

## ТОПОЛОГИЯ СЕТИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ КАК ФАКТОР ДИНАМИКИ СЕЛЬСКОГО РАССЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ)

© 2019 г. А. В. Шелудков<sup>1</sup>, \*, М. А. Орлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт биофизики клетки РАН, Пущино, Россия

e-mail: \*a.v.sheludkov@igras.ru

Поступила в редакцию 15.04.2019 г.; после доработки 29.04.2019 г.; принята в печать 08.05.2019 г.

С окончанием кризисной контрурбанизации начала 1990-х годов сельская местность в России стала с новой силой терять жителей. Население концентрируется в крупных населенных пунктах. Миграционный отток возрастает по мере удаления от региональных центров. Центростремительные тенденции могут быть усилены или смягчены на локальном уровне, где на первый план выходят собственные, иногда специфичные, обусловленные историей освоения и развития свойства местности. Авторы статьи рассматривают рисунок расселения как один из таких контекстуальных факторов. В работе поставлено два вопроса: влияют ли топологические свойства (связность и централизованность) поселенческой сети на скорость сжатия сельского расселения, и как динамика численности населения в отдельных селах и деревнях зависит от их позиции в сети населенных пунктов. С помощью методов сетевого, кластерного и регрессионного анализа авторы исследовали динамику расселения в Тюменской области в 2002–2010 гг. Результаты показали, что скорость сжатия расселения и депопуляции возрастают по мере удаления от региональной столицы и крупных транспортных осей. Различия между участками поселенческой сети в связности и централизованности не приводят к заметным отклонениям от общего центростремительного тренда. Однако для отдельных населенных пунктов положение в сети – значимый фактор динамики численности населения. В совокупности с людностью позиционные характеристики объясняют 23–24% различий в динамике. За пределами пригородной зоны Тюмени растут пункты с высокой межрайонной центральностью. Примечательно, что конфигурация поселенческой сети региона на межрайонном уровне сложилась в период колонизации и сельскохозяйственного освоения Западной Сибири в XVII–XIX вв. и тесно связана с рисунком речной сети. Таким образом, даже если факторы, влиявшие на формирование сети населенных пунктов, потеряли значение, сам рисунок расселения продолжает влиять на социально-географическое пространство.

**Ключевые слова:** депопуляция сельских территорий, сжатие расселения, рисунок расселения, сетевой анализ, кластерный анализ, Западная Сибирь.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019446-62>

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

После кратковременной кризисной контрурбанизации начала 1990-х годов [33] Россия вернулась к состоянию сжатия расселения<sup>1</sup> [1, 6, 12]. В период между переписями 2002 и 2010 гг. было официально упразднено 2.1 тыс. сел и деревень. Еще 19.5 тыс. населенных пунктов (12.7% общего количества) не имели в 2010 г. постоянных

жителей [7]. Доля сельских жителей, проживающих в селах с населением свыше 3 тыс. человек, выросла за два постсоветских десятилетия в 1.5 раза – с 20 до 30% [19]. Основным механизмом изменения расселения остается миграция [8]. Активнее всего – по 1.5–3% ежегодно в 2011–2015 гг. – за счет миграций теряли сельское население север европейской части России, Восточная Сибирь и Дальний Восток [11].

Расселение развивается в логике урбанизации [23, 33], когда растут более крупные населенные пункты, а средние и мелкие теряют население. Интенсивность миграционного оттока с сельских территорий зависит от размеров регионального и районных центров и возрастает по

<sup>1</sup> В статье понятие “сжатие расселения” используется для обозначения пространственной концентрации населения, которая сопровождается деградацией сети населенных пунктов и рассматривается авторами как часть более общего процесса сжатия социально-экономического пространства [1, 16].

мере удаления от них [6, 10, 28]. Важную роль в возникновении миграций играет неравенство между городом и селом — разрыв в доходах населения, возможностях трудоустройства и получения образования, качестве социальных услуг, комфортности среды и пр. Комплекс факторов, порождающих миграцию, можно обозначить как ее движущие силы [30]. Вместе с тем центростремительные тенденции могут быть смягчены или усилены на локальном уровне, где на первый план выходят собственные, иногда специфичные, обусловленные историей освоения и развития свойства местности.<sup>2</sup> В результате исследователь сталкивается с многообразием траекторий динамики численности населения отдельных сел и деревень. Изучение местных свойств и их влияния на динамику расселения составляет самостоятельную исследовательскую задачу, которой посвящена данная работа.

Мы предлагаем рассматривать структурные свойства расселения на локальном уровне, в частности, топологию сети населенных пунктов как один из факторов динамики расселения. В староосвоенных регионах поселенческие сети существуют практически в неизменном виде уже несколько столетий. В Западной Европе сеть населенных пунктов и связывающих их дорог сложилась не позднее XVI в., в обжитых районах европейской части России — в начале XIX в. [4]. Сети сохраняются, несмотря на появление новых видов транспорта, изменение экономического уклада и административные реформы. Инерция поселенческой сети позволяет реконструировать факторы, влиявшие на ее формирование, и наметить направления дальнейшего развития [3, 26]. По мнению Г.А. Гольца, устойчивость поселенческих сетей связана с их способностью адаптироваться к меняющимся условиям за счет перестройки связей между уже существующими населенными пунктами [4].

Мы предположили, что более связные участки сети населенных пунктов успешнее адаптируются к новым условиям и в меньшей степени подвержены негативным изменениям — сжатию и депопуляции (гипотеза 1). Те же населенные пункты, которые занимают в сети более выгодное (центральное) положение, имеют максимальный потенциал к выстраиванию взаимодействия с другими поселениями и потому

будут отличаться положительной динамикой численности населения (гипотеза 2).

Для проверки этих гипотез на примере Тюменской области<sup>3</sup> мы проанализировали динамику сельского расселения в 2002–2010 гг. В работе поставлены следующие исследовательские вопросы:

- каково влияние топологических свойств сети населенных пунктов на динамику расселения?
- как динамика населения в отдельных населенных пунктах зависит от их положения в поселенческой сети?

## РЕГИОН ИССЛЕДОВАНИЯ

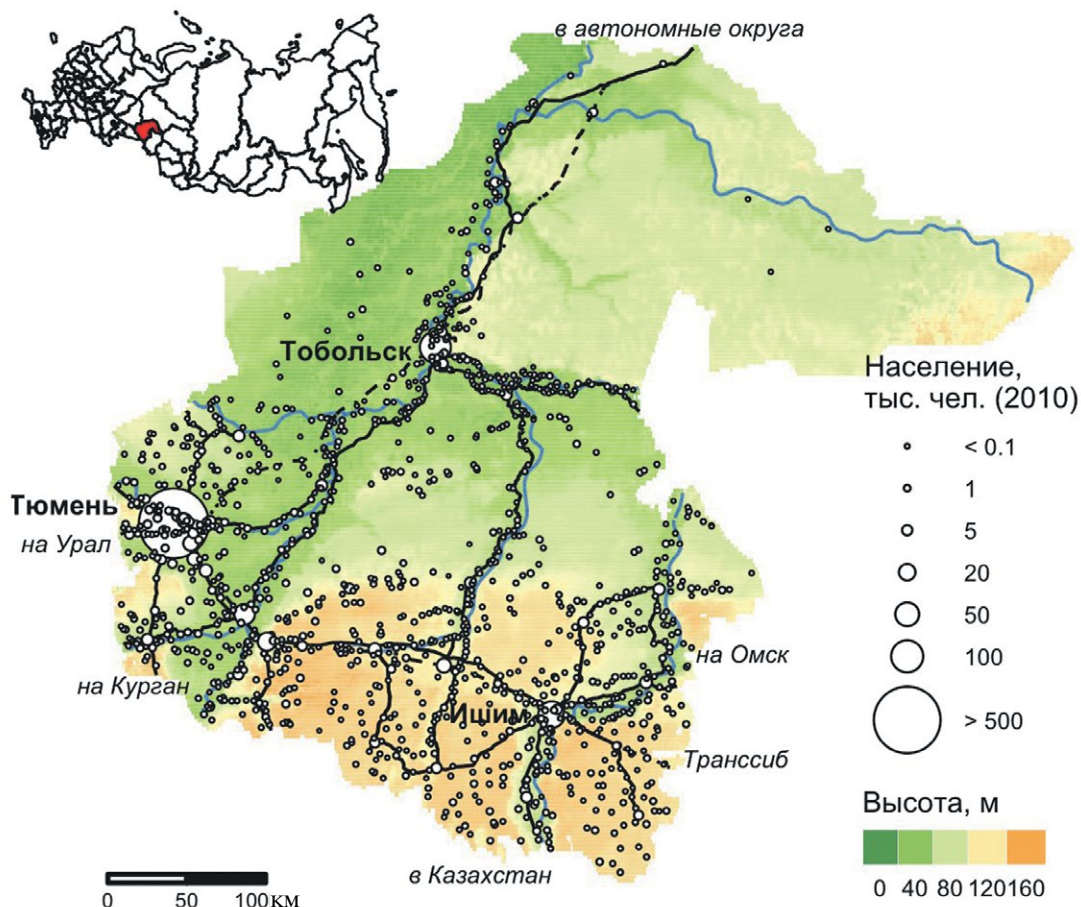
Тюменская область (рис. 1) расположена в южной части Западной Сибири на границе лесной и лесостепной зон. За последние 10 лет численность населения столицы региона — города Тюмени — выросла более чем в 1,5 раза: с 500 тыс. чел. в 2008 г. до 768 тыс. чел. в 2018 г.<sup>4</sup> К юго-востоку от Тюмени вдоль федеральной трассы находится несколько крупных поселков. В 80 км от областной столицы — на границе зоны ее непосредственного влияния — расположились два малых города: Ялуторовск (40 тыс. чел.) и Заводоуковск (26 тыс. чел.). Жители более восточных населенных пунктов посещают Тюмень и ее пригороды уже гораздо реже [18]. Центр юго-востока региона — Ишим, в прошлом — слобода и ярмарочный центр, ныне — город с населением 65 тыс. чел. (2018 г.). При сравнении с севером юг региона заселен более равномерно (север — более очагово). Однако для всей территории области характерно доминирование линейных форм расселения с плотными сетями населенных пунктов вдоль крупных рек (Тобол, Тура, Иртыш, Вагай, Ишим) и транспортных осей. Экономический центр и главный транспортный узел севера — город Тобольск с населением 102 тыс. человек (2018 г.). В состав области входят 26 муниципальных единиц районного уровня: 6 городских округов и 20 муниципальных районов.

Пик численности сельского населения Тюменской области в новейшее время пришелся на 1995 г. — 562,5 тыс. чел. (рис. 2). С этого момента началось ее снижение, которое частично компенсировалось административным преобразованием поселков городского типа, в том числе

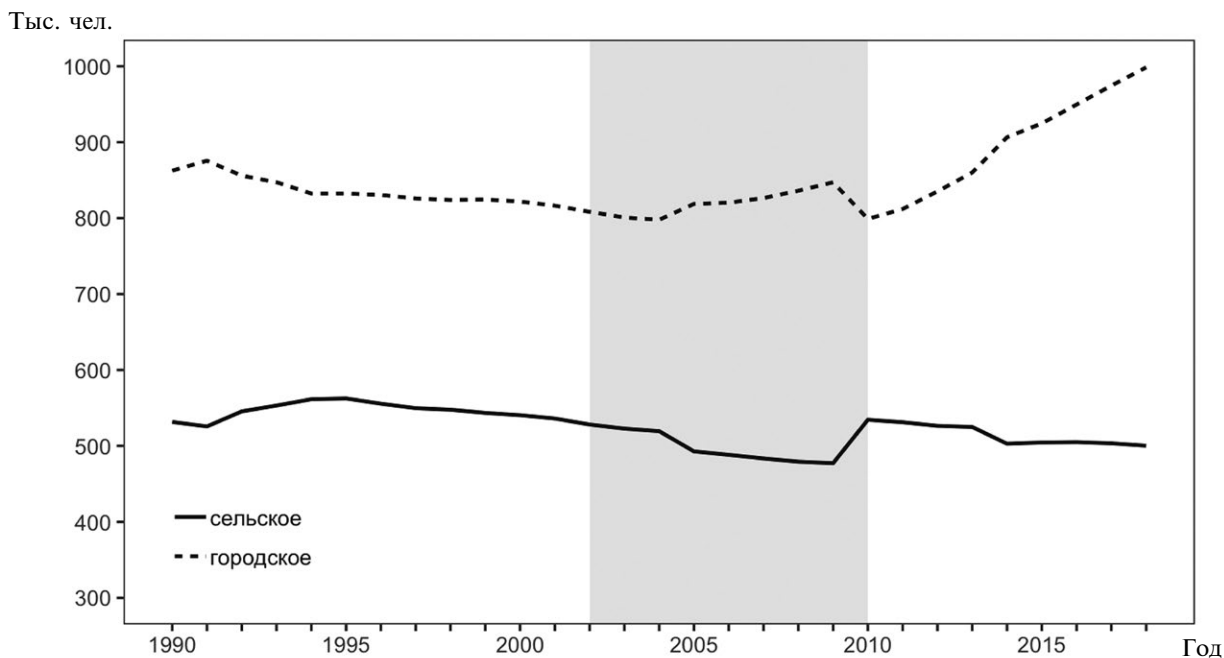
<sup>2</sup> Схожим образом в географии промышленности при рассмотрении вопросов размещения производства А.П. Горкин и Л.В. Смирнягин предлагали разделять влияние свойств самого промышленного объекта (факторов размещения), например, требований к количеству и качеству рабочей силы, и свойств элементов среды (условий размещения), например, фактической численности и квалификации рабочих в конкретных населенных пунктах [5].

<sup>3</sup> Рассматривается без автономных округов.

<sup>4</sup> Это самые высокие темпы роста населения среди российских городов с населением свыше 500 тыс. чел. в указанный период (даже учитывая, что прирост в 13 тыс. чел. в 2014 г. был обусловлен расширением границ города).



**Рис. 1.** Регион исследования.  
 Высота: ASTER GDEM (ver. 2) [30].



**Рис. 2.** Численность населения Тюменской области в 1990–2018 гг., тыс. чел.  
 Примечание: резкие изменения 1992–1993, 2005, 2010, 2014 гг. связаны с административными преобразованиями. Серым цветом выделен период исследования.

**Таблица 1.** Структура населенных пунктов Тюменской области с числом жителей не более 20 тыс. чел. по людности

Год	Численность населения, чел.									
	1–10	11–50	51–100	101–200	201–500	501–1000	1001–3000	3001–5000	5001–20000	Всего
2002	79	187	185	271	290	164	61	16	20	1268
2010	73	203	195	238	275	132	56	14	19	1205

районных центров, в сельские населенные пункты. Одновременно с 2003 г. начался рост городского населения, особенно быстрыми темпами после 2010 г.

В 2002 г. совокупное население региона составляло 1347 тыс. чел. В городах жило 771.5 тыс. чел., или 57.3% населения. В поселенческой структуре доминировали населенные пункты с численностью населения менее 500 чел. (табл. 1). Самые многочисленные группы – от 100 до 200 и от 201 до 500 жителей. В совокупности они включали в себя 561 населенный пункт из 1278 (44%), а их жители составляли 15.1% населения региона, или 35.5% населения, не проживавшего в городах. Крупных сел и поселков (более 3 тыс. жителей) было всего 36 (половина – районные центры), в них проживало 220.2 тыс. человек.

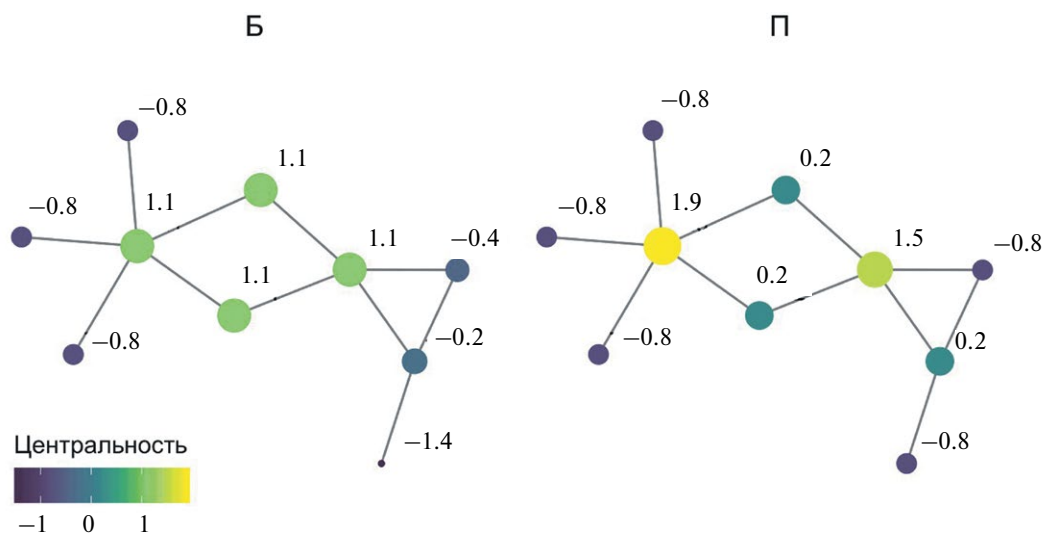
В период между переписями населения 2002 и 2010 гг. общее число населенных пунктов с числом жителей, не превышающим 20 тыс. чел., уменьшилось на 5%, до 1205. Сокращение затронуло все категории населенных пунктов, кроме небольших – до 100 чел., куда перешла часть пунктов из категорий выше. Самые сильные потери (20%) испытала группа пунктов с числом жителей от 501 до 1000 чел. В целом, в период с 2002 по

2010 г. население теряли 3/4 населенных пунктов области. Росли преимущественно поселки и сельские населенные пункты в пригородной зоне Тюмени, а также районные центры. Таким образом, расселение стало более полярным.

### МЕТОДЫ

**Инструменты сетевого анализа для исследования расселения.** Методы сетевого анализа находят применение в географических исследованиях, посвященных историческому развитию поселенческих сетей и торговли, начиная с 1960-х годов [см., например, 34–36]. Для описания положения отдельных узлов сетевой анализ оперирует понятием “центральность” (centrality) [24]. Центральность в данном случае – исключительно позиционная характеристика узла, которая определяет его потенциальные возможности стать инициатором и участником взаимодействий в сети [25]. Таким образом, применительно к поселенческим сетям мы получаем метод формального описания географического положения населенного пункта относительно других поселений.

Центральность узла оценивается с точки зрения (рис. 3):



**Рис. 3.** Значения центральности по близости (Б) и по посредничеству (П) на примере гипотетической сети.  
Примечание: шкала метрики центральности z-стандартизирована: 0 – среднее значение, 1 – стандартное отклонение.

• его *близости* по отношению к другим узлам сети (closeness centrality): более центральными считаются узлы с меньшей суммой кратчайших расстояний до всех других узлов. Центральность по близости<sup>5</sup> для узла рассчитывается по формуле:

$$\frac{1}{\sum_i d(v, i)},$$

где  $d(v, i)$  – это кратчайшее расстояние по графу между узлами  $v$  и  $i$ ;

• уникальности положения узла как *посредника* между участками сети (betweenness centrality). Центральность по посредничеству высока, если через узел проходит значительная доля кратчайших путей между другими узлами сети. Для узла значение метрики рассчитывается как:

$$\frac{d_{ij}(v)}{\sum_{i \neq v \neq j} d_{ij}},$$

где  $d_{ij}$  – число кратчайших (по графу) путей между узлами  $i$  и  $j$ , а  $d_{ij}(v)$  из них – число путей, проходящее через вершину  $v$ .

В литературе населенные пункты с высокой посреднической центральностью часто обозначают метафорами “мосты” (bridges) или “ворота” (gateways) [36]. Уникальное географическое положение позволяет им контролировать потоки между населенными пунктами; пограничный характер способствует разнообразию внутренней среды, повышает вероятность рождения инноваций.

Мы использовали показатели центральности для проверки второй гипотезы (о влиянии положения населенного пункта в сети на динамику численности его населения). Однако считать показатели в масштабах всей сети не имело смысла: трудно представить, что отнесенные друг от друга за сотни километров сибирские деревни даже потенциально могут иметь устойчивые связи. Мы решили разбить сеть на отдельные участки, внутри которых, с нашей точки зрения, устойчивые связи между поселением более вероятны. Эти же участки мы использовали для проверки первой гипотезы, сопоставив топологические свойства сети (связность и централизованность) с темпами сжатия расселения. Далее наши действия описаны более подробно.

**Построение сети, выделение групп более тесно связанных населенных пунктов (кластеров).** Первым шагом работы стало создание модели поселенческой сети Тюменской области

в виде графа, где вершины представляют населенные пункты, а ребра – автомобильные дороги. Для построения графа мы взяли данные о дорогах с твердым покрытием из OpenStreetMap.<sup>6</sup> Топология дорожной сети была предварительно скорректирована с помощью инструментов GRASS GIS.<sup>7</sup> Учитывались только населенные пункты, имевшие в 2002 г. постоянное население. На основе графа мы рассчитали матрицу ближайших расстояний по автодорогам между населенными пунктами региона.

Далее на основе матрицы расстояний с помощью иерархического кластерного анализа мы разделили совокупность населенных пунктов на группы более тесно связанных между собой поселений. Выбор в пользу иерархического алгоритма кластеризации обусловлен тем, что он не нуждается в исходном, заданном исследователем числе кластеров. Мы получаем возможность изучения непосредственной структуры данных и выбора оптимального числа групп на ее основе. Процесс агломеративной кластеризации проходит как серия последовательных объединений: начиная с числа кластеров, равного числу наблюдений, и до единственного кластера, включающего в себя все наблюдения. В качестве критерия для объединения мы использовали минимальный рост дисперсии в распределении расстояний между элементами группы (метод Уорда), что позволило получить более плотные, однородные и близкие по размерам кластеры. В результате агломеративной кластеризации исследователю получает в распоряжение дерево (дендрограмму), чьи ветви соответствуют группам наблюдений (в нашем случае – близко расположенным населенным пунктам). Визуальная оценка дендрограммы и статистические тесты помогают найти оптимальное число кластеров. Мы использовали для нахождения оптимального числа групп населенных пунктов индексы frey, cindex и dunn из библиотеки NbClust [21] (рис. 1\_ДМ; дополнительные материалы доступны для данной статьи по DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019446-62>).

**Оценка влияния топологических свойств кластеров на динамику расселения.** На основе данных переписей населения для каждого кластера были рассчитаны совокупная численность населения и ее динамика (2010 к 2002, %).

<sup>6</sup> Используются линейные объекты с тегами highway = trunk, primary, secondary, tertiary, unclassified. Дата загрузки: 11 августа 2018 г. © Участники OpenStreetMap, 2018.

<sup>7</sup> GRASS Development Team, 2017. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.2. URL: <http://grass.osgeo.org>

<sup>5</sup> В географии транспорта – индекс транспортной доступности узла. См. подробнее [14].

Для количественной оценки темпов сжатия расселения мы использовали показатель динамики вариации людности населенных пунктов (2010 к 2002, %). Вариация людности пунктов показывает, насколько равномерно население распределено по населенным пунктам кластера на момент времени [3, 13], то есть насколько поляризовано расселение внутри кластера. Метрика рассчитывается как отношение стандартного отклонения величины людности к среднему значению:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}},$$

где  $V$  – коэффициент вариации,  $\sigma$  – стандартное отклонение, а  $\bar{x}$  – среднее значение переменной. Чем сильнее различаются населенные пункты по людности, тем больше отклонение от среднего. Сравнив значение вариации на двух временных срезах, мы получаем представление о том, насколько более/менее поляризованным стало расселение внутри кластера в течение периода между срезами. При этом в расчетах вариации на более позднем временном срезе важно учитывать все, даже потерявшие постоянное население пункты (в нашем случае 63 деревни и поселка), иначе сокращение поселенческой сети элиминирует эффекты концентрации населения: для меньшего числа населенных пунктов коэффициент вариации их людности также может стать меньше.<sup>8</sup>

Для описания топологических свойств сети по кластерам мы использовали показатели связности и централизации. Связность сети рассчитывалась как отношение фактического числа связей между элементами сети к максимальному возможному числу связей (индекс гамма [27]):

$$\frac{e}{n(n-1)/2},$$

где  $e$  – число связей между узлами сети,  $n$  – число узлов в сети.

Метрика централизации показывает степень организации сети вокруг одного или нескольких центров. Она рассчитывается на основе оценок центральности (по близости или по посредничеству) отдельных узлов, когда самый центральный узел сети сравнивается со всеми остальными

узлами [24]. Формула (нормализованной) центральности выглядит как отношение фактической суммы различий между оценками центральности центрального узла и всеми остальными узлами сети к максимальной теоретической сумме различий для сети с тем же числом узлов:

$$\frac{\sum [(c_{\max} - c_v)]}{\max_{\text{теор}} (\sum [c_{\max} - c_v])},$$

где  $c_{\max}$  – показатель центральности самого центрального узла в сети;  $c_v$  – показатель центральности узла  $v$ .

Последняя переменная, рассчитанная по кластерам, – среднее по населенным пунктам кластера, взвешенное по людности, расстояние до региональной столицы.

Итоговый перечень переменных, описывающих кластеры, составили:

- динамика численности населения кластера (2010 к 2002), %;
- вариация людности населенных пунктов (2002);
- динамика вариации людности населенных пунктов (2010 к 2002), %;
- связность сети;
- централизация по близости;
- централизация по посредничеству;
- расстояние до региональной столицы, км.

Для оценки статистической взаимосвязи между переменными проведен корреляционный анализ по методу Пирсона.

**Оценка влияния положения населенного пункта в сети на динамику численности его населения.** В пределах выделенных кластеров для каждого населенного пункта мы рассчитали центральность по близости. Центральность по посредничеству считалась по всей сети, но с ограничением максимальной длины пути, учитываемой в вычислениях, медианным расстоянием между населенными пунктами кластеров (мы получили два варианта кластерного деления, поэтому и метрика считалась с двумя вариантами ограничений – 52 и 98.2 км).

Для оценки связи между переменными, описывающими положение населенных пунктов в поселенческой сети, и динамикой численности их населения использовался регрессионный анализ. В качестве зависимой переменной выступало выраженное в процентах число жителей населенного пункта в 2010 г. по отношению к числу жителей в 2002 г. Перед построением модели мы исключили из набора данных 49 наблюдений, которые лежали за пределами трех медианных абсолютных отклонений. Речь идет о небольших деревнях, где даже незначительные абсолютные изменения в численности населения давали высокие зна-

<sup>8</sup> Отметим, что показатель подбирался под исследовательскую задачу и используемый эмпирический материал. В общем смысле динамику вариации людности населенных пунктов нельзя считать универсальным количественным показателем темпов сжатия расселения, поскольку мы не можем полностью отождествлять сжатие расселения с его поляризацией. Возможно представить ситуацию, в которой поляризация расселения растет одновременно с расширением сети населенных пунктов, а не ее сокращением (например, при быстром росте центров на этапе колонизации территории).

**Таблица 2.** Переменные для регрессионного анализа

Тип переменной	Модель 1	Модель 2
Зависимая	Динамика численности населения (2010 к 2002), %	Динамика численности населения (2010 к 2002), %
Независимая	Центральность по близости в пределах 6 кластеров	Центральность по близости в пределах 6 кластеров
	Центральность по близости в пределах 18 кластеров	Центральность по близости в пределах 18 кластеров
	Центральность по посредничеству (52 км)	Центральность по посредничеству (98.2 км)
Независимая, контрольная	Логарифм численности населения (2002)	Логарифм численности населения (2002)

чения в процентном выражении. Кроме того, мы привели метрики центральности к стандартизованному виду, при котором среднее значение приравнено 0, а стандартное отклонение – 1. Стандартизация дала возможность сравнивать вклад отдельных показателей в дисперсию зависимой переменной.

Чтобы отделить влияние предикторов от эффектов, вызванных различиями между кластерами, мы использовали линейную регрессионную модель со смешанными эффектами (linear regression mixed effects model), где принадлежность к кластерам выступала в качестве группирующей переменной.

Чтобы отделить влияние позиции в поселенческой сети от влияния размера населенного пункта на динамику численности его населения, мы решили ввести в модель дополнительную – контрольную – переменную, описывающую численность населения. Однако зависимость между размером населенных пунктов и динамикой числа их жителей имеет нелинейный характер (рис. 2\_ДМ; дополнительные материалы доступны для данной статьи по DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019446-62>), поэтому вместо численности населения как таковой мы использовали в модели ее натуральный логарифм.

Все переменные прошли проверку на корреляцию (табл. 1\_ДМ дополнительные материалы доступны для данной статьи по DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019446-62>). Сильная ( $r$ -Пирсона = 0.86) связь показателей центральности по посредничеству, рассчитанных с разным ограничением максимальной длины пути, не позволила включить их в один набор данных. Мы составили две комбинации переменных: центральность по посредничеству с ограничением длины пути в 52 км была включена в качестве предиктора в модель 1,

с ограничением в 98 км – в модель 2 (табл. 2). Далее мы сравнили результаты моделей.

Подготовка данных, визуализация и расчеты проводились в R<sup>9</sup> с использованием библиотек `shp2graph` (вер. 0-4) [29], `igraph` (вер. 1-2-2) [22], `ggplot2` (вер. 3.1.0.9000) [37], `lme4` (вер. 1.1-18-1) [20].

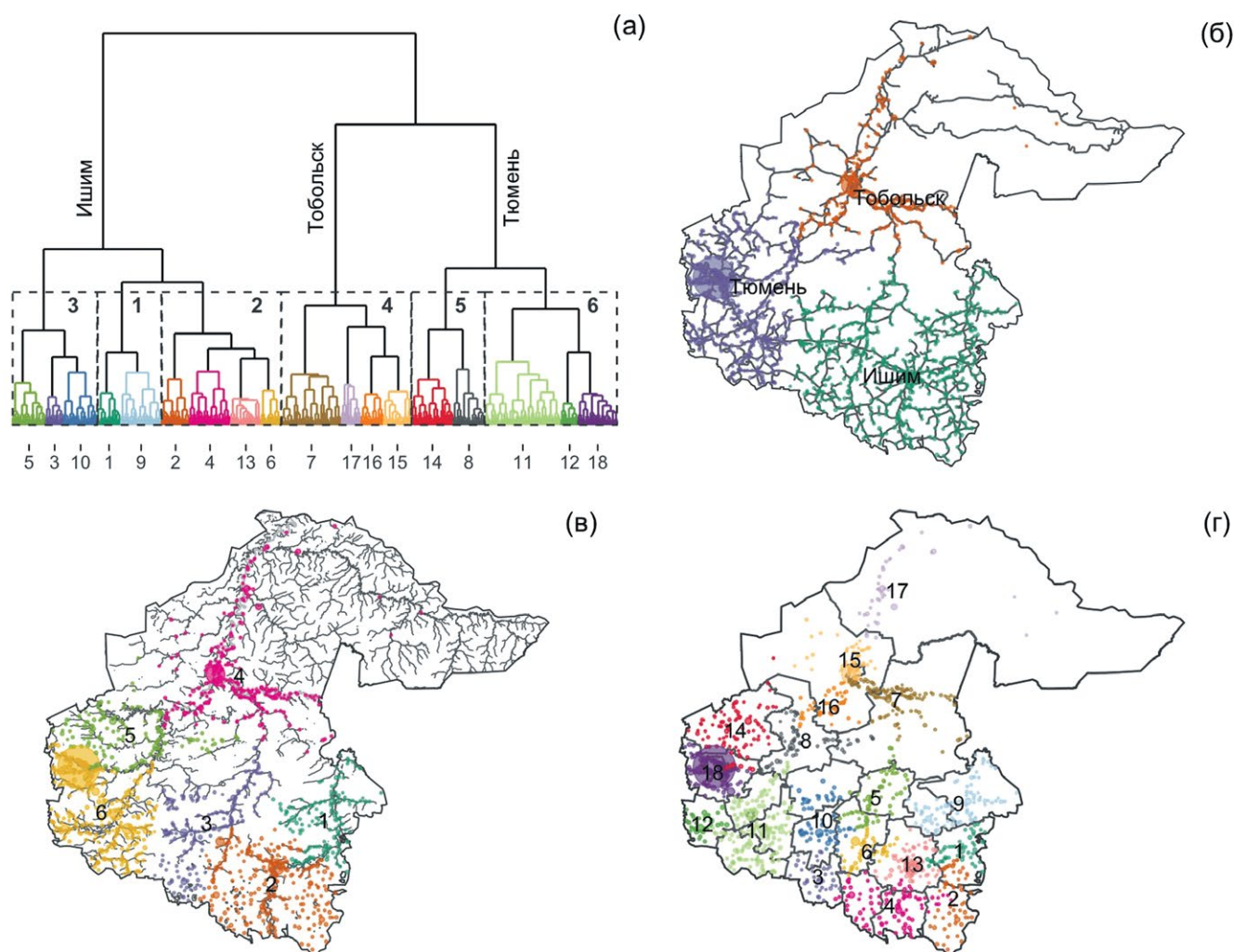
## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Группы более тесно связанных населенных пунктов.** На рис. 4 представлены результаты кластеризации населенных пунктов Тюменской области на 2002 г. на основе графа дорожной сети.

В соответствии с деревом кластеризации (см. рис. 4а), населенные пункты области формируют три крупных кластера, соответствующих трем субрегионам: западному с центром в Тюмени, юго-восточному с центром в Ишиме и северному с центром в Тобольске (см. рис. 4б). Вместе с тем статистические тесты (см. рис. 1\_ДМ в дополнительных материалах) указали в качестве оптимальных четыре более дробных варианта кластеризации: с 6, 18, 33 и 42 группами наблюдений. Деление на 33 и 42 группы мы расценили как слишком дробное и слабо интерпретируемое. Таким образом, в качестве рабочих приняты варианты кластеризации с 6 и 18 группами.

На уровне 6 кластеров (см. рис. 4в) проявляется влияние природных факторов на формирование сети населенных пунктов: кластеры приурочены к речным бассейнам. По всей видимости, такая группировка сложилась в пе-

<sup>9</sup> R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018. URL. <https://www.R-project.org/>.



**Рис. 4.** Результаты кластеризации населенных пунктов Тюменской области на 2002 г.: дендрограмма (а), 3 кластера (б), 6 кластеров (в), 18 кластеров (г).

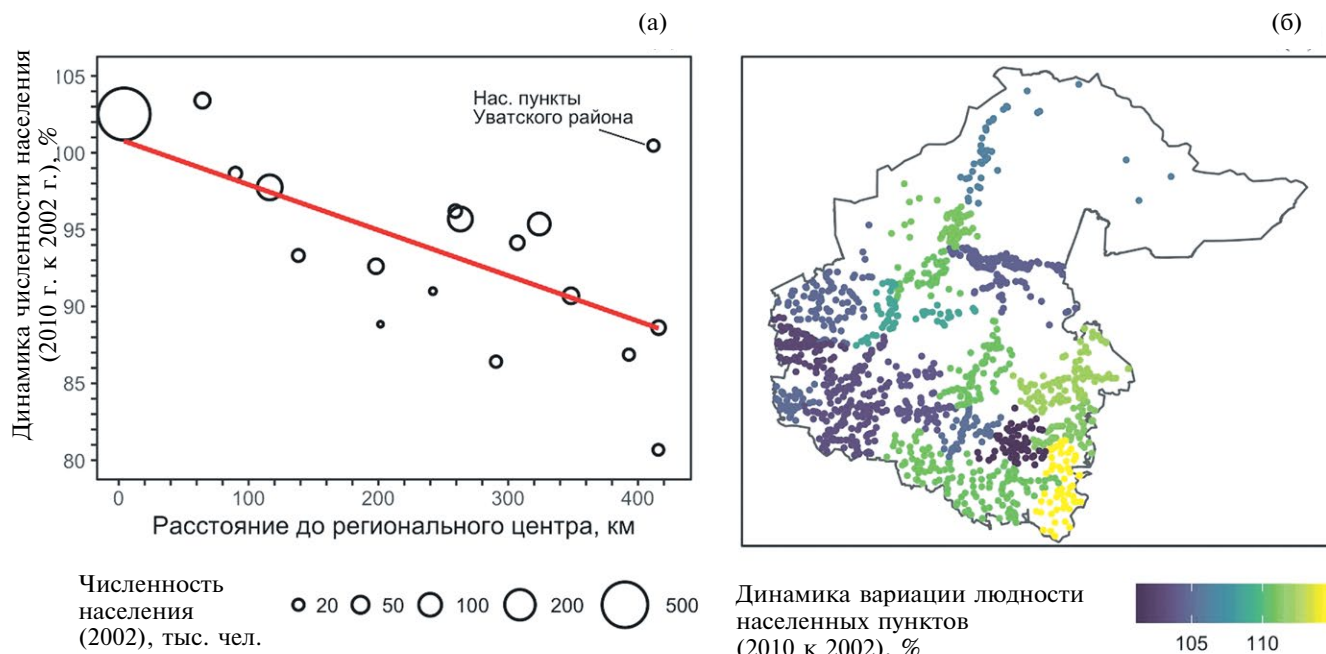
*Примечание:* на дендрограмме (а) нижний ряд чисел – номера кластеров при 18-частном делении; верхний ряд чисел – номера кластеров при 6-частном делении; подписаны города-центры кластеров при 3-частном делении. На картах линиями обозначают автодороги (б), реки (в), границы муниципальных образований районного уровня (г); размер пунсонов отражает численность населения.

риод колонизации и сельскохозяйственного освоения территории области. Реки служили главными транспортными артериями, к ним же привязаны наиболее плодородные земли. Дальнейшее развитие сети шло на основе приречного расселения. Сухопутные дороги связали населенные пункты преимущественно внутри сложившихся ареалов, сделав их еще более устойчивыми.

Возникновение локальных центров и формирование вокруг них зон обслуживания определили структуру сети на следующем – более дробном – уровне ее организации: при 18-частном делении кластеры достаточно точно соответствуют муниципальным районам (см. рис. 4г). Есть несколько исключений:

три кластера (4, 9, 10) включили в себя населенные пункты двух районов каждый, а один (11) – сразу трех районов. В итоге по общей численности населения 11 кластер превзошел любую реальную муниципальную единицу, включая города и пригородные районы, за исключением г. Тюмени. Единственный муниципальный район, который в результате кластеризации сам оказался разделен на две части, – Тобольский: к югу от г. Тобольска на границе с Янковским районом выделился отдельный 16 кластер. Примечательно, что с 1937 по 1960 г. на этой территории действительно существовала отдельная административная единица – Байкаловский район. Район был упразднен, его сельсоветы разделены между соседними





**Рис. 5.** Связь динамики (2010 г. к 2002 г.) расселения в кластерах районного уровня с положением в региональной системе расселения: динамика численности населения кластеров (а); динамика вариации людности населенных пунктов (б).

**Таблица 3.** Коэффициент корреляции Пирсона для переменных, рассчитанных по 18 кластерам районного уровня

Переменная	Динамика населения (2010 г. к 2002 г.), %	Динамика вариации людности населенных пунктов (2010 г. к 2002 г.), %
Динамика вариации людности населенных пунктов (2010 г. к 2002 г.), %	-0.78	1
Вариация людности населенных пунктов (2002 г.)	0.45	-0.43
Связность (плотность) сети	-0.19	0.26
Централизация по близости	-0.09	0.11
Централизация по посредничеству	-0.15	0.15
Расстояние до регионального центра	-0.63	0.54

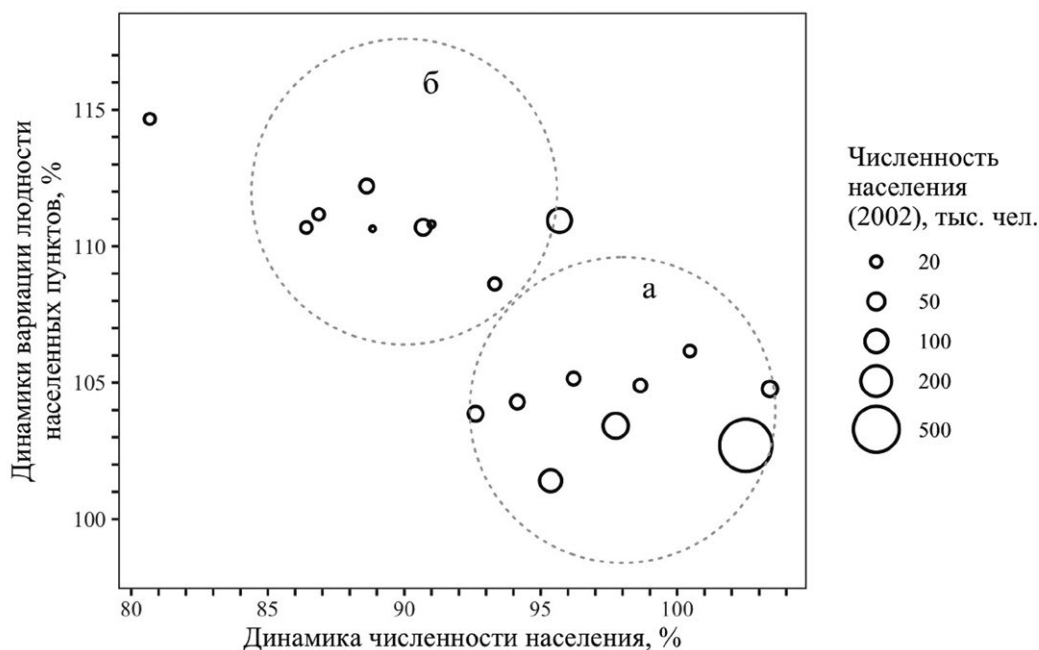
Тобольским и Ярковским, тем не менее спустя более чем 60 лет конфигурация дорожной сети воспроизводит старые границы.

Таким образом, кластерный анализ показал, что устойчивые группы населенных пунктов существуют на двух пространственных уровнях организации сети: во-первых, пункты объединены в 6 крупных кластеров, привязанных к бассейнам рек; во-вторых, на более дробном уровне доминирует влияние локальных центров и кла-

стеры примерно соответствуют современным муниципальным районам.<sup>10</sup>

**Сжатие расселения на уровне кластеров.** Мы не обнаружили доказательств того, что на

<sup>10</sup> Далее в тексте два уровня организации поселенческой сети и соответствующие им кластеры населенных пунктов будут обозначены как “районный” и “межрайонный” уровни, а также кластеры районного и межрайонного уровней соответственно.



**Рис. 6.** Соотношение динамики населения и динамики вариации людности населенных пунктов в кластерах районного уровня (2010 г. к 2002 г.).

районном уровне различия между группами населенных пунктов по степени связности/централизованности сети влияют на темпы сжатия расселения (табл. 3).

Однако мы обнаружили, что и сжатие расселения, и динамика численности населения кластеров формируют пространственные градиенты. Сжатие расселения интенсивнее в восточных и северных кластерах (рис. 5б). Кроме того, выделяется субширотная транспортная ось: кластеры вдоль нее сжимаются медленнее; в стороне от оси, как к северу, так и к югу — быстрее. Динамика численности населения кластеров районного уровня зависит от их близости к региональному центру (рис. 5а): растут кластеры вблизи Тюмени, в то время как удаленные от областной столицы кластеры теряют население. Нарушает логику расстояний единственная в регионе территория нефтегазового освоения — Уватский район.

По соотношению интенсивности депопуляции и сжатия расселения кластеры разбиваются на две примерно равные группы (рис. 6). В ситуации роста или слабой депопуляции (а) контрастность расселения растет медленно. Сокращение населения (б), напротив, сопровождается интенсивным сжатием расселения в пределах кластеров: крупные населенные пункты становятся относительно крупнее, мелкие — мельче, а кластер в целом — более дифференцированным по людности населенных пунктов.

Таким образом, на уровне районов трансформация расселения зависит не от внутренних топологических (связность, централизация) свойств кластеров населенных пунктов, но от их положения в региональной поселенческой сети.

**Влияние положения населенных пунктов в поселенческой сети на динамику численности их населения.** Результаты статистических моделей приведены в табл. 4. Модели 1 и 2 дали практически идентичные результаты. Модель 2 выигрывает по показателям качества (AIC, BIC, Log Likelihood), но разница с моделью 1 минимальна.

Результаты регрессионного анализа подтвердили гипотезу о том, что позиция населенного пункта в поселенческой сети влияет на динамику численности его населения: в совокупности включенные в модели переменные объясняют 23% ( $R^2$ , модель 1)/24% ( $R^2$ , модель 2) различий между отдельными населенными пунктами, а с учетом случайных эффектов — до 36%.

При сравнении коэффициентов мы обнаруживаем, что более сильным эффектом для динамики численности населения обладает позиция населенных пунктов на межрайонном уровне. При прочих (включая численность населения) равных более центральное (в 1 стандартное отклонение от среднего) положение внутри кластеров межрайонного уровня обеспечивало населенному пункту +4.01%

**Таблица 4.** Результаты регрессионного анализа влияния положения населенных пунктов в поселенческой сети на динамику численности их населения (2010 г. к 2002 г., %)

Переменная	Модель 1	Модель 2
Логарифм численности населения (2002 г.)	8.17*** (0.45)	8.15*** (0.45)
Центральность по близости (6 кластеров)	4.01*** (1.50)	3.84*** (1.51)
Центральность по близости (18 кластеров)	0.97 (2.01)	1.35 (1.78)
Центральность по посредничеству (52 км)	1.42* (0.76)	—
Центральность по посредничеству (98.2 км)	—	1.53*** (0.72)
Свободный член	79.72*** (3.23)	79.79*** (3.20)
Число наблюдений	1224	1224
Log Likelihood	–5564.192	–5563.625
Akaike Inf. Crit. (AIC)	11148.38	11147.25
Bayesian Inf. Crit. (BIC)	11199.48	11198.35
Marginal $R^2$	0.23	0.24
Conditional $R^2$	0.36	0.36

\* $p < 0.1$ ; \*\* $p < 0.05$ ; \*\*\* $p < 0.01$ .

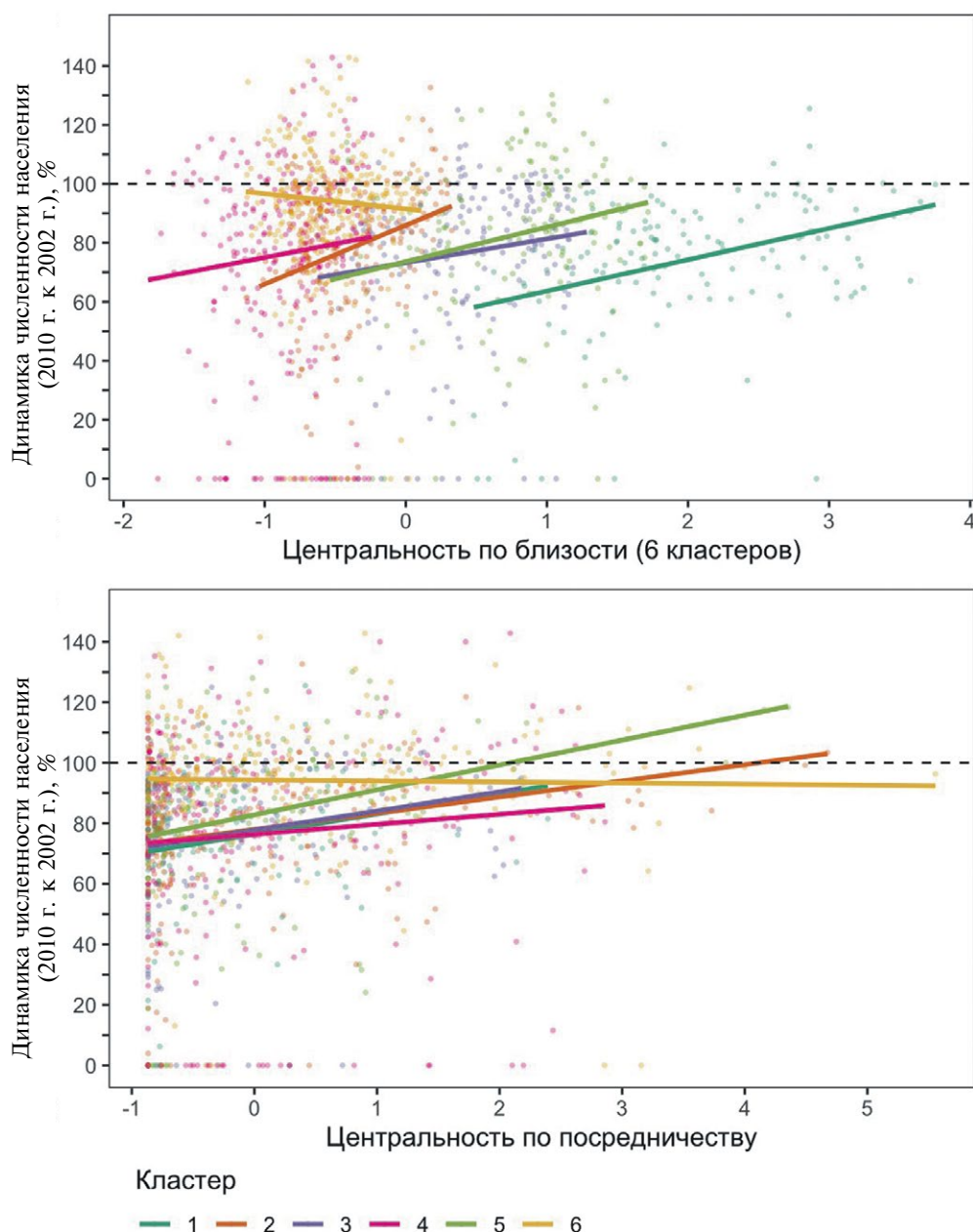
*Примечание:* в скобках дано значение стандартной ошибки. Метрики центральности  $z$ -стандартизированы, коэффициенты показывают размер эффекта на 1 стандартное отклонение. Marginal  $R^2$  – доля изменчивости зависимой переменной, объясняемая фиксированными эффектами (fixed effects); Conditional  $R^2$  – доля изменчивости зависимой переменной, объясняемая всей моделью, включая случайные эффекты (random effects).

(модель 1)/+3.84% (модель 2) прироста населения в период между 2002 и 2010 гг. На районном уровне размер стандартной ошибки для коэффициента центральности по близости превысил размер самого коэффициента, что вообще не позволяет говорить о значимой связи. Влияние центральности по посредничеству значимо на обоих уровнях организации сети: +1.42% (модель 1)/+1.53% (модель 2) прироста населения на 1 стандартное отклонение. Однако коэффициент центральности по посредничеству, рассчитанный с ограничением учитываемой длины пути в 98.2 км (медианное расстояние в кластерах межрайонного уровня), имеет меньшую ошибку.

Как показывает рис. 7, положительная связь между метриками центральности положения в сети и динамикой численности населения проявляется себя во всех кластерах за исключением группы населенных пунктов, тяготеющих к Тюмени (кластер 6).

Судя по наклону регрессионной прямой (см. рис. 7), самый сильный эффект центральность по близости показала во втором межрайонном кластере – в населенных пунктах, тяготеющих к г. Ишиму. Город располагается на пересечении трех осей: на изгибе реки Ишим, которая течет в меридиональном направлении, но затем резко поворачивает на северо-восток; на железнодорожной магистрали, проходящей через город прямой линией с северо-запада на юго-восток; на автомобильной трассе Тюмень–Омск (Сибирский тракт), которая сначала следует параллельно Транссибу, но в Ишиме поворачивает вслед за рекой. И хотя основанием для выделения кластера служили расстояния по автомобильным дорогам, центральное положение в кластере заняли населенные пункты, расположенные вдоль более старой оси расселения – реки Ишим (рис. 8).

Таким образом, мы пришли к трем выводам. Позиция населенного пункта в поселенческой



**Рис. 7.** Взаимосвязь динамики численности населения с положением населенных пунктов в поселенческой сети на межрайонном уровне.

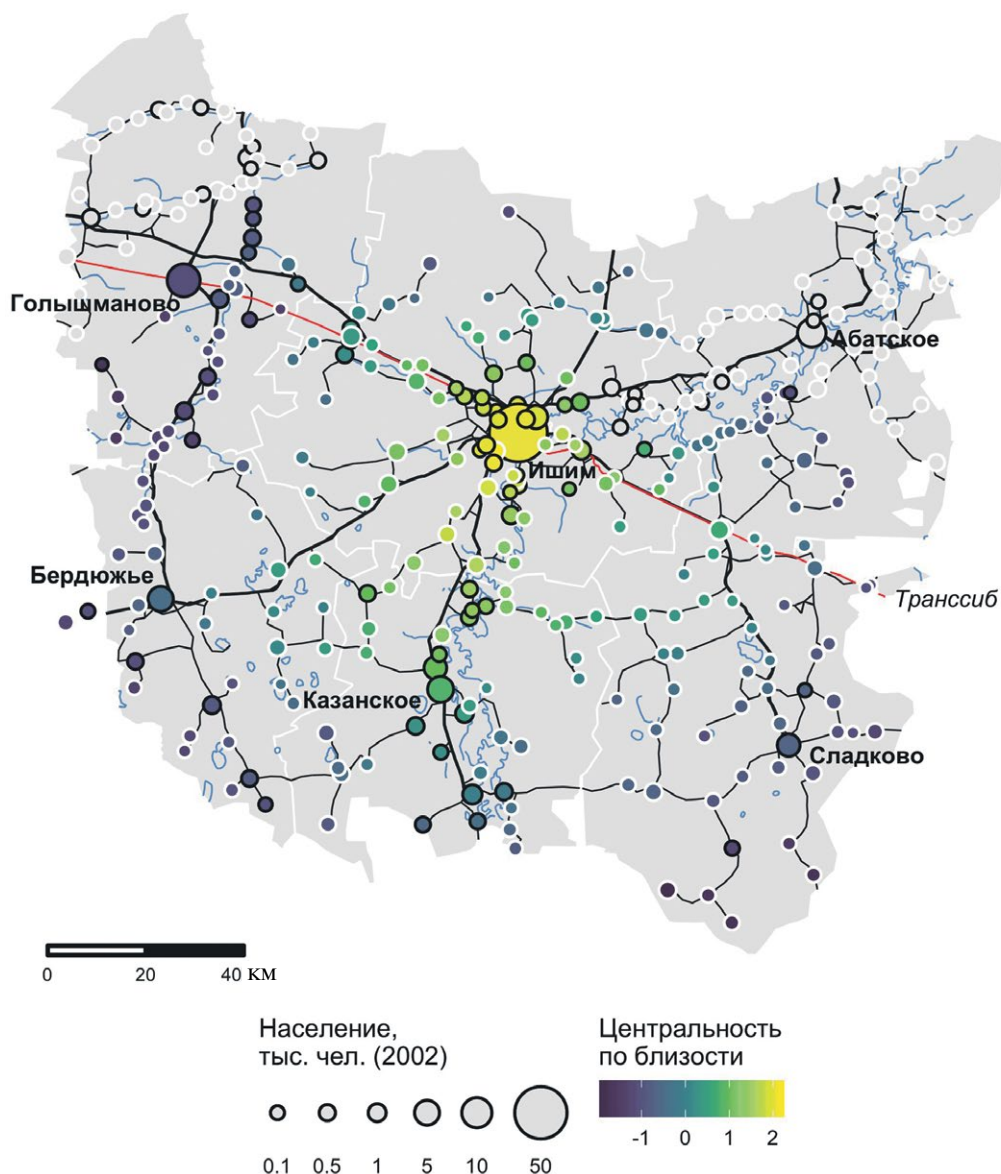
*Примечание:* шкалы метрик центральности z-стандартизированы: 0 – среднее значение, 1 – стандартное отклонение. Центральность по посредничеству рассчитана с ограничением максимальной длины пути, учитываемой при вычислениях, 98.2 км.

сети значимо влияет на динамику численности его населения: в совокупности с численностью населения метрики центральности объясняют 23–24% различий между отдельными населенными пунктами. Влияние этого фактора выражено только за пределами пригородной зоны региональной столицы. Значима позиция населенного пункта внутри кластеров межрайонного уровня.

#### ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе было поставлено два вопроса:

- влияют ли топологические свойства сети населенных пунктов на степень сжатия расселения?
- как динамика численности населения в отдельных населенных пунктах зависит от их положения в поселенческой сети?



**Рис. 8.** Характеристика населенных пунктов юго-востока Тюменской области (кластер 2) по межрайонной центральности.

*Примечание:* черной обводкой выделены поселения, которые в 2002–2010 гг. росли либо потеряли не более 8% населения (3 квартиль); белыми линиями по серому фону показаны границы муниципальных районов; шкала метрики центральности  $z$ -стандартизирована (0 – среднее значение, 1 – стандартное отклонение).

Мы обнаружили два уровня пространственной организации поселенческой сети Тюменской области: населенные пункты группируются вокруг локальных центров (“районный” уровень) и по бассейнам крупнейших рек (“межрайонный” уровень). Сжатие расселения и общие потери населения в группах районного уровня возрастают по мере удаления от региональной столицы и крупных транспортных осей. Различия между участками поселенческой сети в связности и централизованности не приводят к заметным отклонениям от общего центростремительного тренда. Таким образом, выдвинутая в статье гипотеза о зависимости динамики сжатия расселения от топологических свойств поселенческой сети не нашла своего подтверждения. Однако мы допускаем, что отрицательный результат может быть следствием общей неразвитости транспортной сети региона, в структуре которой доминируют простые древовидные компоненты. Предположим, что связность сети населенных пунктов работает в пользу ее устойчивости только с какого-то порогового уровня, который в данном случае достигнут не был. Окончательно подтвердить или опровергнуть гипотезу мы сможем после исследования в староосвоенных райо-

теза о зависимости динамики сжатия расселения от топологических свойств поселенческой сети не нашла своего подтверждения. Однако мы допускаем, что отрицательный результат может быть следствием общей неразвитости транспортной сети региона, в структуре которой доминируют простые древовидные компоненты. Предположим, что связность сети населенных пунктов работает в пользу ее устойчивости только с какого-то порогового уровня, который в данном случае достигнут не был. Окончательно подтвердить или опровергнуть гипотезу мы сможем после исследования в староосвоенных райо-

нах либо районах с более сильными контрастами освоенности и расселения.

Мы обнаружили значимое влияние сетевого положения на динамику численности населения в отдельных населенных пунктах. В совокупности с размером позиционные характеристики пунктов объясняют 23–24% различий между ними в динамике численности населения. Растут поселки и села с высокой межрайонной центральностью, в то время как на районном уровне зависимость отсутствует. Это неожиданый результат, учитывая, что традиционно ведущая роль в расселении отводится внутрирайонным связям, а межрайонные рассматриваются дополнительно (см., например, [9, 15]). Сдвиг масштаба можно отчасти объяснить самим сжатием расселения, когда при падающей плотности населения функции локальных центров перемещаются на более высокие уровни иерархии [17]. Дальнейшие исследования поселенческих сетей межрайонного уровня способны внести вклад в дискуссии о том, как связаны деградация социальной инфраструктуры и депопуляция сельских территорий и насколько велики предпосылки для создания межрайонных административных центров [2, 7, 32].

Второй фактор усиления значимости межрайонного положения связан с изменениями в транспорте, в первую очередь, автомобилизацией населения. Позиционные принципы не работают на уровне районов, потому что при хорошем состоянии дорожной инфраструктуры районы для этого слишком малы: центральные населенные пункты удалены от других поселений в кластерах районного уровня в среднем лишь на 36.6 км. Значимо положение населенного пункта на следующем – межрайонном – уровне расселения. Примечательно, что конфигурация поселенческой сети на межрайонном уровне сложилась в период колонизации и сельскохозяйственного освоения территории региона в XVII–XIX вв., когда реки были главными линиями коммуникаций. В XX в. роль осей расселения перешла от рек к автомобильным и железным дорогам. Таким образом, даже если факторы, влиявшие на формирование сети населенных пунктов, утратили значение, сам рисунок расселения продолжает влиять на социально-географическое пространство.

Зависимость между положением населенного пункта на межрайонном уровне и динамикой его населения не наблюдается в зоне влияния регионального центра, включившей в себя ближайшие пригороды, соседние сельские районы и малые города. Внутри этого ареала влияющие Тюмени перевешивает чистые позиционные факторы: для динамики численности населения важнее положение населенного пункта относительно

города, нежели относительно других пунктов. За пределами ареала чистые позиционные принципы продолжают работать: населенные пункты с выгодным положением – в центре сети или на стыке ее частей – показывают более позитивную динамику численности населения.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

"Методика исследования разработана А.В. Шелудковым (раздел "Методы") в Институте географии РАН" в рамках проекта Российской академии наук фонда № 19-17-00174 "Развитие районов старого освоения в условиях социально-экономической поляризации и сжатия освоенного пространства Европейской России".

## FUNDING

"The methodology of the research was developed by A.V. Sheludkov (section "Methods") at the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences within the project of the Russian Science Foundation No. 19-17-00174 "Early developed regions under socio-economic polarization and shrinkage of active space in European Russia".

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверкиева К.В.* Инновации в сельском хозяйстве Нечерноземной зоны России как ответ на "сжатие пространства" // Изв. РАН. Сер. геогр. 2012. № 4. С. 20–31.
2. *Глезер О.Б.* Система местного самоуправления как составная часть институциональной среды расселения в современной России // Вопросы географии. Сб. 135. География населения и социальная география. М.: Изд. дом "Кодекс", 2013. С. 224–244.
3. *Глезер О.Б.* Основные черты структуры и динамики расселения крупного экономического района (на примере Северного Кавказа): Дисс. ... канд. геогр. наук. М.: Институт географии АН СССР, 1987. 222 с.
4. *Гольц Г.А.* Транспорт и расселение. М.: Наука, 1981. 248 с.
5. *Горкин А.П., Смирнягин Л.В.* О факторах и условиях размещения капиталистической промышленности // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1973. № 1. С. 68–75.
6. *Гулько М.С., Глезер О.Б.* Малые районные центры и окружающие территории в Центральной России в 1970–2010 гг.: динамика и распределение населения // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015. № 1. С. 64–76.
7. *Зубаревич Н.В.* Трансформация сельского расселения и сети услуг в сельской местности // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 3. С. 26–38.
8. *Карачурина Л.Б., Мкртчян Н.В.* Роль миграций в усилении контрастов расселения на муници-

- пальном уровне в России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2016. № 5. С. 46–59.
9. Ковалев С.А. Типы поселений-районных центров СССР // Вопросы географии. Сб. 56. География населения СССР. М.: Географгиз, 1962. С. 54–72.
  10. Мкртчян Н.В. Миграция молодежи в региональные центры России в конце XX – начале XXI века // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 6. С. 19–32.
  11. Нефедова Т.Г., Мкртчян Н.В. Миграция сельского населения и динамика сельскохозяйственной занятости в регионах России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2017. № 5. С. 58–67.
  12. Нефедова Т.Г. Сжатие и поляризация сельского пространства России // Демоскоп Weekly. 2012. № 507–508.
  13. Полян П.М. Территориальные структуры – урбанизация – расселение: теоретические подходы и методы изучения. М.: Новый хронограф, 2014. 788 с.
  14. Тархов С.А. Транспортная доступность // Социально-экономическая география: понятия и термины. Словарь-справочник / отв. ред. А.П. Горкин. Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 267–268.
  15. Ткаченко А.А., Фомкина А.А., Шаврин В.Н. Районные системы расселения Центральной России // Вопросы географии. Сб. 135. География населения и социальная география. М.: Изд. дом “Кодекс”, 2013. С. 270–288.
  16. Трейвиш А.И. “Сжатие” пространства: трактовки и модели / Сжатие социально-экономического пространства: новое в теории регионального развития и практике его государственного регулирования. М.: Эслан, 2010. С. 16–31.
  17. Фомкина А.А. Межрайонные центры социальной инфраструктуры: новый подход к их выделению (на примере Тверской области) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2016. № 6. С. 57–64.
  18. Шелудков А.В., Рассказов С.В., Фарахутдинов Ш.Ф. Сельские муниципалитеты юга Тюменской области: пространство, статистика, власть. М.: Страна Оз, 2016. 184 с.
  19. Alekseev A.I., Safronov S.G. Transformation trends of Russia’s rural settlement patterns in the late soviet and post-soviet periods (1970–2010) // Reg. Res. Russ. 2015. № 2 (5). P. 193–201.
  20. Bates D., et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4 // J. Stat. Soft. 2015. № 1 (67). P. 1–48.
  21. Charrad M., et al. Package ‘nbclust’ // J. Stat. Softw. 2014. № 61. P. 1–36.
  22. Csárdi G., Nepusz T. The igraph software package for complex network research // InterJournal, Complex Systems. 2006. № 1695 (5). P. 1–9.
  23. Fielding A.J. Migration and urbanization in Western Europe since 1950 // Geogr. J. 1989. № 1 (155). P. 60–69.
  24. Freeman L.C. Centrality in social networks conceptual clarification // Social Networks. 1978. № 3 (1). P. 215–239.
  25. Hanneman R.A., Riddle M. Introduction to Social Network Methods. Riverside, CA: Univ. of California, 2005. URL. <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/nettext/> (accessed: 24.02.2019).
  26. Jażdżewska I. The historical diversity of Poland’s urban network. Cluster Analysis vs. Historical Regions // Geogr. Polonica. 2013. № 86 (3). P. 219–236.
  27. Kansky K.J. Structure of Transportation Networks: Relationships Between Network Geometry and Regional Characteristics. Chicago, 1963. 155 p.
  28. Karachurina L., Mkrтчян N. Age-specific net migration patterns in the municipal formations of Russia // GeoJournal. 2018. № 1 (83). P. 119–136.
  29. Lu B. shp2graph: Convert a SpatialLinesDataFrame Object to an ‘igraph’-Class Object. 2018. R package version 0-4. URL. <https://CRAN.R-project.org/package=shp2graph> (accessed: 24.02.2019).
  30. Meyfroidt P. Approaches and terminology for causal analysis in land systems science // J. Land Use Sci. 2016. № 5 (11). P. 501–522.
  31. NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems, U.S./Japan ASTER Science Team. ASTER Global Digital Elevation Model. Ver. 2. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2011.
  32. Naumann M., Reichert-Schick A. Infrastructure and peripheralization: empirical evidence from North-Eastern Germany // Peripheralization / Fischer-Tahir A., Naumann M. (Eds.). Springer, 2013. P. 145–167.
  33. Nefedova T., Treivish A. Differential urbanisation in Russia // Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie. 2003. № 1 (94). P. 75–88.
  34. Peregrine P. A graph-theoretic approach to the evolution of Cahokia // Am. Antiquity. 1991. № 1 (56). P. 66–75.
  35. Pitts F.R. A graph theoretic approach to historical geography // Prof. Geogr. 1965. № 17 (5). P. 15–20.
  36. Rivers R., Knappett C., Evans T. What makes a site important? Centrality, gateways, and gravity // Network Analysis in Archaeology / Knappett C. (Ed.). Oxford Univ. Press, 2013. P. 125–150.
  37. Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. NY: Springer-Verlag, 2009. 213 p.

## REFERENCES

1. Averkieva K.V. Innovation in agriculture of the Non-Black Soil Zone of Russia as a response to the contraction of space. *Reg. Res. Russ.*, 2013, vol. 3, no. 1, pp. 52–61.
2. Glezer O.B. Local self-government system as a component of the institutional background of settlement pattern in modern Russia. In *Voprosy geografii. Sb. 135: Geografiya naseleniya i sotsialnaya geografiya*. [Problems of Geography. Vol. 135: Population Geography and Social Geography]. Moscow: Kodeks Publ., 2013, pp. 224–244. (In Russ.).
3. Glezer O.B. The main features of structure and dynamics of settlement pattern in large economic region: case study of the North Caucasus. *Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Inst. Geogr. Acad. Sci., 1987. 222 p.
4. Gol’ts G.A. *Transport i rasselenie* [Transport and Settlement Pattern]. Moscow: Nauka Publ., 1981. 248 p.
5. Gorkin A.P., Smirnyagin L.V. On the factors and conditions for the placement of capitalist industry. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1973, no. 1, pp. 68–75. (In Russ.).

6. Gunko M.S., Glezer O.B. Small district centers and the surrounding areas in Central Russia (1970–2010): dynamics and distribution of population. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2015, no. 1, pp. 64–76. (In Russ.).
7. Zubarevich N.V. Transformation of the rural settlement pattern and social services network in rural areas. *Reg. Res. Russ.*, 2013, vol. 3, no. 3, pp. 221–233.
8. Karachurina L.B., Mkrtychyan N.V. The role of migration in enhancing settlement pattern contrasts at the municipal level in Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2016, no. 5, pp. 46–59. (In Russ.).
9. Kovalev S.A. Types of settlements–rayon centres in the USSR. In *Voprosy geografii. Sb. 56: Geografiya naseleniya SSSR* [Problems of Geography. Vol. 17: the USSR Population Geography]. Moscow, 1962, pp. 54–72. (In Russ.).
10. Mkrtychyan N.V. Migration of young people to regional centers of Russia at the end of the 20th and the beginning of the 21st centuries. *Reg. Res. Russ.*, 2013, vol. 3, no. 4, pp. 335–347. (In Russ.).
11. Nefedova T.G., Mkrtychyan N.V. Migration of rural population and dynamics of agricultural employment in the regions of Russia. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2017, no. 5, pp. 58–67. (In Russ.).
12. Nefedova T.G. Compression and polarization of social space in Russia. *Demoskop Weekly*, 2012, no. 507–508. (In Russ.).
13. Polyan P.M. *Territorial'nye struktury – urbanizatsiya – rasselenie: teoreticheskie podkhody i metody izucheniya* [Territorial Structures – Urbanization – Settlement: Theoretical Approaches and Research Methods]. Moscow: Novii Khronograf Publ., 2014. 788 p.
14. Tarkhov S.A. Transport accessibility. In *Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya: ponyatiya i terminy. Slovar'-spravochnik* [Socio-Economic Geography: Concepts and Terms. Handbook]. Gorkin A.P., Ed. Smolensk: Oikumena Publ., 2013, pp. 267–268. (In Russ.).
15. Tkachenko A.A., Fomkina A.A., Shavrin V.N. Settlement systems of municipal districts of Central Russia. In *Voprosy geografii. Sb. 135: Geografiya naseleniya i sotsialnaya geografiya* [Problems of Geography. Vol. 135: Population Geography and Social Geography]. Moscow: Kodeks Publ., 2013, pp. 270–288. (In Russ.).
16. Treivish A.I. “Compression” of space: models and interpretations. In *Szhatie sotsial'no-ekonomicheskogo prostranstva: novoe v teorii regional'nogo razvitiya i praktike ego gosudarstvennogo regulirovaniya* [Compression of Socio-economic Space: New in the Theory of Regional Development and the Practice of its State Regulation]. Sintserov L.M., Ed. Moscow: Eslan Publ., 2010, pp. 16–31. (In Russ.).
17. Fomkina A.A. Trans-district centers of social infrastructure: a new approach to their identification (case study of the Tver oblast). *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2016, no. 6, pp. 57–64. (In Russ.).
18. Sheludkov A.V., Rasskazov S.V., Farakhutdinov Sh.F. *Sel'skie munitsipaliteti yuga Tyumenskoj oblasti: prostranstvo, statistika, vlast'* [Rural Municipalities of the South of the Tyumen Region: Space, Statistics, Governance]. Moscow: Strana Oz Publ., 2016. 184 p.
19. Alekseev A.I., Safronov S.G. Transformation trends of Russia's rural settlement patterns in the late soviet and post-soviet periods (1970–2010). *Reg. Res. Russ.*, 2015, no. 2 (5), pp. 193–201.
20. Bates D., et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *J. Stat. Softw.*, 2015, no. 1 (67), pp. 1–48.
21. Charrad M., et al. Package ‘nclust’. *J. Stat. Softw.*, 2014, no. 61, pp. 1–36.
22. Csárdi G., Nepusz T. The igraph software package for complex network research. *InterJournal, Complex Syst.*, 2006, no. 1695 (5), pp. 1–9.
23. Fielding A.J. Migration and urbanization in Western Europe since 1950. *The Geogr. J.*, 1989, no. 1(155), pp. 60–69.
24. Freeman L.C. Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks*, 1978, no. 3 (1), pp. 215–239.
25. Hanneman R.A., Riddle M. *Introduction to Social Network Methods*. Riverside, CA: University of California, 2005. URL: <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/nettext/> (accessed: 24.02.2019).
26. Jażdżewska I. The historical diversity of Poland's urban network. Cluster Analysis vs. Historical Regions. *Geogr. Pol.*, 2013, no. 86 (3), pp. 219–236.
27. Kansky K.J. *Structure of Transportation Networks: Relationships Between Network Geometry and Regional Characteristics*. Chicago, 1963. 155 p.
28. Karachurina L., Mkrtychyan N. Age-specific net migration patterns in the municipal formations of Russia. *GeoJournal*, 2018, no. 1 (83), pp. 119–136.
29. Lu B. shp2graph: Convert a SpatialLinesDataFrame Object to an 'igraph'-Class Object. 2018. R package version 0-4. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=shp2graph> (accessed: 24.02.2019).
30. Meyfroidt P. Approaches and terminology for causal analysis in land systems science. *J. Land Use Sci.*, 2016, no. 5 (11), pp. 501–522.
31. NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems, U.S./Japan ASTER Science Team. ASTER Global Digital Elevation Model. Ver. 2. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2011.
32. Naumann M., Reichert-Schick A. Infrastructure and peripheralization: empirical evidence from North-Eastern Germany. In *Peripheralization*, Fischer-Tahir A., Naumann M., Eds. Springer, 2013, pp. 145–167.
33. Nefedova T., Treivish A. Differential urbanisation in Russia. *Tijdschr. Econ. Soc. Geogr.*, 2003, no. 1 (94), pp. 75–88.
34. Peregrine P. A graph-theoretic approach to the evolution of Cahokia. *Am. Antiq.*, 1991, no. 1 (56), pp. 66–75.
35. Pitts F.R. A graph theoretic approach to historical geography. *Prof. Geogr.*, 1965, no. 17(5), pp. 15–20.
36. Rivers R., Knappett C., Evans T. What makes a site important? Centrality, gateways, and gravity. In *Network Analysis in Archaeology*. Knappett C., Ed. Oxford University Press, 2013, pp. 125–150.
37. Wickham H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. New York: Springer-Verlag, 2009. 213 p.



## Settlement Network Topology as a Factor of Rural Population Dynamics (a Case Study of Tyumen Oblast)

A. V. Sheludkov<sup>1, \*</sup> and M. A. Orlov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *Institute of Cell Biophysics, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia*

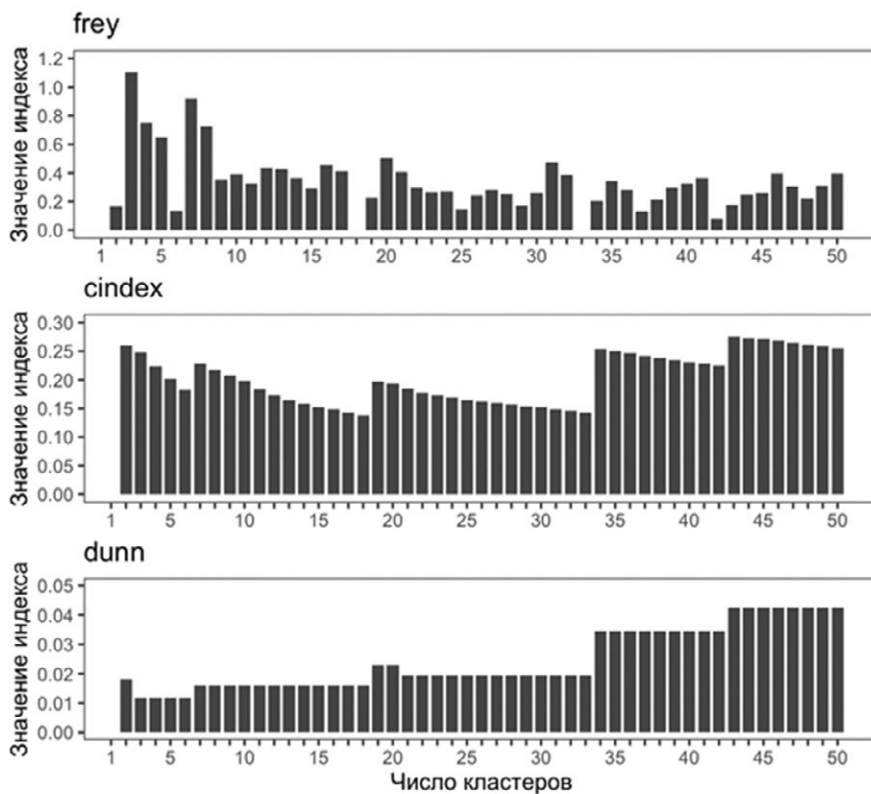
*\*e-mail: a.v.sheludkov@igras.ru*

Received April 15, 2019; revised April 29, 2019; accepted May 08, 2019

After a brief counter-urbanization of the early 1990s, rural out-migration resumed in Russia. Population concentrates in large settlements, while small and medium-sized towns and villages lose people. The farther rural settlements from regional center the greater the outflow of people. Centripetal tendencies can be mitigated or amplified at local level, where specific conditions of the area come to fore. The authors suggest settlement network pattern as one of such contextual factors, whose effects on population dynamics are still poorly understood. The paper poses two questions: what the effects of settlement network topology on the rate of population concentration are, and how population dynamics in individual settlements depends on their position in settlement network. Based on a case study of Tyumen oblast of Russia the authors investigated population dynamics in 2002–2010 with methods of network, cluster and regression analysis. The authors did not find relationship between density and centralization of settlement network and rate of population concentration. However, the study revealed a significant role, played by the network position in determining individual settlements population increase/decrease. Together with initial population size, the network position explained 23–24% of the variance in population dynamics among the towns and villages of Tyumen oblast. Outside the Tyumen metropolitan area settlements with highest inter-district network centrality grew. It is noteworthy that configuration of the regional settlement network at inter-district level emerged during the period of colonization of Western Siberia in 17–19 centuries. The configuration largely stems from the river network. Thus, even if the factors, which determined settlement network pattern, have lost their force, the settlement pattern itself continues to affect social space.

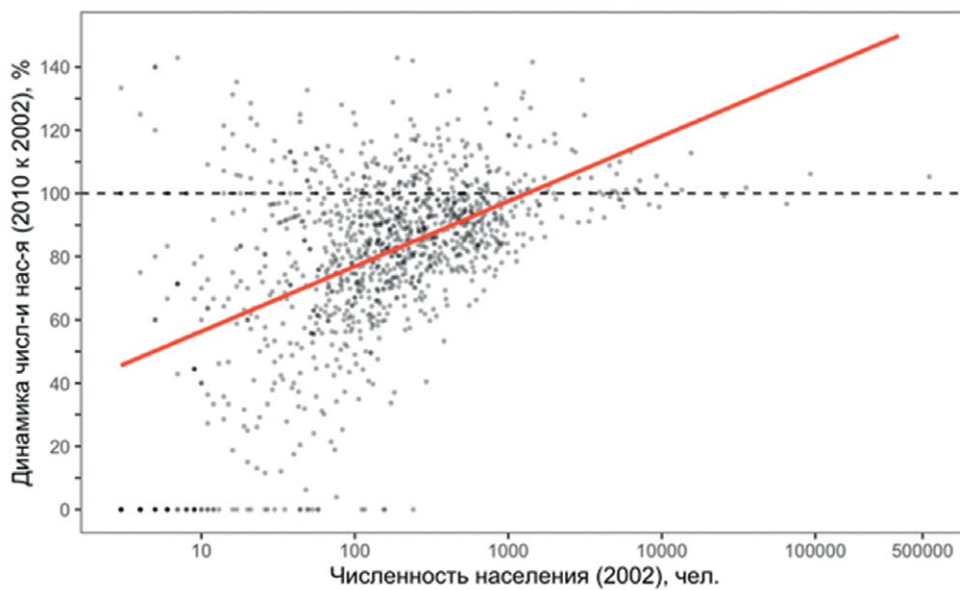
**Keywords:** rural depopulation, population concentration, settlement pattern, settlement network, network analysis, cluster analysis, Western Siberia.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019446-62>



**Рис. 1.** Значения индексов оценки оптимального количества кластеров населенных пунктов Тюменской области в 2002 г.

*Примечание:* Оптимумам соответствуют экстремумы в значениях индексов: минимумы для frey и cindex и максимумы или “перегибы” для dunn.



**Рис. 2.** Зависимость динамики численности населения от размеров населенных пунктов в Тюменской области в 2002–2010 гг.

*Примечание:* шкала x логарифмирована.

**Таблица 1\_ДМ.** Корреляционная матрица для переменных моделей 1 и 2

Переменная	ДЧН, %	log(ЧН)	ЦБ (6)	ЦБ (18)	ЦП (98)	ЦП (52)
ДЧН, %	1	0.5	0	0.06	0.17	0.19
log(ЧН)	0.5	1	0.04	0.06	0.11	0.11
ЦБ (6)	0	0.04	1	0.01	0.07	0.03
ЦБ (18)	0.06	0.06	0.01	1	0.01	0.06
ЦП (98)	0.17	0.11	0.07	0.01	1	0.86
ЦП (52)	0.19	0.11	0.03	0.06	0.86	1

*Примечание:* ДЧН, % – динамика численности населения (2010 к 2002), %; log(ЧН) – логарифм численности населения, 2002 г.; ЦБ (6) – центральность по близости по 6 кластерам межрайонного уровня; ЦБ (18) – центральность по близости по 18 кластерам районного уровня; ЦП (98) – центральность по посредничеству с ограничением максимальной длины пути, учитываемой в вычислениях, 98 км; ЦП (52) – центральность по посредничеству с ограничением максимальной длины пути, учитываемой в вычислениях, 52 км.