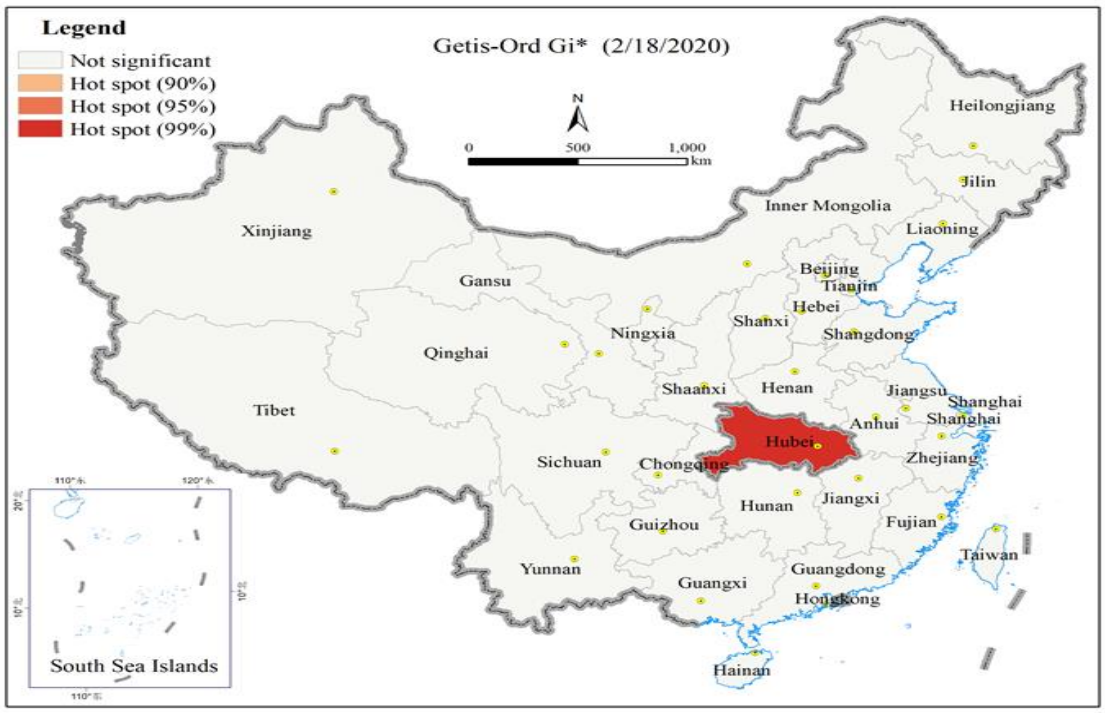

(a) 2/9/2020
(b) 2/17/2020
ALMI (95%)
Not Significant
High-High Cluster
High-Low Outlier
Low-High Outlier
Low-Low Cluster
County-level city
Prefecture-level city
Wuhan
Prefecture-level border
Hubei border
N
0
100
200 km

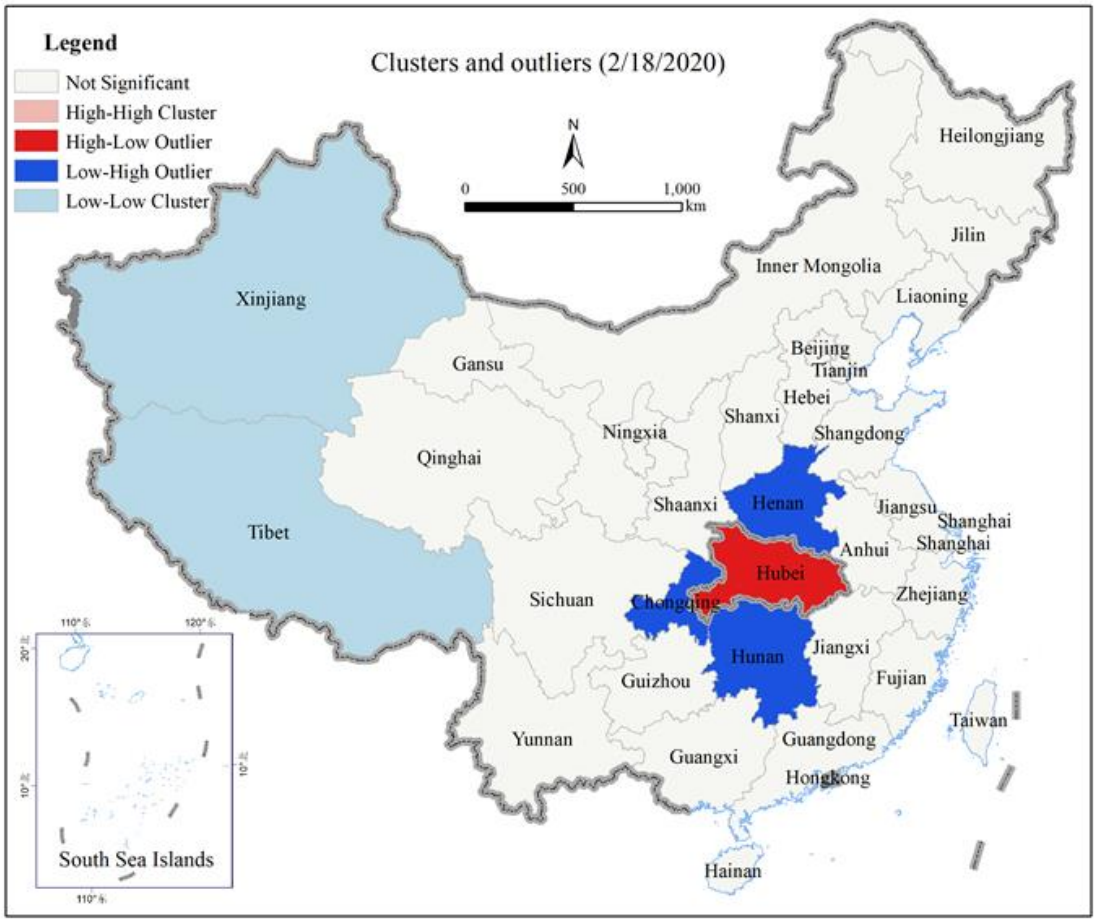

Moran I
Z-score
0.7
0.7
0.6
0.6
0.5
11.0
10.5
10.0
9.5
9.0
8.5
8.0
1/30/2020
2/5/2020
2/11/2020
2/17/2020
Date

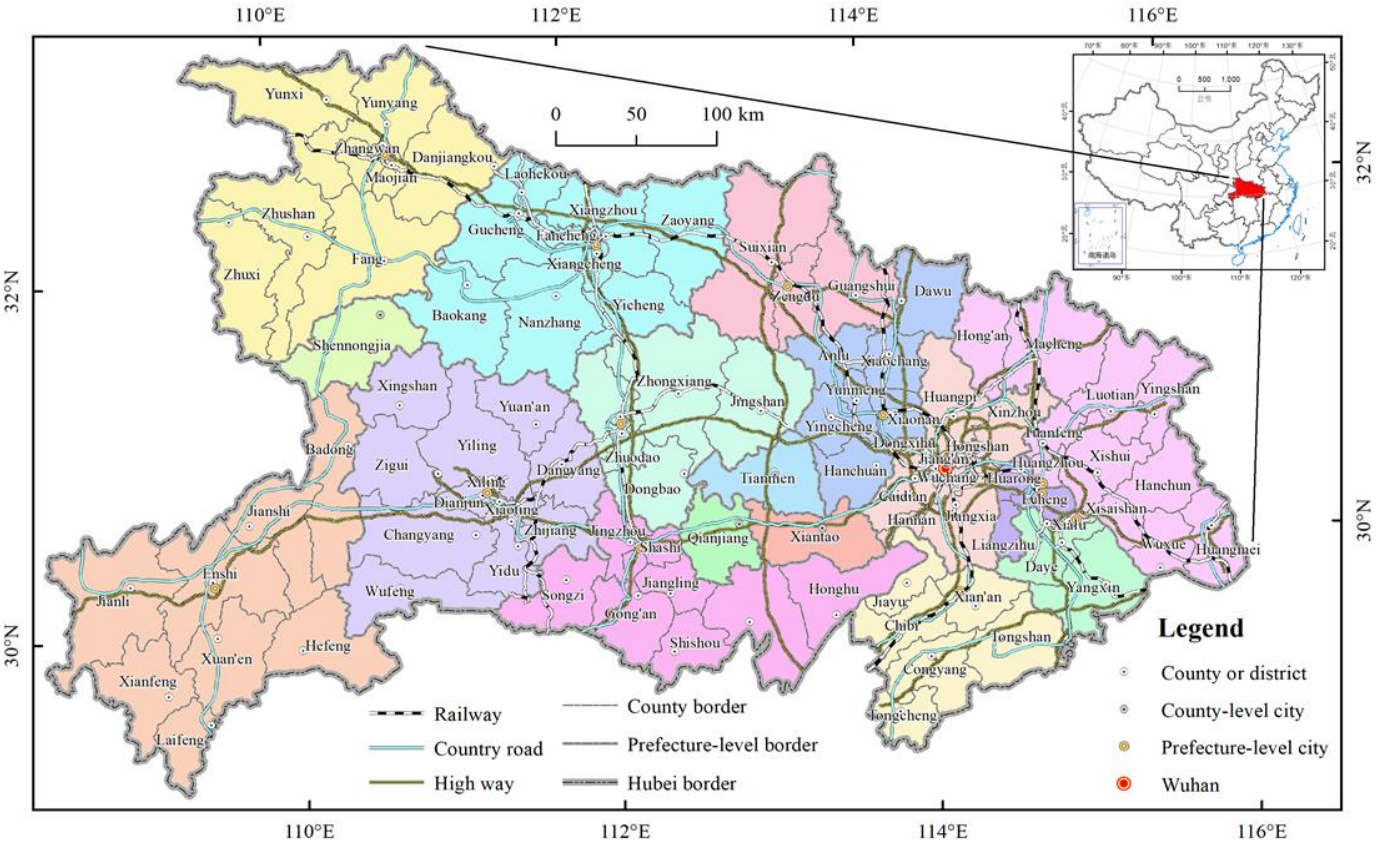

(a) 1/19/2020
(b) 1/28/2020
(c) 2/8/2020
(d) 2/18/2020
Legend
Hot spot confidence
Not Significant
Hot Spot - 90%
Hot Spot - 95%
Hot Spot - 99%
Shiyan
Xiangyang
Suizhou
Shennongjia
Jingmen
Xiaogan
Wuhan
Tianmen
Huanggang
Ezhou
Yichang
Xiaotao
Huangshi
Jingzhou
Qianjiang
Enshi
Xianning
N
0
100
200 km
County-level city
Prefecture-level city
Wuhan
Prefecture-level border
Hubei border


Cluster and outlier analysis
(2/18/2020)
Shaanxi
Shangluo
Luoyang
Pingdingshan
Xuchang
Luohe
Zhoukou
Shangqiu
Huaibei
Suzhou
Suqian
Jiangsu
Bozhou
Bengbu
Huai'an
Henan
Nanyang
Zhumadian
Fuyang
Huainan
Chuzhou
Nanjing
Anhui
Hefei
Lu'an
Ma'anshan
Chaohu
Ankang
Shiyan
Xinyang
Xiangfan
Suizhou Shi
Wuhu
Tongling
Dazhou
Shennongjia
Huanggang
Xiaogan
Xuancheng
Chongqing
Hubei
Jingmen
Anqing
Chizhou
Chongqing
Yichang
Tianmen
Wuhan
Ezhou
Huangshan
Qianjiang
Xiantao
Huangshi
Enshi Tujia and Miao
Jingzhou
Xianning
Jingdezhen
Jiujiang
Shangrao
N
Zhangjiajie
Changde
Yueyang
Nanchang
Jiangxi
Yingtan
Yichun
Legend
Not Significant
High-High Cluster
High-Low Outlier
Low-High Outlier
Low-Low Cluster
Hunan
Yiyang
Changsha
Xinyu
Nanping
Fuzhou
Loudi
Xiangtan
Pingxiang
Zhuzhou
0
100
200 km
Fujian
Sanming
Shaoyang
Hengyang
Ganzhou


Moran I
Z-score
Moran I（1/100）
Z-score
Date
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
-1.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
1/19/2020
1/29/2020
2/8/2020
2/18/2020


Legend
Not significant
Hot spot (90%)
Hot spot (95%)
Hot spot (99%)
Getis-Ord Gi* (2/18/2020)
N
0
500
1,000
km
Heilongjiang
Jilin
Inner Mongolia
Liaoning
Xinjiang
Gansu
Beijing
Tianjin
Hebei
Shanxi
Shangdong
Ningxia
Qinghai
Shaanxi
Henan
Jiangsu
Shanghai
Shanghai
Tibet
Anhui
Hubei
Zhejiang
Sichuan
Chongqing
Hunan
Jiangxi
Fujian
Guizhou
Taiwan
Yunnan
Guangdong
Guangxi
Hongkong
Hainan
South Sea Islands


Legend
Not Significant
High-High Cluster
High-Low Outlier
Low-High Outlier
Low-Low Cluster
Clusters and outliers (2/18/2020)
N
0
500
1,000
km
Heilongjiang
Jilin
Inner Mongolia
Liaoning
Xinjiang
Gansu
Beijing
Tianjin
Hebei
Shanxi
Ningxia
Shangdong
Qinghai
Shaanxi
Henan
Jiangsu
Shanghai
Shanghai
Tibet
Anhui
Hubei
Zhejiang
Sichuan
Chongqing
Hunan
Jiangxi
Fujian
Guizhou
Taiwan
Yunnan
Guangdong
Guangxi
Hongkong
Hainan
South Sea Islands



110°E
112°E
114°E
116°E
32°N
30°N
0
50
100 km
Yunxi
Yunyang
Zhangwan
Danjiangkou
Maojian
Laohekou
Zhushan
Gucheng
Fancheng
Xiangzhou
Zaoyang
Suixian
Fang
Zhuxi
Xiangcheng
Zengdu
Guangshui
Dawu
Baokang
Nanzhang
Yicheng
Shennongjia
Anlu
Xiaochang
Hong'an
Macheng
Xingshan
Zhongxiang
Jingshan
Yunmeng
Huangpi
Luotian
Yingshan
Yuan'an
Xiaonan
Xinzhou
Yingcheng
Tuanfeng
Badong
Yiling
Dongxihu
Hongshan
Zigui
Zhuodao
Jiang'an
Huangzhou
Xishui
Dangyang
Tianmen
Hanchuan
Wuchang
Huarong
Xiling
Dongbao
Caidian
Luheng
Hanchun
Dianjun
Xiaoting
Jianshi
Hannan
Jiangxia
Xisaishan
Changyang
Zhijiang
Jingzhou
Shashi
Qianjiang
Xiantao
Xialu
Liangzihu
Wuxue
Huangmei
Enshi
Yidu
Daye
Jianli
Wufeng
Songzi
Jiangling
Honghu
Jiayu
Xian'an
Yangxin
Gong'an
Chibi
Hefeng
Shishou
Tongshan
Xuan'en
Congyang
Xianfeng
Tongcheng
Laifeng
Railway
Country road
High way
County border
Prefecture-level border
Hubei border
Legend
County or district
County-level city
Prefecture-level city
Wuhan