
Инфраструктура

ВЫЯВЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СВЯЗЕЙ ГОРОДОВ В РОССИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЮ COVID-19

К. В. РОСТИСЛАВ
Ю. Ю. ПОНОМАРЕВ

В статье проведен анализ относительной значимости российских городов в системе расселения и возможных эффектов от ограничения транспортных связей с точки зрения противодействия распространению пандемии COVID-19 на территории страны. Ограничение перемещения в пределах наиболее важных с точки зрения транспортных связей городов увеличит дистанцию между жителями страны и может сдержать распространение заболеваемости, улучшить возможности по ее контролю и помочь сосредоточить ресурсы для помощи больным с тяжелыми случаями. Ограничение связи с одной только Москвой – наиболее эффективная на уровне субъектов Федерации или отдельных городов изоляционная мера в борьбе с распространением коронавируса, так как резко увеличивает среднюю дистанцию между жителями страны.

Ключевые слова: сеть дорожных связей, система расселения, сценарный анализ, COVID-19.

Введение

Значимость любого города зависит не только от числа его жителей, но и от его места в системе расселения страны в целом. Целостность этой системы обеспечивают дорожные связи между городами. Так как дороги образуют сеть, место в ней городов можно оценить с точки зрения теории графов. Такой сетевой анализ раскрывает, какие города не только из-за своего размера, но также из-за места в сети дорожных связей страны в наибольшей степени влияют на распределение потоков людей и товаров.

Благодаря графу дорожных связей можно оценить, как близки друг к другу жители разных населенных пунктов. С одной стороны, это говорит о возможных внешних выгодах от общения, например через переток знаний, но, с другой стороны, от такой близости зависит и угроза распространения неблагоприятных явлений, в частности новой коронавирусной инфекции: чем ближе люди друг к другу, чем

больше их в некоторой окрестности, тем выше скорость распространения инфекции.

Сознательное вмешательство в устройство дорожных связей изменяет расстояние между жителями разных поселений. Борьба с распространением коронавируса во главу угла ставит задачу ограничения числа контактов. Соответствующие меры пострадавшие от нового коронавируса страны принимали на разных уровнях и различными способами: от закрытия государственной границы до перевода максимально возможного числа жителей страны на домашнюю работу с введением карантинного режима. Тем не менее внутри пораженной страны продолжали существовать очаги заболеваемости. Часто это были крупнейшие города, которые к тому же сосредоточивают в себе транспортные потоки: Нью-Йорк в США, Милан в Италии или Москва в России.

С этой точки зрения временное закрытие, как в случае с Уханем в КНР, городов – очагов заболеваемости, наиболее значимых с точки

Ростислав Кирилл Владимирович, младший научный сотрудник РАНХиГС при Президенте Российской Федерации (Москва), e-mail: rostislav-kv@ganepa.ru; Пономарев Юрий Юрьевич, заведующий лабораторией инфраструктурных и пространственных исследований РАНХиГС при Президенте Российской Федерации; старший научный сотрудник Института экономической политики имени Е.Т. Гайдара, канд. экон. наук (Москва), e-mail: ponomarev@ranepa.ru

зрения распределения потоков людей, увеличивает дистанцию между жителями страны и может сдерживать распространение инфекции.

Место городов в системе расселения жителей страны с учетом конфигурации транспортных потоков отражают показатели центральности городов в графе дорожных связей, с помощью которого можно рассмотреть различные по жесткости сценарии применения ограничительных мер и оценить, насколько существенным будет изменение дистанции между жителями страны при ограничении поездок в Москву и другие города, наиболее значимые с точки зрения их транспортно-географического положения.

Методы и данные

Место города в сети дорожных связей мы оценивали с помощью показателей центральности, которые могут отражать следующие аспекты:

1) насколько город связан с другими городами, т.е. вовлечен в дорожную сеть страны (центральность по соседству);

2) в какой степени город является посредником между крупными группами других городов страны, т.е. контролирует потоки между ними (центральность по посредничеству);

3) насколько легко из рассматриваемого города добраться до других городов (центральность по близости).

Эти три стороны центральности охарактеризовал в статье 1978 г. Линтон Фриман [4].

Для оценки центральности по соседству и центральности по посредничеству мы представляли город одной точкой. Дорожной связью мы считали такой путь по автодорогам между двумя городами, который не проходит через какой-либо третий город. Граф охватывал города России с числом жителей больше 10 тыс.

Для оценки центральности по соседству мы использовали простейшую меру — степень вершины (число инцидентных вершине ребер, т.е.

число (долю, если показатель нормируется) городов, с которыми у данного города есть прямая дорожная связь). Хотя эта мера в большей степени носит локальный характер, чем другие, но при этом она и в большей степени отражает «важность» вершины (города). Так, последовательное удаление из графа вершин с наиболее высокими степенями разрушает сеть быстрее, чем последовательное удаление вершин по другим, менее локальным мерам центральности [5].

Оценка центральности по посредничеству показывает, какая доля кратчайших маршрутов между парами других городов проходит через данный город:

$$c_i^B = \sum_{j \neq k, j \neq i, k \neq i} \frac{g_{jik}}{g_{jk}}, \quad (1)$$

где c_i^B — центральность по посредничеству города i ; g_{jik} — число кратчайших маршрутов из города j в город k , которые проходят через город i ; g_{jk} — общее число разных кратчайших маршрутов из города j в город k .

Нормированную на число вершин в графе центральность по посредничеству определяю как

$$\tilde{c}_i^B = \frac{2c_i^B}{N^2 - 3N + 2}, \quad (2)$$

где \tilde{c}_i^B — нормированная центральность по посредничеству города i ; c_i^B — ненормированная центральность по посредничеству города i ; N — число вершин в главной компоненте (1035), т.е. в крупнейшей части графа, в которой все вершины связаны между собой хотя бы одним ребром.

В дорожной сети центральная по посредничеству вершина — это «узкое горлышко»: город, который непосредственно соединяет части страны и может влиять на потоки людей и товаров.

Наши оценки центральности по близости исходят из того, что если представить каждый город несколькими точками или точками с разными весами, то можно оценить, каково среднее расстояние между жителями разных

населенных пунктов в одном субъекте Федерации или в стране в целом. За основу для расчетов мы взяли формулу гармонической центральности:

$$c_i^H = \sum_{j \in G/i} \frac{1}{d_{ij}}, \quad (3)$$

где G – множество вершин в графе; d_{ij} – расстояние между вершинами i и j [8]. По виду это среднее гармоническое расстояние между точками, показывающее, каково среднее расстояние от одной вершины до всех других. Формула гармонического среднего позволяет работать и с графом, в котором есть части, не связанные с основной частью вершин (Калининградская область, Норильск и Дудинка). С точки зрения аксиоматического подхода к мерам центральности гармоническая центральность – лучший показатель и единственная мера, которая удовлетворяет всем аксиомам [6].

Чтобы учесть, что населенные пункты, субъекты Федерации и страна в целом не одна точка, мы используем следующую формулу:

$$\tilde{c}_i^H = \sum_{i \in I} \sum_{j \in G/i} a_i a_j \frac{1}{d_{ij}}, \quad (4)$$

где \tilde{c}_i^H – новая мера гармонической центральности для I – множества вершин в городе, субъекте Федерации, стране или в любых других заданных исследователем границах; G – множество всех вершин в графе; d_{ij} – расстояние между вершинами i и j ; a_i и a_j – веса вершин i и j соответственно.

Вес вершины определяется отношением числа жителей в населенном пункте к числу вершин, его представляющих. Мы заполняли вершинами границы населенных пунктов так, чтобы плотность точек на единицу их площади была примерно одинакова для разных населенных пунктов. Теоретически можно обойтись без весов, но в таком случае число точек в границах каждого населенного пункта должно быть в точности пропорциональным числу его жителей. При таком подходе требуется намного больше вершин в графе, из-за чего

сложность расчетов очень быстро возрастает и их проведение становится невозможным в разумные сроки.

Представляя населенные пункты множественными вершинами, мы учитываем, что жители не сосредоточены в одном месте населенного пункта, а находятся в разных его частях и, следовательно, могут быть далеко друг от друга. В рамках получившегося графа учтены все населенные пункты (не только городские, но и сельские: в некоторых станицах живет больше 40 тыс. человек) с числом жителей больше 10 тыс., кроме населенных пунктов Крымского полуострова. Более широкий охват, чем для оценок центральности по соседству и посредничеству, возможен потому, что при этом требуются лишь расстояния между вершинами, а не маршруты между ними (т.е. все возможные комбинации последовательностей вершин и ребер в графе, которые связывают две рассматриваемые вершины) – благодаря этому нет необходимости точно знать, какова конфигурация автомобильных дорог, что упрощает вычисления.

Источники сведений о числе жителей – данные Росстата, в частности бюллетени «Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям» [1] и таблицы переписи 2010 г. (для сельских населенных пунктов с числом жителей больше 10 тыс.) [2]. Данные о границах городов, расстояниях между ними (в метрах) и затратах времени на поездку (в секундах) взяты из открытой базы данных OpenStreetMap [7] и получены с помощью сервиса Open Source Routing Machine [6].

Результаты оценок

Центральность по соседству

У большей части городов показатель нормированной степени очень высок – более 0,6. (См. рис. 1.) Такие города формируют пространственное ядро страны – по существу это основная полоса расселения на юге, однако усеченная по линии Ростов-на-Дону – Волгоград, а на востоке – по линии Новосибирск –

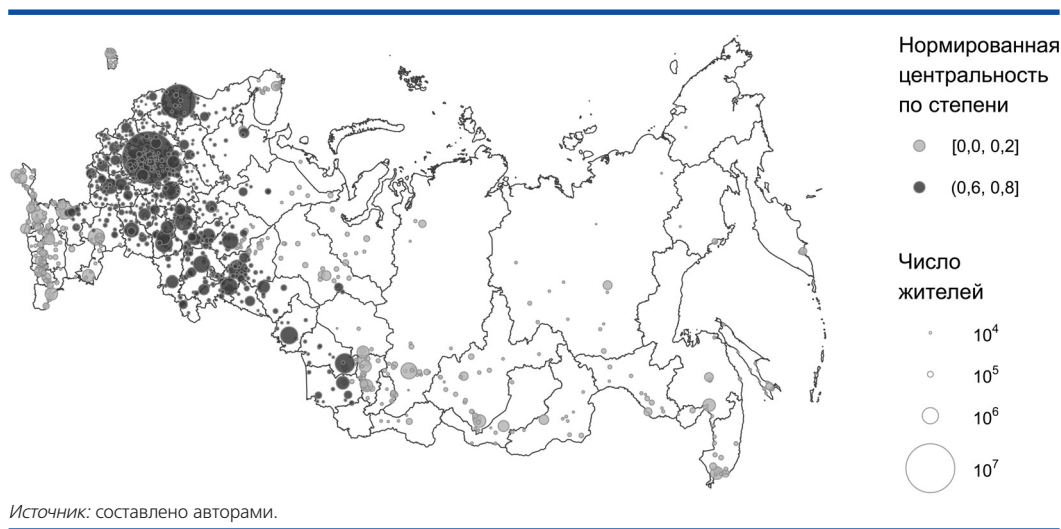
Барнаул — Бийск — Горно-Алтайск. Обычно в основную полосу включают весь Юг России, а на востоке заканчивают ее Кемеровской областью и Хакасией. С другой стороны, к основной полосе, характеризующейся наибольшей плотностью населения, не относят Архангельскую область, Республику Коми и Ханты-Мансийский автономный округ. Однако мы видим, что с точки зрения дорожной сети границы у описанного ядра несколько иные: несмотря на низкую плотность населения, в него входят все города Архангельской области и часть городов Коми (до Ухты на северо-востоке), а из городов Ханты-Мансийского автономного округа связанностью с другими городами выделяется Нижневартовск.

Особую группу составляют города с низкими значениями рассчитанного показателя степени, расположенные в равнинной части основной полосы расселения, — пригороды-спутники, входящие в городские агломерации: Реутов, Мытищи и Котельники у Москвы, Дзержинск у Нижнего Новгорода, Северодвинск у Архангельска, Заречный у Пензы и т.д. С другой стороны, в окрестностях Ростова-на-Дону

все наоборот: у Новочеркасска и Шахт рассчитанные показатели степени намного выше, чем у Ростова-на-Дону или Таганрога. Ростов-на-Дону и Волгоград выделяются среди других городов-миллионников тем, что у них мало прямых дорожных связей: в междуречье нижнего течения Волги и Дона связи на себе замыкает меньший по размерам Волгоград. Слабо связан дорогами с другими городами России Сочи.

Поскольку в описанном выше ядре почти все города связаны друг с другом прямой автодорогой, контроль над поездками для сдерживания распространения коронавируса в этой части страны обеспечить крайне сложно. Поэтому альтернативой здесь может быть организация контроля поездок через отдельные наиболее значимые с точки зрения показателей центральнойности города (центры). С одной стороны, это города-посредники, через которые проходят кратчайшие пути, с другой — расположенные особенно близко к другим центрам расселения города, которые в силу своей людности и места в дорожной сети страны «сближают» население, «стягивают» его вокруг себя.

Рис. 1. Распределение городов по показателю центральнойности по степени, нормированной на общее число вершин в графе



Центральность по посредничеству

По полученным оценкам, наиболее значимые с точки зрения показателя центральности по посредничеству города образуют одну ось: Москва – Владимир – Нижний Новгород – Чебоксары – Казань – Набережные Челны – Уфа – Челябинск – Курган – Омск – Новосибирск. (На рис. 2 показаны 20 городов с самой высокой центральностью по посредничеству.) Примечательно, что этот показатель у небольших городов между Уфой и Челябинском выше, чем, например, у Казани, которая в список первых 20 городов не вошла. Этот коридор через Уральские горы (участок федеральной автодороги М5 «Урал») – «узкое горлышко» в сообщении страны: оно соединяет по кратчайшему пути европейскую и азиатскую части России. У более северных Екатеринбургa и Перми посредничество в данном отношении слабое: путь через них к главным центрам Европейской России намного длиннее. Несмотря на близость двух городов, Йошкар-Ола

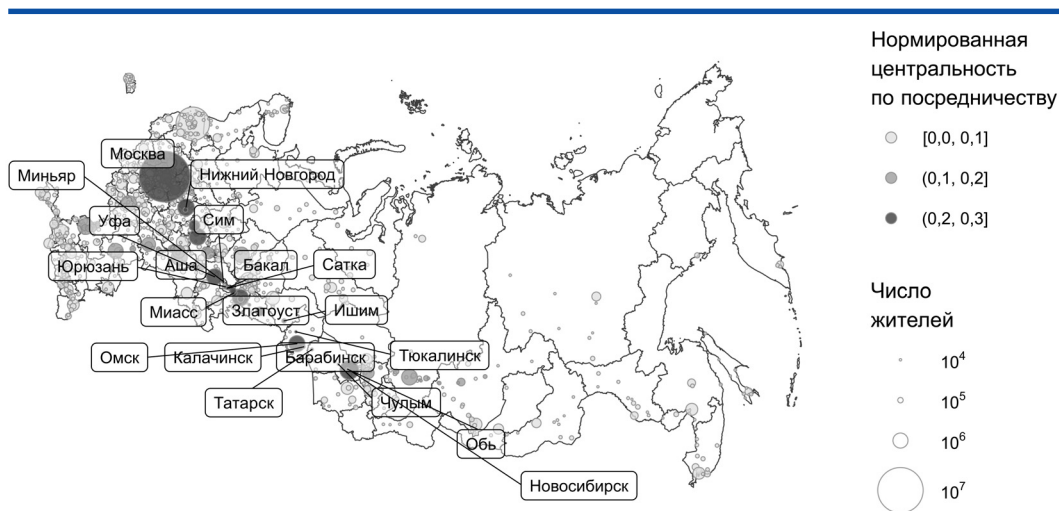
в гораздо меньшей степени влияет на распределение потоков, чем расположенные от нее всего в 70 км Чебоксары.

К главной оси городов-посредников с Юга России примыкают две второстепенные оси: одна на Москву от Ростова-на-Дону через Воронеж, а другая от Волгограда через Саратов и Самару к Казани и Уфе. На востоке главную ось продолжают Кемерово – Красноярск – Братск, но уже у Иркутска важных для страны в целом функций посредника нет. На Дальнем Востоке важнейшие посредники – Хабаровск и Тында (Амурская область), но из-за слабой населенности Дальнего Востока на карте страны их роль едва заметна.

Слабый посредник – второй по числу жителей город страны Санкт-Петербург, но у расположенной между столицами Твери центральность по посредничеству высокая.

Так как города-посредники управляют главными потоками людей в стране, они представляют собой и самое уязвимое место для рас-

Рис. 2. Распределение городов России с точки зрения их центральности как посредников в распределении транспортных потоков



Примечание. Названия приведены для первых 20 городов с наибольшими значениями показателя центральности по посредничеству.

Источник: составлено авторами.

пространения инфекционных заболеваний. Следовательно, ограничение поездок через главную ось городов-посредников – эффективное средство для снижения скорости распространения по городам страны инфекционных заболеваний. Такое ограничение в наибольшей мере увеличит ожидаемые затраты времени на поездки и, соответственно, ослабит стимулы их совершать вообще.

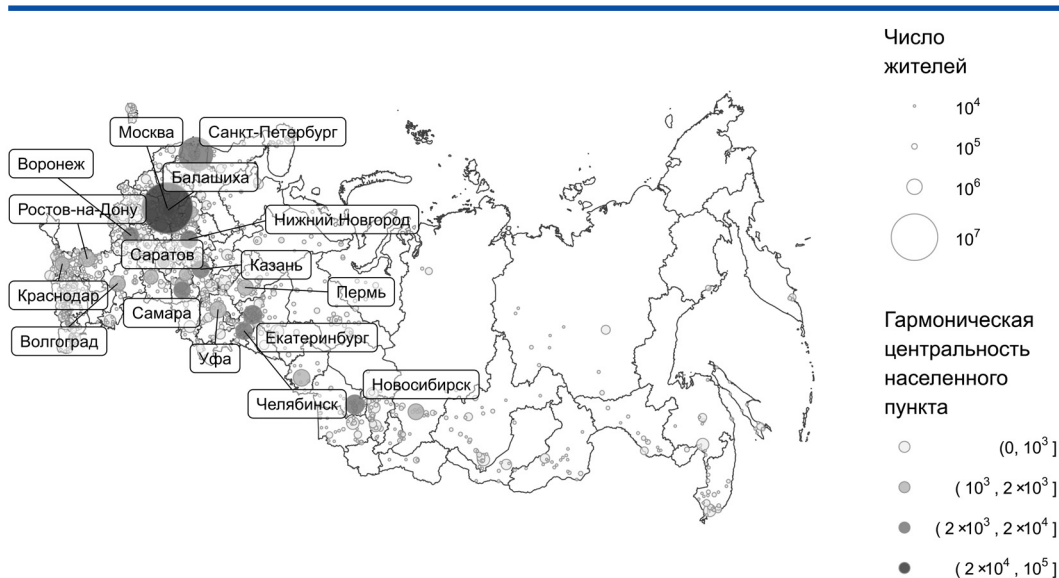
Центральность по близости

Иное понимание значимости городов в сети дорог дает центральность по близости. В эпидемиологии интенсивность взаимодействия людей друг с другом и, соответственно, плотность населения является одним из важнейших факторов распространения инфекционных заболеваний. Но плотность населения сама по себе не характеризует способ расселения. Во-первых, она не говорит о численности населения: в городе со 100 тыс. жителей и в неболь-

шом городке с 5 тыс. жителей из-за одинакового способа застройки может быть одинаковая плотность населения. Во-вторых, при том же числе жителей и их плотности в каком-либо субъекте Федерации может быть один крупный город или несколько городов поменьше. В-третьих, даже при том же распределении жителей по городам плотность населения не говорит о том, как далеко друг от друга расположены города одного региона или от городов других регионов. Или еще точнее: как близко друг к другу находятся люди (а не просто города, поскольку в городах разное число жителей). Это особенно важно, если рядом расположены крупнейшие центры. Используемый нами показатель гармонической центральности по близости устраняет эти недостатки. (Распределение городов с точки зрения гармонической центральности показано на рис. 3.)

Важное отличие гармонической центральности от центральности по посредничеству

Рис. 3. Распределение городов России по показателю гармонической центральности



Примечание. Названия приведены для первых 20 городов с наибольшими значениями показателя гармонической центральности, который отражает близость их жителей друг к другу и к жителям других населенных пунктов России.

Источник: составлено авторами.

состоит в том, насколько велики различия между городами: гармоническую центральность мы показываем на логарифмической шкале, а центральность по посредничеству — на обычной. Это объясняется исключительно малой дистанцией между жителями Москвы и (в намного меньшей степени) Санкт-Петербурга.

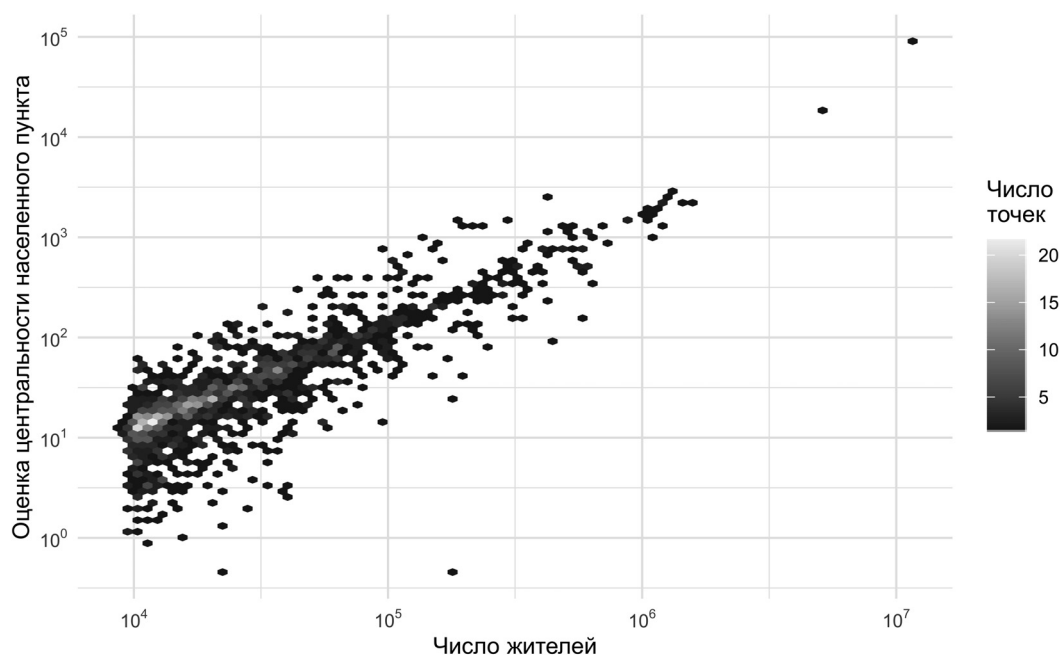
В остальном порядок крупных городов по гармонической центральности в общем совпадает с их порядком по числу жителей, поскольку жители крупного города близки к другим жителям того же города. В этом смысле крупный город сам определяет свое географическое положение. Впрочем, есть исключения. Челябинск из-за более близкого положения к другим крупным населенным пунктам опережает с точки зрения центральности по близости более крупную Уфу; у Новосибирска из-за его удаленности от основной

массы населения России меньше центральность, чем, например, у Твери, Пензы, Ульяновска, Рязани, Тулы и, тем более, у миллионного Воронежа.

Намного сильнее различия между небольшими населенными пунктами. Выгода (или опасность, если речь идет о распространении заболеваний) их расположения зависит от близости и людности других населенных пунктов. (Наглядно эта связь представлена на рис. 4.)

Из-за особенностей взаимного расположения городов распределение их центральности более симметрично, чем распределение числа их жителей. (См. рис. 5.) Это значит, что даже небольшие населенные пункты могут иметь большое значение, так как в их окрестностях может жить много людей. По существу, речь идет о спутниках крупных городов, составляющих вместе с ними агломерации.

Рис. 4. Связь между оценкой гармонической центральности (близости городов к другим населенным пунктам страны) и численностью их населения



Источник: составлено авторами.

Так, из-за близости к Москве исключительно высоки показатели центральности по близости у Мытищ, Химок, Люберец, Подольска, Королёва и особенно у Балашихи. С другой стороны, это означает, что если такая влияние — эффект, производимый близостью другого крупного города, то центральность спутников резко падает после ограничения их связи с ядром агломерации, что, при прочих равных, должно ограничивать распространение коронавируса или любой другой инфекции за пределы главного города.

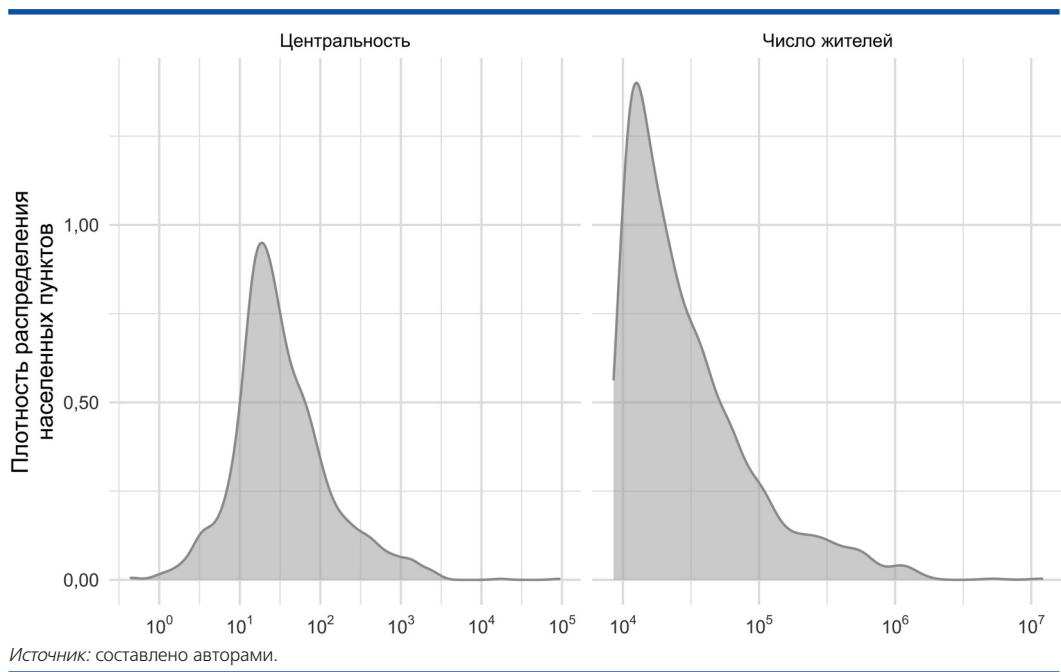
Тем же способом, что и для населенных пунктов, можно оценить центральность/близость к центрам расселения целых субъектов Федерации. Оценки в таком разрезе важны, поскольку не только столица региона определяет его место в стране. Кроме того, в силу федеративного устройства России решения о введении ограничений на поездки принима-

ются субъектами Федерации, а не для отдельных городов. (Результаты таких оценок представлены на рис. 6.) Наиболее важные с этой точки зрения субъекты Федерации — Москва, Санкт-Петербург, Нижегородская область, Татарстан, Свердловская и Челябинская области, Башкортостан, Самарская и Ростовская области, Краснодарский край.

Сценарии ограничения связей между наиболее центральными с точки зрения близости городами страны

Социальное дистанцирование, карантин, изоляция территорий — одни из наиболее эффективных мер противодействия распространению коронавирусной инфекции. Все они направлены на ограничение социальных контактов. Одной из наиболее жестких мер, которая применяется в отдельных странах, является ограничение массового перемещения насе-

Рис. 5. Сравнение распределений населенных пунктов по их гармонической центральности и числу жителей



Источник: составлено авторами.

ния между отдельными территориями и городами. В рамках статьи мы провели сценарный анализ ограничения перемещения между городами, наиболее значимыми с точки зрения близости к местам скопления населения, т.е. с точки зрения оцененной гармонической центральности.

В данных о заболеваемости новым коронавирусом (на 11 апреля 2020 г.) еще не была видна связь между центральностью субъектов Федерации и зарегистрированным там числом случаев заболевания на 100 тыс. жителей. Причиной этого может быть большая роль случайности в возникновении первых заболевших, их завозная (заграничная) природа. Тем не менее, несмотря на короткий срок регистрации, заметна слабая положительная связь между скоростью распространения коронавируса в субъектах Федерации и их центральностью – скученностью жителей и их близостью к другим центрам расселения в стране. (См. рис. 7.)

Чтобы оценить изменения в дистанции между жителями страны в целом, в формуле (4) мы приравнивали множество вершин I к множеству вершин всего графа G , но исключали из рассмотрения d_{ij} , если или i или j (но

не обе вершины сразу) лежат в границах города, въезд и выезд из которого ограничен.

На рис. 8 показано, как изменяется средний показатель близости жителей страны по мере ограничения сообщения поочередно с первыми 200 наиболее центральными городами. Средняя оценка падает только при ограничении связи с первыми 16 городами, после чего дальнейшие ограничения в масштабе страны не приводят к увеличению средней дистанции между людьми. Вместо этого система расселения в стране распадается на все более мелкие локальные скопления городов (из-за чего и растет средний страновой показатель близости). Так, жители Москвы ближе друг к другу, чем в целом к жителям страны, – отсюда возникает V-образный эффект. (См. рис. 8.) Переломная точка, таким образом, указывает на то, что выгоды от увеличения расстояния до крупнейших центров компенсируются вызванным этим ограничением сближением людей на локальном уровне. Например, может происходить переориентация поездок за покупками: вместо поездок из пригородов в главный город – покупки в ближайших окрестностях.

Рис. 6. Соотношение субъектов Федерации с точки зрения близости жителей их населенных пунктов друг к другу и к жителям населенных пунктов других частей России



Источник: составлено авторами.

Заметим, что ограничение связи с Москвой — наиболее эффективная изоляционная мера. Ни с одним другим городом России закрытие сообщения не уменьшает среднюю дистанцию между жителями страны так же существенно, как ограничение связи со столицей. Та же мера для Санкт-Петербурга дает очень незначительный эффект — во многом из-за его слабой роли не как крупного города, но как посредника для транспортных потоков.

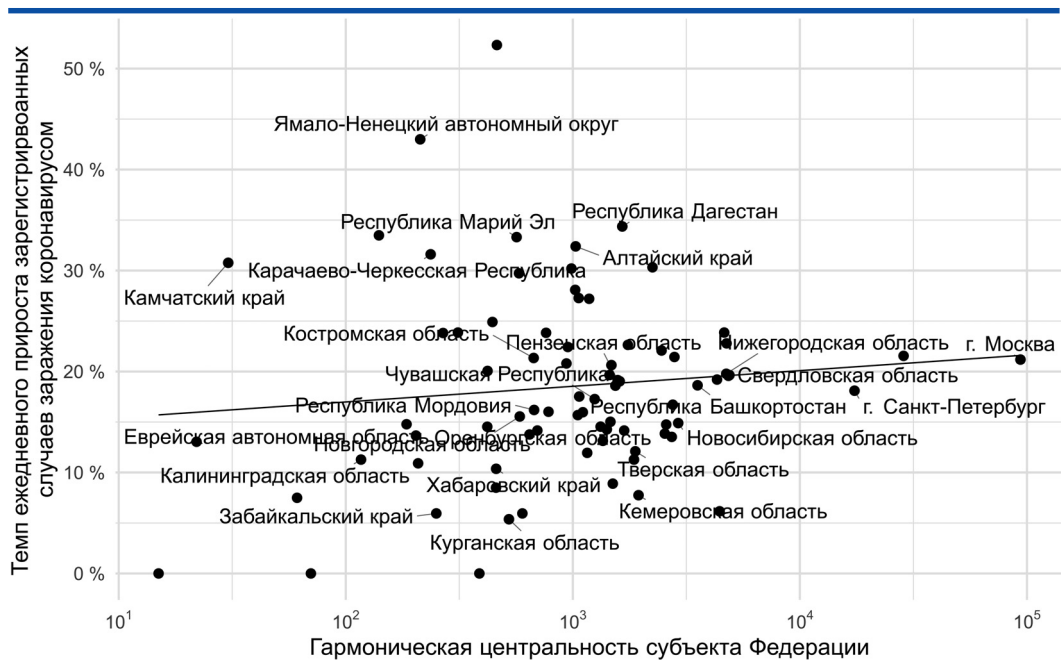
Форма представленной на рис. 8 зависимости также наводит на мысль о том, что ограничение связи с наиболее центральными в сети расселения городами эффективно до тех пор, пока коронавирусная инфекция не распространится по большому числу важнейших городов, так как в последнем случае вместо локализации одного очага заболеваемости

придется бороться с пусть и локальными, но множественными их скоплениями, для чего потребуются все более жесткие, но менее эффективные ограничения.

Заключение

Существенный вклад в контактное распространение пандемии COVID-19 в России вносит перемещение населения между городами. На скорость распространения эпидемии влияют не только близость городов друг к другу и численность их населения, но и каждого пораженного эпидемией города, важного в системе расселения на территории страны, т.е. то, насколько близки и значимы с точки зрения количества проходящих через них транспортных средств такие города. Ограничение перемещений в пределах наиболее важных с точки зрения транспортных связей городов увеличит дистанцию

Рис. 7. Распределение темпа прироста числа зарегистрированных случаев заболевания новым коронавирусом и оценок гармонической центральности в разрезе субъектов Федерации



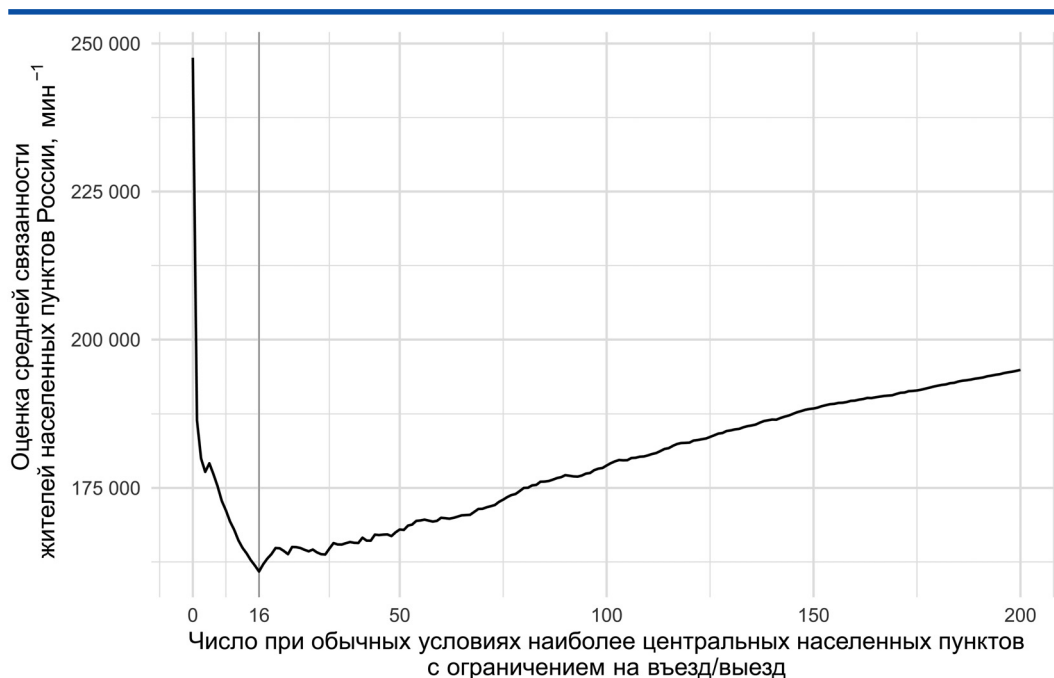
Примечание. Темп рассчитывался на основе данных от 18 марта 2020 г. или даты регистрации первых заболевших.
 Источник: составлено авторами.

между жителями страны и может сдерживать распространение заболеваемости, улучшить ее учет и помочь сосредоточить ресурсы для помощи больным с тяжелыми случаями.

Анализ показывает, что большая часть городов России образует тесно связанное прямым дорожным сообщением ядро, которое преимущественно совпадает с основной полосой расселения и заканчивается на востоке Новосибирском – Барнаулом – Бийском – Горно-Алтайском. Города, важнейшие с точки зрения посредничества, контроля над потоками людей и товаров, образуют ось от Москвы до Новосибирска через Казань и Уфу, но не через Пермь и Екатеринбург. «Узкое горлышко» в дорожном сообщении страны – участки между Уфой и Челябинском, соединяющие Европейскую и Азиатскую Россию.

С точки зрения близости жителей населенных пунктов к другим скоплениям населения в стране в целом наиболее и исключительно влиятельный город – Москва. Ограничение связи с одной только столицей – самая эффективная на уровне субъектов Федерации или отдельных городов изоляционная мера в борьбе с распространением коронавируса, так как она резко увеличивает среднюю дистанцию между жителями страны. Еще более жесткий, но при этом наиболее эффективный сценарий ограничительных мер – контроль над въездом/выездом для 16 городов с наибольшей центральностью: Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Балашихи, Новосибирска, Казани, Екатеринбурга, Челябинска, Самары, Воронежа, Ростова-на-Дону, Уфы, Перми, Волгограда, Саратова и Краснодара. ■

Рис. 8. Изменение средней дистанции между жителями страны по мере ограничения связи с наиболее центральными городами



Литература

1. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям / Росстат. URL: <https://www.gks.ru/compendium/document/13282>
2. Численность и размещение населения / Всероссийская перепись населения-2010; Федеральная служба государственной статистики. Т. 1. URL https://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm
3. Boldi P., Vigna S. Axioms for Centrality // Internet Mathematics. 2014. Vol. 10. No. 3–4. Pp. 222–262.
4. Freeman L.C. Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification // Soc. Networks. 1978. Vol. 1. Pp. 215–239.
5. Lue L. et al. Vital nodes identification in complex networks // Physics Reports. 2016. Vol. 650. Pp. 1–63.
6. Open Source Routing Machine. URL: <http://project-osrm.org/>
7. Planet OpenStreetMap. URL: <https://planet.osm.org/>
8. Rochat Y. Closeness Centrality Extended To Unconnected Graphs: The Harmonic Centrality Index // Application of Social Network Analysis (ASNA). 2009.

References

1. Number of population in the Russian Federation across municipalities / Rosstat. URL: <https://www.gks.ru/compendium/document/13282>
2. Number and distribution of population / All-Russia population census-2010; Federal Service of State Statistics. Vol. 1. URL https://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm
3. Boldi P., Vigna S. Axioms for Centrality // Internet Mathematics. 2014. Vol. 10. No. 3–4. Pp. 222–262.
4. Freeman L.C. Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification // Soc. Networks. 1978. Vol. 1. Pp. 215–239.
5. Lue L. et al. Vital nodes identification in complex networks // Physics Reports. 2016. Vol. 650. Pp. 1–63.
6. Open Source Routing Machine. URL: <http://project-osrm.org/>
7. Planet OpenStreetMap. URL: <https://planet.osm.org/>
8. Rochat Y. Closeness Centrality Extended To Unconnected Graphs: The Harmonic Centrality Index // Application of Social Network Analysis (ASNA). 2009.

Identification of the Most Important Russian Cities from the Point of View of Transport Links as an Instrument for Prevention of Pandemic Proliferation

Kirill V. Rostislav – Junior Researcher of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Moscow, Russia). E-mail: rostislav-kv@ranepa.ru

Yury Yu. Ponomarev – Head of Laboratory for Infrastructure and Spatial Research of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Senior Researcher of the Gaidar Institute, Candidate of Economic Sciences (Moscow, Russia). E-mail: ponomarev@ranepa.ru

The article analyzes relative importance of Russian cities in the settlement system and potential effects from restricting transport links aimed at the prevention of proliferation of COVID-19 pandemic on the territory of the country. Travel restrictions within the most important from the transport links cities will increase distance between inhabitants of the country and can prevent proliferation of the disease, improve chances for its control and help concentrating resources for the assistance for the severe cases. Restriction of links with Moscow is the most effective at the level of subject of the Federation or separate cities isolation measure in combating coronavirus proliferation because sharply increases the average distance between inhabitants of the country.

Key words: road network, scenario analysis, COVID-19.