

УДК 913;35.071.55(100)

## ПОЛИМАСШТАБНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОХОДОВ В СТРАНАХ МИРА

© 2023 г. А. С. Гладкий\*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,  
кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, Москва, Россия*

\*e-mail: antony.gladky@gmail.com

Поступила в редакцию 09.09.2021 г.

После доработки 22.06.2023 г.

Принята к публикации 27.06.2023 г.

В статье рассматривается распределение уровня социально-экономического развития и регионального неравенства по территории стран мира. Предложено обоснование уровня социально-экономического развития стран при пересчете показателя валового регионального продукта на единицу площади и проведено картографирование с использованием показателя удельного ВРП на км<sup>2</sup>. Анализ распределения удельного ВРП по странам мира показывает, что страны делятся на развитые и развивающиеся не только по уровню социально-экономического развития, но и по характеру регионального неравенства. Установлено, что распределение значений показателя удельного ВРП в развитых странах имеет более плавный характер, в то время как в развивающихся странах происходит концентрация экономических ресурсов в столицах. Расчет коэффициента географической генерализации показал, что для развитых стран (США, страны зарубежной Европы) наибольший прирост информации о гетерогенности пространства отмечается на верхнем масштабном уровне, в то время как для большинства исследованных развивающихся стран (Китай, Мексика, Бразилия, Аргентина) наибольший прирост происходит на более низких масштабных уровнях. Анализ пространственной автокорреляции и построение модели пространственной регрессии позволили количественно охарактеризовать различия между развитыми и развивающимися странами по характеру территориального неравенства: на основании разницы фактических и модельных значений пространственной автокорреляции. Предложенная методика пространственного анализа распределения показателей экономического благополучия может выступать в качестве альтернативы традиционно принятым в экономике критериям определения развитых и развивающихся стран мира.

*Ключевые слова:* пространственное распределение доходов, региональное неравенство, полимасштабный подход, проблема изменяющегося масштаба, коэффициент географической генерализации, пространственная автокорреляция, пространственная регрессия

DOI: 10.31857/S2587556623050047, EDN: EWEEAP

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема территориальной неравномерности распределения различных характеристик экономического пространства — одна из ключевых и составляет предмет исследования географических наук. Социально-экономическая география занимается исследованием территориального неравенства и территориальной организации экономики и населения. Выявление ключевых особенностей географического пространства и их параметрическая характеристика — своего рода визитная карточка такого направления в отечественной и зарубежной географии, как пространственный анализ.

Территориальное неравенство — имманентная характеристика географического пространства, в

особенности, когда идет речь о неравенстве в уровне экономического благосостояния территорий. Оно является следствием международного разделения труда и обусловлено естественными и историческими причинами, а также географическими факторами, среди которых важную роль играет экономико-географическое положение (Баранский, 1980). Проблема особенно актуальна в контексте ее полимасштабного исследования, ведь многие характеристики географического пространства распределены неравномерно и сильно зависят от масштаба рассмотрения (Голубченко, 2016).

Актуальность темы заключается в нехватке работ по исследованию социально-экономического неравенства, которые бы одновременно претендовали и на полимасштабность, и на широкий

охват территории для исследования. Существующие методы исследования уровня гетерогенности географического пространства, с одной стороны, более нацелены на выявление пространственной неоднородности, нежели пространственной взаимосвязи явлений, с другой стороны, нуждаются в апробации на примере новых стран и территорий. Методы пространственной статистики, которые ранее применялись в узкоспециализированных сферах и для территорий небольших масштабов, могут показать интересные результаты и привести к неожиданным выводам в мировом масштабе.

Другая проблема связана со сложившейся традицией в работах по социально-экономической географии, в которой территория исследования строго ограничена государственными границами или состоит из фиксированного перечня стран, объединенных по какому-либо признаку либо представляющих собой некое интеграционное формирование (например, страны ЕС). Отказ от рассмотрения характера географического распределения признака в сопредельных областях, выходящих за полигон исследования, методологически уязвим, а полученные результаты зависят от выбранного исследователем территориального охвата и не учитывают поведение показателя в неохваченных областях. Это может быть критично при исследовании стран и регионов, которые существенно отличаются по уровню социально-экономического развития от сопредельных территорий.

Исследования неравенства, опирающиеся на общепринятую систему административного деления территории, не всегда корректно отражают фактическую картину территориального неравенства, поскольку ограничены выбранным исследователем масштабом рассмотрения. Полимасштабный подход с использованием методов пространственного анализа видится одним из вариантов решения возникающих проблем и неопределенностей.

**Особенности полимасштабного подхода в географических исследованиях.** Пространственная неоднородность является ключевым понятием географической науки и зачастую становится объектом или предметом изучения для ряда дисциплин. Понятие пространственной неоднородности в отечественной социально-экономической географии — важная составляющая системно-структурного подхода, разработкой которого занимались Л.И. Василевский, П.М. Полян, А.И. Трейвиш, И.М. Маергойз и др. (Василевский, Полян, 1978; Полян, Трейвиш, 1988). Объяснение феномена возникающей пространственной дифференциации неразрывно связано в диалектическом взаимодействии с территориальным разделением тру-

да и имеет ярко выраженный экономический оттенок.

Для решения проблемы генерализации данных в социально-экономической географии широкое применение получил полимасштабный подход. Недаром полимасштабный подход, по Н.Н. Баранскому, является одной из отличительных черт географической науки, а “игра масштабами” — ее методологией. Отсутствие полимасштабного подхода в исследованиях зачастую может привести к “ошибке в генерализации, которая означает ошибку в общей логике или в логике изображаемых на карте явлений” (Баранский, 1980, с. 54). Основные теоретические принципы полимасштабного подхода сформулированы в работах А.И. Трейвиша (2007, 2009). Кроме того, как пишет сам автор, “кое-что было в книгах 70-х гг. у П. Хаггета, А.Ф. Асланикашвили, В.Л. Каганского”, при этом отмечая, что работ на эту тему на удивление мало (Трейвиш, 2006, с. 3). Оперирование различными масштабами, по сути, — ключевой методологический инструмент географа, способ анализа и синтеза изучаемых явлений и закономерностей.

Основной постулат полимасштабных исследований — необходимость рассмотрения исследуемых объектов и явлений на разных масштабных уровнях. При этом исследователь должен не только оперировать территориальными таксонами разных рангов (“игра масштабами”), но и оценивать взаимодействие масштабностей разных иерархических уровней (численного соотношения между характерными размерами объектов на разных масштабных уровнях), а также самих носителей информации о состоянии системы — сущности, пространства и времени (Голубченко, 2016). В силу особенностей организации географического пространства в целом, применение полимасштабного подхода особо важно в рамках экономической и социальной географии. Общим правилом является рост вариации исследуемых показателей при выборе более дробной системы территориального деления, в связи с чем все чаще работы на тему неоднородности социально-экономического развития оперируют данными на низовом уровне территориального деления (Антонов, 2019; Шевчук и др., 2019). При этом ни один из представленных масштабных уровней не может претендовать на главенствующую роль: любой масштаб имеет право на существование, притом отражая лишь некоторые аспекты этого неравенства.

Обоснованное применение полимасштабного подхода в современных работах встречается достаточно редко, а уже сложившаяся во многих странах система сбора статистики по административно-территориальным единицам не всегда отражает истинную картину пространственной соци-

ально-экономической дифференциации, что ограничивает возможности исследователей или же ставит перед ними непомерные задачи. Из-за подобных ограничений многие современные исследования посвящены именно межстрановому неравенству (Антонов, 2019; Григорьев, Салмина, 2013), или же неравенству внутри регионов РФ (Шевчук и др., 2019). В общем случае пространственная неоднородность выступает в роли некоторой сопутствующей характеристики географического пространства, которая упоминается исследователями “мимоходом”, в то время как большее внимание отводится другим географическим “сюжетам” (Трейвиш, 2006).

В настоящий момент можно наблюдать всплеск интереса к теме полимасштабных исследований, о чем свидетельствует ряд научных публикаций по вопросам как картографирования пространственной неоднородности (Самсонов, Юрова, 2014), так и качественного изучения этого процесса (Антонов, 2019; Шевчук и др., 2019). Переломным моментом в развитии данной проблематики стало появление в открытом доступе больших объемов данных на разных масштабных уровнях, а также общий рост интереса к теме социального неравенства. Все чаще встречаются работы, посвященные исследованию регионально-неравенства на принципиально новом техническом уровне, с применением сложных методов пространственной статистики, таких как исследование данных на наличие пространственного тренда и расчет модели пространственной регрессии (Almeida, 2012). Использование моделей пространственной регрессии может составить альтернативу традиционным способам агрегирования показателей, а также выступает в роли альтернативного способа картографирования неравномерности географического пространства.

Особенно важным представляется вопрос об оптимальном географическом масштабе для исследований социально-экономического пространства – вопрос, который и по сей день остается открытым. Последние работы по России показали, что переход на низовой уровень территориального деления может быть не всегда обоснован, поскольку “переход с регионального на муниципальный уровень формально дает меньший вклад в меру пространственной неоднородности” (Шевчук и др., 2019, с. 9). Наша задача – подтвердить или опровергнуть этот факт на примере некоторых зарубежных стран.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования проблемы изменяющегося масштаба и выявления ключевых особенностей пространственной неравномерности социально-экономического развития предлагается использо-

вать математические методы и методы пространственной статистики. Для определения того, насколько изменяется количество информации о гетерогенности географического пространства между различными масштабными уровнями, был использован коэффициент географической генерализации. Данный показатель вычисляется в качестве меры, описывающей степень агрегирования величин при переходе между различными иерархическими масштабными уровнями, то есть количественной оценки генерализации пространственных явлений (формула 1):

$$K_{i/j} = \frac{1}{Y_i} \sqrt{\frac{\sum_i (y_j - Y_i)^2}{n}}, \quad (1)$$

где  $Y_i$  – значение показателя в регионе  $i$ ,  $y_j$  – значение показателя в регионе  $j$ , входящем в состав региона более высокого порядка  $i$ ,  $n$  – общее число регионов на уровне  $j$ .

Порядок расчета представленной величины следующий: значения признака подвергаются агрегации при переходе от более низкого к более высокому иерархическому уровню, вплоть до уровня, на котором представлено только одно значение в целом по стране (региону). Далее для всех элементов масштабного уровня  $j$  рассчитывается отклонение значений от значений родительского региона  $i$ , производится их суммирование, а результат делится на общее число регионов на уровне  $j$ . Исходные средние значения в регионах рассчитываются как средневзвешенные. Методика предусматривает расчет одного значения коэффициента на каждую пару масштабных уровней (не обязательно смежных).

Более сложная методика анализа территориального неравенства предполагает исследование пространственной автокорреляции. Исследование пространственной автокорреляции основано на предположении, что пространственные характеристики рассматриваемых объектов и явлений распределены по территории неслучайно и имеют ярко выраженный пространственный тренд. Понятие пространственной автокорреляции раскрывается исходя из следующей формулировки. Для множества  $S$ , состоящего из  $n$  географических единиц, пространственная автокорреляция есть соотношение между переменной, наблюдаемой в каждой из  $n$  единиц, и мерой географической близости, определенной для всех  $n(n-1)$  пар единиц из  $S$  (Самсонов, 2021). При подсчете коэффициента пространственной автокорреляции для каждой территориальной единицы производится вычисление среднего значения ее прямых соседей (так называемый “пространственный лаг”). Зачастую это значение является средневзвешенным, то есть его расчет зависит от топологических свойств рассматриваемой систе-

мы территориального деления, в частности, какая метрика используется для определения расстояния между отдельными узлами графа – если в топологической системе вводятся характеристики, масштабирующие расстояния между отдельными узлами.

Расчет модели пространственной автокорреляции и регрессии основывается на построении графа географической смежности исследуемых территориальных ячеек и определении критериев соседства. Наиболее популярные критерии соседства: соседи по смежности (по правилу ферзя или ладьи). Методика оценки уровня пространственной автокорреляции предполагает расчет матрицы пространственных весов  $W$ , которая может быть представлена в бинарном, нормированном и взвешенном виде.

Определение степени пространственной автокорреляции предусматривает расчет глобального индекса Морана, значения которого подкрепляются статистическим тестом. Перестановочный тест Морана показывает уровень статистической значимости гипотезы о связи между показателями в соседствующих ячейках. Полученная гистограмма частот случайных перестановок имеет нормальное распределение, а величина отклонения фактического значения индекса Морана от математического ожидания при перестановочном тесте характеризует уровень статической значимости гипотезы (Grekousis, 2020).

Оценка уровня статистической значимости вычислений осуществляется путем расчета  $p$ -значения (вероятность случайной связи), которое используется в математической статистике:  $p$ -значение рассчитывается как площадь под кривой распределения исследуемой случайной величины по одну сторону от полученного экспериментального значения при проверке левосторонней, правосторонней или двусторонней гипотезы. В частности, это означает вероятность совершить ошибку первого рода, т.е. отвергнуть изначально правильную нулевую гипотезу о том, что связь (в данном случае пространственная связь между распределением значений показателя по территориальным ячейкам) имеет случайный, а не географический характер.

Индекс Морана рассчитывается в интервале от  $-1$  (предельный случай максимальной дисперсии значений) до  $1$  (наличие ярко выраженной пространственной взаимосвязи значений) по следующей формуле:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\left( \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right) \sum_{i \neq j} w_{ij}}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество территориальных единиц,  $w_{ij}$  – веса (мера близости),  $y_i$  – значение показателя в регионе  $i$ ,  $y_j$  – значение показателя в регионе  $j$ ,  $\bar{y}$  – среднее значение показателя.

Для определения пространственного характера распределения поля рассматриваемого признака используется модель пространственной регрессии, в которой, в отличие от классической линейной регрессии, добавляется пространственная авторегрессионная компонента, которая представляет собой пространственный лаг (Самсонов, 2021). Модель пространственной регрессии (SAR) в общем случае имеет следующий вид:

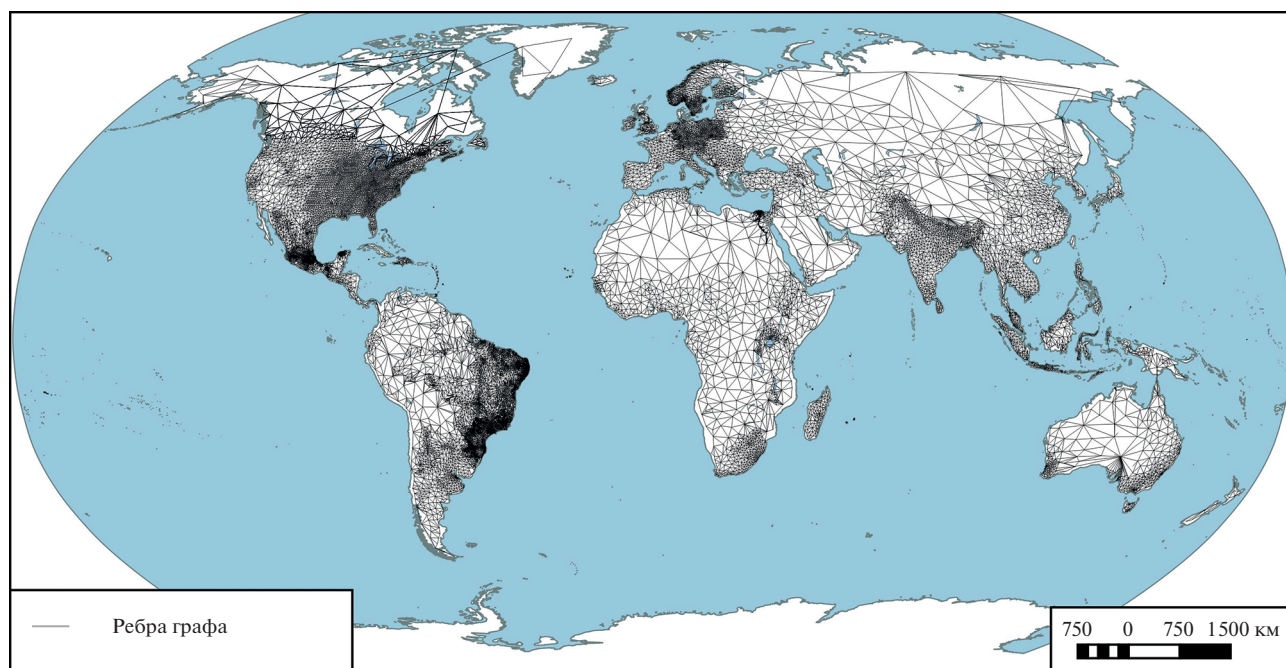
$$y = X\beta + \rho Wy + \varepsilon, \quad (3)$$

где  $X$  – матрица независимых переменных,  $\beta$  – вектор коэффициентов регрессии,  $\rho$  – коэффициент регрессии, отражающий степень пространственной автокорреляции,  $W$  – матрица пространственных весов,  $\varepsilon$  – вектор случайных ошибок среднего.

Перед анализом и картографированием данных определимся с показателем для измерения пространственной неоднородности. Поскольку традиционно принятый в экономике показатель валового регионального продукта (ВРП) на душу населения – относительный, то в некоторых случаях он не вполне адекватно отражает особенности пространственной неравномерности развития территорий. В ряде случаев уместно использование абсолютных показателей или картографирование относительных показателей совместно с показателями “вместилища”.

В качестве решения данной проблемы нами предлагается использование удельного показателя ВРП на км<sup>2</sup>: показатель более устойчив к статистическим выбросам, поскольку ситуации, когда большой объем производства распределен на сравнительно небольшое количество населения, как, например, в горнорудных и псевдоразвитых странах, встречаются гораздо чаще, чем высокие значения ВРП на сравнительно небольших территориях (Типология ..., 2019). Расчет показателей уровня социально-экономического развития по данной методике более устойчив к статистическим выбросам, а также соответствует основным представлениям о природе социально-экономического развития и методике расчета удельных показателей.

Использованные в работе статистические источники включают региональные данные по ВРП на душу населения, опубликованные в отечественных и зарубежных источниках, которые были пересчитаны на км<sup>2</sup>. Временной интервал для статистики по разным странам, как правило, различается, однако большинство данных представлены за период 2010–2020 гг. Масштабные уровни, для которых собрана статистика включают



**Рис. 1.** Граф территориальной смежности единиц АДТ стран мира.  
 Источник: составлено автором.

достаточно детальные уровни административно-го или статистического деления. Как правило, это второй уровень территориального деления. Под первым уровнем понимается общепринятое деление стран мира на таксоны: это могут быть регионы, области, штаты, графства и т.д. Такой подход позволил в некоторой мере обеспечить соотношение масштабы иерархических уровней деления разных стран, а также дать возможность максимального покрытия полигона исследования данными.

Следует учитывать, что уровень обеспеченности статистическими данными в региональном разрезе для разных стран существенно отличается, однако второго уровня вполне достаточно, чтобы получить принципиально иную картину территориального неравенства в мировом масштабе, в отличие от распространенного подхода картографирования экономических показателей по странам мира. Для ряда стран, которые хорошо обеспечены статистикой, количество рассмотренных масштабных уровней доходило вплоть до пяти (Бразилия).

Для подтверждения корректности применения методов пространственной статистики в технической части, приведем пространственную модель, которая использовалась при построении пространственной регрессии и расчете индекса Морана (рис. 1). Граф территориальной смежности отобранных ячеек АДТ представляет собой совокупность из 20 тыс. топологически связанных территориальных единиц стран мира (за ис-

ключением небольших островных государств, которые не связаны с остальной сетью территориальных ячеек и их влиянием в рамках пространственной модели можно пренебречь).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использование показателя ВРП в пересчете на  $\text{км}^2$ , помимо удобства расчетов с использованием геопространственных данных (возможность агрегации данных по площади), показало интересные результаты, характеризующие географическое распределение благосостояния населения в мировом масштабе. Математический смысл подобной меры заключается в том, что удельный показатель оценивает соотношение размера экономических благ и площади как одного из классических экономических факторов, к числу которых относятся: земля, труд и капитал. Расчет ВРП относительно площади и населения соотносится с первыми двумя факторами соответственно. Возможно, стоит подумать насчет третьей меры, которая могла бы выступать в качестве «вместилища» для расчета удельного ВРП и соответствовала бы капиталу. Например, отношение годового ВРП к населению, площади и размеру основных фондов. Итоговую численную характеристику можно было бы использовать, например, в качестве меры уровня социально-экономического развития экономики в ее пространственном и народнохозяйственном аспектах.

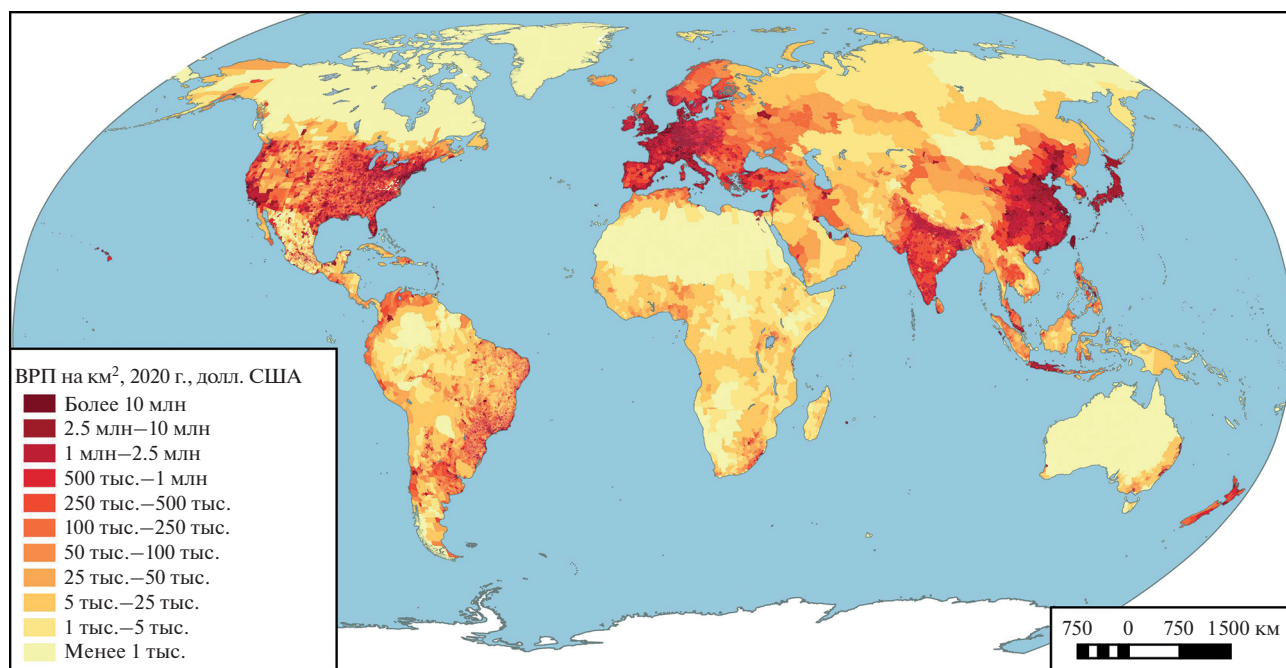


Рис. 2. Пространственная неравномерность распределения ВРП на км<sup>2</sup> по странам мира.  
Источник: составлено автором.

**Анализ пространственного распределения доходов.** Рассмотрим пространственное распределение уровня социально-экономического развития зарубежных стран. В качестве меры, характеризующей базу для расчета удельного показателя при агрегировании данных между масштабными уровнями, мы предлагаем использовать площадь территории регионов, которую можно рассчитать на основании площади геометрических полигонов в равновеликой картографической проекции (*World Cylindrical Equal Area*, ESRI:54034). В результате картографирования ВРП на км<sup>2</sup> была получена итоговая картина уровня территориально-географического неравенства в мировом масштабе (рис. 2).

Получившееся распределение мирового социально-экономического неравенства может быть охарактеризовано несколькими основными положениями. Во-первых, региональные показатели ВРП на км<sup>2</sup> в целом соответствуют классификации стран по уровню экономического развития: экономически развитые (ЭС) и развивающиеся. По полученным данным, в большинстве случаев для ЭС характерно наличие регионов в их составе, которые относятся к верхнему квартилю по значениям ВРП на км<sup>2</sup> (около половины таких регионов среди развитых стран, в Японии – почти все регионы). Наличие большого числа таких регионов в Китае и Индии обусловлено высокой концентрацией населения в этих областях, что отличается от характера распределения показателя ВРП на душу населения.

Для многих развивающихся стран характерно наличие совсем небольшого числа регионов со значениями ВРП на км<sup>2</sup> выше медианы по миру. Как правило это столицы стран, или крупнейшие города для стран с полицентрической иерархией городов. В первый квартиль по значениям ВРП на км<sup>2</sup> попадают исключительно густонаселенные равнинные области Китая (бассейн Хуанхэ, Янцзы) и Индии (долина Ганга). Во второй квартиль попадают полупериферийные области Китая, большая часть Индии и страны Восточной Европы, где доля городского населения не так высока.

Таким образом, “кривая регионального развития” в развитых странах имеет более пологий характер, чем в развивающихся, где более высокий “угол наклона” значений ВРП на км<sup>2</sup> при приближении к экономической столице. Это отражает специфику регионального развития ведущих стран зарубежной Европы и США, где распространение инноваций и массовая субурбанизация привели к тому, что в пригородах и сельской местности люди живут лучше, чем даже представители высших сословий в развивающихся странах. Данный феномен ставит под сомнение тезис о том, что сельское население, занятое в аграрном хозяйстве, как правило, значительно уступает по доходам людям, имеющим другие формы занятости (если возводить рассмотрение в глобальный масштаб).

**Таблица 1.** Значения коэффициента географической генерализации в исследуемых странах

Масштабный уровень	Европа	Китай	Индия	США	Мексика	Бразилия	Аргентина
Страна в целом	1.089	0.334	1.016	0.359	0.184	0.322	0.291
Макроуровень	0.324	1.220	0.223	0.268	1.360	0.603	0.605
Мезоуровень						2.307	
Микроуровень	0.466	—	—	0.231	6.015	5.201	—

*Примечание.* Масштабный уровень “страна в целом” представляет одно значение признака в среднем по стране (региону). Для стран ЕС макроуровню соответствует уровень отдельных государств (NUTS-1), далее идут 1 и 2 уровни административно-территориального деления стран (NUTS-2 и NUTS-3).

*Источник:* составлено автором.

### **Исследование географической генерализации.**

Результаты расчета коэффициента географической генерализации для выбранных стран представляют определенный интерес. Использовались данные по таким странам и регионам, как США, страны зарубежной Европы, Китай, Индия, Мексика, Бразилия и Аргентина (данные для различных масштабных уровней в 2010–2020 гг.). В качестве макроуровня, как правило, выступает уровень крупных регионов или провинций страны, в качестве микроуровня – уровень муниципальных образований. Для Бразилии выделяются промежуточные уровни территориального (статистического) деления.

Полученные значения на разных масштабных уровнях говорят о том, что не существует какого-то определенного масштаба, для которого было бы характерно существенное увеличение количества информации о степени гетерогенности географического пространства со строго математических позиций, поскольку для разных стран распределение значений между уровнями сильно варьируется. Значения коэффициента географической генерализации на разных масштабных уровнях исследуемых стран представлены в табл. 1.

Было выявлено, что для ряда стран наибольший прирост информации о гетерогенности географического пространства характерен при переходе на уровень крупных регионов, в наибольшей степени для стран Европы, Индии (значения коэффициента более 1), в меньшей степени – для США. Это говорит о том, что при переходе на макроуровень (для стран ЕС – NUTS-1) растет число регионов с существенно различающимся уровнем социально-экономического развития. Причина подобного феномена в том, что на примере ЕС мы имеем дело со странами, в которых есть уже сложившаяся система расселения и территориально-организационная структура хозяйства. Несмотря на наличие интеграционного объединения, имеющиеся территориальные диспропорции между странами по-прежнему велики. В связи с этим, высокие значения коэффициента географической генерализации на верхнем мас-

штабном уровне (страны ЕС) вполне естественны, однако это не умаляет роли других масштабных уровней в отражении фактического регионального неравенства.

Таким образом, подобного рода выводы, которые были получены исследователями на примере России (Шевчук и др., 2019), являются скорее исключением из правила, нежели закономерностью. Напротив, для таких стран, как Китай, Мексика, Бразилия и Аргентина, наибольший прирост информации об уровне гетерогенности географического пространства характерен для низового масштабного уровня. В США и странах зарубежной Европы имеет место преобладание значений коэффициента на верхнем масштабном уровне, хотя и незначительное. Это следствие весьма интересной закономерности организации географического пространства в развитых и развивающихся странах, что нуждается в дальнейшем исследовании.

**Исследование пространственной автокорреляции.** В рамках исследования пространственной автокорреляции была построена модель пространственной регрессии, которая отражает пространственный характер распределения удельного ВРП. Получившаяся картина, в целом, соответствует картографированному ранее фактическому распределению значений ВРП на км<sup>2</sup>, с тем лишь различием, что значения модели могут быть заданы параметрически, а также обладают более плавным и географическим характером распределения (рис. 3).

При первом взгляде на смоделированные данные обращают на себя внимание вкрапления высоких значений на Дальнем Востоке России, в странах Персидского залива (Саудовская Аравия, ОАЭ, Иран) и на побережье Африки (Ангола, ЮАР, Танзания, Марокко, Египет). Их появление на карте связано с особенностями работы модели пространственной регрессии, в которой высокие значения узловых регионов распространяются на смежные территориальные ячейки. На карте отчетливо видны весьма крупные регионы стран, в которых наблюдается весьма высокие значения по модели, не характерные для регионов с подобной территориальной конфигурацией

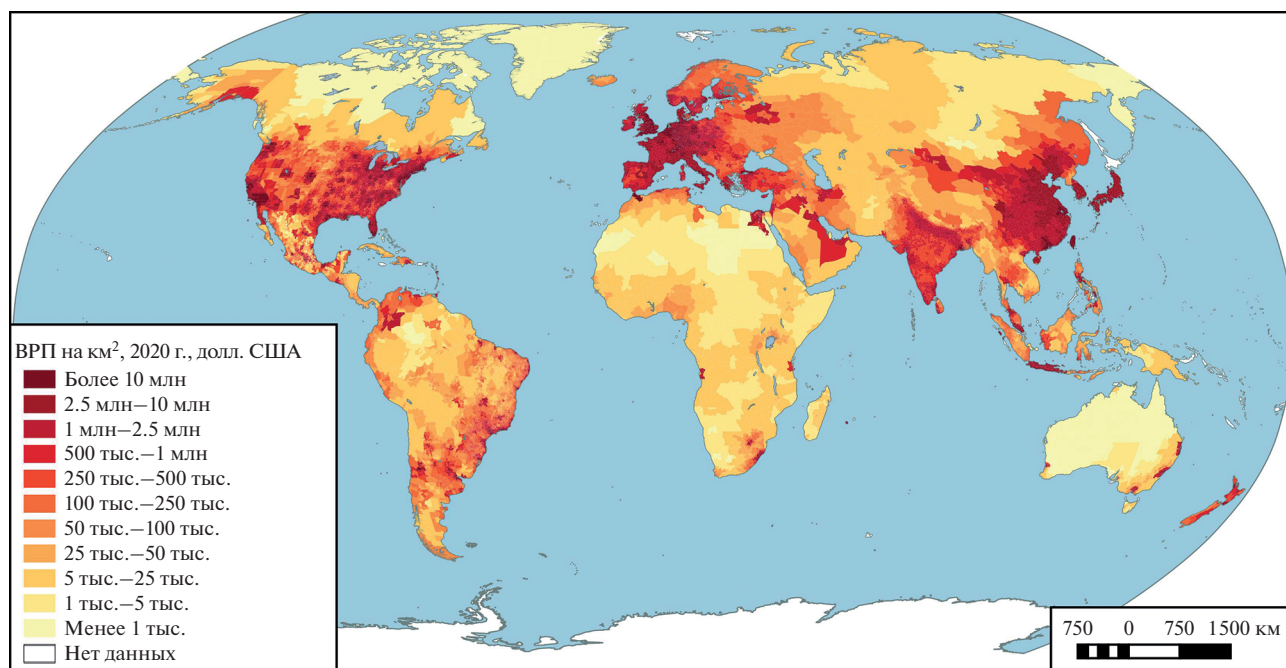


Рис. 3. Модель пространственной регрессии распределения ВРП на км<sup>2</sup> по странам мира.  
Источник: составлено автором.

(например, в странах Персидского залива). Такое, как правило, происходит, если периферийные области вокруг столиц представлены очень крупными регионами, размеры которых несопоставимы по масштабам с уровнем дробления территории в столичных областях.

По характеру распределения фактических и смоделированных значений удельного ВРП по территории ключевых анализируемых стран наиболее “географичное” пространственное распределение показателя характерно в первую очередь для развитых стран (США, страны зарубежной Европы), а также для Бразилии. Об этом говорят крайне высокие значения глобального индекса Морана и коэффициента пространственной регрессии (табл. 2). Следом за ними идут Аргентина, Китай и Индия, у которых значения индекса не такие большие. Для исследованных кейсов стран статистические критерии имеют высокий уровень значимости:  $p$ -значение для них крайне низкое (менее 0.001). Для Мексики же характерно наиболее “пестрое” распределение значений удельного ВРП, с большим количеством статистических отклонений и локальных выбросов. Об этом говорит относительно низкое значение глобального индекса Морана. Тем самым, такие страны, как Индия, Китай и Мексика по характеру пространственного распределения удельного ВРП отличаются от развитых стран (США, страны ЕС). Значения коэффициента регрессии в модели пространственной автокорреляции ( $\rho$ ) прямо пропорциональны индексу Морана в рассмат-

риваемых странах, при этом для Китая и Индии характерно относительно низкое значение индекса Морана, а также низкое по модулю максимальное значение функции правдоподобия ( $\log$  likelihood). Результаты, подкрепленные оценкой функции правдоподобия, дают представление как о параметрах модели, так и о пространственных взаимосвязях в абсолютном выражении — нормированными на число регионов в выборке.

Расчет глобального индекса Морана для всей совокупности регионов стран мира показал, на первый взгляд, достаточно противоречивый результат: значение 0.142 при уровне значимости ( $p$ -значение) менее 0.001. При взгляде на карту (рис. 4) читателю должно показаться, будто распределение показателя имеет географический характер: выделяются регионы, имеющие сходные значения показателя и группирующиеся по принципу пространственной смежности, а число локальных выбросов невелико. На самом деле, учитывая, что каноническое определение пространственной автокорреляции предусматривает проведение перестановочного теста, очень важное значение имеет то, как распределены территориальные ячейки по значениям признака между собой. В случае расчетов на глобальной совокупности регионов получается большое число территориальных единиц стран третьего мира, которые имеют весьма низкие значения показателя. При перестановочном тесте вероятность, что в смежные регионы попадут существенно разные величины показателя, не такая большая, как на выборке из регионов



**Таблица 2.** Значения глобального индекса Морана в исследуемых странах

Показатель	Мир в целом	Европа	Китай	Индия	США	Мексика	Бразилия	Аргентина
Индекс Морана	0.142	0.865	0.336	0.327	0.780	0.058	0.873	0.664
Коэффициент регрессии ( $\rho$ )	0.001	0.936	0.835	0.907	0.956	0.746	0.947	0.930
log likelihood	-385212	-13745	-3192	-4372	-36512	-18287	-37004	-28846
p-value	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.001

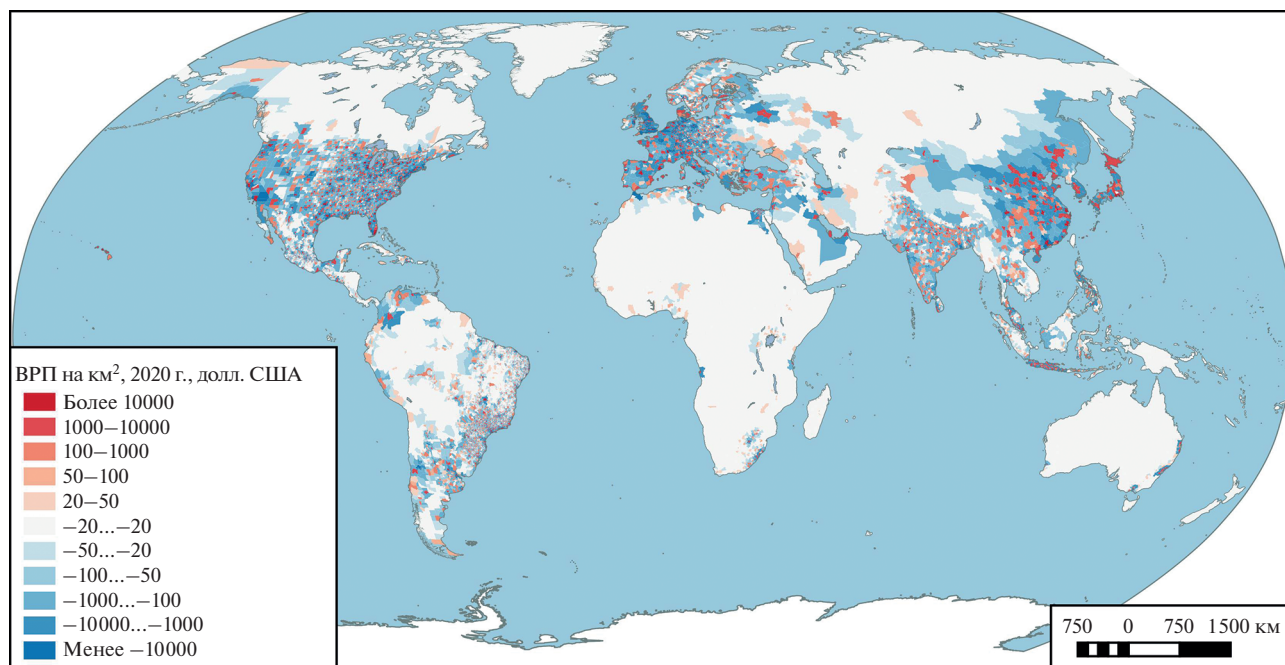
Источник: составлено автором.

одной страны, где соотношение между богатыми и бедными регионами не такое перекошенное, как в глобальном масштабе. По этой же причине низкие значения индекса Морана были получены и для Мексики, что указывает на то, что для этой страны имеет место чрезмерно высокая степень дробления территории, наряду со стохастическим характером распределения ВРП по территории страны: результаты работы модели показали наиболее пеструю картину распределения признака по сравнению со всеми остальными рассмотренными странами.

При сопоставлении смоделированных и фактических значений ВРП на км<sup>2</sup> была вскрыта интересная закономерность (см. рис. 4). Существенными отклонениями обладают урбанизированные территории развитых стран мира: США, страны Европы, Япония, а также Индия и Китай. Характерно, что в подавляющем числе развивающихся стран отклонения фактических значений

от модели весьма незначительные, особенно в Африке. Это связано с достаточно низким уровнем социально-экономического развития территории, из-за которого скачки показателя между смежными регионами незначительны. Другой причиной может являться слабый уровень освоенности территории, как это имеет место в Канаде, Австралии, России (Сибирь).

Таким образом, в распределении значений ВРП на км<sup>2</sup> по территории рассмотренных стран мира, а также в некотором смысле и в глобальном масштабе, имеется ярко выраженный пространственный тренд. Однако использование модели пространственной регрессии не ограничивается лишь исследованием общего характера неравенства. Полученные значения фактических отклонений от модели выводят исследование на новый уровень. Расчет остатков модели делает возможным выделение особых территориальных структур, которые могут выступать в качестве цен-



**Рис. 4.** Отклонения фактических значений ВРП на км<sup>2</sup> от модели пространственной регрессии.

Источник: составлено автором.

тральных мест в теории В. Кристаллера или экономическом ландшафте А. Лёша. К числу особых наднагломерационных структур можно отнести целые экономические мегалополисы, которые существуют в странах зарубежной Европы и США. По характеру отклонений от модели возможно даже определение положения крупных городов в иерархии городских поселений рассматриваемых стран, а также моделирование экономического пространства в истинном понимании.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по результатам исследования получены следующие выводы:

1. Страны мира характеризуются неравномерностью своего территориального развития. Развитые и развивающиеся страны отличаются между собой не только по общему уровню социально-экономического развития и качеству жизни населения, но и по неравномерности распределения уровня благосостояния населения в пределах территории страны. Периферийные области развитых стран, которые при рассмотрении в масштабе страны было принято считать территориями догоняющего развития, в мировом масштабе относятся к экономически успешным регионам, при этом экономически развитые страны выглядят как достаточно однородные. Для развивающихся стран, напротив, характерно наличие лишь небольшого числа богатых регионов в столичных областях, которые с математической точки зрения подходят под определение статистических выбросов. В то время как большая часть территории развивающихся стран по уровню социально-экономического развития относится к глубокой периферии. Предложенный подход к исследованию распределения показателей экономического благополучия в мировом масштабе может выступать в качестве альтернативы традиционно принятым в экономике критериям определения развитых и развивающихся стран мира. Для исследования территориального неравенства помимо традиционно принятого показателя ВРП на душу населения предложена методика расчета и агрегирования ВРП на км<sup>2</sup> на основе геопространственных данных, а также высказана идея расчета удельного ВРП, отнесенного к размеру основных фондов.

2. Применение полимасштабного подхода выявило основные особенности географической неравномерности развития территорий в пределах отобранных стран. Исследование распределения показателей социально-экономического благополучия на более низком масштабном уровне предоставило возможность с большей степенью достоверности определить фактический характер социально-экономического неравенства, а также наглядно картографировать территориальные контрасты в мировом масштабе. При этом расчеты уровня

пространственной гетерогенности и географической генерализации показали противоречивые результаты, но тем не менее поддающиеся обобщению. Было выявлено, что для развитых стран наибольший прирост информации о гетерогенности пространства происходит на верхнем масштабном уровне (США, страны зарубежной Европы). Для исследованных развивающихся стран (Китай, Мексика, Бразилия, Аргентина) наибольший прирост информации о гетерогенности пространства наблюдается на низовом масштабном уровне: на уровне департаментов или муниципалитетов. Оперирование данными на достаточно детальном масштабном уровне приводит к увеличению математической точности определения мер пространственной неравномерности распределения показателей экономического благополучия по территории стран мира, что было показано на примере ряда стран.

3. Моделирование экономического пространства с использованием методов пространственной статистики позволило определить степень “географичности” в распределении показателей экономического благополучия по территории стран мира. Было выявлено, что для большинства исследованных зарубежных стран распределение показателя ВРП на км<sup>2</sup> имеет ярко выраженный пространственный тренд, для чего приведены результаты расчета глобального индекса Морана. Распределение значений ВРП на км<sup>2</sup> имеет случайный характер, а обусловлено пространственной смежностью ячеек АТД. Наибольшая пространственная автокорреляция была зарегистрирована в США, странах зарубежной Европы и Бразилии. Это связано со спецификой регионального развития ЭРС, а в случае с Бразилией еще и существенным влиянием географического фактора в формировании территориальной структуры населения и экономики. Построение модели пространственной регрессии сделало возможным параметрически охарактеризовать социально-экономическое развитие как в исследованных странах-ключках, так и в мировом масштабе.

4. Эмпирически установлено, что рассмотрение территориального неравенства на глобальном уровне дает принципиально иные результаты, чем проведение аналогичного исследования, ограниченного рамками государственных границ и выбранного географического масштаба. Расчет для всей совокупности регионов мира показал относительно низкие значения коэффициента пространственной автокорреляции, по сравнению с теми, что были получены на примере отдельных стран. Это связано с ограничениями возможности применения индекса Морана для выборок с несбалансированным распределением признака. При рассмотрении территориального неравенства в глобальном масштабе недостаточно ориен-

тироваться на результаты расчета индекса Морана и значение коэффициента регрессии. В случае смещения показателей экономического благополучия в сторону бедных регионов количественная фактура должна быть дополнительно подкреплена картографированием пространственного распределения показателя. Причины этому – фактор государственных границ (ограниченность территории изучения), а также сложившаяся в странах мира система административного деления (неоптимальный уровень дробления территории и несбалансированная конфигурация регионов). Остается вопрос, насколько хорошо сложившаяся система территориального деления отражает фактический уровень регионального неравенства и соответствует классическим критериям районирования территории.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонов Е.В.* Территориальная концентрация экономики и населения в странах Европейского союза и в России и роль глобальных городов // Региональные исследования. 2019. № 3 (65). С. 26–41.
- Баранский Н.Н.* Научные принципы географии. М.: Мысль, 1980. 239 с.
- Василевский Л.И., Полян П.М.* Системно-структурный подход и экономическая география // Системные исследования: Ежегодник. М.: Издательство “Наука”, 1978. С. 242–260.
- Голубченко И.В.* Полимасштабная модель изучения территории: подходы к созданию. Уфа: БГПУ им. М. Акмуллы, 2016. 11 с.
- Григорьев Л.М., Салмина А.А.* Структура социального неравенства современного мира: проблемы измерения // Социологический журн. 2013. № 3. С. 5–21.
- Полян П.М., Трейвиш А.И.* Территориальные структуры в науке и практике. М.: Знание, 1988. 46 с.
- Самсонов Т.Е.* Визуализация и анализ географических данных на языке R. М.: Географический факультет МГУ, 2021. <https://tsamsonov.github.io/r-geo-course> (дата обращения 01.07.2021).
- Самсонов Т.Е., Юрова Н.Д.* Применение картограмм и картодиаграмм на мультимасштабных социально-экономических картах // Геодезия и картография. 2014. № 11. С. 30–38.
- Типология зарубежных стран: учебно-методическое пособие / под ред. А.С. Наумова. М.: Типография “Пеликан”, 2019. 336 с.
- Трейвиш А.И.* Географическая полимасштабность в развитии России // География. 2006. № 11. С. 3–8.
- Трейвиш А.И.* Принцип полимасштабности в географии и страноведении // Вопросы экономической и политической географии зарубежных стран. Смоленск: Ойкумена, 2007. Т. 17. С. 50–65.
- Трейвиш А.И.* География и развитие // География мирового развития. М.: ИГ РАН, 2009. Т. 1. С. 8–43.
- Шевчук Е.И., Кириллов П.Л., Петросян А.Н.* Проблема генерализации данных в исследованиях пространственной неоднородности социально-экономических явлений на разных масштабных уровнях // Региональные исследования. 2019. № 3 (65). С. 4–15.
- Almeida E.* Econometria espacial aplicada. Campinas: Editora Alínea, 2012. 498 p.
- Grekousis G.* Spatial Autocorrelation // Spatial Analysis Methods and Practice: Describe – Explore – Explain through GIS. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2020. P. 207–274.
- Krugman P.R., Venables A.J.* Globalization and the Inequality of Nations // The Quarterly J. of Economics. 1995. Vol. 110. № 4. P. 857–880.
- Kuznets S.* Economic growth and income inequality // American Economic Review. 1953. Vol. 45. № 1. P. 1–28.
- Milanovic B.* Worlds Apart. Measuring International and Global Inequality. Princeton: Princeton Univ. Press, 2005. 240 p.
- Piketty T.* Capital in the Twenty-First Century. Cambridge: Harvard Univ. Press, 2014. 686 p.
- Reddit: Map of world GDP density. [https://www.reddit.com/r/russia/comments/4ze0ou/map\\_of\\_world\\_gdp\\_density/](https://www.reddit.com/r/russia/comments/4ze0ou/map_of_world_gdp_density/) (дата обращения 01.09.2021).
- Shorrocks A.* Inequality decomposition by factor components // Econométrica. 1982. Vol. 50. № 1. P. 193–211.

## Multi-Scale Analysis and Modelling of Spatial Heterogeneity of Income Distribution in Foreign Countries

A. S. Gladkiy\*

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

\*e-mail: [antony.gladky@gmail.com](mailto:antony.gladky@gmail.com)

The article deals with the level of socioeconomic development and regional inequality within the territories of countries around the world. The evaluation of the socioeconomic development of countries is proposed by calculating the indicator of gross regional product per unit area. Calculation and mapping of socioeconomic features are provided by the indicator of GRP per sq. km. The analysis of relative GRP per sq. km indicates that the countries of the world can be classified as developed and developing not only by the level of socioeconomic development, but also by the nature of regional inequality. It has been established that the relative GRP distribution is more gradual in developed countries, while developing countries tend to have a high concentration of economic resources in capitals. The calculation of the geographical generalization ratio indicates that for many developed countries (the USA, European countries) the greatest increase in information

on the heterogeneity of space occurs at the upper scale level, while for most of the studied developing countries (China, Mexico, Brazil, Argentina) the largest increase is at the lower scale levels. Calculation of the spatial autocorrelation model made it possible to establish the differences between developed and developing countries in terms of the nature of spatial inequality: based on the difference between real and modelled values of spatial autocorrelation. The proposed method of spatial analysis of the distribution of indicators of economic well-being using the methods of spatial statistics can act as an alternative to the criteria traditionally accepted in the economy for determining the developed and developing countries of the world.

*Keywords:* spatial income distribution, regional inequality, multi-scale approach, modifiable areal unit problem, geographical generalization ratio, spatial autocorrelation, spatial regression

## REFERENCES

- Almeida E. *Econometria espacial aplicada*. Campinas: Editora Alínea, 2012. 498 p.
- Antonov E.V. Territorial concentration of the economy and population in European Union countries and Russia and the role of global cities. *Reg. Res. Russ.*, 2020, vol. 10, no. 3, pp. 360–372.
- Baranskii N.N. *Nauchnye printsipy geografii* [Scientific Principles of Geography]. Moscow: Mysl' Publ., 1980. 239 p.
- Golubchenko I.V. *Polimashtabnaya model' izucheniya territorii: podkhody k sozdaniyu* [Multi-scale Model of Territory Research: Creation Approaches]. Ufa: BGPU im. M. Akmully, 2016. 11 p.
- Grekousis G. Spatial Autocorrelation. In *Spatial Analysis Methods and Practice: Describe – Explore – Explain through GIS*. Cambridge: CUP, 2020, pp. 207–274.
- Grigor'ev L.M., Salmina A.A. The structure of social inequality of modern world: The problems of estimation. *Sotsiolog. Zh.*, 2013, no. 3, pp. 5–21. (In Russ.).
- Krugman P.R., Venables A.J. Globalization and the inequality of nations. *Q. J. Econ.*, 1995, vol. 110, no. 4, pp. 857–880.
- Kuznets S. Economic growth and income inequality. *Am. Econ. Rev.*, 1953, vol. 45, no. 1, pp. 1–28.
- Milanovic B. *Worlds Apart. Measuring International and Global Inequality*. Princeton: Princeton Univ. Press, 2005. 240 p.
- Piketty T. *Capital in the Twenty-First Century*. Cambridge: Harvard Univ. Press, 2014. 686 p.
- Polyan P.M., Treivish A.I. *Territorial'nye struktury v nauke i praktike* [Territorial Structures in Science and Practice]. Moscow: Znanie Publ., 1988. 46 p.
- Reddit: Map of world GDP density. Available at: [https://www.reddit.com/r/russia/com-](https://www.reddit.com/r/russia/comments/4ze0ou/map_of_world_gdp_density/)
- ments/4ze0ou/map\_of\_world\_gdp\_density/ (accessed: 01.09.2021).
- Samsonov T.E. *Vizualizatsiya i analiz geograficheskikh daniykh na yazyke R* [Visualization and Geographical Data Analysis with R Programming Language]. Moscow: MSU, 2021. Available at: <https://tsamsonov.github.io/r-geo-course> (accessed: 01.07.2021). (In Russ.).
- Samsonov T.E., Yurova N.D. The usage of choropleths and diagrams on multiscale socio-economic maps. *Geod. Kartograf.*, 2014, no. 11, pp. 30–38. (In Russ.).
- Shevchuk E.I., Kirillov P.L., Petrosyan A.N. Data generalization for spatial socioeconomic disparities on different research scales. *Reg. Issled.*, 2019, vol. 65, no. 3, pp. 4–15. (In Russ.).
- Shorrocks A. Inequality decomposition by factor components. *Econometrica*, 1982, vol. 50, no. 1, pp. 193–211.
- Tipologiya zarubezhnykh stran: uchebno-metodicheskoe posobie* [Typology of Foreign Countries: Training Manual]. Naumov A.S., Ed. Moscow: Pelikan Publ., 2019. 339 p.
- Treivish A.I. Geographic multi-scaliness in the development of Russia. *Geografiya*, 2006, no. 11, pp. 3–8. (In Russ.).
- Treivish A.I. Geography and development. In *Geografiya mirovogo razvitiya. Tom 1*. [Geography of Global Development. Vol. 1]. Moscow: IG RAS, 2009, pp. 8–43. (In Russ.).
- Treivish A.I. Multi-scale approach in Geography and Foreign Studies. In *Voprosy ekonomicheskoi i politicheskoi geografii zarubezhnykh stran* [Issues of Economic and Political Geography of Foreign Countries]. Smolensk: Oykumena, 2007, vol. 17, pp. 50–65. (In Russ.).
- Vasilevskiy L.I., Polyan P.M. System approach and economic geography. In *Sistemnye issledovaniya: ezhegodnik* [System Research Bulletin], Moscow: Nauka Publ., 1978, pp. 242–260. (In Russ.).