

## МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 332.05

DOI: 10.17223/19988648/52/13

И.В. Наумов, А.З. Барыбина

### ПРОСТРАНСТВЕННАЯ РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ<sup>1</sup>

*Представленная работа посвящена исследованию пространственной неоднородности инновационного развития региональных систем и разработке пространственной регрессионной модели, устанавливающей факторы ее формирования и устойчивые межрегиональные взаимосвязи в процессах инновационного развития. В работе представлен методический инструментарий построения пространственной регрессионной модели инновационного развития региональных систем, предполагающий проведение пространственного анализа данных с использованием сегментации регионов по уровню инновационной активности и объему финансирования, обеспеченности территорий научно-исследовательскими кадрами, разработке передовых производственных технологий. Данный инструментарий предполагает пространственный автокорреляционный анализ по методике П. Морана с использованием различных матриц пространственных весов для поиска полюсов инновационного роста, межрегиональных пространственных кластеров, зон их влияния и устойчивых межрегиональных взаимосвязей в процессах инновационного развития, а также формирование пространственной модели, описывающей влияние различных факторов внутренней и внешней среды на динамику разворачивания инновационных процессов. Разработанная модель, выявленные особенности пространственной кластеризации инновационных процессов на макроэкономическом уровне и устойчивые межрегиональные взаимосвязи в процессах инновационного развития могут быть использованы для построения сценарных прогнозов инновационного развития регионов и поиска оптимальных управленческих решений при реализации Стратегии пространственного развития РФ до 2025 г.*

*Ключевые слова: пространственное регрессионное моделирование, пространственная кластеризация, межтерриториальные взаимосвязи, инновационное развитие.*

#### Введение

Согласно Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 г. и поставленных в ней задач<sup>2</sup> для стимулирования научно-

---

<sup>1</sup> Статья выполнена в рамках государственного задания для ФГБУН Института экономики УрО РАН на 2019–2021 гг.

<sup>2</sup> Стратегия пространственного развития РФ на период до 2025 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/UVAIqUtT08o60RktoOXI22JjAe7irNxc.pdf> (дата обращения: 15.05.2020).

технологического и инновационного развития страны необходимо усиление межрегионального взаимодействия. Используемая на протяжении многих лет теория полюсов роста при пространственном размещении и развитии производительных сил, в том числе и при развертывании инновационных процессов, не позволила достичь высоких результатов в динамике социально-экономического и инновационного развития территориальных систем, а привела к усилению их дифференциации, большей концентрации ресурсов в определенных регионах. Несформированные в рамках данной теории межтерриториальные взаимосвязи на национальном, региональном и муниципальном уровнях препятствовали активной пространственной диффузии инновационных процессов. Именно поэтому в рамках данного исследования нами была поставлена цель поиска межрегиональных взаимосвязей в инновационном развитии региональных систем. Для достижения поставленной цели нами предлагается: формирование пространственной регрессионной модели для поиска основных факторов роста инновационной активности регионов; проведение пространственного автокорреляционного анализа для пространственной кластеризации территорий по уровню инновационного развития; формирование матрицы локальных индексов пространственной автокорреляции Л. Анселина для исследования устойчивых прямых и обратных взаимосвязей между регионами.

Гипотеза исследования заключается в зависимости наблюдаемой дифференциации инновационного развития регионов от неравномерности пространственного размещения кадрового научного потенциала и финансовых ресурсов, используемых в инновационном процессе. Высокая степень неоднородности и несбалансированности экономического пространства страны затрудняет обеспечение равномерного и устойчивого инновационного развития регионов. Несоответствие сложившегося в регионах научно-технического потенциала, инновационной инфраструктуры и уровня их инновационной активности, наличие диспропорций в локализации финансовых ресурсов, привлекаемых в научную сферу, препятствуют освоению новых технологий и инновационному развитию многих региональных систем. В результате инновационные процессы развертываются в отдельных регионах, обеспеченных всеми необходимыми ресурсами. Формируемые в настоящее время полюса инновационного развития не дают толчок для развития окружающих их территорий из-за отсутствия тесного межрегионального сотрудничества. Формирование и развитие межрегиональных взаимосвязей в области фундаментальных и прикладных научных исследований, внедрения передовых производственных технологий в промышленном производстве, обмена опытом управления инновационными процессами позволили бы усилить инновационную активность и в необеспеченных ресурсами территориях. Исследованию и моделированию данных пространственных взаимосвязей на региональном уровне и посвящена наша работа. Формируемая пространственная регрессионная модель совместно с пространственным автокорреляционным анализом по методике П. Морана и Л. Анселина позволит выявить региональные полюса инновационного

роста, установить межрегиональные пространственные кластеры, отличающиеся высокими показателями инновационного развития, и зоны их влияния (возможные направления пространственной диффузии инновационных процессов).

### **Теоретические аспекты исследования межрегиональных взаимодействий между инновационно активными территориями**

Исследованию особенностей пространственной организации процессов социально-экономического развития посвящено множество работ. Первые публикации, затрагивающие вопросы дифференцированного развития территориальных систем, появились еще в первой половине XX в. Они способствовали становлению и развитию теорий «полюсов роста»: центральных мест В. Кристаллера [1], пространственной организации хозяйства А. Леша [2], полюсов роста Г. Мюрдаля [3], теории «центр-периферия» Дж. Фридмана [4] и др. Представленная в начале 1950-х гг. теория «полюсов роста» до сих пор востребована при организации процессов территориального развития. Однако сегодня для более эффективной реализации данной концепции социально-экономического развития пространства необходимо формирование и развитие межтерриториальных кооперационных взаимосвязей в различных сферах экономической деятельности. «В условиях постоянного активного воздействия государством на нормы и правила ведения экономической деятельности в субъектах должно обеспечиваться согласованное развитие полюсов роста. Это приведет к обеспечению максимальных темпов роста, ликвидации дифференциации между отраслями и регионами и удовлетворению различных экономических групп» [5]. Лишь проработанные на институциональном уровне межтерриториальные взаимосвязи, по мнению автора, смогут обеспечить снижение дифференциации между регионами. Исследованием пространственной организации процессов социально-экономического и инновационного развития на региональном уровне занимались и российские ученые: А.Г. Гранберг [6], Н.В. Зубаревич [7], Е.А. Коломак [8,9], П.А. Минакир [10], А.И. Татаркин [11], В.А. Ильина и Т.В. Ускова [12], А.Р. Бахтизин, Е.М. Бухвальд и А.В. Кольчугина [13] и др. Ими поднимались проблемы неоднородного социально-экономического развития регионов, проблемы высокой концентрации производственных, финансовых, кадровых и других ресурсов в центральных регионах (полюсах роста) и проблемы недостаточно развитых межтерриториальных взаимосвязей. О необходимости укрепления межрегиональных кооперационных связей писала Н.В. Зубаревич в работе «Поляризация городов России как следствие кризиса 90-х годов» [7]; автором проводилось исследование территориальных систем, имеющих очень несхожие условия, структуру и образ жизни населения и столь же неоднородную динамику социального развития. Для сглаживания поляризации экономического развития необходимо, по мнению автора, «ускорение естественных процессов диффузии социальных инноваций от центров страны к ее периферии», а

это возможно только в условиях тесного сотрудничества, кооперации территориальных систем. О необходимости взаимосвязанного развития полюсов роста писал и П.А. Минакир в работе «Российское экономическое пространство: стратегические тупики» [10]; автором была отмечена проблема сложившейся в России сильно поляризованной структуры экономического пространства. В таких условиях реализация стратегии пространственного развития, по мнению автора, должна опираться на теорию «полюсов роста», с «необходимостью тонкой настройки взаимодействия макро- и микроэкономических пространственных эффектов». Е.А. Коломак в работе «Пространственная концентрация экономической активности в России» [9], анализируя рост неравномерности распределения ресурсов и результатов производства в территориальных системах, сделала вывод о низкой эффективности межрегиональных трансфертов и государственных инвестиций в сглаживании пространственной дифференциации, о недостаточно развитой в России межрегиональной кооперации в процессах социально-экономического развития.

В процессах инновационного развития формирование и развитие кооперационных межтерриториальных взаимосвязей является, как мы считаем, важнейшей задачей, поскольку концентрация инновационной активности в определенных территориальных системах (полюсах роста), обладающих мощным научно-техническим потенциалом, инновационной инфраструктурой и являющихся своеобразным генератором нововведений, не позволит наладить эффективный процесс диффузии инноваций.

### **Методический инструментарий пространственного регрессионного моделирования инновационного развития регионов**

Формирование пространственной регрессионной модели инновационного развития региональных систем, описывающей влияние различных факторов внутренней и внешней среды на динамику разворачивания инновационных процессов в регионах с учетом пространственных эффектов, прямых и обратных межрегиональных взаимосвязей является сложной задачей, требующей многостороннего анализа пространственных аспектов инновационного развития территорий. При построении данной модели предлагается использовать следующий алгоритм:

1. Пространственная сегментации регионов (выделение трех категорий регионов: с высоким, средним и низким уровнем инновационного развития) и анализ данных для поиска потенциальных полюсов инновационного роста. Для проведения данного исследования предполагается использование статистических данных по объему произведенной инновационной продукции и оказанных услуг 85 субъектов РФ. В качестве высокого уровня инновационного развития предлагается использовать значение, превышающее верхнюю границу отклонения данных выборки от среднего значения, рассчитанное по формуле:

$$\bar{X}_1 + \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X}_1)^2}{n}}, \quad (1)$$

где  $X_i$  – объем произведенной инновационной продукции и оказанных услуг в субъекте РФ, млн руб.;  $\bar{X}_i$  – средний объем произведенной инновационной продукции и оказанных услуг, рассчитанный по 85 субъектам РФ, млн руб.

В качестве среднего уровня инновационного развития предлагаем использовать значение объема произведенной инновационной продукции и оказанных услуг в регионе, превышающее средний уровень по РФ. Остальные регионы, объем производства инновационной продукции которых ниже среднего уровня, мы предлагаем относить к территориям с низким уровнем инновационного развития. Пространственный анализ, выполняемый на данном этапе, предполагает сегментацию регионов и по другим признакам (объему финансирования инновационной деятельности предприятий, обеспеченности территорий научно-исследовательскими кадрами и т.д.), а также сопоставление выделенных категорий региональных систем с уровнем их инновационного развития. Это позволит установить факторы инновационного роста территорий, а также выявить пространственные диспропорции в данной сфере.

2. Пространственный автокорреляционный анализ по методике П. Морана [14] с использованием различных матриц пространственных весов. Данный анализ необходим для оценки возможности пространственной кластеризации территорий, анализа влияния пространственных эффектов на процессы инновационного развития. В рамках данного анализа регионы разделяются на четыре категории в зависимости от уровня инновационного развития и особенностей их пространственного размещения (табл. 1). Диаграмма рассеивания П. Морана, используемая для выявления пространственных кластеров с высоким (НН) и низким (LL) уровнем инновационного развития, а также полюсов инновационного роста (НЛ) и зон их влияния (ЛН), была модифицирована, в каждом квадранте были выделены территориальные системы с высоким и низким уровнем пространственного взаимовлияния (локальным индексом пространственной автокорреляции).

Такая модификация позволит из множества потенциальных полюсов инновационного роста отобрать региональные системы, действительно являющиеся таковыми. Необходимость такой модификации обусловлена тем, что в квадрант НЛ по методике П. Морана попадают территории-экстремумы (полюса роста), обладающие высокими значениями исследуемого показателя относительно окружающих территорий. Однако не все из них обладают высоким уровнем пространственного взаимовлияния и тесными межрегиональными взаимосвязями. Градация регионов по уровню пространственного взаимовлияния (локальным индексам автокорреляции) в диаграмме П. Морана позволит выявить пространственные кластеры инновационного развития и установить регионы, испытывающие сильное и слабое влияние полюсов роста и пространственных кластеров, т.е. пространственные направления диффузии инноваций. На этапе пространственного автокорреляционного анализа предполагается и поиск межрегиональных взаимосвязей в инновационном развитии с использованием мат-

рицы локальных индексов пространственной автокорреляции Л. Анселина (LISA) [15. С. 304].

Таблица 1. Модифицированная авторами диаграмма рассеивания П. Морана

ЛН		НН Пространственные кластеры с высокими значениями анализируемого показателя	
Высокий уровень пространственного взаимодействия	Низкий уровень пространственного взаимодействия	Высокий уровень пространственного взаимодействия	Низкий уровень пространственного взаимодействия
Являются зоной влияния пространственных кластеров (НН) и полюсов роста (НЛ)	Испытывают слабое влияние пространственных кластеров (НН) и полюсов роста (НЛ)	Данные территории не являются полюсами роста. Испытывают влияние полюсов роста (НЛ) и располагаются вокруг них	Территории испытывают слабое влияние полюсов роста (НЛ). Являются периферией пространственного кластера
ЛЛ Кластеризация территорий с низкими значениями показателя		НЛ	
		Высокий уровень пространственного взаимодействия	Низкий уровень пространственного взаимодействия
Территории, не связанные с другими территориальными системами. Не испытывают влияние пространственных кластеров (НН) и полюсов роста (НЛ)		Полюса роста (ядра пространственного кластера). Зоны с высокой концентрацией ресурсов	Выбросы (экстремумы). Не являются полюсами роста

Высокие значения индексов, представленных в данной матрице, превышающие средние значения, рассчитанные по всем регионам, позволят установить тесные взаимосвязи между территориальными системами. Для подтверждения полученных результатов считаем необходимым проводить пространственный автокорреляционный анализ инновационного развития с использованием различных матриц пространственных весов между территориальными системами (смежных границ, линейных расстояний, расстояний по автомобильным дорогам и др.) и проверкой статистической значимости глобального и локальных индексов Морана. Такой анализ позволит установить действительно не случайные, а устойчивые межрегиональные взаимосвязи в процессах инновационного развития, определить полюса инновационного роста, пространственные кластеры и зоны их влияния. Более подробно методические особенности данного анализа представлены в работе И.В. Наумова [16].

3. Пространственное моделирование инновационного развития регионов с учетом влияния факторов внутренней и внешней среды и оценка статистической значимости ее параметров. Формирование пространственной модели предлагается по данным Федеральной службы государственной статистики по всем без исключения регионам в программном продукте ArcGIS, позволяющем оценить пространственное распределение остатков и выбросов в модели, наличие пространственной автокорреляции между остатками. Такая модель в отличие от регрессионной по методу наименьших квадратов позволит оценить влияние факторов на инновационное развитие регионов с учетом пространственных эффектов.

Представленный алгоритм и методические особенности пространственного автокорреляционного анализа и регрессионного моделирования позволят установить сформированные в России центры инновационного развития, межрегиональные пространственные кластеры и зоны их влияния, а также устойчивые межрегиональные взаимосвязи в данной области. Выявленные в результате его использования зоны сильного влияния полюсов роста и пространственных кластеров могут рассматриваться как перспективные направления формирования и укрепления межрегиональных кооперационных взаимосвязей в области инновационного развития.

### **Пространственный анализ инновационного развития регионов**

Исследование показателей инновационного развития регионов выявило, что в настоящее время наблюдается пространственная неоднородность в развертывании инновационных процессов. Лишь некоторые территориальные системы отличаются высоким уровнем инновационной активности. К таким регионам на 2018 г. можно отнести Республику Татарстан, объем производства инновационной продукции в которой составляет 586,6 млрд руб., г. Санкт-Петербург (377,1 млрд руб.), г. Москву (283,5 млрд руб.), Пермский край (313,1 млрд руб.), Московскую (357,7 млрд руб.), Тюменскую (246,4 млрд руб.), Нижегородскую (246 млрд руб.) и Самарскую (205,6 млрд руб.) области (рис. 1).

Объем производства инновационной продукции в данных регионах существенно превышает верхнюю границу отклонения разброса данных от среднего значения (155,3 млрд руб.). На данную группу регионов приходится 57,9% всей производимой в России инновационной продукции и оказываемых услуг. К регионам со средним уровнем инновационной активности можно отнести Свердловскую область, объем производства инновационной продукции которой составляет 153,8 млрд руб., Белгородскую (139,3 млрд руб.), Челябинскую (102,7 млрд руб.), Тульскую (84,2 млрд руб.), Липецкую (65,6 млрд руб.) и Ростовскую (64,5 млрд руб.) области, Республику Башкортостан (143,7 млрд руб.) и Удмуртию (80,2 млрд руб.), Краснодарский (115,4 млрд руб.), Хабаровский (77,7 млрд руб.) и Красноярский (57,4 млрд руб.) края. На данную группу регионов, по данным 2018 г., приходилось около 24% всей производимой в России инновационной продукции.

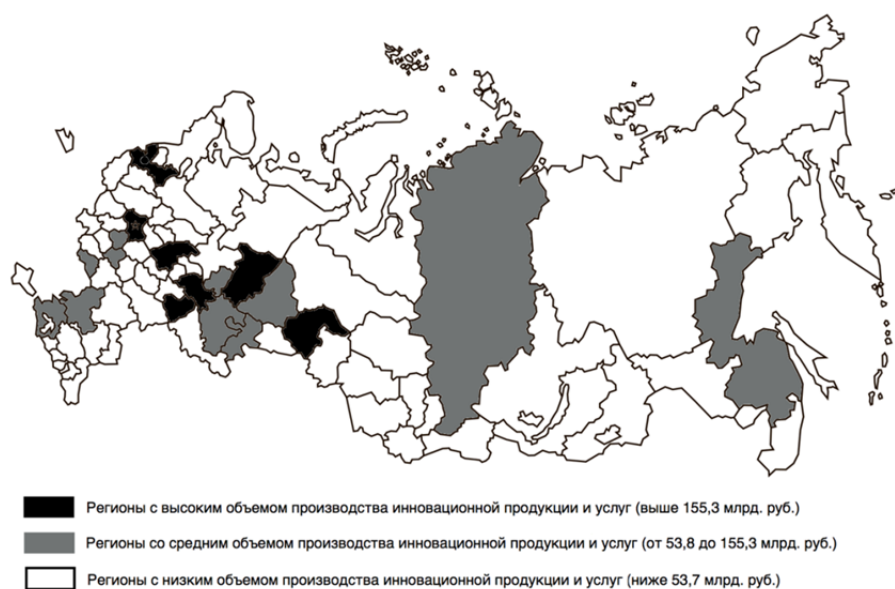


Рис. 1. Сегментация регионов по объему производства инновационной продукции и оказанных услуг в 2018 г., млрд руб.

Остальные 66 субъектов РФ не отличаются высокими показателями инновационного развития, объем производимой в них инновационной продукции существенно ниже среднего по стране (ниже 53,7 млрд руб.). В регионах данной группы производится всего 18,1% всей инновационной продукции России. Достижению высокого уровня инновационной активности регионов первой группы способствовали высокие объемы затрат на технологические инновации (табл. 2). Высокий уровень финансовых затрат на технологические инновации наблюдался только в регионах с высоким объемом производства инновационных товаров и услуг (в Республике Татарстан, Санкт-Петербурге, Москве, Московской и Нижегородской областях). Регионы со средней инновационной активностью, такие как Свердловская, Челябинская, Белгородская, Тульская, Ростовская области и Республика Башкортостан, отличались недостаточно высоким уровнем финансовых затрат на инновации. Недостаток финансирования инновационной деятельности предприятий в подавляющем большинстве регионов обусловил их низкий уровень инновационной активности. Сопоставление регионов по уровню инновационного развития и обеспеченности финансовыми ресурсами позволяет нам сделать вывод о том, что затраты на технологические инновации являются одним из главных факторов роста инновационной активности территориальных систем.

Вместе с тем необходимо отметить, что для достижения высоких показателей инновационной активности в регионах необходимо эффективное использование выделяемых финансовых ресурсов. Ряд регионов, обладающих



высоким финансовым потенциалом, как, например, Красноярский край, ХМАО и Сахалинская область, не отличаются высоким уровнем инновационного развития (табл. 1).

**Таблица 2. Группировка регионов по объему произведенных инновационных товаров и услуг и уровню затрат на технологические инновации за 2018 г.**

	Высокий уровень затрат на технологические инновации	Средний уровень затрат на технологические инновации	Низкий уровень затрат на технологические инновации
Высокий объем произведенных инновационных товаров и услуг	Республика Татарстан	Пермский край	Тюменская область
	г. Санкт-Петербург	Самарская область	
	Московская область		
	г. Москва		
	Нижегородская область		
Средний объем произведенных инновационных товаров и услуг	Красноярский край	Свердловская область	Краснодарский край
		Республика Башкортостан	Удмуртская Республика
		Белгородская область	Хабаровский край
		Челябинская область	Липецкая область
		Тульская область	
		Ростовская область	
Низкий объем произведенных инновационных товаров и услуг	ХМАО	Омская область	Остальные регионы
	Сахалинская область	Иркутская область	

*Источник:* показатели «Объем инновационных товаров, работ, услуг всего, млн руб.» и «Затраты на технологические инновации, всего, млн. руб.» // Федеральная служба государственной статистики, Управление статистики образования, науки и инноваций. URL: <https://www.gks.ru/storage/mediabank/innov-n3.xls> и <https://www.gks.ru/storage/mediabank/innov-n6.xls> (дата обращения: 15.05.2020).

Данные регионы не обладают развитым научно-техническим потенциалом и инновационной инфраструктурой. Для развертывания инновационных процессов в этих регионах требуется формирование тесных межрегиональных кооперационных взаимосвязей с инновационными центрами. Многочисленные исследования показывают, что ведущим фактором инновационного развития территорий является и развитый кадровый научный потенциал. Регионы, в которых, по данным 2018 г., сконцентрировано 59,7% всей численности персонала, занятого научными исследованиями и разработками в России, такие как г. Москва (30%) и г. Санкт-Петербург (11%), Московская (12,7%) и Нижегородская (6%) области, отличаются высоким уровнем инновационной активности (табл. 3).

На группу регионов с высокой инновационной активностью приходится 65,4% всего кадрового потенциала России, тогда как на группу со средней инновационной активностью – всего 11,7%. Только три региона из группы со средней инновационной активностью обладают кадровым научно-

исследовательским потенциалом: Свердловская область (здесь сконцентрировано 3% всех исследователей РФ), Челябинская (2,2%) и Ростовская (1,7%) области.

**Таблица 3. Группировка регионов по объему произведенных инновационных товаров и услуг и численности персонала, занятого научными исследованиями, за 2018 г.**

	Высокий объем численности персонала, занятого научными исследованиями	Средний объем численности персонала, занятого научными исследованиями	Низкий объем численности персонала, занятого научными исследованиями
Высокий объем произведенных инновационных товаров и услуг	г. Москва	Республика Татарстан	Тюменская область
	Московская область	Пермский край	
	г. Санкт-Петербург	Самарская область	
	Нижегородская область		
Средний объем произведенных инновационных товаров и услуг		Свердловская область	Республика Башкортостан
		Челябинская область	Белгородская область
		Ростовская область	Краснодарский край
			Тульская область
			Удмуртская Республика
			Хабаровский край
			Липецкая область
Красноярский край			
Низкий объем произведенных инновационных товаров и услуг		Новосибирская область	Остальные регионы
		Воронежская область	
		Томская область	
		Калужская область	

*Источник:* показатели «Объем инновационных товаров, работ, услуг всего, млн. руб.» и «Численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками, чел.» // Федеральная служба государственной статистики, Управление статистики образования, науки и инноваций. URL: <https://www.gks.ru/storage/mediabank/innov-n3.xls> и [https://www.gks.ru/storage/mediabank/t\\_2.xls](https://www.gks.ru/storage/mediabank/t_2.xls) (дата обращения: 15.05.2020).

Ряд регионов, обладающих мощным научно-исследовательским потенциалом, такие как Новосибирская область, в которой сконцентрировано 3,2% всех научных исследователей, Томская (1,5%), Воронежская (1,6%) и Калужская (1,3%) области, из-за недостаточного финансирования технологических инноваций отличаются низким уровнем инновационной активности (см. табл. 3). Данная тенденция была подтверждена и нашим более ранним исследованием [17]. Несмотря на недостаточно высокий уровень концентрации научно-исследовательских кадров в регионах со средней инновационной активностью наблюдаются значительные объемы разработки передовых производственных технологий. Так, высокие объемы разрабатываемых передовых технологий, помимо регионов с высокой инновационной активностью (г. Москва и г. Санкт-Петербург, Московская об-

ласть), наблюдаются в Свердловской, Белгородской и Челябинской областях, которые относятся к регионам со средней инновационной активностью. Сопоставление уровня инновационной активности регионов и разработки передовых производственных технологий позволило нам установить, что разрабатываемые в Ульяновской, Калужской, Томской, Новосибирской, Новгородской, Ярославской и Воронежской областях, а также Республике Калмыкия передовые технологии не активно внедряются в производственном процессе. И главным фактором этой негативной тенденции является недостаточный объем осуществляемых в данных регионах финансовых затрат на технологические инновации (см. табл. 2). Решение этой проблемы возможно путем развития межрегиональных кооперационных взаимосвязей с территориями, более обеспеченными финансовыми ресурсами.

### **Пространственный автокорреляционный анализ инновационного развития регионов с оценкой межрегиональных взаимосвязей**

Пространственный автокорреляционный анализ инновационной активности регионов, проведенный с использованием шести матриц пространственных весов (матриц обратных расстояний и стандартизированных матриц по смежным границам, линейным расстояниям и расстояниям по автомобильным дорогам), с оценкой статистической значимости индексов автокорреляции, позволил установить два пространственных кластера, один полюс инновационного роста и их зоны влияния (рис. 2). В результате данного анализа было установлено, что в качестве полюса инновационного роста в России может рассматриваться г. Санкт-Петербург, располагающийся по методике П. Морана в квадранте HL, в котором территориальные системы обладают высоким уровнем инновационной активности относительно окружающих их соседей.

В отличие от Красноярского, Краснодарского, Хабаровского краев и Ростовской области, которые также попали в данный квадрант, г. Санкт-Петербург обладает сильным уровнем пространственного взаимовлияния, его локальный индекс пространственной автокорреляции существенно превышает средний уровень по России. Данный регион, как показал расчет и анализ матрицы Л. Анселина, обладает прямыми тесными взаимосвязями в разворачивании инновационных процессов с г. Москвой, Московской областью и Республикой Татарстан, между данными регионами наблюдаются похожие тенденции в изменении динамики производства инновационной продукции. Обратные устойчивые взаимосвязи (противоположные тенденции в динамике производства инновационной продукции) были выявлены между г. Санкт-Петербургом и Ленинградской, Новгородской областями. Красноярский, Краснодарский, Хабаровский края и Ростовская область, хоть и располагаются в том же квадранте территорий, что и г. Санкт-Петербург, не могут быть отнесены к полюсам инновационного роста из-за низкого уровня пространственного взаимовлияния (локальный индекс ав-

токорреляции регионов ниже среднего уровня), отсутствия тесных взаимосвязей с другими регионами и недостаточно высокого уровня инновационной активности предприятий в данном регионе.

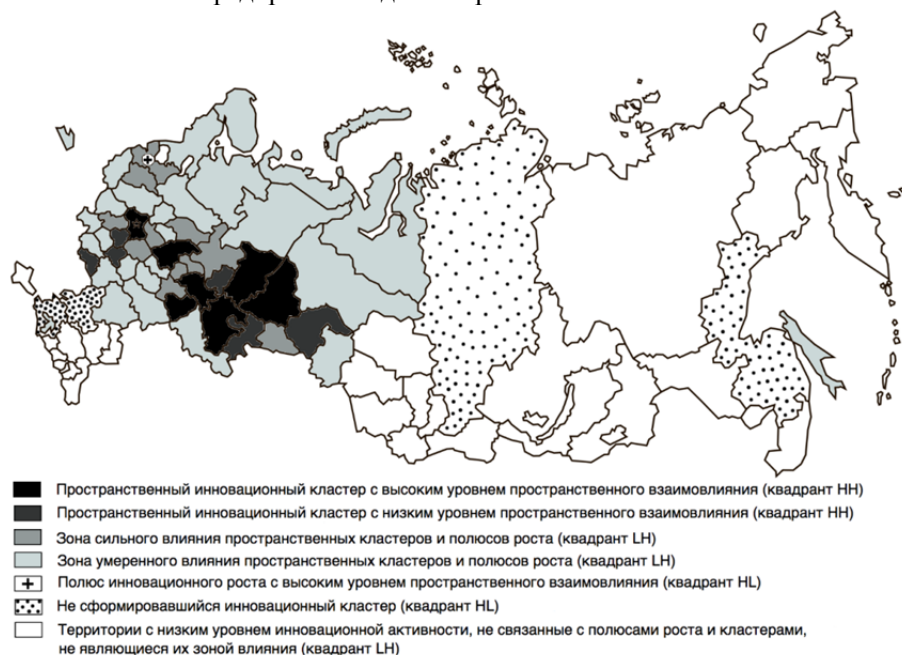


Рис. 2. Диаграмма рассеивания П. Морана по уровню производства инновационной продукции и услуг по 85 субъектам РФ за 2018 г.

*Источник:* составлено авторами

В результате проведения пространственного автокорреляционного анализа были выявлены два пространственных кластера, объединяющих инновационно активные регионы. Центральный инновационный кластер объединяет г. Москву, Московскую, Тульскую, Липецкую, Белгородскую, Нижегородскую, Самарскую области и Республику Татарстан, отмеченные черным цветом на рис. 2. Зоной влияния данного пространственного кластера являются, прежде всего, Калужская, Рязанская, Владимирская, Костромская, Кировская, Ульяновская области, а также Республика Марий Эл и Чувашия, отмеченные темно-серым цветом. Формирование матрицы локальных индексов пространственной автокорреляции Л. Анселина позволило установить устойчивые прямые взаимосвязи между Московской областью и г. Москвой, Нижегородской областью, Республикой Татарстан; между Республикой Татарстан и г. Москвой, Московской, Нижегородской, Самарской областями, Пермским краем и Республикой Башкортостан. Инновационное развитие Центрального пространственного кластера способствует активному развертыванию инновационных процессов в связанных с ним регионах. Для повышения инновационной активности данных регио-

нов необходимо укрепление сформировавшихся межрегиональных кооперационных взаимосвязей. Установленные в ходе формирования матрицы Л. Анселина межрегиональные обратные взаимосвязи между Московской и Владимирской, Рязанской областями, а также между Республиками Татарстан и Марий Эл и Чувашией свидетельствуют о наличии противоположных закономерностей в инновационном развитии территорий. Рост инновационной активности Московской области и Республики Татарстан сопряжен с ее снижением в связанных с ними регионах. Второй установленный в результате исследования пространственный кластер, «Уральский», объединяет такие регионы, как Свердловская, Челябинская, Тюменская области, Пермский край, Республика Башкортостан и Удмуртия. Их зоной влияния являются Курганская, Омская, Оренбургская области, ХМАО, ЯНАО и Республика Коми. Как показал проведенный пространственный автокорреляционный анализ, данный пространственный кластер оказывает умеренное влияние на отмеченные регионы. Более того, сформированная матрица Л. Анселина не позволила выявить устойчивые прямые и обратные межрегиональные взаимосвязи данного кластера с другими территориями. Возможно, это связано с тем, что данный кластер объединяет регионы, отличающиеся умеренными показателями инновационной активности, и эти взаимосвязи только формируются.

### **Пространственная регрессионная модель**

Автокорреляционный анализ позволил не только провести пространственную кластеризацию территорий по производству инновационной продукции и услуг, но и подтвердить установленную в ходе пространственного анализа неоднородность инновационного развития регионов. Для исследования факторов, формирующих данную пространственную неоднородность, нами было проведено пространственное регрессионное моделирование с использованием программного продукта ArcGIS и глобального метода наименьших квадратов. При построении пространственной модели в качестве зависимой переменной рассматривался объем производства инновационной продукции, товаров и услуг по 85 субъектам РФ, а в качестве факторов – количество организаций, выполнявших научные исследования и разработки; объем затрат на технологические инновации; численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками, объем разработанных передовых производственных технологий; объем используемых передовых технологий; объем выданных патентов на изобретения и полезные модели за 2018 г. Предварительный корреляционный анализ данных позволил установить оптимальный тип функциональной зависимости между исследуемыми переменными (степенной), а также наличие мультиколлинеарности – линейной зависимости некоторых исследуемых факторов. В результате ее исключения с использованием коэффициента бета ( $\beta$ ) и меры мультиколлинеарности была построена нелинейная

пространственная регрессионная модель, подобная производственной функции Кобба–Дугласа:

$$\text{Lg}(И) = e^{1,39} * 3^{0,79} * Ч^{0,17} \quad (2)$$

где И – объем производства инновационной продукции, товаров и услуг, млн руб.;  $e^a$  – константа регрессионной модели, отражающая совокупность всех неучтенных факторов в модели; 3 – объем затрат на технологические инновации, млн руб.; Ч – численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками, чел.

Для построения нелинейной регрессионной модели исходные статистические данные были преобразованы путем натурального логарифмирования. Исследование показало, что наибольшее влияние на объем производства инновационной продукции, товаров и услуг в регионах оказывают два фактора: затраты на технологические инновации и численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками.

Таблица 4. Результаты пространственного регрессионного моделирования

Пере- менная	Коэффици- ент регрес- сии	Стандарт- ная ошиб- ка	t- стати- стика	Probabi- lity	Robust_ Probabi- lity	Robust_ SE	Robust_t	VIF
<b>а</b>	1,399955	0,550629	2,542464	0,012933*	0,019134*	0,585449	2,391251	–
<b>З</b>	0,794251	0,083933	9,462866	0,000000*	0,000000*	0,125017	6,353126	2,2145
<b>Ч</b>	0,173953	0,085347	2,550895	0,049616*	0,116364*	0,139597	1,246105	2,2145
Число наблюдений		85	Информационный критерий Акаике (AICc)				277,5161	
Множественный R-квадрат		0,761613	Выровненный R-квадрат				0,755654	
Соединенная F-статистика		127,79464	Prob (>F), (2,80) степеней свободы				0,000000*	
Статистика Вальда		230,08093	Prob (>хи-квадрат), (2) степеней свободы				0,000000*	
Статистика Кенкера (BP)		4,191584	Prob(>хи-квадрат), (2) степеней свободы				0,012297*	
Статистика Жака–Бера		29,629737	Prob(>хи-квадрат), (2) степеней свободы				0,000000*	
<i>Результаты пространственного автокорреляционного анализа остатков по методике П. Морана</i>								
Глобальный индекс Морана		0,001411	Р-значение индекса				0,837837	
Дисперсия		0,004325	z-оценка				0,204661	

*Примечание.* Звездочка показывает статистически значимое Р-значение ( $P < 0,01$ ).  
*Источник:* составлено авторами.

Найденные параметры регрессионной модели (табл. 4) статистически значимы, поскольку соответствующие им Р-значения  $< 0,01$ , коэффициенты Robust Probability, характеризующие их устойчивую вероятность, находятся в пределах допустимых значений и статистика Коенкера показывает, что модель стационарна и независимые переменные в ней имеют постоян-

ную связь с зависимой переменной как в географическом пространстве, так и в пространстве статистических данных. Статистическую значимость параметров регрессии подтверждают и значения Variance Inflation Factor (факторов, увеличивающих дисперсию). Значения данных факторов не превышают пороговый уровень в 7,5. Коэффициент детерминации близок к единице, что свидетельствует о высокой достоверности полученной модели. Оценка статистики Жака–Бера (Jarque–Bera), которая используется для оценки смещенности модели, показала, что остатки в модели являются нормально распределенными. Для проверки наличия автокорреляции между ними был проведен пространственный автокорреляционный анализ. Рассчитанный глобальный индекс Морана, его z-оценка и P-значение, превышающее 0,05, позволили сделать вывод об отсутствии пространственной зависимости между остатками.

Сформированная регрессионная модель показала, что пространственная неравномерность инновационного развития территориальных систем обусловлена подобной пространственной неоднородностью исследуемых факторов. И пространственный анализ, и пространственное регрессионное моделирование процессов производства инновационной продукции показали, что главными факторами разворачивания инновационных процессов в регионах являются финансовые ресурсы и научно-исследовательский кадровый потенциал, генерирующий новые знания и технологии. Их концентрация в центральных регионах, регионах Урала и Поволжья способствует формированию пространственной неоднородности в процессах инновационного развития.

### Заключение

В работе представлен методический инструментарий построения пространственной регрессионной модели инновационного развития региональных систем, предполагающий проведение пространственного анализа данных с использованием сегментации регионов по уровню инновационной активности, осуществление пространственного автокорреляционного анализа по методике П. Морана с использованием различных матриц пространственных весов для поиска полюсов инновационного роста, межрегиональных пространственных кластеров, зон их влияния и устойчивых межрегиональных взаимосвязей в процессах инновационного развития. На заключительном этапе данный инструментарий предполагает формирование пространственной модели, описывающей влияние различных факторов внутренней и внешней среды на динамику разворачивания инновационных процессов в регионах с учетом пространственных эффектов. Представленный в работе инструментарий позволил выявить пространственную неоднородность в процессах инновационного развития, провести пространственную кластеризацию регионов – установить полюс инновационного роста (г. Санкт-Петербург), два пространственных инновационных кластера (Центральный и Уральский) и зоны их влияния (устойчивые прямые и

обратные взаимосвязи), а также спроектировать регрессионную модель зависимости инновационного развития регионов от уровня финансовых затрат предприятий на технологические инновации и численности персонала, занимающегося исследованиями и разработками. Разработанная модель и полученные в ходе пространственного анализа результаты показали, что высокий уровень их концентрации в центральных регионах, регионах Урала и Поволжья способствует формированию пространственной неоднородности в процессах инновационного развития.

### *Литература*

1. *Christaller W.* Die zentralen Orte in Süddeutschland. Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmäßigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischer Funktion. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1980 (Repr. d. Ausg. Jena 1933).
2. *Lösch A.* Die räumliche Ordnung der Wirtschaft. Eine Untersuchung über Standort, Wirtschaftsgebiete und internationalen Handel. Jena, 1940.
3. *Myrdal G.* Economic Theory and Underdeveloped Regions. London : Duckworth, 1957.
4. *Friedmann J.* Regional Development Policy: A Case Study of Venezuela. MIT: Press, 1966.
5. *Радушинский Д.А.* О «полосах роста» и кластерах в инновационной инфраструктуре региона // Современные научные исследования и инновации. 2013. № 10. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/10/27973> (дата обращения: 02.06.2020).
6. *Гранберг А.Г.* Моделирование пространственного развития национальной и мировой экономики: эволюция подходов // Регион: Экономика и Социология. 2007. № 1. С. 87–107.
7. *Зубаревич Н.В.* Поляризация городов России как следствие кризиса 90-х годов // Вестник Евразии. 2001. № 1. С. 5–29.
8. *Коломак Е.А.* Неравномерное пространственное развитие в России: объяснения новой экономической географии // Вопросы экономики. 2013. № 2. С. 132–150. DOI: 10.32609/0042-8736-2013-2-132-150
9. *Коломак Е.А.* Пространственная концентрация экономической активности в России // Пространственная экономика. 2014. № 4. С. 82–99. DOI: 10.14530/se.2014.4.082-099
10. *Минакир П.А.* Российское экономическое пространство: стратегические тупики // Экономика региона. 2019. № 4 (15). С. 967–980.
11. *Татаркин А.И.* Региональная направленность экономической политики Российской Федерации как института пространственного обустройства территорий // Экономика региона. 2016. № 1 (12). С. 9–27. DOI: 10.17059/2016-1-1
12. *Ильин В.А., Ускова Т.В.* Методы преодоления пространственной социально-экономической дифференциации // Федерализм. 2012. № 3 (67). С. 7–18.
13. *Бахтизин А.Р., Бухвальд Е.М., Кольчугина А.В.* Выравнивание регионов в России: иллюзии программы и реалии экономики // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2016. № 1. С. 76–91.
14. *Moran P.* Notes on Continuous Stochastic Phenomena // Biometrika. 1950. Vol. 37. P. 17–23. DOI: 10.2307/2332142
15. *Anselin L.* Spatial Econometrics: Methods and Models. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1988.
16. *Наумов И.В.* Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах формирования инвестиционного потенциала экономического роста территорий методами



пространственного моделирования // Экономика региона. 2019. № 3 (15). С. 720–735. DOI: 10.17059/2019-3-8

17. Naumov I.V., Barybina A.Z. The role of interregional relationships in research talent development // R-Economy. 2020. № 6.

### **The Spatial Autoregression Model of Innovative Development of Russian Regions**

*Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika – Tomsk State University Journal of Economics*. 2020. 52. pp. 215–232. DOI: 10.17223/19988648/52/13

**Ilya V. Naumov**, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Yekaterinburg, Russian Federation); Ural State Mining University (Yekaterinburg, Russian Federation). E-mail: naumov.iv@uiec.ru

**Anna Z. Barybina**, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Yekaterinburg, Russian Federation). E-mail: barybina.az@uiec.ru

**Keywords:** spatial autoregressive modeling, spatial clustering, inter-territorial relationships, innovative development.

The article was prepared under the state assignment for the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for 2019–2021.

This work examines the spatial heterogeneity of the innovative development of regional systems and forms a spatial autoregressive model that establishes the factors of its formation and stable inter-regional relationships in innovative development. The article presents a methodological toolkit for constructing a spatial autoregressive model for the innovative development of regional systems, which involves spatial analysis of data using the segmentation of regions by the level of innovative activity and the amount of funding, provision of territories with research personnel, and development of advanced production technologies. This toolkit assumes spatial autocorrelation analysis by the Moran method using various matrices of spatial weights to find the poles of innovative growth, inter-regional spatial clusters, zones of their influence and stable inter-regional relationships in innovative development. It also assumes the formation of a spatial model describing the influence of various factors of internal and external environments on the dynamics of innovative processes. The model, features of spatial clustering of innovative processes at the macroeconomic level, and stable inter-regional relationships in innovative development, which were established as a result of the study, can be used to construct scenario forecasts for the innovative development of regions and search for optimal management decisions in the implementation of the Spatial Development Strategy of the Russian Federation until 2025.

### **References**

1. Christaller, W. (1980) *Die zentralen Orte in Süddeutschland. Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmäßigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischer Funktion*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, (Repr. d. Ausg. Jena 1933).
2. Lösch, A. (1940) *Die räumliche Ordnung der Wirtschaft. Eine Untersuchung über Standort, Wirtschaftsgebiete und internationalen Handel*. Jena.
3. Myrdal, G. (1957) *Economic Theory and Underdeveloped Regions*. London: Duckworth.
4. Friedmann, J. (1966) *Regional Development Policy: A Case Study of Venezuela*. MIT Press.
5. Radushinskiy, D.A. (2013) On the “Growth Poles” and Clusters at Innovation Infrastructure of a Region. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii*. 10. [Online] Available from: <http://web.snauka.ru/issues/2013/10/27973> (Accessed: 02.06.2020). (In Russian).

6. Granberg, A.G. (2007) Modelling Spatial Development of National and World Economies: Evolution in Approaches. *Region: Ekonomika i Sotsiologiya*. 1. pp. 87–107. (In Russian).
7. Zubarevich, N.V. (2001) Polyarizatsiya gorodov Rossii kak sledstvie krizisa 90-kh godov [Polarization of Russian cities as a consequence of the crisis of the '90s]. *Vestnik Evrazii – Acta Eurasica*. 1. pp. 5–29.
8. Kolomak, E.A. (2013) Uneven Spatial Development in Russia: Explanations of New Economic Geography. *Voprosy ekonomiki*. 2. pp. 132–150. (In Russian). DOI: 10.32609/0042-8736-2013-2-132-150
9. Kolomak, E.A. (2014) Spatial Concentration of Economic Activity in Russia. *Prostranstvennaya ekonomika – Spatial Economics*. 4. pp. 82–99. DOI: 10.14530/se.2014.4.082-099
10. Minakir, P.A. (2019) Russian Economic Space: Strategic Impasses. *Ekonomika regiona – Economy of Region*. 4 (15). pp. 967–980. (In Russian). DOI: 10.17059/2019-4-1
11. Tatarkin, A.I. (2016) Regional targeting of the economic policy of the Russian Federation as an institution of regional spatial development. *Ekonomika regiona – Economy of Region*. 1 (12). pp. 9–27. (In Russian). DOI: 10.17059/2016-1-1
12. Il'in, V.A. & Uskova, T.V. (2012) Metody preodoleniya prostranstvennoy sotsial'no-ekonomicheskoy differentsiatsii [Methods of overcoming spatial socioeconomic differentiation]. *Federalizm – Federalism*. 3 (67). pp. 7–18.
13. Bakhtizin, A.R., Bukhval'd, E.M. & Kol'chugina, A.V. (2016) Alignment of Regions in Russia: Illusions of the Program and Reality of the Economy. *Vestnik Instituta ekonomiki Rossiyskoy akademii nauk – Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 1. pp. 76–91. (In Russian).
14. Moran, P. (1950) Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*. 37. pp. 17–23. DOI: 10.2307/2332142.
15. Anselin, L. (1988) *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
16. Naumov, I.V. (2019) Investigation of the Interregional Relationships in the Processes of Shaping the Territories' Investment Potential Using the Methods of Spatial Modelling. *Ekonomika regiona – Economy of Region*. 3 (15). pp. 720–735. (In Russian). DOI: 10.17059/2019-3-8.
17. Naumov, I.V. & Barybina, A.Z. (2020) The role of interregional relationships in research talent development. *R-Economy*. 6.