

УДК: 911.3.001 (82)

DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-34-49

А.С. Гладкий<sup>1</sup>

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОХОДОВ НАСЕЛЕНИЯ АРГЕНТИНЫ

### АННОТАЦИЯ

Аргентина является страной с достаточно специфической системой территориального деления, существующего для оптимизации государственного управления и сбора статистики. Исторически сложившаяся пространственная неоднородность социально-экономического развития Аргентины имеет ряд особенных черт, а также нетривиальных факторов, благодаря которым в стране формируется своеобразная картина территориального неравенства. Помимо административного деления на провинции и департаменты, Аргентина имеет ряд сеток статистического деления для более низких масштабных уровней. Тем не менее, организацию сбора статистических данных для разных уровней территориального деления сложно назвать оптимальной: для некоторых регионов данные по ряду показателей в свободном доступе практически отсутствуют, либо представлены в агрегированном виде. Целью исследования являлось изучение территориальных различий социально-экономического развития между регионами и на различных масштабных уровнях территориального деления. Применение геоинформационных методов позволило получить недостающие данные для низового уровня территориального деления (на уровне муниципалитетов) и решить ряд проблем, таких как: отсутствие пространственных данных по АТД на низовом масштабном уровне, отсутствие данных о численности населения территориальных единиц, отсутствие данных о доходах населения на вышеназванном уровне. Кроме того, использование методов пространственной статистики дает возможность проверки территориального неравенства на наличие пространственного тренда: так, Аргентина обладает одним из наиболее высоких показателей пространственной корреляции доходов населения среди других зарубежных стран. Исследование пространственной автокорреляции позволило определить регионы роста, а также влияние локальных факторов на формирование территориального неравенства в Аргентине.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** региональное неравенство, полимасштабный подход, проблема изменяющегося масштаба, пространственная автокорреляция, привязка растров, диаграмма Вороного, Аргентина

---

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; e-mail: [antony.gladky@gmail.com](mailto:antony.gladky@gmail.com)

Anton S. Gladkiy<sup>1</sup>

## GIS METHODS TO RESEARCH SPATIAL INEQUALITY OF POPULATION INCOME DISTRIBUTION IN ARGENTINA

### ABSTRACT

Argentina is a country with a very specific system of territorial division carried out for the optimization of public administration and collection of statistics. Historically developed spatial heterogeneity of socio-economic development has several specific features, as well as non-trivial factors, due to which the country is formed by a peculiar pattern of territorial inequalities. In addition to administrative divisions into provinces and departments, Argentina has a number of statistical division grids for the lower scale levels. However, the organization of the collection of statistical data for different levels of territorial division is not optimal: for a number of regions, statistical data in the public domain are practically absent, or presented in aggregated form. The aim of the research is to identify territorial differences in socio-economic development between regions and at various scale levels. The use of GIS methods made it possible to obtain the missing data for the lower level of territorial division, such as the spatial data on the administrative boundaries, population and income. The analysis of spatial autocorrelation of income distribution in Argentina can identify regions of growth as well as the influence of local factors on the territorial inequality in Argentina. The value of the coefficient of spatial autocorrelation of population income is one of the highest around the world.

**KEYWORDS:** regional inequality, multi-scale approach, modifiable areal unit problem, spatial autocorrelation, georeferencing, Voronoi diagram, Argentina

### ВВЕДЕНИЕ

Применение полимасштабного подхода в настоящий момент остается одной из наиболее проблемных зон географической науки, не имеющей однозначных ответов и методологических стандартов [Novotny, 2007; Openshaw, 1984]. Его использование наиболее проблематично для обширных территорий, имеющих существенные различия в уровне доходов между регионами [Трейвшис, 2019], а также достаточно дробное административное (статистическое) территориальное деление [Elbers, 2003]. Для эффективного применения полимасштабного подхода необходимы: высокий уровень развития компьютерных технологий, умение обрабатывать большие объемы данных (Big Data), способность оценить возможности и ограничения применения математических и статистических методов.

Большую роль в формировании регионального неравенства играет сложившаяся в стране система сбора статистики на различных уровнях территориального деления. За всю историю постколониального развития Аргентина претерпевала несколько изменений административно-территориального деления. Изменения статистических сеток деления происходили несколько раз и были приурочены к переписям населения в Аргентине: в 1869 г., 1895 г., 1914 г., 1947 г. и 1960 г. (первые 5 переписей населения). Во время четвертой переписи 1947 г. также было введено современное деление страны на 8 географических регионов: Пампа, Междуречье, Гран-Чако, Северо-Запад, Пампинские Сьерры, Куйо, Сухая Пампа и Патагония. Предметом переписи населения стали такие аспекты, как численность населения, уровень образования и занятости, религия и национальность

---

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie gory str., 1, 119991, Moscow, Russia; e-mail: antony.gladky@gmail.com

опрошенных, а также количество кв. метров жилья на человека [Atlas..., 2020, с. 114]. Перепись 1960 г., кроме вышеперечисленного, включала информацию даже о наличии таких бытовых приборов, как холодильник, кухонные принадлежности, стиральная машина и т.д. Последующие переписи были более сконцентрированы на таких аспектах, как бедность и уровень жизни населения.

Приведем в качестве примера оценку уровня жизни населения в Аргентине в 1869 г. Спустя более 50 лет после получения независимости в стране существовала все та же ось развития и неравенства между столичными приморскими территориями и внутриконтинентальными территориями догоняющего развития.

В настоящее время в Аргентине существует несколько официальных уровней административно-территориального деления (АТД): провинции, департаменты и муниципалитеты, а также ряд специальных статистических сеток, используемых для внутренних целей государственного управления (рис. 1). В Аргентине также есть государственные образования, которые не являются административно-территориальными единицами, а представляют собой сообщества или общины (*'municipio'*, *'comuna'*, *'delegación municipal'*), что характерно для регионов центральной и южной Аргентины, которые были включены в состав АТД относительно недавно. Среди них такие провинции, как Неукен, Рио-Негро, Чубут, Санта-Крус и Огненная Земля. Также к ним можно отнести провинцию Формоса на севере страны<sup>1</sup>. Одной из интересных особенностей политико-административного деления на низовом уровне является наличие конституции у каждого региона, а также глубокая проработанность юридических оснований, по которым осуществляется взаимодействие муниципалитетов и федерального центра страны.

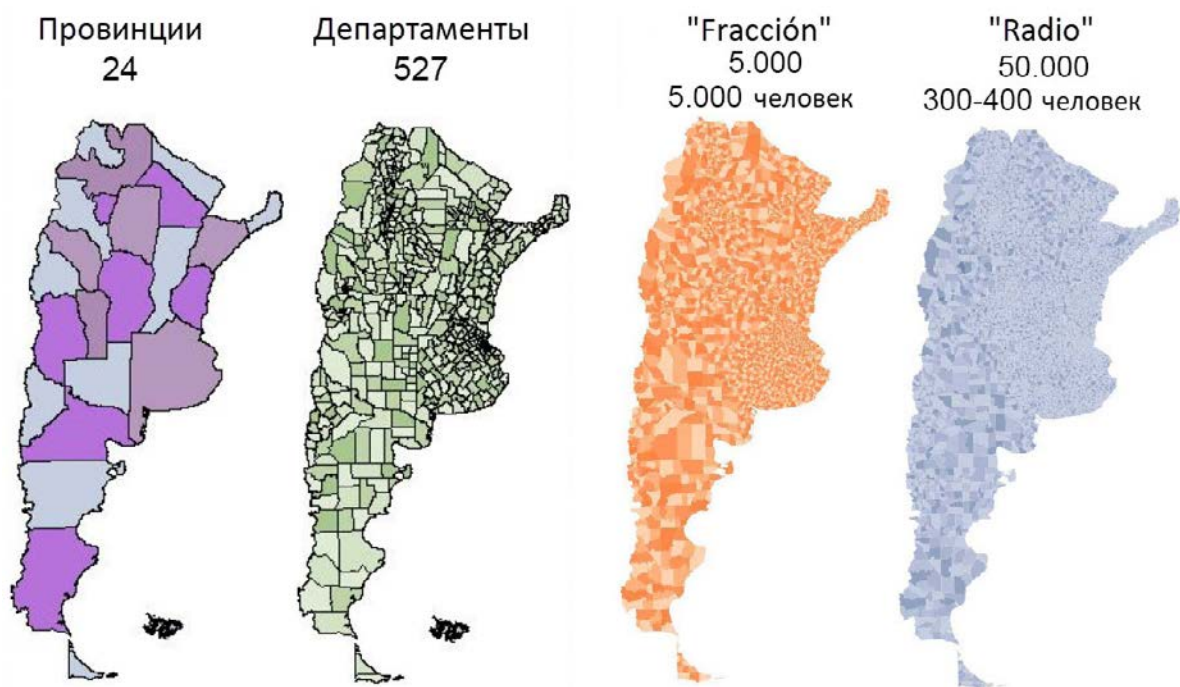


Рис. 1. Масштабные уровни территориального деления в Аргентине

Fig. 1. Scale levels of territorial division in Argentina

Источник: [Ackermann, 2014].

<sup>1</sup> INDEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina. Электронный ресурс: <https://www.indec.gob.ar> (дата обращения 01.07.2021).

При переходе между представленными масштабными уровнями территориального деления количество регионов увеличивается в среднем в 10 раз: от 24 провинций к 529 департаментам (увеличение количества в 20 раз), 5 тысячам муниципалитетов (исп. *'fracción'*) и 50 тысячам единиц низового уровня статистического деления территории (исп. *'radio'*). Соответственно, средний размер выделяемых территориальных единиц имеет следующие значения: провинции – 124 тыс. км<sup>2</sup>, департаменты – 5 тыс. км<sup>2</sup>, муниципалитеты и прочие территориальные образования – 0,8 тыс. км<sup>2</sup>. Для многих провинций характерно наличие ряда правил, по которым на их территории могут выделяться муниципальные образования. Так, для южных слабозаселенных провинций Неукен, Рио-Негро, Чубут и Санта-Крус пороговое значение численности населения для включения в состав муниципалитетов составляет от 1 до 5 тыс. человек. Для ряда регионов центральной Аргентины данный показатель составляет более 10 тыс. человек<sup>1</sup>. Таким образом, это ведет к существенным диспропорциям исследования уровня территориального неравенства для регионов с различной численностью населения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как показывает предварительный анализ, несмотря на определенные недостатки системы территориального деления, которые, в свою очередь, приводят к неполноте и неточности статистических данных, эта система в целом остается достаточно эффективной, и на основе ее показателей составляются программы и осуществляются мероприятия, имеющие важное значение как для управления экономикой в стране, так и для принятия решений на различных уровнях<sup>2</sup>.

Тем не менее, с позиции исследователя можно заявить, что существенным недостатком этой системы является отсутствие в свободном доступе данных по территориальному делению Аргентины: за исключением 1 уровня (провинции) и 2 уровня АД (департаменты), а также нехватка статистических данных по ряду показателей на низовом территориальном уровне (муниципалитеты). Для того, чтобы разрешить данную проблему, предлагается воспользоваться некоторыми нетривиальными методами, опираясь на данные, имеющиеся в свободном доступе, а также экспертные оценки и своего рода географическую интуицию исследователя.

Инструментарий данного исследования включает в основном свободно распространяемое программное обеспечение и ГИС, в частности QGIS (QGIS Desktop), а также библиотеки (модули) пространственного анализа Python. Основные программные средства для проведения вычислений включают модули пространственной привязки растров, инструменты ручной оцифровки, построения триангуляции Делоне и полигонов Вороного, калькулятор полей, модуль зональной (растровой) статистики. Для расчета модели пространственной регрессии использовались средства языка программирования Python.

Основным источником фактических данных послужила статистика по численности населения и ВРП на душу населения по провинциям и департаментам Аргентины в 2017 г., а также картографические источники: картограммы плотности населения, индекса качества жизни и других показателей [Atlas..., 2020]. Поскольку статистические данные имеются не на все даты и не для всех масштабных уровней, то в исследовании используются данные на наиболее актуальную дату из возможных.

<sup>1</sup> Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina. Электронный ресурс: <https://www.ign.gov.ar> (дата обращения 01.07.2021).

<sup>2</sup> INAP. Municipios Argentinos Potestades y Restricciones Constitucionales para un Nuevo Modelo de Gestión Local / Ed. Iturburu M.S. 2º edición. 154 p. Электронный ресурс: [http://municipios.unq.edu.ar/mislibros/archivos/municipios\\_argentinos.pdf](http://municipios.unq.edu.ar/mislibros/archivos/municipios_argentinos.pdf) (дата обращения 01.07.2021).

**Геоинформационные методы исследования.** Особенностью геоинформационных методов является то, что они используют пространственные математико-картографические модели и могут отображать объекты в любом масштабе (что в наибольшей степени соответствует основным принципам полимасштабного подхода в географии). Такие методы применяются как в географических, так и в экономических исследованиях. Они позволяют получать количественные оценки и проводить анализ различных процессов и явлений на базе статистических и пространственно распределенных данных.

Приведем основные этапы геоинформационного анализа для решения ряда проблем с имеющимися статистическими и пространственными данными по Аргентине:

*1. Отсутствие пространственных данных по АД на низовом масштабном уровне.*

В открытых источниках имеются пространственные данные по провинциям и департаментам, а также по 980 муниципалитетам, входящим в состав таких провинций, как: Катамарка (35), Чако (67), Корриентес (72), Жужуй (60), Ла-Пампа (81), Ла-Риоха (18), Мендоса (18), Мисьонес (76), Сальта (60), Сан-Хуан (19), Санта-Фе (361), Тукуман (113), а также 678 территориальных единиц в других 10 регионах Аргентины (муниципалитеты, коммуны и др.).

По результатам оцифровки ряда карт, на которых отмечены границы территориальных единиц 3 уровня (муниципалитеты), было вручную выделено 1661 регионов в центральных и южных провинциях Аргентины, в т.ч. в столице (48 кварталов, исп. *'barrios'*) и провинции Буэнос-Айрес (591 муниципалитетов, исп. *'partidos'*). Как видно, административно-территориальное деление Аргентины – достаточно сложная, запутанная и трудно проверяемая система деления территории страны. Методика ручного выделения муниципалитетов основана на широко используемой в картографии триангуляции Делоне и диаграмме Вороного (рис. 2). Триангуляция – это соединение массива точек по методу ближайшего соседа таким образом, что треугольники покрывают всю территорию без «дыр». При этом окружность, описанная вокруг каждого треугольника, не содержит других точек этого множества. Диаграмма Вороного строится путем соединения перпендикуляров, проходящих через середину линий, соединяющих точки в триангуляции Делоне.

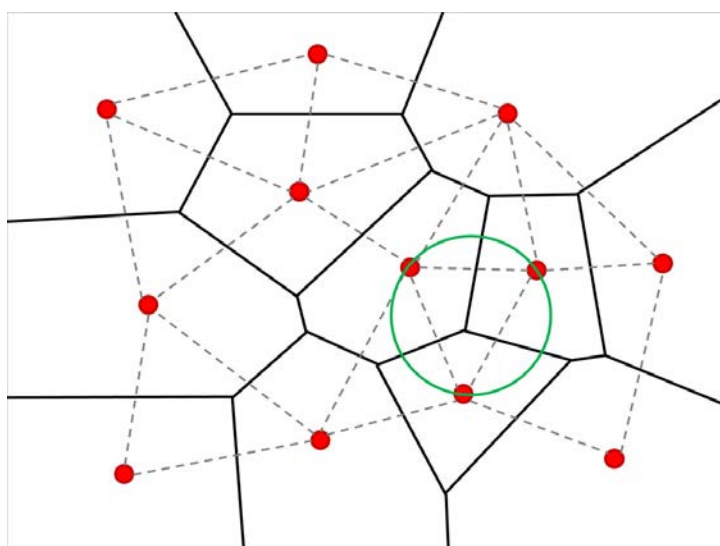


Рис. 2. Триангуляция Делоне и диаграмма Вороного<sup>1</sup>

Fig. 2. Delaunay triangulation and Voronoi diagram

<sup>1</sup> CodeRoad –Точки сайта Вороного из триангуляции Делоне. Электронный ресурс: <https://coderoad.ru/42047077/Точки-сайта-вороного-из-триангуляции-Делоне/> (дата обращения 12.07.2021).

Таким образом, при наличии знаний о количестве территориальных единиц (будь то муниципалитеты или коммуны), входящих в состав соответствующего департамента, а также о населенных пунктах, являющихся столицами данных территориальных единиц, возможно разбиение территории департаментов на территориальные ячейки более низкого порядка [Кривошеина, Самсонов, 2012; Тувалева, Самсонов, 2014]. При этом регионы всегда будут иметь одно общее ребро с соседними территориальными ячейками (то есть не может возникнуть ситуация, когда полигоны имеют только один общий узел и ни одного общего ребра с соседними регионами). По форме полигоны представлены в виде многоугольников, чаще всего с четырьмя, пятью или шестью сторонами. Подобного рода полигональные сетки территориального деления были выделены для ряда провинций, среди них: Федеральная столица, Буэнос-Айрес, Чубут, Кордова, Энтре-Риос, Формоса, Неукен, Рио-Негро, Сан-Луис, Санта-Крус, Сантьяго-дель-Эстеро и Огненная Земля (всего более 2,3 тыс. территориальных единиц).

2. *Отсутствие данных о численности населения территориальных единиц.* Для последующих расчетов уровня территориального неравенства доходов необходимо наличие данных по численности населения рассматриваемых административных единиц. Для уровня муниципалитетов подобного рода данных нет, либо их очень сложно найти. В качестве альтернативы для определения людности территориальных ячеек предлагается воспользоваться имеющимися данными по площади и плотности населения регионов более высокого порядка. Площадь муниципалитетов была рассчитана на основании границ, полученных на предыдущем этапе полигонов АТД с использованием равноплощадной картографической проекции (*South America Albers Equal Area Conic*, ESRI:102033). Плотность населения можно рассчитать, исходя из карт плотности населения по муниципалитетам путем их оцифровки. Перемножив эти показатели, можно определить людность территориальных единиц, используя для проверки общие данные по численности населения Аргентины.

3. *Отсутствие исходных данных о доходах населения на низовом масштабном уровне.* В открытом доступе имеются данные о доходах для провинций Аргентины, для более низких уровней они представлены в графическом виде на примере показателя «качества жизни» (исп. *‘Indice de calidad de vida’*) населения по департаментам, а в ряде случаев и муниципалитетам, по показателям на 2010 г. [Atlas..., 2020, с. 633]. Для определения уровня доходов приходится пользоваться подобного рода данными, представленными в виде индексов. Наиболее широко используемый индекс – индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП). Его вычисляют, суммируя три индекса: индекс ожидаемой продолжительности жизни, уровня образования и ВРП на душу населения. Имея данные о продолжительности жизни и уровне образования, можно вычленить индекс, который будет отвечать за уровень благосостояния и доходов населения [Зубаревич и др., 2001].

Уровень образования в Аргентине был признан важным фактором социальной стратификации [Atlas..., 2020]. Люди с более высоким уровнем образования имеют больше возможностей трудоустройства и, следовательно, больше шансов достичь лучшего социально-экономического статуса. Тем не менее, в «аргентинской версии» ИРЧП образовательной составляющей можно пренебречь: во-первых, она существенно коррелирует с уровнем доходов населения, а во-вторых, в период 2005–2013 гг. количество неграмотных существенно сократилось и в настоящее время не превышает 2 % [Atlas..., 2020, с. 450–452]. Показатель уровня высшего образования имеет незначительный вес в итоговом индексе, поэтому им тоже можно пренебречь.

Таким образом, путем оцифровки данных по индексу «качества жизни» по муниципалитетам возможно определение и декомпозиция показателя ВРП на душу населения косвенными способами. Использование инструмента зональной статистики позволяет опреде-

лить взаимно однозначное соответствие между яркостью растрового слоя (отражающего индекс «качества жизни» в данной точке) и геометрическим центром того или иного муниципалитета. Подобным образом можно определить приблизительную оценку ВРП на душу населения для более 3,3 тыс. единиц территориального деления на низовом масштабном уровне путем пространственной декомпозиции валового размера показателя по территории в соответствии с выявленными весами [Shorrocks, Wan, 2005]. При сравнении полученных результатов с валовым можно ориентироваться на суммарный размер ВВП страны (для Аргентины – около 450 млрд долл. США) [Instituto..., 2021]<sup>1</sup>.

**Пространственная статистика и автокорреляция.** Исследование и моделирование пространственной автокорреляции представляется одним из наиболее репрезентативных методов геоинформационного анализа территориального неравенства на разных масштабных уровнях. В частности, в статье представлена модель пространственной автокорреляции, которая позволяет оценивать территориальные различия в развитии регионов в зависимости от факторов пространственного порядка. Особое внимание уделено анализу пространственной локализации факторов, оказывающих наибольшее влияние на уровень экономического неравенства в регионах.

Применение методов математической и пространственной статистики (геостатистики) позволяет получать достоверные результаты в большинстве задач, связанных с анализом и прогнозированием экономических процессов и явлений. В первую очередь это относится к задачам классификации и прогнозирования. Статистические задачи классифицируются по форме связей между показателями (функциональные и статистические связи), по способу их расчета (расчетные, аналитические, статистические), по характеру зависимости (линейные и нелинейные) и по направлению связи (прямые, обратные) [Almeida, 2012].

Одной из наиболее часто применимых сфер для геостатистики является решение задачи интерполяции данных в виде непрерывной функции случайной величины, определенной в некоторых территориальных (пространственных) границах. Основной задачей геостатистики является статистическое описание пространственных распределений<sup>2</sup>. Для этого необходимо знать значения функции в каждом заданном местоположении и его координатах. Обычно используют следующие основные методы интерполяции: метод наименьших квадратов – для аппроксимации точечной, или кусочно-линейной, функции с постоянным шагом (метод Эйлера-Лагранжа); квадратурная формула Гаусса-Зейделя – для кусочной, кусочно-квадратичной функции с нефиксированным шагом; формула Гаусса-Петерсона – для кусочно-кубической функции с фиксированным и переменным шагом [Almeida, 2012].

Попробуем исследовать получившиеся данные по распределению доходов (ВРП на душу населения) с помощью методики расчета пространственной автокорреляции. Как гласит Первый закон географии: все связано со всем, но близкорасположенные объекты связаны сильнее [Tobler, 1970]. То же самое можно сказать по поводу проявления пространственных аномалий в геостатистике. Аномальные зоны могут быть также расположены в непосредственной близости друг от друга. Это позволяет говорить о том, что все они работают по одному принципу. И если в одном месте произошло нечто аномальное – значит, рядом есть что-то подобное. Соответственно, пространственные процессы можно охарактеризовать следующими свойствами: пространственная зависимость (наличие автокорреляции) и пространственная гетерогенность (статистические выбросы)<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina. Электронный ресурс: <https://www.ign.gob.ar> (дата обращения 01.07.2021).

<sup>2</sup> Самсонов Т.Е. Визуализация и анализ географических данных на языке R. М.: Географический факультет МГУ, 2021. Электронный ресурс: <https://tsamsonov.github.io/r-geo-course/> (дата обращения 01.07.2021).

<sup>3</sup> Там же.

Построение модели пространственной автокорреляции и регрессии основывается на построении графа территориальной смежности исследуемых административных ячеек и определении т.н. критериев соседства. Наиболее популярные критерии соседства: соседи по смежности (правило ферзя и ладьи). Основное различие: по методу ладьи соседствующие регионы имеют одно общее ребро, в то время как метод ферзя предполагает, чтобы регионы соприкасались хотя бы в одной точке. Составленная нами ранее сетка территориального деления на муниципальном уровне, представленная полигонами Вороного, в наибольшей степени соответствует правилу ладьи (все соседствующие регионы имеют хотя бы одно общее ребро (а по форме, в основном, представлены пяти- и шестиугольниками)). Следовательно, для анализа территориальной смежности ячеек будем использовать граф смежности, построенный по правилу ферзя.

Тест на пространственную автокорреляцию основан на расчете индекса I Морана, который показывает уровень статистической значимости между показателями в соседствующих территориальных ячейках<sup>1</sup>. Методика предполагает расчет матрицы пространственных весов, которая может быть представлена в бинарном, нормированном и взвешенном виде<sup>2</sup> [ArcGIS, 2021c]. Для определения весов используем обычную бинарную матрицу  $W$ . Индекс Морана рассчитывается по следующей формуле<sup>3</sup> (формула 1):

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

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

Для определения пространственного распределения поля рассматриваемого признака используем модель пространственной регрессии, в которой, в отличие от классической линейной регрессии, добавляется пространственная авторегрессионная компонента, представляющая собой пространственный лаг<sup>4</sup>. Модель пространственной регрессии (SAR) в общем случае имеет следующий вид<sup>3</sup> (формула 2):

$$y = X\beta + \rho Wy + \varepsilon, \quad (2)$$

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.

Модель пространственной регрессии может также использоваться и для проведения пространственной фильтрации, то есть исключения автокорреляционной составляющей<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> ArcGIS. Пошаговая пространственная автокорреляция – Справка. ArcGIS Desktop. Электронный ресурс: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/incremental-spatial-autocorrelation.htm> (дата обращения 01.07.2021).

<sup>2</sup> ArcGIS. Пространственная автокорреляция (Глобальный индекс Морана I) (Пространственная статистика) – ArcGIS Pro. Документация. Электронный ресурс: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/spatial-autocorrelation.htm> (дата обращения 01.07.2021).

<sup>3</sup> ArcGIS. Как работает инструмент Пространственная автокорреляция (Глобальный индекс Морана I) – ArcGIS Pro. Документация. Электронный ресурс: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm> (дата обращения 01.07.2021).

<sup>4</sup> Самсонов Т.Е. Визуализация и анализ географических данных на языке R. М.: Географический факультет МГУ, 2021. Электронный ресурс: <https://tsamsonov.github.io/r-geo-course/> (дата обращения 01.07.2021).



Перестановочный тест Морана и расчет индекса I Морана позволяет определить, насколько полученные показатели пространственной регрессии являются статистически значимыми, по сравнению со случайным распределением признака на рассматриваемой территории (рис. 3)<sup>1</sup>. Полученная гистограмма частот случайных перестановок имеет нормальное распределение, а расположение фактических значений глобального индекса I Морана показывает, с какой вероятностью они могли быть получены в результате случайного распределения признака и составляет величину p-value (вероятность ошибки первого рода).

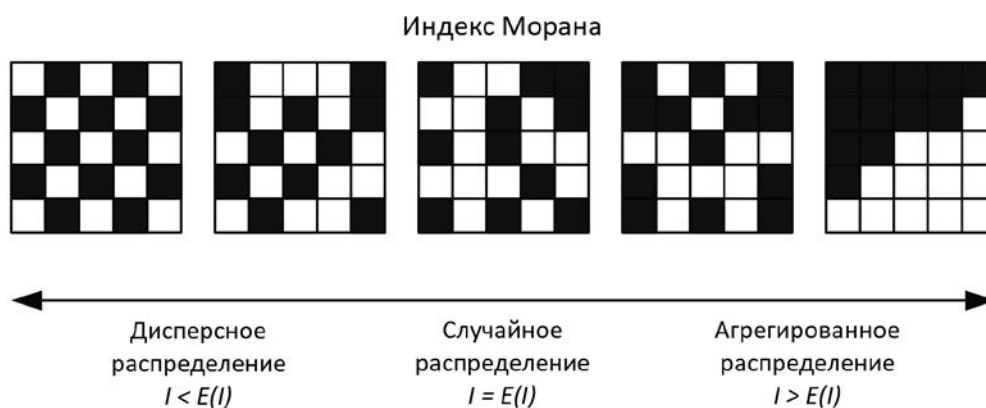


Рис. 3. Графическая интерпретация индекса I Морана

Fig. 3. Graphical interpretation of Moran's I

Источник: [Grekousis, 2020].

Исследование пространственной автокорреляции также позволяет выявить влияние локальных факторов на распределение показателя по территории путем расчета остатков регрессии (англ. *'residuals'*). Также существуют локальные тесты на автокорреляцию, например, LISA (*Local indicators of spatial autocorrelation*) и локальный индекс Морана.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании имеющихся в свободном доступе данных на уровне провинций и департаментов Аргентины, а также путем применения геоинформационных методов, была получена картина распределения доходов населения на низовом масштабном уровне, уровне муниципалитетов. Получены значения ВРП на душу населения для более, чем 3 тыс. территориальных ячеек, притом более половины из них – путем ручного и полуавтоматического проведения границ муниципалитетов. Построим карту распределения ВРП на душу населения на уровне муниципалитетов Аргентины по данным на 2010 г. (рис. 4).

Территориальное неравенство в Аргентине существует не только по уровню благосостояния населения, но и по характеру проведения и делимитации границ административно-территориальных образований на низовом масштабном уровне. Для провинций центральной Аргентины существует система с достаточно дробным делением территории на муниципальные образования: Федеральная столица (48 единиц), Буэнос-Айрес (591), Кордова (695), Санта-Фе (361), Сан-Луис (145) и Энтре-Риос (83). Помимо представленных географически сгруппированных провинций также имеется ряд регионов, которые выделяются среди своих соседей по степени дробности территориального деления: Неукен, Чубут,

<sup>1</sup> ArcGIS. Как работает инструмент Пространственная автокорреляция (Глобальный индекс Морана I) – ArcGIS Pro. Документация. Электронный ресурс: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm> (дата обращения 01.07.2021).

Тукуман и Формоса. Кроме этого, регионы сильно отличаются между собой по уровню доходов населения: существует значительный разрыв в доходах жителей между центральными и северными (северо-западными) регионами Аргентины. Кроме того, имеется обширная область на юге Аргентины, для которой характерны высокие душевые доходы за счет эффекта низкой базы (небольшая численность населения со сравнительно высоким ВРП): провинции Чубут, Санта-Крус и Огненная Земля.

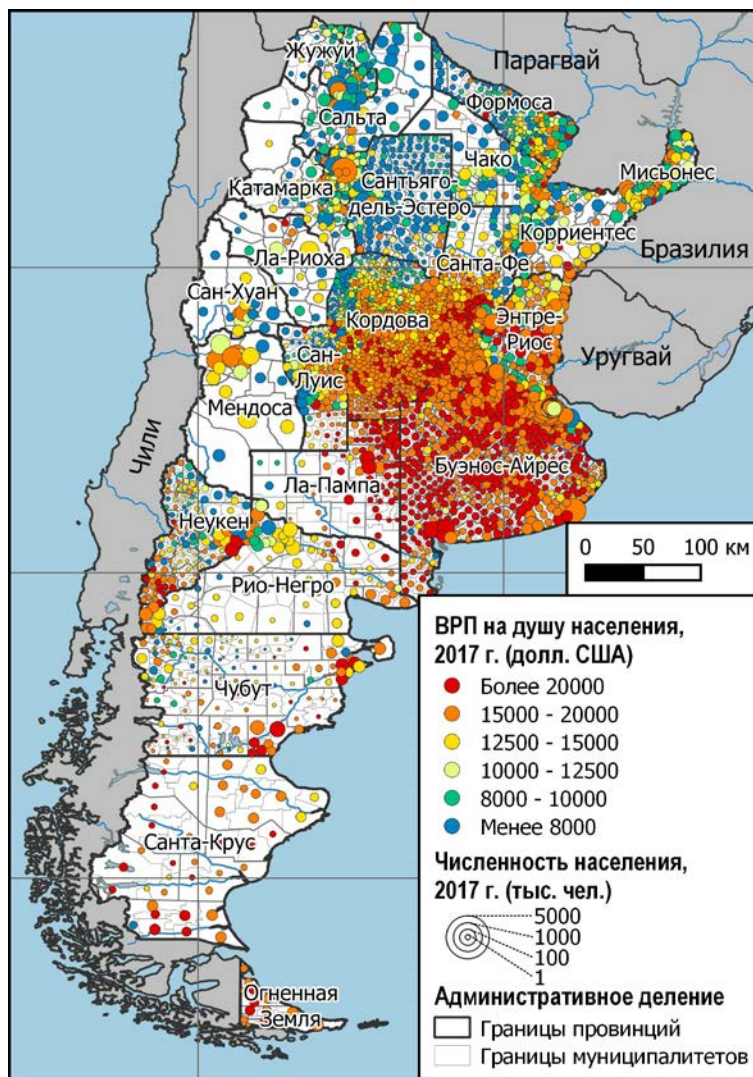


Рис. 4. ВРП на душу населения по муниципалитетам Аргентины, 2017 г.

Fig. 4. GDP per capita by municipalities of Argentina, 2017

Источник: составлено автором по данным [Atlas..., 2021].

Более детальный анализ показал, что имеются существенные различия в характере территориального неравенства при переходе между различными масштабными уровнями: провинции – департаменты, департаменты – муниципалитеты. Наиболее пространственно гетерогенными являются, конечно же, провинции Аргентины, поскольку они сосредотачивают в себе как региональные столицы, так и менее развитую периферию. При этом более северные регионы имеют большие территориальные контрасты, чем регионы юга Аргентины (рис. 5). Такие регионы, как Жужуй, Сальта, Сантьяго-дель-Эстеро, Чако и Формоса имеют существенный разрыв (в 3 раза и более) между максимальным и средним

ВРП на душу населения: средний душевой ВРП – 7–8 тыс. долл. США, максимальный – более 20 тыс. долл. США (по ППС).

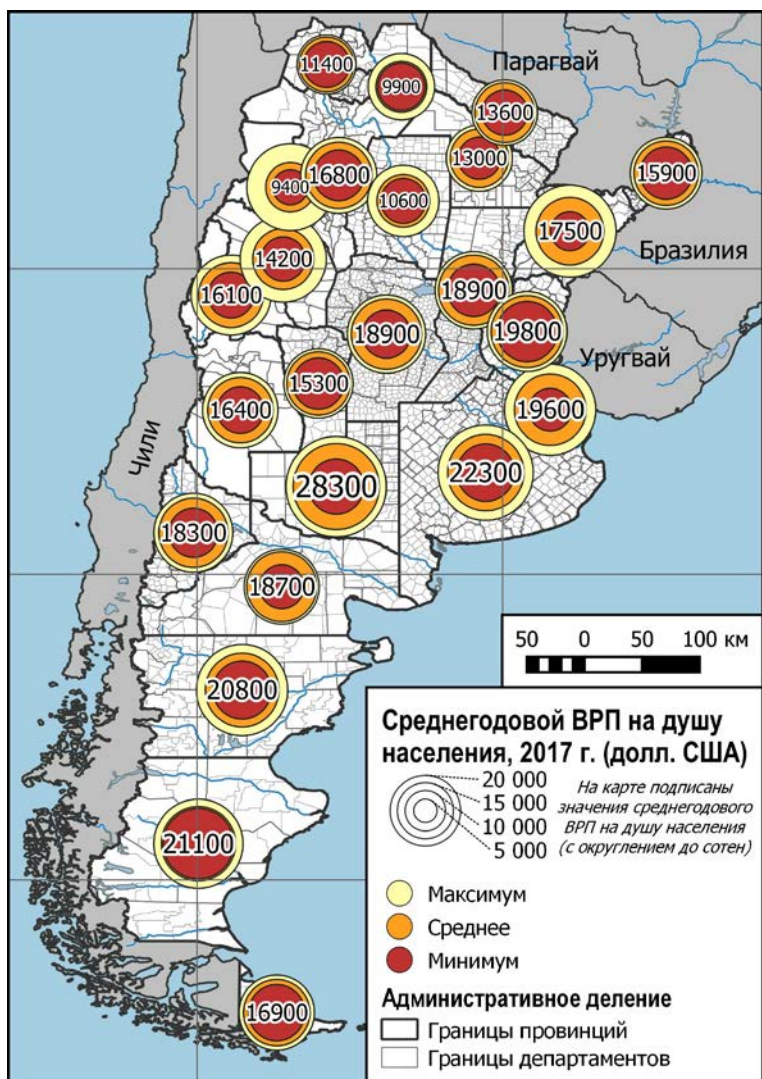


Рис. 5. Описательные характеристики ВРП на душу населения по провинциям Аргентины в разрезе департаментов, 2017 г.

Fig. 5. Descriptive features of GDP per capita by provinces of Argentina, 2017

Источник: составлено автором по данным [Instituto..., 2021]<sup>1</sup>.

Регионами с наименьшими контрастами по уровню доходов являются те самые «горнорудные» слабозаселенные регионы Патагонии, где расхождение между максимальным и средним доходом весьма незначительное (превышение максимального дохода над средним не более, чем в полтора раза). По уровню благосостояния южные регионы не сильно уступают центральной Аргентине, среднедушевой доход здесь может превышать 20 тыс. долл. США (по ППС).

Кроме того, имеется весьма закономерное распределение описательных статистик максимального, минимального и среднего дохода среди 48 кварталов региона Федеральная

<sup>1</sup> Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina. Электронный ресурс: <https://www.ign.gov.ar> (дата обращения: 01.07.2021).

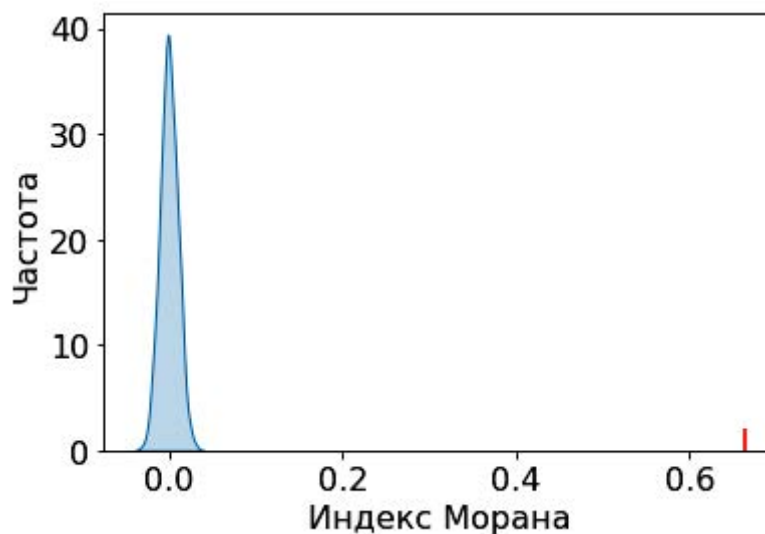
столица Буэнос-Айрес, что характерно для столиц большинства зарубежных стран (высокие уровни дохода среди всех регионов в пределах городской черты).

Использованная методика картографирования позволяет определить, насколько велики контрасты между максимальным и минимальным значениями в ячейках более низкого масштабного уровня [Самсонов, Юрова, 2014]. Обратим внимание на столичную область Аргентины. Как уже было сказано, регион Федеральной столицы подразделяется на 48 территориальных единиц, в то время как соседствующие с ними территориальные ячейки региона Буэнос-Айрес имеют принципиально иной масштаб: каждый из 48 кварталов столичного региона имеет людность от 25 до 100 тыс. человек (всего в Федеральной столице проживает около 3 млн чел.), в то время как соседние территориальные ячейки «снаружи» имеют численность населения в пределах 2–3 млн чел. Возникают существенные диспропорции в уровне дробности территориального деления, что в дальнейшем осложняет анализ территориального неравенства в столичном регионе.

Распределение описательных характеристик значений ВРП на душу населения по департаментам имеет следующий вид. В первую очередь, подавляющее число регионов (департаментов) имеют достаточно равномерное распределение средних, максимальных и минимальных значений признака среди территориальных единиц более низкого уровня (муниципалитетов), входящих в их состав. Стоит отметить отсутствие различий в характере распределения описательных статистик для регионов, внутри которых границы муниципалитетов проведены на основании официальных данных, и регионов, территориальное деление на муниципалитеты у которых было получено при помощи компьютерных алгоритмов.

Таким образом, характер вариации признака душевого ВРП на нижнем масштабном уровне не зависит от методики и способа делимитации регионов, а также имеет ярко выраженную географическую составляющую. Наибольшие расхождения между средними и экстремальными значениями ВРП на душу населения характерны для регионов, составляющих экономическую полупериферию Аргентины. Среди них такие провинции, как Кордова, Санта-Фе и Формоса (на севере) и Неукен, Рио-Негро и Чубут (на юге Аргентины). Тем не менее, для таких провинций, как Сан-Хуан, Ла-Риоха, Мендоса и в некоторой степени Ла-Пампа, не существует более дробного официального подразделения на муниципалитеты и каждая территориальная единица у них представлена единственным департаментом. Поэтому для них характерно отсутствие вариации признака, а описательная характеристика представлена лишь одним значением.

**Исследование пространственной автокорреляции.** Полученная картина территориального неравенства на низовом масштабном уровне в Аргентине имеет ярко выраженную географическую составляющую, и здесь явно напрашивается использование методов пространственной статистики. На основании выделенных территориальных ячеек муниципалитетов, после проверки топологии (наличия общих границ между соседствующими территориями) был составлен граф территориальной смежности ячеек по правилу ферзя. Расчет индекса Морана показал высокую степень пространственной зависимости между уровнем доходов и пространственным лагом (топологическим расстоянием) между исследуемыми территориальными единицами: значение индекса 0,67,  $p\text{-value} < 10^{-6}$ . Перестановочный тест подтвердил, что в распределении доходов населения по территориальным ячейкам есть ярко выраженная географическая составляющая (вероятность ошибки первого рода практически отсутствует). Гистограмма частот индекса Морана при случайных перестановках имеет следующий вид: полученное значение индекса обозначено красным цветом и существенно отстоит от нормально распределенных значений при случайном перестановочном тесте (рис. 6).



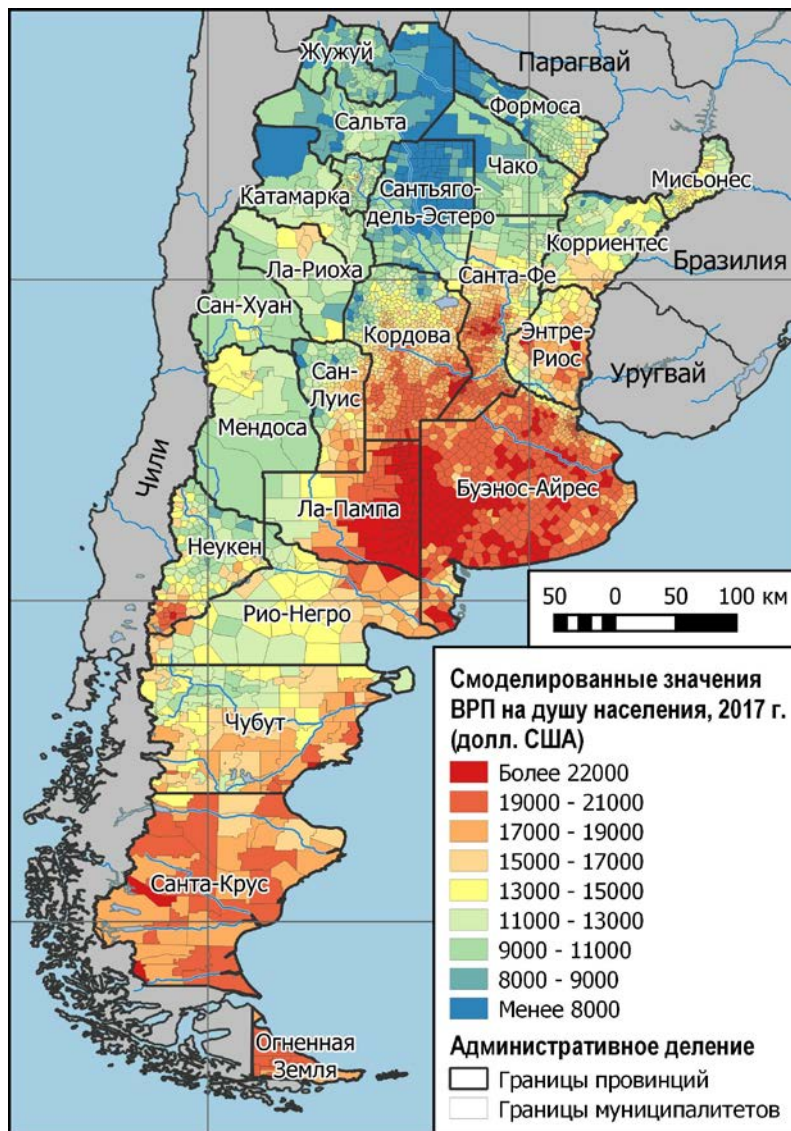
*Рис. 6. Гистограмма частот при перестановочном тесте и значение индекса Морана для фактического распределения ВРП на душу населения по муниципалитетам Аргентины, 2017 г. Значение индекса Морана для фактического распределения выделено красным цветом*

*Fig. 6. Histogram of frequencies within the permutation test and Moran's I value for the distribution of GDP per capita by municipalities of Argentina, 2017. The Moran's index value for the actual distribution is highlighted in red*

Источник: составлено автором.

Была составлена модель пространственной регрессии, где территориальные ячейки классифицированы по положению в соответствующих квартилях по смоделированным значениям ВРП на душу населения в рамках пространственной модели (рис. 7). Построенная модель позволила с достаточной степенью точности определить ось социально-экономического развития Аргентины: развитый центр, который окружают менее развитые территории периферии. При этом высоко освоенные районы северных провинций попали в самый низкий квартиль по уровню доходов населения, что отражает ярко выраженную пространственную ось развития «север–юг». Наиболее развитые регионы сосредоточены вокруг трассы Буэнос-Айрес – Кордова, при этом, если двигаться дальше на запад в сторону Мендосы, то уровень развития будет стремительно сокращаться (на основании построенной модели). Что интересно, модель пространственной регрессии имеет несколько локальных центров с высокими показателями благосостояния населения («регионы роста»). Среди них: южная Патагония (за счет эффекта низкой базы), а также провинция Неукен – регион бурно развивающейся добычи сланцевого газа и нефти (чего не было видно по фактическому распределению доходов!).

Таким образом, модель пространственной регрессии подтвердила наличие ярко выраженного пространственного тренда в распределении доходов, а также позволила математически обосновать наличие локальных центров развития в провинциях Санта-Крус и Неукен.



*Рис. 7. Смоделированные значения ВРП на душу населения по муниципалитетам Аргентины, 2017 г.*

*Fig. 7. Modelled values of GDP per capita by municipalities of Argentina, 2017*

Источник: составлено автором.

## ВЫВОДЫ

На основании проведенного исследования и использования различных геоинформационных методов для анализа пространственного распределения доходов населения Аргентины был получен ряд выводов.

Геоинформационные методы представляют весомую альтернативу традиционным методам географического анализа, в особенности в рамках т.н. полимасштабного подхода. Пример Аргентины показал, что, несмотря на наличие ряда проблем в деле исследования доходов населения на низовом уровне территориального деления (таких, как отсутствие статистических данных в открытом доступе, например), возможно проведение качественного анализа этого явления, а также его моделирование с помощью специальных математических методов. В частности, для низового масштабного уровня Аргентины были рассчитаны такие базовые характеристики территориальных единиц, как площадь, численность

населения, плотность населения, а также валовый региональный продукт и ВРП на душу населения.

При проведении географического анализа, в особенности в рамках полимасштабного подхода, важную роль играет исследование характера распределения объектов и явлений, а не просто средних значений признака. На примере Аргентины было показано, что на первом масштабном уровне (провинции) размах вариации достигает максимального значения для большинства регионов. На уровне департаментов же размах вариации существенно сокращается, в особенности между минимальным и средним значениями признака. Тем не менее, использование специальных геоинформационных алгоритмов для разделения департаментов на более мелкие территориальные единицы накладывает ряд ограничений при интерпретации полученных результатов по ряду регионов и требует дальнейшего анализа на примере других стран.

Исследование пространственной автокорреляции распределения доходов в Аргентине наилучшим образом и наиболее информативно отражает характер регионального неравенства при оперировании территориальными единицами низового масштабного уровня. Для Аргентины было выявлено сразу несколько ведущих региональных центров, среди них как обширный столичный регион, так и весьма нетривиальные «полюса роста» в провинции Неукен и в южной Аргентине. Расчет индекса пространственной автокорреляции ВРП на душу населения получил одно из наиболее высоких значений среди других зарубежных стран. Более того, оперирование масштабным уровнем муниципалитетов позволило выявить несколько географических центров более низкого порядка в провинции Буэнос-Айрес.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зубаревич Н.В., Тикунов В.С., Крепец В.В., Стрижов В.В., Шакин В.В.* Многовариантные методы интегральной оценки развития человеческого потенциала в регионах Российской Федерации. Материалы Международной конференции ИнтерКарто. ИнтерГИС. Петропавловск-Камчатский, 2001. Т. 7. С. 84–105.
2. *Кривошеина А.М., Самсонов Т.Е.* Сопряженная генерализация населенных пунктов и транспортной сети в мелких масштабах картографирования. Материалы Международной конференции ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: Изд-во МГУ, 2012. Т. 18. С. 419–425.
3. *Самсонов Т.Е., Юрова Н.Д.* Применение картограмм и картодиаграмм на мультимасштабных социально-экономических картах. Геодезия и картография. 2014. № 11. С. 30–38.
4. *Трейвиш А.И.* Неравномерность и структурное разнообразие пространственного развития экономики как научная проблема и российская реальность. Пространственная экономика. 2019. Т. 15. № 4. С. 13–35.
5. *Тувалева Ю.В., Самсонов Т.Е.* Анализ региональных особенностей размещения населенных пунктов России методами пространственной статистики. Материалы Международной конференции ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: Наука, 2014. Т. 20. С. 543–547.
6. *Ackermann G.* Mapas y SIG (1970–2010). Gestión de la Información Geoestadística. 2014.
7. *Almeida E.* Econometria espacial aplicada. Campinas: Editora Alínea, 2012. 498 p.
8. Atlas histórico y geográfico de la Argentina. Velázquez G., Celemin J.P. eds. 1a ed. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2020. 687 p. Web resource: <https://igehcs.conicet.gov.ar/se-publico-el-primer-tomo-del-atlas-historico-y-geografico-de-la-argentina/?fbclid=IwAR3WhHK2OguS1CFtzHGIJnocoKxp23tvnZeOUpF91OsueHLYfpeFV8ODDTo> (accessed 01.08.2021).

9. *Elbers C., Lanjouw J., Lanjouw P.* Micro-level estimation of poverty and inequality. *Econométrica*. 2003. Vol. 71. No. 1. P. 355–364.
10. *Grekousis G.* Spatial Autocorrelation. *Spatial Analysis Methods and Practice: Describe – Explore – Explain through GIS*. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. P. 207–274.
11. *Novotny J.* On the measurement of regional inequality: does spatial dimension of income inequality matter? *Annals of Regional Science*. 2007. Vol. 41. No. 3. P. 563–580.
12. *Openshaw S.* The modifiable areal unit problem. *Concepts and techniques in modern geography*. Norwich: GeoBooks, 1984. 86 p.
13. *Shorrocks A., Wan G.* Spatial decomposition of inequality. *Journal of Economic Geography*. 2005. Vol. 5. No. 1. P. 59–81.
14. *Tobler W.* A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*. 1970. No. 46. P. 234–240.

### REFERENCES

1. *Ackermann G.* Mapas y SIG (1970–2010). *Gestión de la Información Geoestadística*. 2014.
2. *Almeida E.* *Econometria espacial aplicada*. Campinas: Editora Alínea, 2012. 498 p.
3. Atlas histórico y geográfico de la Argentina. Velázquez G., Celemin J.P. eds. 1a ed. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2020. 687 p. Web resource: <https://igehcs.conicet.gov.ar/se-publico-el-primer-tomo-del-atlas-historico-y-geografico-de-la-argentina/?fbclid=IwAR3WhHK2OguS1CFtzHGIJnocoKxp23tvnZeOUpF91OsueHLYFpeFV8ODDTo> (accessed 01.08.2021).
4. *Elbers C., Lanjouw J., Lanjouw P.* Micro-level estimation of poverty and inequality. *Econométrica*. 2003. Vol. 71. No. 1. P. 355–364.
5. *Grekousis G.* Spatial Autocorrelation. *Spatial Analysis Methods and Practice: Describe – Explore – Explain through GIS*. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. P. 207–274.
6. *Krivosheina A.M., Samsonov T.E.* Joint generalization of settlements and transportation network in small scales. Proceedings of the International conference “InterCarto. InterGIS”. Moscow: MSU Publ., 2012. Vol. 18. P. 419–425 (in Russian).
7. *Novotny J.* On the measurement of regional inequality: does spatial dimension of income inequality matter? *Annals of Regional Science*. 2007. Vol. 41. No. 3. P. 563–580.
8. *Openshaw S.* The modifiable areal unit problem. *Concepts and techniques in modern geography*. Norwich: GeoBooks, 1984. 86 p.
9. *Samsonov T.E., Yurova N.D.* The usage of choropleths and diagrams on multiscale socio-economic maps. *Geodesy and Cartography*. 2014. No. 11. P. 30–38 (in Russian).
10. *Shorrocks A., Wan G.* Spatial decomposition of inequality. *Journal of Economic Geography*, 2005. Vol. 5. No. 1. P. 59–81.
11. *Treyvish A.I.* Uneven and structurally diverse spatial development of economy as a scientific problem and Russian reality. *Spatial Economics*, 2019. Vol. 15. No. 4. P. 13–35 (in Russian).
12. *Tuvaleva Yu.V., Samsonov T.E.* Analysis of regional features of Russian populated places location with the methods of spatial statistics. Proceedings of the International conference “InterCarto. InterGIS”. Moscow: Nauka, 2014. Vol. 20. P. 543–547 (in Russian).
13. *Tobler W.* A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*. 1970. No. 46. P. 234–240.
14. *Zubarevich N.V., Tikunov V.S., Krepets V.V., Strijov V.V., Shakin V.V.* Multivariate methods for human development index estimation in Russian regions. Proceedings of the International conference “InterCarto. InterGIS”. 2001. No. 7. P. 84–105 (in Russian).