

Научная статья

УДК 332.135

DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.5>

## КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРОВИНЦИЙ ТАИЛАНДА

Никита Шариков<sup>1\*</sup>, Полина Полякова<sup>2</sup>, Арсений Кудрявцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация, [sharikov.ni@edu.spbstu.ru](mailto:sharikov.ni@edu.spbstu.ru), [arseny.kudryavtzev@yandex.ru](mailto:arseny.kudryavtzev@yandex.ru)

<sup>2</sup>ООО «Газпромнефть Информационно-Технологический оператор», Санкт-Петербург, Россия, [polyakova\\_p00@mail.ru](mailto:polyakova_p00@mail.ru)

\*Автор, ответственный за переписку: [sharikov.ni@edu.spbstu.ru](mailto:sharikov.ni@edu.spbstu.ru)

### Аннотация

Исследование посвящено оценке пространственной дифференциации социально-экономического развития провинций Таиланда в условиях реализации экономической стратегии развития страны. Научная проблема заключается в недостаточной разработанности эмпирических методов выявления кластерной структуры регионов с учетом демографических, отраслевых и институциональных факторов. Целью работы являются выявление закономерностей распределения экономической активности и формирование типологии провинций для обоснования региональной политики. В качестве исходных данных использованы показатели ВРП на душу населения, миграции, инвестиций, использования земельных угодий и туризма за 2010–2021 гг. Проведены расчеты коэффициента Уильямсона, подтвердившие рост межпровинциального неравенства. Кластеризация осуществлялась методами K-means, иерархической агломерации и DBSCAN с использованием Python и библиотеки scikit-learn. Оптимальные результаты продемонстрировал алгоритм K-means при трех и четырех кластерах, где Бангкок выделен в отдельную группу. Получены три устойчивые типологии: индустриальные центры Центрального Таиланда, аграрные провинции Северного и Северо-Восточного Таиланда, туристско-инфраструктурный Южный Таиланд. Результаты показали признаки  $\beta$ -конвергенции в ряде переходных провинций и подтвердили сохраняющуюся пространственную поляризацию. На основе анализа предложены адресные меры: модернизация агропромышленности, стимулирование инновационной активности, развитие туристической инфраструктуры. Выводы подчеркивают необходимость дифференцированной региональной политики и демонстрируют практическую значимость кластерного анализа для реализации стратегии «Таиланд 4.0».

**Ключевые слова:** кластерный анализ, региональное экономическое развитие, пространственная дифференциация, социально-экономические факторы, провинции Таиланда.

**Цитирование:** Шариков, Н., Полякова, П., Кудрявцев, А., Кластерный Анализ Экономического Развития Провинций Таиланда. Sustainable Development and Engineering Economics 2, 5. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.5>




Эта работа распространяется под лицензией [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

© Шариков Н., Полякова П., Кудрявцев А., 2025. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

*Research Article*

DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.5>

## CLUSTER ANALYSIS OF THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE PROVINCES OF THAILAND

Nikita Sharikov<sup>1\*</sup>, Polina Poliakova<sup>2</sup>, Arseny Kudryavtsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation, [sharikov.ni@edu.spbstu.ru](mailto:sharikov.ni@edu.spbstu.ru), [arseny.kudryavtzev@yandex.ru](mailto:arseny.kudryavtzev@yandex.ru)

<sup>2</sup>LLC Gazpromneft Information Technology Operator, St. Petersburg, Russian Federation, [polyakova\\_p00@mail.ru](mailto:polyakova_p00@mail.ru)

\*Corresponding author: [sharikov.ni@edu.spbstu.ru](mailto:sharikov.ni@edu.spbstu.ru)

### Abstract

The article addresses the issue of spatial differentiation in the socio-economic development of Thailand's provinces in the context of the national "Thailand 4.0" strategy. The research problem arises from the limited empirical evaluation of regional heterogeneity that integrates demographic, sectoral, and institutional dimensions. The objective is to identify structural patterns of provincial development and to propose a typology that may serve as a basis for differentiated regional policy. The study relies on provincial-level indicators for 2010–2021, including per capita gross regional product, labor migration, industrial investment, land use, and inbound tourism. The Williamson coefficient was applied to quantify inequality, revealing its growth over the past decade. Clustering was performed using k-means, hierarchical agglomerative methods, and DBSCAN in Python with scikit-learn. The k-means algorithm with three and four clusters produced the most robust results, isolating Bangkok as a distinct cluster. Three persistent groupings were identified: industrial centers in the central region, agricultural provinces of the northern and northeastern areas, and tourism-driven provinces in the south. The analysis also revealed  $\beta$ -convergence processes in several transitional provinces, suggesting gradual alignment of development trajectories. Policy recommendations emphasize modernization of agriculture, innovation support for industrial centers, and infrastructure projects in tourism-intensive provinces. The findings confirm the persistence of spatial polarization and highlight the utility of cluster analysis as a tool for refining Thailand's regional development strategy.

**Keywords:** cluster analysis, regional economic development, spatial differentiation, socio-economic factors, provinces of Thailand.

**Citation:** Sharikov, N., Poliakova, A. Kudryavtsev, A., 2025. Cluster analysis of the economic development of the provinces of Thailand. Sustainable Development and Engineering Economics 2, 5. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.5>

This work is licensed under a [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

© Sharikov, N., Poliakova, A. Kudryavtsev, A., 2025. Published by Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University.

## 1. Введение

Объектом настоящего исследования выступают провинции Таиланда. В условиях ускоряющихся трансформаций мировой экономики и роста значимости региональных факторов устойчивого развития особое внимание приобретает изучение внутристрановой дифференциации. Таиланд представляет особый интерес как развивающееся государство Юго-Восточной Азии, демонстрирующее высокие темпы экономического развития при наличии выраженной территориальной неоднородности. В то же время страна реализует государственную стратегию «Таиланд 4.0», ориентированную на цифровую трансформацию экономики, снижение зависимости от иностранного капитала и активное участие в интеграционных процессах региона АСЕАН. В этих условиях особенно важно оценить влияние пространственных различий на экономическое развитие страны.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью выявления факторов, определяющих экономическое развитие на субнациональном уровне, с учетом высокой региональной дифференциации, характерной как для Таиланда, так и для ряда других стран, включая Россию. Несмотря на достигнутые макроэкономические успехи, в Таиланде сохраняются значительные различия в уровне развития провинций, что требует пространственных научно обоснованных подходов к оценке и прогнозированию регионального развития (Pastpipatkul and Ko, 2025; Srisaringkarn and Aruga, 2025a).

Научная проблема исследования заключается в недостаточной разработанности эмпирической оценки пространственных взаимосвязей регионального экономического развития Таиланда, с учетом их демографической, отраслевой и институциональной специфики. Существующие исследования преимущественно ограничиваются изучением отдельных факторов или применением классических методов эконометрики (Soloviev et al., 2025), что затрудняет выявление реальных детерминант развития и адекватный учет пространственной неоднородности. В результате не формируется целостная картина кластерной структуры провинций, а значит, отсутствует возможность предложить адресные меры региональной политики.

В соответствии с обозначенной проблемой в рамках настоящей работы поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать уровень социально-экономической дифференциации провинций Таиланда.
3. Провести кластеризацию провинций на основе социально-экономических показателей с использованием различных методов кластерного анализа.
4. Сопоставить полученные результаты с традиционными индикаторами регионального развития (ВРП, население и др.).
5. Разработать рекомендации по региональной политике Таиланда с учетом выявленных кластеров и их пространственной специфики.

Цель исследования – выявить и обосновать ключевые закономерности пространственного распределения экономического развития провинций Таиланда с использованием методов кластерного анализа.

Предметом исследования являются пространственная дифференциация социально-экономического развития провинций Таиланда и ее проявления в форме устойчивых кластеров.

Научная новизна исследования заключается в комплексном применении методов кластерного анализа к оценке экономического развития провинций Таиланда на основе многомерных социально-экономических показателей. В отличие от предыдущих работ, исследование учитывает не только макроэкономические и отраслевые различия, но и цифровые, институциональные и экологические факторы. Это позволило сформировать оригинальную кластерную типологию провинций, выявить пространственные паттерны регионального развития и предложить адресные рекомендации для корректировки государственной стратегии «Таиланд 4.0». Полученные результаты вносят вклад в развитие теории и методологии региональной экономики, а также имеют прикладное значение для совершенствования инструментов территориального планирования и региональной политики в странах с высокой неоднородностью развития.

## 2. Обзор литературы

Экономическое развитие – это долгосрочный процесс достижения экономического процветания всего сообщества за счет взаимодействия экономических и неэкономических факторов (Pelsa and Balina, 2022). Экономическое развитие для повышения благосостояния людей требует увеличения экономического роста за счет факторов производства. При этом использование сугубо факторного подхода при построении экономической политики недостаточно результативно и требует использование более актуальных пространственных подходов при планировании экономического развития.

В настоящее время исследованию влияния различных факторов на экономическое развитие регионов посвящено множество как отечественных (Soloviev et al., 2025), так и зарубежных исследований, что подчеркивает высокую освещенность факторного подхода к изучению регионального развития и необходимость поиска новых более эффективных подходов к моделированию в рассматриваемой области.

Ряд современных исследований демонстрирует, что экономическое развитие на региональном уровне обусловлено не только традиционными макроэкономическими переменными, но и рядом пространственно распределенных факторов, таких как институциональные различия, географическая близость, доступ к инвестициям и уровень инновационной активности. Моделирование экономического роста все чаще опирается на интеграцию пространственной эконометрики, панельных данных и методов машинного обучения (Beketov et al., 2024). Современные работы подтверждают востребованность кластеризации (K-means/K-medoids, иерархические алгоритмы, Affinity Propagation и LISA/Moran's I) для типологизации территорий и выделения «схожих» по развитию групп.

Так, авторы (Tipayalai and Mendez, 2024) выявили наличие пространственной зависимости и процессы региональной конвергенции ( $\sigma$ - и  $\beta$ -конвергенцию доходов на душу населения по 77 провинциям за 1995–2017 гг.) в Таиланде, показав наличие локализованных зон, где экономическое развитие провинций движется по схожим сценариям. Они пользовались инструментами глобальных и локальных индикаторов пространственной ассоциации (Moran's I, LISA). Полученные результаты подтверждают необходимость методов кластеризации для корректной типологизации регионов.

В (Vaňová et al., 2024) с использованием пространственных эконометрических моделей были определены отрасли, которые сильнее всего влияют на средние доходы домохозяйств в 76 провинциях Таиланда. Результаты показали, что вклад отраслей неоднороден в

пространстве, а эффекты некоторых секторов усиливаются за счет соседства (выявлены агломерационные связи). Авторы пришли к заключению, что для проведения пространственного анализа региональной экономики Таиланда целесообразно кластеризовать провинции по отраслевым профилям с учетом пространственной смежности или же интерпретировать кластеры через доминирующие отрасли и их потенциальные спилловер-эффекты (спилловер-эффект – экономическое явление, когда одни значимые экономические события ведут к возникновению других, при этом вторые могут не иметь явной связи с первыми).

Авторы (Park et al., 2022) предложили инновационную модель машинного обучения, основанную на агрегировании многоуровневой геопространственной информации. Применение данной модели к Таиланду позволило определить ключевые индикаторы экономического развития на региональном уровне. Разработанный в исследовании подход позволяет осуществлять прогнозирование экономического развития в условиях неполных или гетерогенных данных.

В (Wheway and Punmanee, 2020) ставится под вопрос эффективность одностороннего подхода к региональному развитию Таиланда, в котором приоритет отдается Бангкоку. Авторы заключают, что участие периферийных провинций в глобальных производственных сетях остается слабо развитым и требует институциональной поддержки для стимулирования экономического развития страны за пределами столичной агломерации.

Цифровые факторы также оказывают существенное влияние на пространственное неравенство. Авторы (Setthasuravich and Kato, 2022) показали, что цифровой разрыв влияет на эффективность транспортной политики. Используя пространственные модели (SAR/SEM), они пришли к заключению, что цифровая обеспеченность населения модифицирует эффект транспортной политики, а влияние распространяется на соседние территории. Для кластеров это означает, что показатель развития цифровой инфраструктуры в пространственных исследованиях Таиланда стоит учитывать как признак-пространство, иначе будет проигнорирован важный аспект возможности «усвоения» инфраструктурных инвестиций, рознящийся по провинциям. В более позднем исследовании (Setthasuravich et al., 2024) авторы выявили наличие устойчивых паттернов цифрового неравенства на субрайонном уровне. Это свидетельствует о том, что цифровая инфраструктура может выступать определяющим фактором при формировании кластеров регионов.

Экологические и энергетические ограничения также выступают значимыми факторами экономического развития. Так, авторы (Srisaringkarn and Aruga, 2025b) установили наличие пространственного влияния уровня загрязнения воздуха (PM<sub>2.5</sub>) на экономический рост провинций Таиланда. Было выявлено, что высокие уровни PM<sub>2.5</sub> статистически связаны со снижением темпов экономического роста, при этом эффект варьируется от провинции к провинции. Авторы подчеркивают важность включения «экологических» маркеров экономического развития регионов, например, отдельно идентифицировать кластеры с «экологическими ограничениями» и учитывать это при интерпретации результатов. В другой их работе (Srisaringkarn and Aruga, 2025a) была оценена взаимосвязь между энергопотреблением и экономическим развитием в рамках гипотезы экологической Кривой Кузнецца. Авторы использовали пространственные панельные модели, включая Spatial Panel Lag и Spatial Dynamic Panel Lag IV, чтобы исследовать взаимосвязь ВРП на душу населения и уровня энергопотребления. По результатам исследования была выявлена U-образная зависимость (в ряде провинций Таиланда), сильная кластеризация энергопотребления и значимые

пространственные спилловер-эффекты. Оба исследования подтверждают значимость включения экологических индикаторов при проведении кластерного анализа регионов.

В ряде пространственных исследований авторы опираются на спутниковые данные в качестве исходных данных. Так, авторы (Puttanapong et al., 2022) установили, что ночные световые данные позволяют выявлять пространственные различия в уровне регионального экономического неравенства. В (Puttanapong et al., 2023) авторы применили методы машинного обучения для прогнозирования провинциального ВРП. С помощью комбинации VIIRS-огней и методов пространственной статистики и эконометрики они выявили сильную пространственную автокорреляцию и устойчивые «горячие» и «холодные» кластеры, совпадающие с инфраструктурными и урбанизационными паттернами провинций Таиланда.

Подобный подход был использован и в (Hutasavi and Chen, 2024): авторы определили, как рост индустриальных зон в Восточном экономическом коридоре отражается на уровне бедности. В исследовании были использованы методы анализа пространственно-временных данных и индикаторы ночного освещения.

Ряд исследований фокусируется на специфических сферах, влияющих на региональное экономическое развитие. Так, авторы (Khemthong et al., 2024) выявили ключевые детерминанты туристических потоков Таиланда и их взаимодействия, определив различия в факторах развития туристических провинций. Они заключают, что эффекты детерминант туризма нелинейны и зависят от сочетаний (например, развитие инфраструктуры и безопасности или же безопасности туристической провинции и доступности туристического направления), то есть одинаковые уровни отдельных факторов имеют разную силу связи при разных комбинациях. Авторы подчеркивают, что при проведении кластерного анализа важно допускать наличие нелинейности взаимодействия отобранных признаков.

В (Chutiphongdech et al., 2025) было оценено влияние проведения спортивного события на рост доходов в провинции. Исследование строится как квази-эксперимент на панельных региональных данных с сопоставлением динамики «принимающих» и контрольных территорий в периоды до и после проведения спортивных событий, что позволяет отделить эффект события от фоновых трендов. Авторы выявили наличие значимых краткосрочных приростов провинциальных доходов и занятости в секторе услуг и связанных отраслях, а также наличие пространственных перетеканий в соседние провинции (спилловер-эффектов).

Авторы (Homsombat et al., 2025) в своем исследовании оценили вклад «атрибутов креативного города» (плотность культурных институтов, креативные индустрии, человеческий капитал и т.п.) в региональное экономическое развитие Таиланда. Результаты иллюстрируют, что высокий уровень креативного развития связан с более высокими темпами экономического развития, причем влияние усиливается в агломерационных зонах.

Еще одним примером применения кластерного подхода в оценке экономического развития Таиланда является работа (Kantachote and Wiroonsri, 2023). Авторы разработали восьмиклассовую типологию качества жизни в Таиланде на основе многомерных показателей (доходы, доступ к услугам, здоровье, окружающая среда и др.). Результаты исследования показали, что регионы с близкими экономическими метриками могут резко различаться по уровню качества жизни, а выделенные кластеры устойчиво сегрегированы в пространстве.

На международном уровне аналогичный подход был применен в (Mathrani et al., 2023). Авторы осуществили кластеризацию 45 азиатских стран по индикаторам Целей устойчивого

развития, демонстрируя, что даже при крупной пространственной агрегации устойчиво выделяются группы с различными траекториями по социальным, экологическим и экономическим целям.

Большое количество аналогичных исследований экономического развития в разрезе регионального деления касается и прочих государств и административно-территориальных единиц.

В (Zhang et al., 2023) авторы предложили оценку пространственных спилловер-эффектов от туризма на рост межрегионального дохода в Китае. Результаты показали, что туризм влияет не только на провинцию, являющуюся туристическим центром, но и на соседние регионы, усиливая мультипликативный эффект от инвестиций в инфраструктуру и продвижение развития инфраструктуры, что влечет за собой экономическое развитие рассматриваемых регионов.

Пространственный подход к моделированию экономического развития реализован и в (Su et al., 2023), где на примере агломерации дельты Янцзы в Китае анализируется эффективность «зеленого» экономического развития с помощью модели SBM (Slack-Based Measure) в сочетании с пространственной автокорреляцией. Авторы показывают, что экологические инициативы и институциональная координация между регионами оказывают значимое влияние на экономическое развитие при сохранении общей экономической устойчивости. Схожее исследование, но для трех основных регионов Европейского Союза (NUTS 3), было осуществлено в (de Campos et al., 2024). Авторы использовали кластерный подход для выявления региональных траекторий экономического развития в рассматриваемых территориальных единицах.

Другое исследование, (Cerqueti et al., 2024), основано на разработке усовершенствованного варианта пространственной авторегрессии (SCSAR-модель), где параметры модели варьируются внутри кластеров регионов (в данном исследовании – регионов Италии). Авторы подчеркивают, что такой подход к изучению факторов экономического развития позволяет учитывать не только глобальную пространственную зависимость, но и локальную гетерогенность, что особенно важно в условиях мультицентральной структуры исследуемой страны, и это схоже с особенностями экономической структуры Таиланда.

В совокупности рассмотренные исследования подтверждают, что современное понимание регионального развития выходит за пределы традиционного анализа экономических показателей. Оно требует интеграции экономических, социальных, цифровых, экологических и инфраструктурных факторов с применением методов пространственной статистики и кластерного анализа. Именно такой подход обеспечивает целостное понимание различий между территориальными единицами и позволяет формировать более обоснованную экономическую политику на региональном уровне. Тем не менее ни в одном из рассмотренных исследований не была осуществлена кластеризация провинций с использованием как классических, так и новых методов, а также провинции Таиланда не были пространственно оценены в контексте влияния на экономическое развитие всей страны. Следовательно, данная работа восполняет существующий пробел в научной сфере, предлагая ранее не освещенный подход к пространственному анализу экономического развития Таиланда.

### 3. Материалы и методы

Рассмотрим методологию проведения исследования. Кластерный анализ по методологии делится на две группы:

1. Иерархическая кластеризация – данный метод создает иерархию кластеров, которая может быть представлена в виде древовидной структуры (дендрограммы) (Altuntas et al., 2022).

2. Разделительная кластеризация – данный метод предполагает, что число кластеров задается заранее, и алгоритмы стремятся минимизировать вариацию внутри кластеров и максимизировать вариацию между кластерами.

Ключевыми достоинствами кластерного анализа является то, что он дает возможность сгруппировывать многомерные данные с большим набором признаков, не накладывает никаких ограничений на используемые в анализе переменные и позволяет быстро обработать и сжать большие массивы социально-экономической информации.

Наиболее часто используемые методы кластеризации – K-means (K-средних), иерархическая кластеризация и DBSCAN. K-means считается наиболее простым алгоритмом кластерного анализа (Kantachote and Wiroonsri, 2023; Ryu et al., 2024). Он минимизирует сумму квадратов расстояний от каждой точки данных до центра ближайшего ей кластера, а математически суть метода заключается в минимизации суммы квадратов расстояний от каждой точки данных до центра ближайшего ей кластера. K-means задается функцией, представленной ниже, которую минимизирует алгоритм:

$$G = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\|^2,$$

где:

$k$  – количество кластеров;

$S_i$  – множество точек данных в  $i$ -м кластере;

$\mu_i$  – центроид (среднее значение всех точек)  $i$ -го кластера.

Мера близости по умолчанию в K-means – Евклидово расстояние, а его возведение в квадрат позволяет придать большие «веса» наиболее отдаленным друг от друга точкам. Данный метод итеративный и состоит из следующих шагов (Kantachote and Wiroonsri, 2023; Ryu et al., 2024):

1. Подготовка и нормализация данных с целью достижения безразмерности и нормализованности показателей.
2. Инициализация, при которой выбираются  $k$  центроидов.
3. Присвоение, при котором каждая точка данных присваивается к ближайшему центроиду.
4. Обновление, во время которого центроиды пересчитываются как среднее всех точек, присвоенных к этому кластеру.
5. Итерация: последние два шага повторяются до сходимости (когда присвоения больше не изменяются).

Для определения числа кластеров самым распространенным является метод локтя. Метод заключается в построении зависимости функции  $G(k)$  и определении точки на графике, после которой минимизация функции становится незначительной.



Другим распространенным методом кластеризации является алгоритм DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) (Tu et al., 2022; Xiao et al., 2022). Алгоритм был предложен в 1996 г. М. Эстером для разбиения данных на кластеры произвольной формы. Метод используется для кластеризации пространственных данных с присутствием шума. Суть метода состоит в том, чтобы вычислить области высокой плотности элементов данных, которые отделены друг от друга областями низкой плотности. Основные понятия, которые включает данный алгоритм это:

1. Ядро (Core) – точка, имеющая не менее определенного количества других точек (MinPts) в пределах заданного радиуса  $\epsilon$  (eps).
2. Граничная точка (Border) – точка, имеющая менее MinPts точек в радиусе  $\epsilon$ , но находящаяся в радиусе  $\epsilon$  от ядра точки.
3. Шум (Noise) – точка, которая не является ни ядром, ни границей.

К параметрам алгоритма DBSCAN относятся:

1.  $\epsilon$  (eps) – максимальное расстояние между двумя точками, при котором одна точка может быть считана соседней другой.
2. MinPts – минимальное количество точек, необходимое для формирования плотного региона (то есть для того, чтобы точка считалась ядром).

Основными этапами алгоритма DBSCAN являются (Tu et al., 2022; Xiao et al., 2022):

1. Задание значения минимального количества точек MinPts и радиуса  $\epsilon$ . Это необходимо для идентификации любой точки как принадлежащей кластеру и других точек, находящихся в указанном радиусе.
2. Перебор элементов выборки. Если для элемента существует не менее MinPts ближайших соседей в радиусе  $\epsilon$ , формируется кластер, в противном случае точка помечается как шум. Далее после перебора она может стать частью другого кластера.
3. Рассмотрение всех ближайших соседей при переборе элементов выборки. Если у точки находится MinPts ближайших соседей, она попадает в тот же кластер, что и предыдущая, и становится ядровой, в противном случае она отмечается как граничная.
4. Повторение алгоритма, пока не будут проанализированы все точки выборки.

Выбор метода кластеризации напрямую зависит от качества анализируемых данных, их вида и структуры. Сравнение алгоритмов по их параметрам и результатам сведено в табл. 1.

**Таблица 1.** Сравнение методов кластеризации

Алгоритм	Входные данные	Результат кластеризации
K-means	число кластеров	центры (центроиды) кластеров
Иерархическая кластеризация	число кластеров	дерево (дендрограмма) кластеров
DBSCAN	$\epsilon$ -окрестность, минимальное количество соседних точек	ядровые точки (центры кластеров) с радиусом $\epsilon$ -окрестности

Качество проведения кластерного анализа также зависит от выбора метода расчета дистанции (расстояния) между точками. В исследовании в качестве метрики расстояния было

использовано Евклидово расстояние, которое используется для придания больших весов аномальным точкам:

$$d(x, x') = \sqrt{\sum_i^n (x_i - x'_i)^2}.$$

Рассмотрим показатели качества кластеризации, использованные в исследовании.

Первый показатель качества – индекс Калински–Харабаса. Пусть  $\bar{d}^2$  – средний квадрат расстояния между точками в кластеризуемом множестве и  $\bar{d}_{ci}^2$  – средний квадрат расстояний между точками в кластере  $ci$ . Тогда сумма расстояний внутри групп задается следующим выражением:

$$WGSS = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^c (n_{ci} - 1) \bar{d}_{ci}^2,$$

а сумма расстояний между группами:

$$BGSS = \frac{1}{2} \left( (c - 1) \bar{d}^2 + (N - c) A_c \right),$$

где  $A_c$  – взвешенная усредненная разница расстояний между центрами кластеров и общим центром множества.

Тогда формула индекса Калински–Харабаса:

$$VRC = \frac{\frac{BGSS}{c-1}}{\frac{WGSS}{N-c}} = \frac{\bar{d}^2 + \frac{N-c}{c-1} A_c}{\bar{d}^2 - A_c} = \frac{1 + \frac{N-c}{c-1} a_c}{1 - a_c} a_c, \\ a_c = \frac{A_c}{\bar{d}^2}.$$

Индекс Калински–Харабаса предоставляет численное значение, которое помогает сравнивать качество различных кластеризаций. Большее значение индекса указывает на лучшую кластеризацию, что означает хорошую разделенность кластеров (высокое межкластерное расстояние) и плотную сгруппированность внутри (низкое внутрикластерное расстояние).

Второй показатель качества – коэффициент силуэта (Silhouette Coefficient). Коэффициент силуэта измеряет, насколько хорошо каждый объект был сгруппирован с другими объектами в его кластере относительно объектов в других кластерах, и для каждого объекта рассчитывается следующим образом:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}},$$

где:

$a(i)$  – среднее расстояние между  $i$ -м объектом и всеми другими объектами в том же кластере;

$b(i)$  – минимальное среднее расстояние от  $i$ -го объекта до объектов в другом кластере, т.е. ближайший кластер.

Оценка силуэта для всей кластерной структуры производится с помощью среднего по всем элементам кластера.

Коэффициент силуэта принимает значения от  $-1$  до  $+1$ :

1. значение близкое к  $+1$  указывает на то, что объект хорошо сгруппирован внутри своего кластера и далек от объектов других кластеров;
2. значение близкое к  $0$  означает, что объект находится на границе между двумя кластерами;
3. значение близкое к  $-1$  указывает на то, что объект был неправильно сгруппирован, так как другие кластеры ближе к объекту, чем его собственный.

Коэффициент силуэта является одной из наиболее универсальных и популярных метрик для оценки результатов кластеризации, так как он не требует знания истинных меток кластеров и эффективен для различных типов данных и методов кластеризации.

Для проверки гипотезы высокой региональной дифференциации принято использовать ряд методов, таких как дециальный коэффициент, коэффициент осцилляции, индекс Тейла, индекс Аткинсона, коэффициент Уильямсона и др. В данном исследовании анализ дифференциации регионов Таиланда проведен с помощью коэффициента Уильямсона, который позволяет взвесить регионы по численности населения, что является преимуществом, так как население в разрезе регионов (77 провинций Таиланда) в рассматриваемом периоде (2010–2021 гг.) распределено неравномерно. Математически расчет коэффициента Уильямсона представлен формулой:

$$V_W = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \frac{p_i}{P}}}{\bar{x}},$$

где:

$x_i$  – чистый провинциальный продукт (ЧПП)  $i$ -й провинции на душу населения;

$\bar{x}$  – средний провинциальный продукт по всем провинциям;

$p_i$  – численность населения  $i$ -й провинции;

$P$  – общая численность населения всех провинций.

Таким образом, все вышеописанные методы применимы для анализа провинциальной специфики Таиланда, так как позволяют оценить внутренние закономерности при исследовании экономического развития страны.

Программой средой для проведения кластерного анализа были выбраны язык программирования Python и библиотека scikit-learn. В данной библиотеке содержатся все необходимые функции для нормализации данных, а также набор самых распространенных функций кластерного анализа при параметрах, которые задает пользователь.

В качестве исходных данных для проведения кластерного анализа были отобраны социально-экономические показатели за 2012–2020 гг. по 77 провинциям Таиланда. Выбор указанного периода обусловлен отсутствием данных за более ранние и поздние промежутки времени по ряду провинций. В качестве факторов были отобраны признаки, указанные в табл. 2.

Таблица 2. Отобранные признаки

Описываемая область	Наименование признака	Обозначение	Единица измерения
Экономическое развитие	ЧПП на душу населения	$X_1$	Бат/чел.
Движение иностранной рабочей силы	Число мигрантов, получивших разрешение на работу	$X_2$	Чел.
Промышленность	Инвестиции в промышленный сектор экономики на одного занятого	$X_3$	Бат/чел.
Сельское хозяйство	Использование земли	$X_4$	Рай
Туризм	Численность иностранных туристов	$X_5$	Чел.

#### 4. Результаты

Для проверки гипотезы высокой региональной дифференциации Таиланда был использован коэффициент Уильямсона по ранее описанной методологии (табл. 3). Анализ был выполнен за 2010 и 2021 гг. в номинальных и реальных ценах 2010 г. По полученным данным можно сделать вывод о том, что уровень экономического развития провинций Таиланда имеет высокую степень дифференциации, а разрыв только увеличился за рассматриваемый период, несмотря на реализацию политики «Таиланд 4.0», направленную на сокращение социально-экономического неравенства (табл. 3).

Таблица 3. Расчетный коэффициент Уильямсона в 2010 и 2021 гг.

Период	Номинальный ЧПП на душу населения	Реальный ЧПП на душу населения (в ценах 2010 г.)
2010	121.56%	121.51%
2021	127.46%	127.46%

Ввиду сильной провинциальной дифференциации Таиланда интерес представляют детальный анализ и группировка провинций по степени влияния на экономику страны в целом. Данный подход позволяет определить наиболее экономически развитые провинции. Группировка была выполнена по двум критериям:

1. Индекс роста ЧПП на душу населения  $\Delta GPP_i$ , где  $i$  – признак принадлежности к провинции 1...77.
2. Индекс роста населения  $\Delta P_i$ , где  $i$  – признак принадлежности к провинции 1...77.

Сравнение указанных критериев было осуществлено с пороговыми значениями, в качестве которых были использованы средние значения индексов за 2021 г. по всем 77 провинциям. Возможно деление провинций на четыре группы в зависимости от комбинации признаков H (high) и L (low), которые присваиваются каждому критерию:

1. HH – значение индекса роста показателя больше 1 и больше среднего значения по стране.

2. HL – значение индекса роста показателя больше 1, но меньше среднего значения по стране.
3. LH – значение индекса роста показателя меньше 1, но больше среднего значения по стране.
4. LL – значение индекса роста показателя меньше 1 и меньше среднего значения.

В зависимости от отнесения рассчитанного значения индекса в одну из четырех комбинаций все провинции могут быть разделены на пять групп:

1-я группа (комбинация HH\_HH) – провинции с наиболее высоким уровнем социально-экономического развития. Они характеризуются положительным, превышающим средние значения, темпом прироста ЧПП и населения и оказывают наиболее сильное влияние на экономику. Им не требуются корректирующие мероприятия по поддержанию экономического роста, но необходимо продолжать реализацию текущих мер, направленных на повышение экономического роста.

2-я группа (комбинации HH\_HL, HL\_HH, LH\_HH, HH\_LH) – провинции со средним уровнем влияния на экономический и социальный климат Таиланда. Они могут иметь небольшие отрицательные темпы прироста каждого показателя, но меньшие, чем средние значения по всем провинциям, или, наоборот, значения темпов прироста положительны, но меньше, чем средние значения по всем провинциям.

3-я группа (комбинации LL\_HH, HL\_HL, HH\_LL, LH\_HL, LH\_LH) – провинции с уровнем влияния на экономику Таиланда ниже среднего. Они могут характеризоваться отрицательными и ниже среднего значениями одного из показателей, при этом второй индекс будет положительным или выше среднего по всем 77 провинциям. Принадлежность к данной группе свидетельствует о том, что на экономическое и социальное развитие влияют иные дестабилизирующие факторы, не входящие в социально-экономическую плоскость.

4-я группа (комбинации LL\_HL, HL\_LL, LH\_LL, LL\_LH) – провинции с отрицательным влиянием на экономическое и социальное положение Таиланда. Они могут характеризоваться отрицательными приростами обоих показателей, что свидетельствует о необходимости проработки новых комплексных мер по повышению экономического роста.

5-я группа (комбинация LL\_LL) – провинции с наиболее высокими по модулю отрицательными индексами роста ЧПП и населения. Принадлежность к этой группе свидетельствует о том, что управление на муниципальном уровне в данных провинциях неэффективно и требуется кардинально новый комплекс мероприятий по всем исследуемым факторам в рамках провинциальной социально-экономической политики.

Представим возможные комбинации критериев в формате матрицы в табл. 4.

**Таблица 4.** Матрица комбинации индикаторов для группировки провинций

Комбинации	$1 < \Delta \bar{P}_i < \Delta P_i$	$1 < \Delta P_i < \Delta \bar{P}_i$	$\Delta P_i < 1 < \Delta \bar{P}_i$
$1 < \Delta \overline{GPP}_i < \Delta GPP_i$	HH_HH	HH_HL	HH_LL
$1 < \Delta GPP_i < \Delta \overline{GPP}_i$	HL_HH	HL_HL	HL_LL
$< \Delta GPP_i < 1 < \Delta \overline{GPP}_i$	LL_HH	LL_HL	LL_LL

Результаты группировки 77 провинций по данным индекса роста ЧПП на душу населения (в реальных ценах 2012 г.) и индекса роста населения представлены в табл. 5.

**Таблица 5.** Результаты группировки провинций Таиланда

1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа	5-я группа
16	8	33	12	8

По итогам анализа провинций по уровню экономического и социального развития следует отметить, что в 1-ю группу с высоким влиянием на экономический рост Таиланда входят 16 провинций (21%), большая часть провинций в рассмотренном периоде (41%) входит в 3-ю группу.

Проанализируем представителей 1-й группы более подробно. В ее состав входят представители всех регионов Таиланда, больше всего провинций из Южного и Восточного Таиланда (табл. 6).

**Таблица 6.** Состав 1-й группы в разрезе регионов и количества провинций

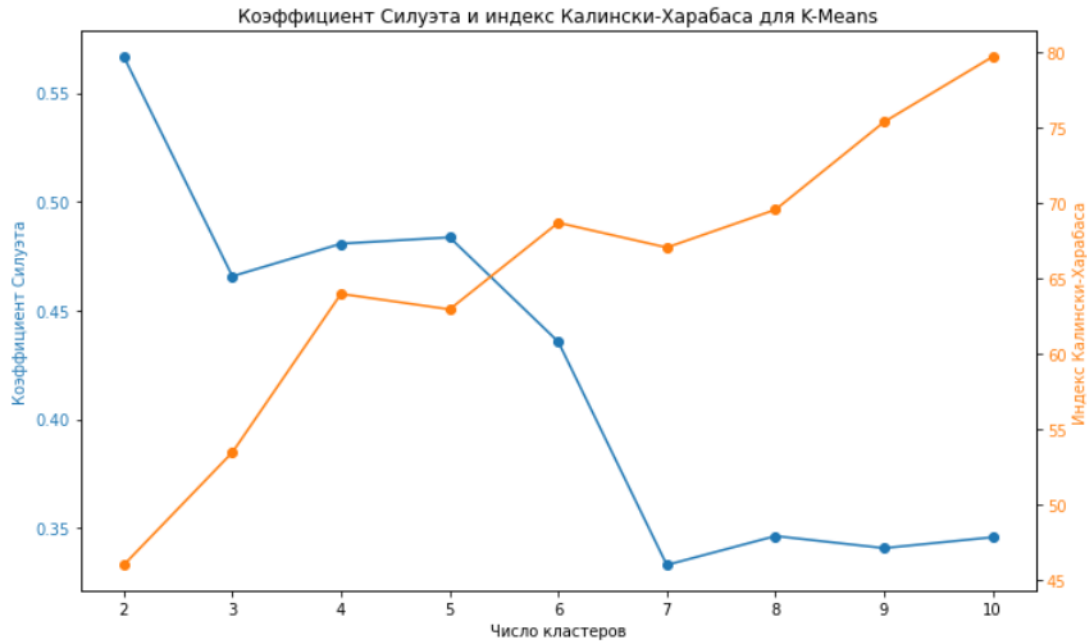
Бангкок и окрестности	Центральный Таиланд	Восточный Таиланд	Северо-Восточный Таиланд	Южный Таиланд	Западный Таиланд
2	1	4	1	7	1

Несмотря на то, что Бангкок является столицей и центром экономической активности Таиланда (в 2021 г. в нем было сосредоточено более 30% ВВП), регион попал во 2-ю группу, так как индекс прироста ЧПП был ниже среднего по стране. Такой результат является следствием пандемии COVID-19, поскольку Бангкок пострадал от кризиса сильнее, чем другие провинции, и в нем, вероятно, наблюдалось большее снижение ВВП на душу населения, чем в среднем по стране. Результаты проведенного анализа также позволили выявить высокое экономическое влияние провинций Южного Таиланда: Накхонситхаммат, Сонгкхла, Сатун, Яла, Транг, Наратхиват и Паттани. Ранее при анализе динамики ЧПП данного региона он показывал наименьший результат среди всех провинций; по данным о численности населения в 2021 г. в данном регионе проживало 14% всего населения Таиланда. Возможно, в данном случае имеет место  $\beta$ -конвергенция, когда более бедные регионы показывают более высокие темпы экономического развития.

Далее была проанализирована кластерная структура Таиланда с использованием ранее описанных методов кластеризации. Для проверки гипотезы о высокой дифференциации провинций Таиланда, помимо проведенной классификации по индексам роста ЧПП и населения, интерес представляет рассмотрение и других социально-экономических показателей, оказывающие влияние на экономический рост провинций Таиланда.

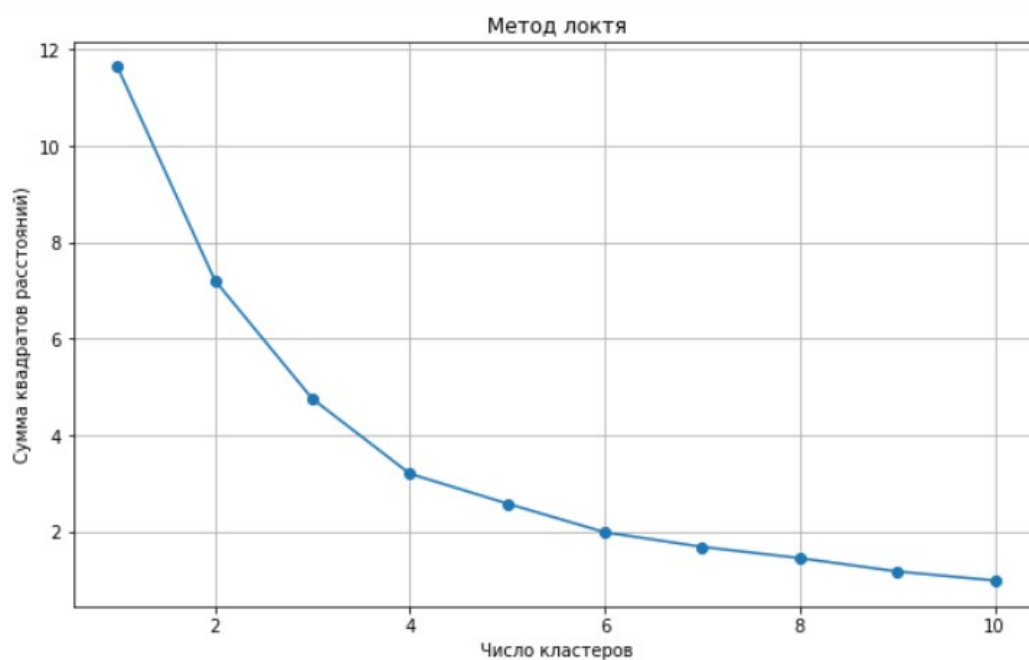
Ввиду высокого размаха отобранных данных, с целью подчеркнуть различие между провинциями, была использована минимаксная нормализация. Метрикой расстояния для анализа было выбрано Евклидово расстояние, так как в данных нет пропусков и временные ряды, используемые для анализа провинций, достаточно короткие.

Для подбора числа кластеров были рассмотрены значения коэффициента качества кластеризации и осуществлен подбор числа кластеров таким образом, при которых коэффициент силуэта и индекс Калински–Харабаса был наибольшим (рис. 1).



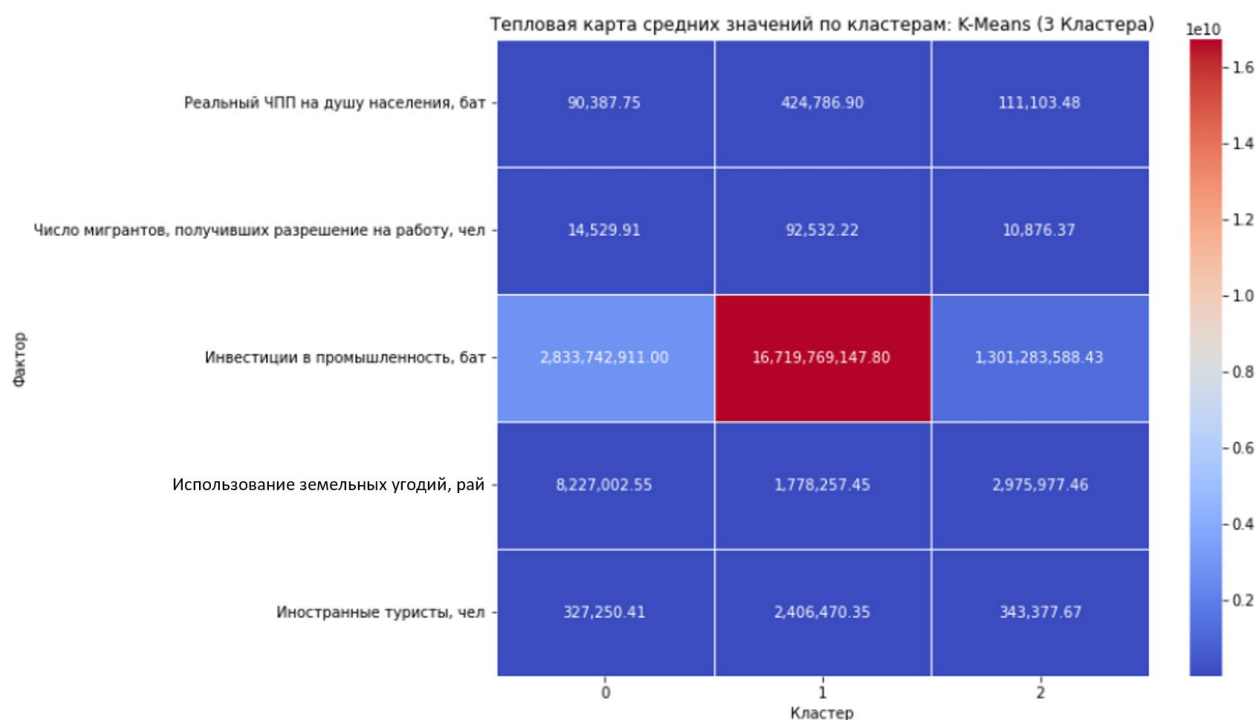
**Рисунок 1.** Подбор числа кластеров с помощью метрик качества кластеризации

Из рисунка видно, что с увеличением числа кластеров обе метрики показывают совершенно разные результаты. При двух кластерах достигается максимум метрики силуэта, но при этом индекс Калински–Харабаса имеет наименьшее значение. Это не даст возможности увидеть закономерности у провинций, так как будет осуществлено разделение лишь на условно-богатые и условно-бедные. Поэтому для кластеризации было выбрано три кластера, при которых индекс Калински–Харабаса равен 53.471 а силуэт – 0.466. Приведем диаграмму метода локтя для большей наглядности выбора трех кластеров на рис. 2.



**Рисунок 2.** Метод локтя для определения числа кластеров

Рассмотрим рассчитанные средние показатели для трех кластеров (рис. 3).



**Рисунок 3.** Средние значения признаков для трех кластеров

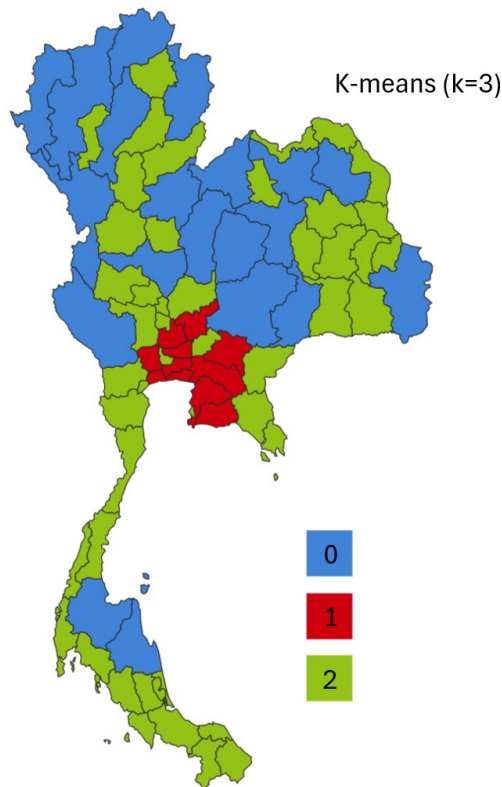
Из приведенного выше рисунка видно, что в 1-й кластер попали наиболее экономически развитые провинции с наибольшим средним притоком иностранной рабочей силы и туристов и наибольшим средним провинциальным продуктом на душу населения. По показателю использования земли 1-й кластер, наоборот, демонстрирует наименьшие в среднем результаты, что подчеркивает статус входящих в него провинций как индустриальных центров страны. В 1-й кластер вошли Аюттхая, Бангкок, Чаченгсау, Чонбури, Накхонпатхом, Патхумтхани, Прачинбури, Районг, Самутпракан, Самутсакхон, Сарабури. Несколько этих провинций также попали в группу наиболее влияющих на экономику страны провинций при проведении анализа НН\_LL, который был описан ранее.

Во 2-й кластер попали провинции с промежуточной экономикой: у них по сравнению с 0-м кластером незначительно отличаются средние инвестиции в промышленность и ЧПП на душу населения, однако наблюдается сильный разрыв в использовании земельных угодий, что говорит о том, что во 2-м кластере сосредоточены индустриально-развитые провинции с высоким уровнем инфраструктуры (большой приток туристов, относительно высокий ЧПП).

В 0-й кластер попали аграрные провинции, у которых наблюдается самое высокое использование земли (что говорит о развитом сельском хозяйстве), большой приток иностранной рабочей силы, а также наименьший средний ЧПП на душу населения.

Картографическая визуализация деления провинций на кластеры представлена на рис. 4.





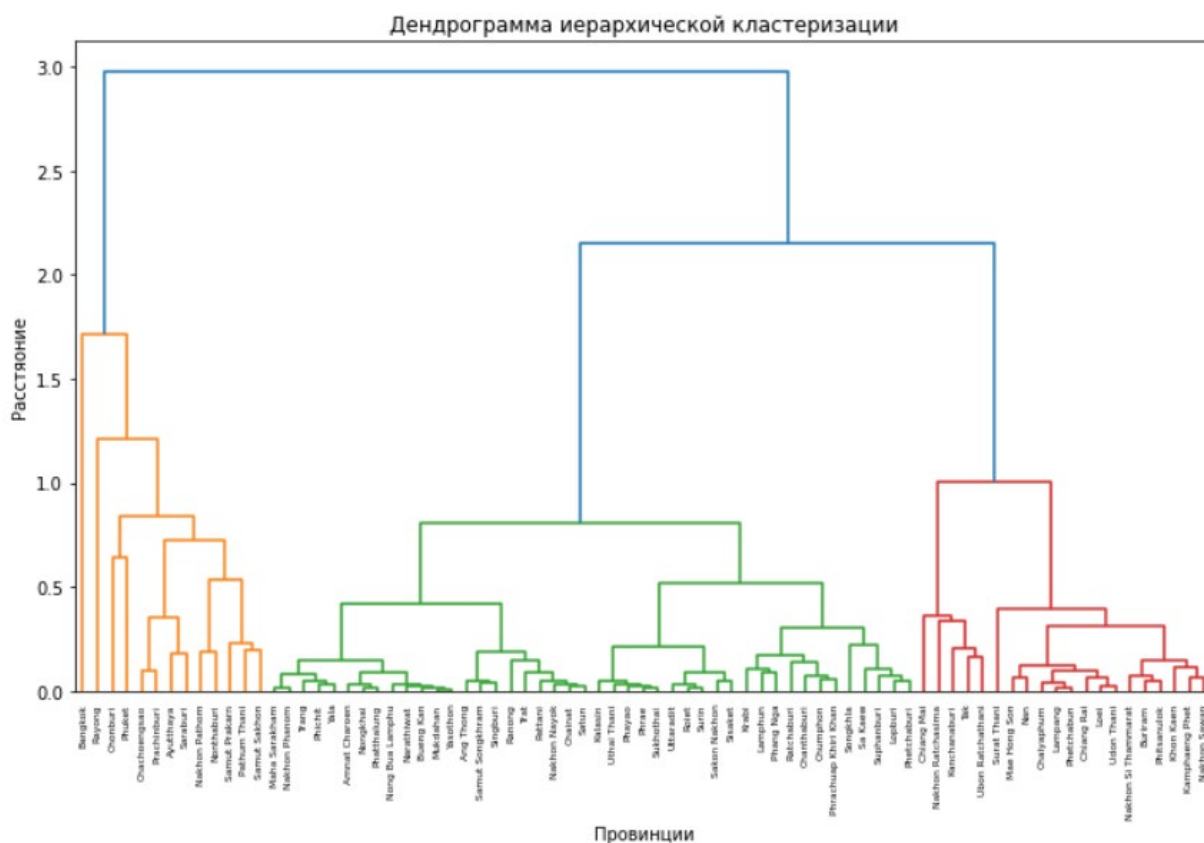
**Рисунок 4.** Карта Таиланда при делении провинций на кластеры для  $k = 3$

Из карты на рисунке 4 видно, что самые богатые провинции сосредоточены в Центральном Таиланде, рядом с метрополией Бангкока. В Южном и Северо-Восточном Таиланде большая часть провинций относится ко 2-му кластеру, для которого характерно большое количество мигрантов, относительно высокие инвестиции в промышленность, развитая туристическая инфраструктура и отельный бизнес. Провинции этого кластера популярны среди туристов, так как находятся на побережье и имеют прямой выход к океану.

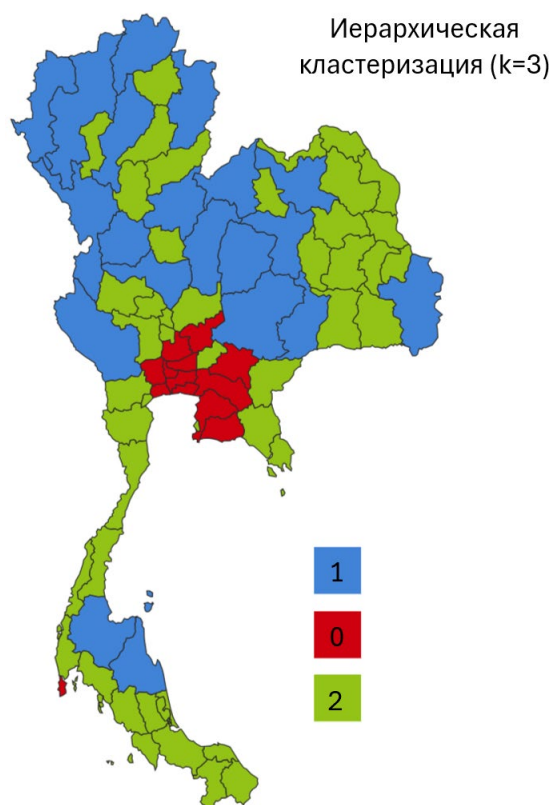
К 0-му кластеру по большей части относятся провинции, расположенные в северной части страны, где меньше туристов и высокий уровень инвестиций в промышленный сектор экономики. Провинции этого кластера являются производственными центрами страны, создающими рабочие места. Это заключение подтверждается и исследованием по разработке мер в области поддержки индустриальных кластеров Таиланда, где при анализе деятельности предприятий в пяти отраслях промышленности показано, что большое количество агроперерабатывающих предприятий сосредоточено в Северном и Северо-Восточном Таиланде. Помимо этого, в данном кластере в среднем большое количество мигрантов, получивших разрешение на работу.

Для тестирования стабильности полученных результатов была осуществлена аналогичная кластеризация провинций Таиланда с  $k = 4$ . Полученные результаты аналогичны кластеризации при  $k = 3$ , но в 4-й кластер был выделен Бангкок, а остальное деление кластеров осталось прежним, что подтверждает состоятельность полученных результатов при трехкластерном делении.

Проведение иерархической агломеративной кластеризации также дало аналогичные результаты (рис. 5, 6).



**Рисунок 5.** Дендрограмма иерархической кластеризации при  $k = 3$



**Рисунок 6.** Деление провинций при иерархической кластеризации

Третьим алгоритмом кластеризации, который был применен в данном исследовании, является DBSCAN.

В соответствии с ранее описанной методологией при проверке параметров  $\epsilon$ -окрестности и минимального количества точек была проведена проверка количества уникальных меток кластеров, исключая шум. Если кластеров меньше двух, были установлены значения метрик: 1 для коэффициента силуэта и бесконечность для индекса Калински–Харабаса. Таким образом, в результате подбора оптимальными параметрами для реализации были выбраны:

1.  $\epsilon$ -окрестность – 0.3;
2. минимальное количество точек – 3.

При заданных параметрах было получено два кластера, коэффициент силуэта равен 0.509, а индекс Калински–Харабаса равен 29.382. Рассмотрим картографическое отображение состава кластеров (рис. 8).



**Рисунок 6.** Деление провинций на кластеры DBSCAN

DBSCAN показывает различимость кластеров гораздо хуже, чем все вышеописанные алгоритмы. К 1-му «богатому» кластеру были отнесены только Бангкок и Районг, отмеченные красным на рис. 6. Реализованный алгоритм DBSCAN не позволяет адекватно интерпретировать полученные кластеры.

Сведем результаты всех реализованных методов кластеризации в табл. 7.

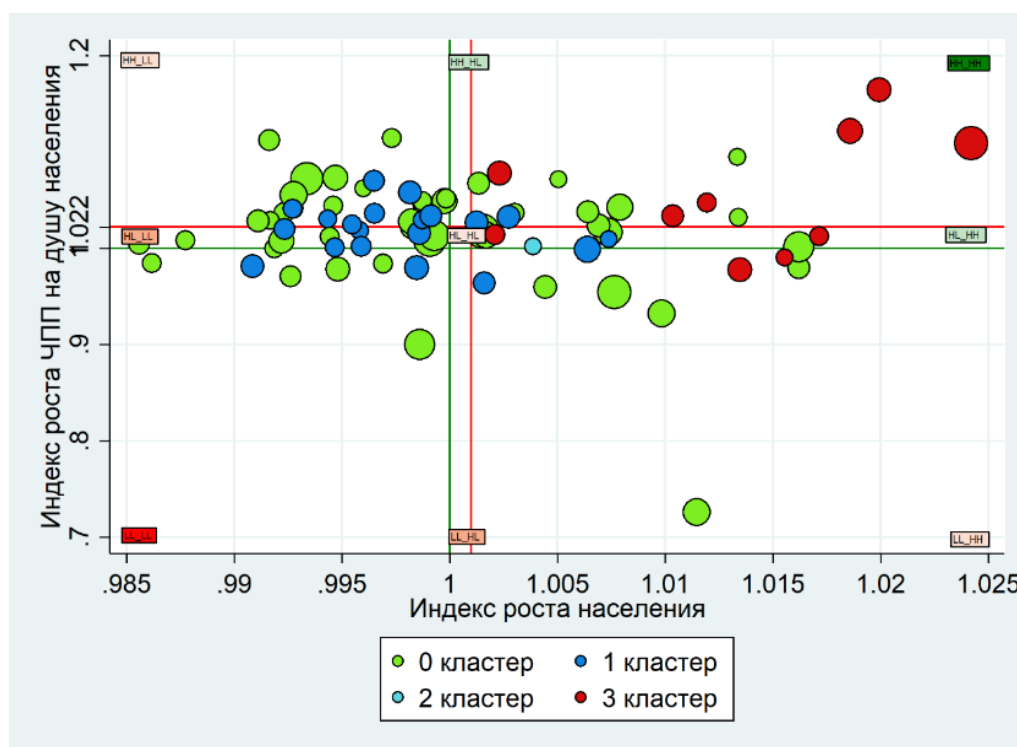
**Таблица 7.** Результаты кластерного анализа

Метод	Коэффициент силуэта	Индекс Калински–Харабаса
K-means ( $k = 3$ )	0.47	53.47
K-means ( $k = 4$ )	0.48	63.98
Agglomerative clustering ( $k = 3$ )	0.45	50.81

Метод	Коэффициент силуэта	Индекс Калински–Харабаса
DBSCAN	0.51	29.38

Таким образом, при отборе оптимальной кластеризации по метрикам качества наилучшие результаты по двум метрикам показывает алгоритм K-means на четыре кластера с наибольшим коэффициентом силуэта и индексом Калински–Харабаса. Особенность по сравнению с другими рассмотренными алгоритмами заключается в том, что при  $k = 4$  в отдельный кластер выделяется Бангкок. В других рассмотренных методах Бангкок был отнесен к наиболее «богатому» кластеру, в составе которого были его окрестности и немногочисленные провинции Центрального Таиланда.

Наложим результаты кластеризации на раннее полученные девять комбинаций индексов роста населения и ЧПП, взятых за 2021 год (рис. 7).



**Рисунок 7.** Распределение кластеров по уровню социального и экономического развития в 2021 г.

На графике, изображенном на рис. 7, красные линии показывают средние значения индексов роста ЧПП на душу населения и численности населения в 2021 г., размер «пузырька» соответствует абсолютным значениям ЧПП на душу населения в каждой провинции в 2021 г. По итогам группировки провинций было определено, что большая часть провинций (33 из 77) в 2021 г. относилась к 3-й группе, изображенной по левой диагонали на рис. 7. Стоит заметить, что больше всего к 3-й «переходящей» группе относятся провинции 0-го кластера. Как и ожидалось, провинции 3-го «богатого» и развитого кластера из окрестностей Бангкока не попали в данную группу. Провинции 0-го кластера по большей части расположены в Южном и Северо-Восточном Таиланде: 0-й кластер, как ранее было отмечено, имеет высокий поток туристов, хорошо развитую сферу услуг, особенно развитый отельный бизнес. В 1-м кластере за счет менее удачного расположения сосредоточены аграрные хозяйства, сконцентрированы агроперерабатывающие предприятия в провинциях Накхонратчасима и Убонратчатхани.

Стоит отметить, что провинции 0-го и 1-го кластеров в основном имеют низкие индексы роста населения в 2021 г., что может быть связано с пандемией Covid-19.

Анализируя 3-й кластер, было заключено, что все входящие в него провинции сосредоточены в правой части графика, что говорит о высоких темпах роста населения в 2021 г. Помимо этого, шесть провинций данного кластера имеют темпы роста населения и ЧПП на душу населения выше среднего в 2021 г., что подчеркивает их высокое экономическое и социальное развитие. Бангкок, как единственный представитель 2-го кластера, в 2021 г. имеет положительный темп роста ЧПП на душу населения. Кроме этого, можно заметить, что в правой части графика также сосредоточено большое количество провинций 0-го и 1-го кластеров, которые в 2021 г. показали высокие индексы роста ЧПП на душу населения и численности населения, несмотря на их «переходящее» состояние экономики, что дает возможность предполагать наличие  $\beta$ -конвергенции.

Перейдем к разработке рекомендаций в части формирования экономической политики Таиланда по результатам проведенного анализа. Сведем вышеперечисленные рекомендации в табл. 8.

**Таблица 8.** Рекомендации по экономическому развитию провинций в разрезе кластеров

Номер кластера	Характеристика кластера	Рекомендации
0	Туристический	Государственное финансирование проектов, направленных на развитие информационной туристической инфраструктуры: дороги, очистительные сооружения для организации благоприятных условий развития отельного бизнеса.
1	Индустриальный	Содействие внедрению инновационных технологий на аграрных предприятиях, в обрабатывающей и текстильной промышленности с целью повышения производительности труда и привлечения иностранных инвестиций в провинции.
2 и 3	Предпринимательский	Бангкок как столица является не только экономическим центром страны, но и целью назначения высококвалифицированных работников из других стран. В связи с этим необходима государственная поддержка градообразующих предприятий в сфере услуг с целью привлечения квалифицированных кадров и повышения эффективности бизнес-процессов на предприятиях.

Таким образом, содействие распространению информационных и инновационных технологий на государственном уровне в разных отраслях экономики в зависимости от специфики каждого кластера позволит гармонично развивать, поддерживать и выравнивать темпы экономического развития Таиланда с учетом внутренней провинциальной дифференциации.

## 5. Обсуждение

Полученные результаты кластерного анализа дали возможность выявить особенности пространственной дифференциации социально-экономического развития провинций Таиланда. Во-первых, выявленная высокая провинциальная неоднородность подтверждает тезис о значительном разрыве между ними, который вопреки стратегии «Таиланд 4.0» только увеличился в течение анализируемого периода. Данное наблюдение согласуется с выводами авторов (Tirayalai and Mendez, 2024), показавших наличие локальных процессов конвергенции лишь в отдельных группах провинций, что не отменяет общей тенденции к сохранению межрегиональных различий.

Кластеризация позволила выявить устойчивую трех- и четырехуровневую структуру развития, где наиболее развитые провинции сосредоточены в Центральном регионе и в окрестностях Бангкока, тогда как аграрные территории Северного и Северо-Восточного Таиланда формируют отдельные кластеры. Эти результаты аналогичны результатам исследования (Vaňová et al., 2024), которые также показали, что отраслевые различия и агломерационные эффекты усиливают пространственное неравенство. Вместе с тем в настоящем исследовании подтверждается и вывод работы (Wheway and Punmanee, 2020) о чрезмерной концентрации экономической активности в столичном регионе, что поднимает вопрос о слабом включении периферийных провинций в национальные и глобальные производственные сети.

Важно подчеркнуть, что кластерный анализ с использованием многомерных показателей позволил расширить традиционные оценки, часто ограничивавшиеся изучением отдельных факторов. Например, в отличие от работ (Setthasuravich et al., 2024; Setthasuravich and Kato, 2022), сосредоточенных на цифровом неравенстве, настоящее исследование сочетает сразу несколько индикаторов – от миграции и туризма до инвестиций и использования земельных угодий. Такой подход позволил сформировать более комплексную типологию провинций, но в то же время ограничение заключается в отсутствии детализированных экологических индикаторов, в сравнении, например, с исследованиями (Srisaringkarn and Aruga, 2025a, 2025b), что не дает возможности полноценно учесть влияние факторов устойчивого развития.

С методологической точки зрения выявлено, что наиболее адекватные результаты дают алгоритмы K-means при трех и четырех кластерах, в то время как DBSCAN показал слабую интерпретируемость. Это подтверждает выводы (Kantachote and Wiroonsri, 2023; Mathrani et al., 2023) о применимости классических методов кластерного анализа для построения устойчивых типологий регионов.

С практической точки зрения выявленные кластеры указывают на необходимость дифференцированной региональной политики: индустриальные провинции требуют поддержки инноваций, аграрные – внедрения технологий в агропромышленность, туристические – инфраструктурных инвестиций. Такой вывод согласуется с международными исследованиями (Cerqueti et al., 2024; Su et al., 2023), подчеркивающими важность учета локальной гетерогенности при разработке экономической политики.

Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией пространственной эконометрики и методов машинного обучения, что позволит учесть нелинейные взаимосвязи факторов, аналогично как в (Khemthong et al., 2024), и более четко проследить пространственные спилловер-эффекты. Кроме того, целесообразно расширить временной охват и включить

данные постпандемийного периода, чтобы оценить долгосрочную устойчивость выявленных кластеров.

Таким образом, проведенное исследование подтвердило значимость кластерного подхода для анализа регионального развития Таиланда, выявило уникальные пространственные закономерности и обозначило пробелы, требующие дополнительного изучения. Полученные результаты вносят вклад в международную дискуссию о пространственном неравенстве и демонстрируют, что эффективная региональная политика невозможна без учета кластерной структуры экономики.

## 6. Заключение

Проведенный анализ показал, что социально-экономическое развитие провинций Таиланда отличается высокой пространственной дифференциацией, сохраняющейся и усиливающейся в период реализации стратегии «Таиланд 4.0». Кластеризация позволила выявить устойчивое разделение провинций на несколько групп: наиболее развитые территории сконцентрированы в Центральном Таиланде и в окрестностях Бангкока, в то время как провинции Северного и Северо-Восточного Таиланда формируют аграрные кластеры, а территории Южного Таиланда демонстрируют зависимость от туристической отрасли и миграционных потоков.

Сравнение динамики роста численности населения и чистого провинциального продукта показало признаки  $\beta$ -конвергенции для ряда «переходящих» провинций, что свидетельствует о возможности постепенного сближения уровней социально-экономического развития в долгосрочной перспективе. Методологический анализ подтвердил, что наилучшие результаты достигаются при использовании алгоритма K-means с выделением четырех кластеров, среди которых Бангкок формирует самостоятельную группу, что отражает его уникальное положение в национальной экономике.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в том, что разработанная кластерная типология может быть использована для корректировки государственной региональной политики. Для аграрных территорий требуется акцент на внедрение инновационных технологий в агропромышленный сектор, для туристических провинций – развитие инфраструктуры и повышение качества услуг, а для индустриальных и предпринимательских центров – стимулирование инновационной активности, привлечение инвестиций и поддержка цифровой трансформации.

Таким образом, кластерный анализ подтвердил необходимость дифференцированного подхода к управлению региональным развитием Таиланда, обеспечивающего более сбалансированное распределение ресурсов и снижение межпровинциального неравенства. В перспективе дальнейшие исследования целесообразно расширить за счет включения постпандемийного периода, использования пространственной эконометрики и методов машинного обучения, что позволит глубже учесть нелинейные зависимости и выявить пространственные спилловор-эффекты. Полученные результаты вносят вклад в развитие методологии региональных исследований и могут служить основой для повышения эффективности реализации стратегии «Таиланд 4.0».

## Список литературы

Altuntas, S., Selim, S., Altuntas, F., 2022. A hierarchical clustering based panel data approach: A case study of regional incentives. *International Journal of Information Management Data Insights* 2 (2), 100098. <https://doi.org/10.1016/J.IJIMEI.2022.100098>

- Cerqueti, R., Maranzano, P., Mattera, R., 2024. Spatially-Clustered Spatial Autoregressive Models with Application to Agricultural Market Concentration in Europe. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics* 30, 431–465. <https://doi.org/10.1007/s13253-024-00672-4>
- Chutipongdech, T., Tangtamaruk, P., Aksornat, A., Tovar, S., Daengmeesee, S., Siwareepan, N., 2025. Sport event hosting and provincial economic growth: Evidence from the Bangsaen21 Half Marathon in Thailand. *Humanities and Social Sciences Communications* 12, 1098. <https://doi.org/10.1057/S41599-025-05494-4>
- de Campos, A.C., Lopes, L., Carreira, C., 2024. Spatial Autocorrelation of Exports and R&D Expenditures in Portugal. *Journal of the Knowledge Economy* 15, 8632–8653. <https://doi.org/10.1007/S13132-023-01425-3>
- Homsombat, W., Wrasai, P., Benjabutr, N., 2025. Measuring the impact of creative city attributes on regional economic development in Thailand. *Asia-Pacific Journal of Regional Science* 9, 357–385. <https://doi.org/10.1007/S41685-025-00374-W>
- Hutasavi, S., Chen, D., 2024. Exploring the industrial growth and poverty alleviation through space-time data mining from night-time light images: a case study in Eastern Economic Corridor (EEC), Thailand. *International Journal of Remote Sensing* 45, 7803–7825. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2112111>
- Kantachote, K., Wiroonsri, N., 2023. Octa-Cluster: Different Perspectives on Quality of Life in Thailand. *Sage Open* 13 (4). <https://doi.org/10.1177/21582440231218501>
- Khemthong, S., Luenam, P., Frank, T.D., Ingsrisawang, L., 2024. Identifying the determinants of tourism receipts of Thailand and relevant determinant-determinant interactions. *PLoS One* 19, e0308153. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0308153>
- Mathrani, A., Wang, J., Li, D., Zhang, X., 2023. Clustering Analysis on Sustainable Development Goal Indicators for Forty-Five Asian Countries. *Sci* 5 (2), 14. <https://doi.org/10.3390/SCI5020014>
- Park, S., Han, S., Ahn, D., Kim, J., Yang, J., Lee, S., Hong, S., Kim, J., Park, S., Yang, H., Cha, M., 2022. Learning Economic Indicators by Aggregating Multi-Level Geospatial Information. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 36 (11), 12053–12061. <https://doi.org/10.1609/aaai.v36i11.21464>
- Pastpipatkul, P., Ko, H., 2025. The Efficacy of Monetary and Fiscal Policies on Economic Growth: Evidence from Thailand. *Economies* 13 (1), 19. <https://doi.org/10.3390/ECONOMIES13010019>
- Pelsa, I., Balina, S., 2022. Development of economic theory – from theories of economic growth and economic development to the paradigm of sustainable development. *DIEM: Dubrovnik International Economic Meeting* 7 (1), 91–101. <https://doi.org/10.17818/DIEM/2022/1.10>
- Puttanapong, N., Luenam, A., Jongwattanakul, P., 2022. Spatial Analysis of Inequality in Thailand: Applications of Satellite Data and Spatial Statistics/Econometrics. *Sustainability* 14 (7), 3946. <https://doi.org/10.3390/SU14073946>
- Puttanapong, N., Prasertsoong, N., Peechapat, W., 2023. Predicting Provincial Gross Domestic Product Using Satellite Data and Machine Learning Methods: A Case Study of Thailand. *Asian Development Review* 40 (2), 39–85. <https://doi.org/10.1142/S0116110523400024>
- Ryu, D., Hong, J., Jo, H., 2024. Capturing locational effects: application of the K-means clustering algorithm. *The Annals of Regional Science* 73, 265–289. <https://doi.org/10.1007/S00168-024-01263-4>
- Setthasuravich, P., Kato, H., 2022. Does the digital divide matter for short-term transportation policy outcomes? A spatial econometric analysis of Thailand. *Telematics and Informatics* 72, 101858. <https://doi.org/10.1016/J.TELE.2022.101858>
- Setthasuravich, P., Sirikhan, K., Kato, H., 2024. Spatial econometric analysis of the digital divide in Thailand at the sub-district level: Patterns and determinants. *Telecommunications Policy* 48 (8), 102818. <https://doi.org/10.1016/J.TELPOL.2024.102818>
- Srisaringkam, T., Aruga, K., 2025a. Economic Growth and Energy Consumption in Thailand: Evidence from the Energy Kuznets Curve Using Provincial-Level Data. *Energies* 18 (15), 3980. <https://doi.org/10.3390/EN18153980>
- Srisaringkam, T., Aruga, K., 2025b. The Spatial Impact of PM2.5 Pollution on Economic Growth from 2012 to 2022: Evidence from Satellite and Provincial-Level Data in Thailand. *Urban Science* 9 (4), 110. <https://doi.org/10.3390/URBANSCI9040110>
- Su, J., Ma, Z., Wang, Y., Wang, X., 2023. Evaluation and Spatial Correlation Analysis of Green Economic Growth Efficiency in Yangtze River Delta Urban Agglomeration. *Sustainability* 15 (3), 2583. <https://doi.org/10.3390/SU15032583>
- Tipayalai, K., Mendez, C., 2024. Regional convergence and spatial dependence in Thailand: global and local assessments. *Journal of the Asia Pacific Economy* 29 (2), 693–720. <https://doi.org/10.1080/13547860.2022.2041286>
- Tu, X., Fu, C., Huang, A., Chen, H., Ding, X., 2022. DBSCAN Spatial Clustering Analysis of Urban “Production–Living–Ecological” Space Based on POI Data: A Case Study of Central Urban Wuhan, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19 (9), 5153. <https://doi.org/10.3390/IJERPH19095153>
- Vaňová, A., Vaňová, V., Nevima, J., Taecharunroj, V., 2024. Which Economic Sectors Influence Average Household Income? A Spatial Econometric Study of Thailand’s 76 Provinces. *Economies* 12 (2), 36–61. <https://doi.org/10.3390/ECONOMIES12020036>
- Wheway, C., Punmanee, T., 2020. Global production networks and regional development: Thai regional development beyond the Bangkok metropolis? *Regional Studies, Regional Science* 4 (1), 146–153. <https://doi.org/10.1080/21681376.2017.1333919>
- Xiao, T., Wan, Y., Jin, R., Qin, J., Wu, T., 2022. Integrating Gaussian Mixture Dual-Clustering and DBSCAN for Exploring Heterogeneous Characteristics of Urban Spatial Agglomeration Areas. *Remote Sensing* 14 (22), 5689. <https://doi.org/10.3390/RS14225689>
- Zhang, R., Sun, Y., Jiang, J., 2023. Factors Influencing the Spatial Spillovers of the Interprovincial Tourism Economy Based on Three-dimensional Distance: Evidence From China. *Sage Open* 13 (3). <https://doi.org/10.1177/21582440231194496>
- Бекетов С.М., Федяевская Д.Э., Схведиани А.Е., Редько С.Г., Бурлуцкая Ж.В. Цифровой инструмент автоматизации процессов сбора, хранения и обработки данных об инновационном развитии регионов // 2024. Экономика. Информатика. Т. 51. № 3. С. 735–748. <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2024-51-3-735-748>
- Соловьев М.В., Схведиани Е., Шариков Н.И. Эконометрические исследования регионального развития: библиометрический анализ на основе открытых источников. *Управление наукой и наукометрия* // 2025. Т. 20. № 1. С. 26–45. <https://doi.org/10.33873/2686-6706.2025.20-1.26-45>

## References

- Altuntas, S., Selim, S., Altuntas, F., 2022. A hierarchical clustering based panel data approach: A case study of regional incentives. *International Journal of Information Management Data Insights* 2 (2), 100098. <https://doi.org/10.1016/J.IJIMEI.2022.100098>
- Beketov, S.M., Fedyaevskaya, D.E., Skhvediani, A.E., Redko, S.G., Burlutskaya, Zh.V., 2024. A Digital Tool for Automating the Processes of Collecting, Storing and Processing Data on the Innovative Development of Regions. *Economics. Information Technologies* 51 (3). <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2024-51-3-735-748>



- Cerqueti, R., Maranzano, P., Mattera, R., 2024. Spatially-Clustered Spatial Autoregressive Models with Application to Agricultural Market Concentration in Europe. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics* 30, 431–465. <https://doi.org/10.1007/s13253-024-00672-4>
- Chutipongdech, T., Tangtamaruk, P., Aksornat, A., Tovar, S., Daengmeesee, S., Siwareepan, N., 2025. Sport event hosting and provincial economic growth: Evidence from the Bangsaen21 Half Marathon in Thailand. *Humanities and Social Sciences Communications* 12, 1098. <https://doi.org/10.1057/S41599-025-05494-4>
- de Campos, A.C., Lopes, L., Carreira, C., 2024. Spatial Autocorrelation of Exports and R&D Expenditures in Portugal. *Journal of the Knowledge Economy* 15, 8632–8653. <https://doi.org/10.1007/S13132-023-01425-3>
- Homsombat, W., Wrasai, P., Benjabutr, N., 2025. Measuring the impact of creative city attributes on regional economic development in Thailand. *Asia-Pacific Journal of Regional Science* 9, 357–385. <https://doi.org/10.1007/S41685-025-00374-W>
- Hutasavi, S., Chen, D., 2024. Exploring the industrial growth and poverty alleviation through space-time data mining from night-time light images: a case study in Eastern Economic Corridor (EEC), Thailand. *International Journal of Remote Sensing* 45, 7803–7825. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2112111>
- Kantachote, K., Wiroonsri, N., 2023. Octa-Cluster: Different Perspectives on Quality of Life in Thailand. *Sage Open* 13 (4). <https://doi.org/10.1177/21582440231218501>
- Khemthong, S., Luenam, P., Frank, T.D., Ingsrisawang, L., 2024. Identifying the determinants of tourism receipts of Thailand and relevant determinant-determinant interactions. *PLoS One* 19, e0308153. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0308153>
- Mathrani, A., Wang, J., Li, D., Zhang, X., 2023. Clustering Analysis on Sustainable Development Goal Indicators for Forty-Five Asian Countries. *Sci* 5 (2), 14. <https://doi.org/10.3390/SCI5020014>
- Park, S., Han, S., Ahn, D., Kim, J., Yang, J., Lee, S., Hong, S., Kim, J., Park, S., Yang, H., Cha, M., 2022. Learning Economic Indicators by Aggregating Multi-Level Geospatial Information. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 36 (11), 12053–12061. <https://doi.org/10.1609/aaai.v36i11.21464>
- Pastpipatkul, P., Ko, H., 2025. The Efficacy of Monetary and Fiscal Policies on Economic Growth: Evidence from Thailand. *Economies* 13 (1), 19. <https://doi.org/10.3390/ECONOMIES13010019>
- Pelsa, I., Balina, S., 2022. Development of economic theory – from theories of economic growth and economic development to the paradigm of sustainable development. *DIEM: Dubrovnik International Economic Meeting* 7 (1), 91–101. <https://doi.org/10.17818/DIEM/2022/1.10>
- Puttanapong, N., Luenam, A., Jongwattanakul, P., 2022. Spatial Analysis of Inequality in Thailand: Applications of Satellite Data and Spatial Statistics/Econometrics. *Sustainability* 14 (7), 3946. <https://doi.org/10.3390/SU14073946>
- Puttanapong, N., Prasertsoong, N., Peechapat, W., 2023. Predicting Provincial Gross Domestic Product Using Satellite Data and Machine Learning Methods: A Case Study of Thailand. *Asian Development Review* 40 (2), 39–85. <https://doi.org/10.1142/S0116110523400024>
- Ryu, D., Hong, J., Jo, H., 2024. Capturing locational effects: application of the K-means clustering algorithm. *The Annals of Regional Science* 73, 265–289. <https://doi.org/10.1007/S00168-024-01263-4>
- Setthasuravich, P., Kato, H., 2022. Does the digital divide matter for short-term transportation policy outcomes? A spatial econometric analysis of Thailand. *Telematics and Informatics* 72, 101858. <https://doi.org/10.1016/J.TELE.2022.101858>
- Setthasuravich, P., Sirikhan, K., Kato, H., 2024. Spatial econometric analysis of the digital divide in Thailand at the sub-district level: Patterns and determinants. *Telecommunications Policy* 48 (8), 102818. <https://doi.org/10.1016/J.TELPOL.2024.102818>
- Soloviev, M.V., Shvediani, A.E., Sharikov, N.I., 2025. Econometric Studies of Regional Development: Bibliometric Analysis Based on Open Sources. *Science Governance and Scientometrics* 20 (1), 26–45. DOI: <https://doi.org/10.33873/2686-6706.2025.20.1.26-45>
- Srisaringkam, T., Aruga, K., 2025a. Economic Growth and Energy Consumption in Thailand: Evidence from the Energy Kuznets Curve Using Provincial-Level Data. *Energies* 18 (15), 3980. <https://doi.org/10.3390/EN18153980>
- Srisaringkam, T., Aruga, K., 2025b. The Spatial Impact of PM2.5 Pollution on Economic Growth from 2012 to 2022: Evidence from Satellite and Provincial-Level Data in Thailand. *Urban Science* 9 (4), 110. <https://doi.org/10.3390/URBANSCI9040110>
- Su, J., Ma, Z., Wang, Y., Wang, X., 2023. Evaluation and Spatial Correlation Analysis of Green Economic Growth Efficiency in Yangtze River Delta Urban Agglomeration. *Sustainability* 15 (3), 2583. <https://doi.org/10.3390/SU15032583>
- Tipayalai, K., Mendez, C., 2024. Regional convergence and spatial dependence in Thailand: global and local assessments. *Journal of the Asia Pacific Economy* 29 (2), 693–720. <https://doi.org/10.1080/13547860.2022.2041286>
- Tu, X., Fu, C., Huang, A., Chen, H., Ding, X., 2022. DBSCAN Spatial Clustering Analysis of Urban “Production–Living–Ecological” Space Based on POI Data: A Case Study of Central Urban Wuhan, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19 (9), 5153. <https://doi.org/10.3390/IJERPH19095153>
- Vaňová, A., Vaňová, V., Nevima, J., Taecharungroj, V., 2024. Which Economic Sectors Influence Average Household Income? A Spatial Econometric Study of Thailand’s 76 Provinces. *Economies* 12 (2), 36–61. <https://doi.org/10.3390/ECONOMIES12020036>
- Wheway, C., Punmanee, T., 2020. Global production networks and regional development: Thai regional development beyond the Bangkok metropolis? *Regional Studies, Regional Science* 4 (1), 146–153. <https://doi.org/10.1080/21681376.2017.1333919>
- Xiao, T., Wan, Y., Jin, R., Qin, J., Wu, T., 2022. Integrating Gaussian Mixture Dual-Clustering and DBSCAN for Exploring Heterogeneous Characteristics of Urban Spatial Agglomeration Areas. *Remote Sensing* 14 (22), 5689. <https://doi.org/10.3390/RS14225689>
- Zhang, R., Sun, Y., Jiang, J., 2023. Factors Influencing the Spatial Spillovers of the Interprovincial Tourism Economy Based on Three-dimensional Distance: Evidence From China. *Sage Open* 13 (3). <https://doi.org/10.1177/21582440231194496>

Статья поступила в редакцию 18.05.2025, одобрена после рецензирования 27.05.2025, принята к публикации 07.06.2025.

The article was submitted 18.05.2025, approved after reviewing 27.05.2025, accepted for publication 07.06.2025.

#### Информация об авторах:

1. Никита Шариков, Магистр, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия. <https://orcid.org/0009-0004-0481-712X>, [sharikov.ni@edu.spbstu.ru](mailto:sharikov.ni@edu.spbstu.ru)

2. Полина Полякова, Руководитель направления, ООО «Газпромнефть Информационно-Технологический оператор», Санкт-Петербург, Россия. <https://orcid.org/0009-0000-6644-370X>, polyakova\_p00@mail.ru
3. Арсений Кудрявцев, Специалист, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия. <https://orcid.org/0009-0001-1024-9091>, arseny.kudryavtzev@yandex.ru

About the authors:

1. Nikita Sharikov, Master, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0004-0481-712X>, sharikov.ni@edu.spbstu.ru
2. Polina Poliakova, LLC Gazpromneft Information Technology Operator, St. Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0000-6644-370X>, polyakova\_p00@mail.ru
3. Arsenii Kudryavtsev, researcher, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0001-1024-9091>, arseny.kudryavtzev@yandex.ru