

Пространственное моделирование влияния научно-исследовательского потенциала на динамику научно-технологического развития регионов России

И. В. Наумов  , С. С. Красных 

*Институт экономики Уральского отделения РАН,
г. Екатеринбург, Россия*

 naumov.iv@uiiec.ru

Аннотация. Исследование научно-технологического развития российских регионов имеет важное значение по нескольким причинам. Во-первых, создание передовых производственных технологий имеет решающее значение для повышения конкурентоспособности российской промышленности и обеспечения технологического суверенитета страны. Во-вторых, анализ влияния расходов на науку, численности исследователей и количества организаций на развитие передовых технологий поможет выявить факторы, способствующие или препятствующие научно-техническому прогрессу в различных регионах. Это может стать основой для разработки предложений по актуализации Стратегии научно-технологического развития РФ, а также стратегий развития федеральных округов и субъектов РФ. Целью исследования является оценка влияния динамики научно-исследовательского потенциала регионов на динамику разрабатываемых в них передовых производственных технологий с помощью методов пространственного моделирования. Была подтверждена гипотеза о том, что в условиях высокой пространственной неоднородности научно-технологического развития при оценке влияния различных факторов на динамику разрабатываемых передовых производственных технологий недопустимо формирование обычных регрессионных моделей, не учитывающих пространственные эффекты, а целесообразно построение пространственных моделей SAR, SEM, SAC, SDM и др. Новизной методического подхода является использование методов пространственного моделирования с применением нескольких матриц пространственных весов. В ходе исследования было подтверждено, что на динамику разрабатываемых передовых производственных технологий положительное влияние оказывают располагающиеся в соседних регионах инженерно-технические кадры, занимающиеся научными исследованиями и разработками, а также выделяемые научным организациям окружающих регионов финансовые ресурсы на проведение фундаментальных исследований. Негативное влияние на динамику разрабатываемых передовых технологий, согласно модели Дарбина, оказывают численность функционирующих в окружающих регионах научно-исследовательских организаций и объем выделяемого финансирования на прикладные исследования и разработки. Теоретическая значимость исследования заключается в выявлении факторов, влияющих на создание отечественных передовых производственных технологий. Практическая значимость заключается в возможности использования данных результатов для формирования стратегий содействия научно-техническому развитию регионов Российской Федерации в современных условиях.

Ключевые слова: научно-технологическое развитие; пространственное моделирование; регионы России; модель пространственного лага (SAR); модель пространственной ошибки (SEM); модель пространственного лага и ошибки (SAC); пространственная модель Дарбина (SDM).

1. Введение

Передовые производственные технологии относятся к технологическим инновациям и необходимы прежде всего для обеспечения долгосрочного процветания будущих поколений. Развитие инновационных технологий способствует экономическому росту, открывая новые рынки и способствуя росту современных высокотехнологичных отраслей.

Кроме того, осуществление научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в том числе разработка технологий, способствует повышению эффективности производства [1]. Именно поэтому объем разрабатываемых передовых производственных технологий является важнейшим индикатором оценки научно-технологического развития регионов Российской Федерации по национальному проекту «Наука и университеты».

Под передовыми производственными технологиями понимаются технологии и технологические процессы, а также оборудование, необходимое для их реализации, которые основаны на компьютерном управлении или микроэлектронике. При расчете показателя, характеризующего объем генерируемых в регионах передовых производственных технологий, Федеральная служба государственной статистики учитывает только те машины и оборудование, которые непосредственно участвуют в реализации технологии или технологического процесса.

Несмотря на широкую изученность проблемы, в настоящее время отсутствуют работы, учитывающие влияние пространственных особенностей динамики данных факторов на научно-технологическое развитие регионов России. В виду значительной пространственной неоднородности процессов разработки передовых производственных технологий

в нашей стране, их концентрации в определенных регионах становится важным использование методов пространственного моделирования для оценки влияния различных факторов на их динамику с учетом пространственных эффектов.

Цель исследования – оценка влияния динамики научно-исследовательского потенциала регионов на динамику разрабатываемых в них передовых производственных технологий с помощью методов пространственного моделирования.

Для достижения данной цели определены следующие *задачи*:

1) обзор методов пространственного моделирования для выявления закономерностей между социально-экономическими показателями, в том числе включающими в себя науку и технологии;

2) формирование методического подхода к исследованию, с использованием методов пространственного моделирования, включающего в себя различные матрицы пространственных весов для оценки влияния затрат на фундаментальную, прикладную науку и разработки, количества исследователей, техников, и научных организаций на количество разрабатываемых передовых производственных технологий;

3) построение пространственных моделей для оценки влияния факторов на научно-технологическое развитие регионов России.

Гипотеза исследования – в условиях высокой пространственной неоднородности научно-технологического развития при оценке влияния различных факторов на динамику разрабатываемых передовых производственных технологий недопустимо формирование обычных регрессионных моделей, не учитывающих пространственные эффекты, а целесообразно построение пространственных моделей SAR, SEM, SAC, SDM и др.

2. Обзор литературы

2.1. Исследование факторов влияния на научно-технологическую деятельность региона

В настоящее время существует множество исследований, посвященных определению факторов, влияющих на развитие научно-технологической деятельности региона.

Молодцова [2] рассматривает экономические, нормативные, информационные, инфраструктурные, кадровые и инструментальные, в том числе факторы автор разделяет на внешние и внутренние.

Рыжая [3] выявляет факторы по направлению влияния на научно-технологическое развитие: разработка и распространение технологий, образование и переподготовка работников, финансовая поддержка научно-технического прогресса, модернизация производства с помощью технологий со стороны государства, региона и промышленного комплекса.

Тюрина и др. [4] рассматривают международные, геополитические, социально-политические, природно-экологические, социально-культурные, организационно-управленческие, информационные, финансово-экономические, трудовые, логистические факторы, которые классифицировались ими как управляемые и неуправляемые, внешние и внутренние, экстенсивные и интенсивные, прогнозируемые и непрогнозируемые.

Shiying et al. [5] отмечают, что рост бюджетных расходов на науку и технологии положительно влияет на развитие инновационности регионов Китая.

He et al. [6] определили, что существует пространственная зависимость эффективности НИОКР, регионы с высокой эффективностью оказывают влияние на соседние территории в провинциях Китая.

Zhu et al. [7] выявили, что наиболее явные пространственные эффекты

отмечаются в восточной части Китая, а также в дельте реки Янцзы.

Yan et al. [8] обосновывают, что государственная политика в области науки и технологий оказывает положительное влияние на регионы, способствуя укрупнению центров НИОКР.

Malecki [9] и Luo [10] отмечают, что существует значительная пространственная неоднородность разработок и эффективности научно-технологических инноваций в провинциях Китая.

Zou & Zhu [11] отмечают, что региональная открытость является ключевым фактором для развития технологических инноваций.

2.2. Методы пространственного моделирования

Для исследования динамики научно-технологического развития в российских регионах и изучения факторов, определяющих создание передовых производственных технологий, используются различные методы пространственного моделирования: моделирование пространственного лага (SAR), пространственной ошибки (SEM), пространственного лага и ошибки (SAC) и Дарбина (SDM) с использованием метода обобщенных моментов, максимального правдоподобия, формирование пространственных моделей с использованием географически-взвешенных регрессий и т. д.

2.2.1. Модель пространственного запаздывания (SAR)

Модель пространственного запаздывания (SAR) учитывает пространственные зависимости между наблюдениями и широко используется в таких областях, как экономика, география и экология.

Zulkarnain et al. [12] применяли модель SAR при измерении продуктивности аквакультур в Индонезии.

Kazama et al. [13] использовали эту модель SAR при оценке распределения снега для водных ресурсов.

Ren [14] применял SAR для изучения влияния цифрового финансового развития на экономическое развитие городов в провинции Цзянсу.

Обзор работ по пространственному моделированию показал, что модель SAR пока не применялась для моделирования факторов научно-технологического развития территорий.

Модель пространственной ошибки (SEM) используется для анализа пространственных данных и учета пространственных зависимостей между наблюдениями.

Al-Hasani et al. [15] применяли модель SEM при сравнении точности моделей OLS, SLM и SEM для данных о дорожно-транспортных происшествиях в Султанате Оман.

Jaaya et al. [16] использовали данную модель SEM для моделирования заболеваемости туберкулезом в городе Бандунг, Индонезия.

Данный вид пространственных моделей также не применялся для моделирования научно-технического развития территорий, но перечисленные работы демонстрируют возможность их использования для анализа пространственных зависимостей в ошибках модели.

2.2.2. Модель пространственного запаздывания и ошибки (SAC)

Модель пространственного запаздывания и ошибки (SAC) объединяет модель пространственной авторегрессии (SAR) и модель пространственных ошибок (SEM) для обеспечения более полного понимания пространственных взаимосвязей.

Lambert et al [17], Шаклеина и Шаклеин [18] и Liu et al. [19] применяли модель SAC в социально-экономических исследованиях. Aw & Cabral [20] применяли модель SAC в экологических исследованиях для анализа пространственных закономерностей и взаимосвязей между переменными.

Применение данной модели SAC для анализа факторов динамики научно-технологического развития регионов также не было обнаружено.

2.2.3. Пространственная модель Дарбина (SDM)

Пространственная модель Дарбина (SDM) учитывает не только пространственные особенности развития окружающих территорий при построении модели, но и пространственный лаг каждого фактора.

Wang & Wang [21] для анализа влияния «зеленых» финансов и энергетики на экономическое развитие провинций Китая.

Zhang et al. [22] использовали модель SDM при исследовании роли изобилия лесных ресурсов в экономическом развитии дельты реки Янцзы.

Mukrom et al. [23] применяли модель SDM для моделирования продолжительности жизни в провинциях Китая.

Lacombe et al. [24] применяли модель SDM для анализа явки избирателей на президентских выборах 2004 г. в Соединенных Штатах Америки.

Lu & Zhu [25] применяли модель SDM для измерения прямого, побочного и опосредованного влияния научно-технических инноваций на экономическое развитие провинций Китая.

Wu et al. [26] использовали модель для изучения пространственной взаимосвязей между наукой, технологиями и экономикой.

Huang [27] использовал модель SDM для оценки влияния научного прогресса на экономический рост данных территориальных систем.

Zeng [28] данную модель использовал для поиска факторов повышения экологической эффективности.

Zou et al. [29] применяли эту модель для оценки влияния высокотехнологичной промышленности на энергоэффективность в регионах Китая.

2.2.4. Метод географически взвешенной регрессии (ГВР)

При формировании пространственных моделей использовался и другой метод – географически взвешенная регрессия (ГВР). Данный метод позволяет исследовать пространственно-изменяющиеся связи между переменными в модели, учитывает их пространственную неоднородность, в результате взаимосвязи между переменными могут отличаться в разных частях географического региона.

Jamhuri et al. [30] применяли метод ГВР для оценки пространственных вариационных связей в Малайзии.

Jasim et al. [31] использовали метод ГВР для оценки социальных и экономических факторов, влияющих на распространение пандемии COVID-19.

Comber et al. [32] использовали этот метод для исследования пространственной неоднородности в социальных, демографических и экологических процессах в разных странах.

Nazarpour et al. [33] применяли метод ГВР для установления геохимических аномалий в русловых отложениях района Такаб в Северном Иране.

При построении таких моделей используются не матрицы пространственных весов, а географические координаты, что позволяет достаточно точно оценивать наблюдающиеся пространственные эффекты при моделировании социально-экономических процессов. Однако метод ГВР обладает значительным недостатком – он не позволяет оценивать взаимосвязи между переменными в динамике, только в данный момент времени.

Недостатком пространственных моделей, построенных с применением методов обобщенных моментов и максимального правдоподобия является высокая чувствительность результатов моделирования к типу используемой матрицы пространственных весов. И чаще всего исследователи используют определенную

взвешивающую матрицу, не проводя оценку взаимосвязей по другим матрицам. Это приводит к неточной, а иногда и некорректной оценке наблюдаемых пространственных эффектов.

Для решения данной проблемы был разработан методический подход, учитывающий различные матрицы пространственных весов при построении моделей.

3. Материалы и методы

Научно-технологическое развитие любой территориальной системы характеризуют такие показатели, как:

1) число научно-исследовательских организаций и объектов научной инфраструктуры, обеспечивающих их функционирование;

2) численность научно-исследовательских кадров, техников и вспомогательного персонала, участвующего в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах;

3) количество подготовленных кадров высшей квалификации и получивших научную степень;

4) объем финансирования фундаментальных, прикладных исследований и разработок;

5) объем разрабатываемых и используемых передовых производственных технологий;

6) количество выданных патентов на изобретения, полезные модели и другие объекты интеллектуальной собственности.

И если первые четыре показателя характеризуют скорее состояние научно-исследовательского потенциала территории, то два последних – результаты его развития, являясь важнейшими индикаторами научно-технологического развития территориальной системы.

Отсутствие статистической информации об использовании производственными предприятиями и другими хозяйствующими субъектами патентов на изобретения, полезные модели

и других результатов интеллектуальной деятельности значительно затрудняет исследование динамики научно-технологического развития регионов, не позволяет оценить степень внедрения научно-исследовательских разработок в хозяйственной деятельности. Поэтому в данной работе мы сконцентрировались на оценке и моделировании динамики создаваемых в регионах России передовых производственных технологий, так как имеется информация об их использовании в производственной деятельности предприятий.

Для пространственного моделирования динамики разрабатываемых передовых производственных технологий в регионах России с учетом факторов, оказывающих на нее значительное влияние, а также пространственных взаимовлияний окружающих территориальных систем, был предложен методический подход.

Этот подход предполагает системное использование различных инструментов, а в частности: 1) пространственного автокорреляционного анализа по методике П. Морана; 2) регрессионного моделирования по панельным данным с фиксированными и случайными эффектами; 3) моделирования пространственного лага (SAR), пространственной ошибки (SEM); 4) формирования интегрированной модели лага и ошибки (SAC); 5) пространственного лага включенных в модель факторов (модель Дарбина – SDM).

На начальном этапе данный методический подход предполагает проведение пространственного автокорреляционного анализа распределения разрабатываемых передовых производственных технологий по регионам России по методике П. Морана с использованием нескольких матриц пространственных весов (по смежным границам между регионами, линейным расстояниям, автомобильным дорогам и протяженности железнодорожных путей сообщения между их

административными центрами, а также по их нормированным версиям).

Данный анализ необходим для установления пространственных кластеров похожих регионов, отличающихся высоким объемом разрабатываемых передовых производственных технологий, а также регионов, испытывающих их сильное влияние. Использование различных матриц пространственных весов при проведении данного анализа позволит получить обоснованные и объективные результаты распределения регионов по четырем квадрантам на диаграмме П. Морана. Методические особенности пространственного автокорреляционного анализа подробно раскрыты в наших ранних работах Наумов и др., [34], Наумов и Красных [35].

На следующем этапе результаты пространственного автокорреляционного анализа будут дополнены статистическим анализом пространственного распределения, концентрации факторов, оказывающих влияние на разработку передовых производственных технологий в регионах России.

На данном этапе предлагается оценить, как регионы, отличающиеся высоким уровнем генерации новых технологий, обеспечены организациями, осуществляющими научные исследования и разработки, научно-исследовательскими и инженерно-техническими кадрами, финансированием фундаментальных, прикладных исследований и разработок, как менялся уровень их концентрации в регионах с 2000 по 2021 г.

Влияние данных факторов на динамику разрабатываемых передовых производственных технологий в регионах будет подтверждено и регрессионными моделями по панельным данным с использованием объединенного (pooled) МНК, с фиксированными и случайными эффектами без учета пространственных эффектов.

Для оценки пространственных эффектов в динамике разрабатываемых

передовых производственных технологий в регионах России мы предлагаем формирование модели SAR – с пространственным лагом (1), SEM – с пространственной ошибкой (2), интегрированной модели SAC – с пространственным лагом и ошибкой (3), а также пространственной модели Дарбина SDM – с учетом пространственного лага факторных признаков (4).

$$\ln(V_{it}) = \alpha + \rho W \ln(V_{it}) + \beta_1 \ln(X1_{it}) + \beta_2 \ln(X2_{it}) + \beta_3 \ln(X3_{it}) + \beta_4 \ln(X4_{it}) + \beta_5 \ln(X5_{it}) + \beta_6 \ln(X6_{it}) + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

$$\ln(V_{it}) = \alpha + \beta_1 \ln(X1_{it}) + \beta_2 \ln(X2_{it}) + \beta_3 \ln(X3_{it}) + \beta_4 \ln(X4_{it}) + \beta_5 \ln(X5_{it}) + \beta_6 \ln(X6_{it}) + \lambda Wu_{it} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

$$\ln(V_{it}) = \alpha + \rho W \ln(V_{it}) + \beta_1 \ln(X1_{it}) + \beta_2 \ln(X2_{it}) + \beta_3 \ln(X3_{it}) + \beta_4 \ln(X4_{it}) + \beta_5 \ln(X5_{it}) + \beta_6 \ln(X6_{it}) + \lambda Wu_{it} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it}, \quad (3)$$

$$\ln(V_{it}) = \alpha + \rho W \ln(V_{it}) + \rho_1 W \ln(X1_{it}) + \rho_2 W \ln(X2_{it}) + \rho_3 W \ln(X3_{it}) + \rho_4 W \ln(X4_{it}) + \rho_5 W \ln(X5_{it}) + \rho_6 W \ln(X6_{it}) + \beta_1 \ln(X1_{it}) + \beta_2 \ln(X2_{it}) + \beta_3 \ln(X3_{it}) + \beta_4 \ln(X4_{it}) + \beta_5 \ln(X5_{it}) + \beta_6 \ln(X6_{it}) + \gamma_t + \varepsilon_{it}, \quad (4)$$

где V_{it} – объем разработанных в регионах передовых производственных технологий, ед.; WV_{it} – пространственно взвешенные значения объема разработанных в регионах передовых производственных технологий; WX_{it} – пространственно взвешенные значения факторов

регрессионной модели; Wu_{it} – матрица пространственной автокорреляции ошибки; $X1_{it}$ – численность организаций, выполнявших научные исследования и разработки, ед.; $X2_{it}$ – численность техников, занятых научными исследованиями и разработками, чел.; $X3_{it}$ – численность исследователей, занятых научными исследованиями, чел.; $X4_{it}$ – внутренние затраты на фундаментальные научные исследования, млн руб.; $X5_{it}$ – внутренние затраты на прикладные научные исследования и разработки, млн руб.; $X6_{it}$ – внутренние затраты на разработки, млн руб.; α – совокупность прочих факторов, влияющих на объем разработанных технологий; β – коэффициент эластичности по факторам регрессионной модели; ρ – коэффициент пространственной авторегрессии; λ – вектор не зависящих от времени индивидуальных пространственно зависимых специфических эффектов; μ_i – индивидуальный эффект региона i , не зависящий от времени t ; γ_t – временные эффекты для региона i в момент времени t ; ε_{it} – нормально распределенные случайные величины по времени t и территориям i .

Модель пространственного лага (SAR) позволит оценить влияние факторов на динамику производства передовых технологий с учетом пространственных эффектов, возникающих в результате воздействия окружающих регионов, также разрабатываемых данные технологии. В случае присутствия в данной модели значительной константы, которая отражает влияние неизвестных нам факторов, или статистической незначимости коэффициента авторегрессии, характеризующего пространственный лаг, предполагается формирование модели пространственной ошибки (SEM).

Данная модель не подтверждает влияние соседних территорий на процессы разработки передовых технологий, а свидетельствует о том, что ошибки регрессионной модели пространственно

взаимосвязаны. Для учета пространственной зависимости в остатках регрессионной модели, пространственных эффектов, возникающих в результате влияния окружающих регионов, предполагается формирование интегрированной модели пространственного лага и пространственной ошибки (SAC).

Ее формирование позволит скорректировать коэффициент пространственной авторегрессии, характеризующим влияние окружающих регионов, и подтвердить важность пространственных особенностей размещения научно-исследовательских организаций для производства передовых производственных технологий. Модель Дарбина (SDM) позволит не только установить влияние окружающих регионов на динамику разрабатываемых в территориальных системах передовых производственных технологий, но и выявить наличие пространственного лага по ключевым факторам в модели.

Указанные модели, в отличие от других исследований, будут построены с использованием двух матриц пространственных весов: матрицы смежных границ между регионами и линейных расстояний между их административными центрами. Выбор указанных матриц был обусловлен их постоянством во времени в отличие от матриц обратных расстояний по автомобильным дорогам и протяженности железнодорожных путей сообщения между регионами, которые изменялись на протяжении всего рассматриваемого периода с 2000 по 2021 г.

Для построения пространственных моделей предлагается использование двушагового метода обобщенных моментов по панельным данным (GMM – Panel Generalized Method of Moments) с инструментом весовой матрицы периода White для контролирования гетероскедастичности, фиксированными эффектами времени (дамми-переменными), а также преобразованием данных с использованием ортогональных отклонений.

Для подтверждения достоверности модели и тестирования нулевой гипотезы о том, что модель корректна, предлагается проведение Sargan – Hansen test (J-statistic). Высокое P -значение данного теста позволит нам принять данную нулевую гипотезу и сделать вывод о достоверности построенной модели.

Достоверность построенной модели будет оцениваться и с помощью Agellano – Bond serial correlation test, который необходим для проверки нулевой гипотезы об отсутствии автокорреляции возмущений первого и второго порядка, а также Jarque – Bera test на нормальность распределения случайных ошибок в модели.

Для выбора лучшей пространственной модели из всех построенных по матрицам линейных расстояний и смежных границ будут использоваться стандартные ошибки моделей, значения информационных критериев Schwarz и Akaike, а также аналог коэффициента детерминации – квадрат корреляции исходных и смоделированных значений. Данные параметры помогут установить не только оптимальный вид пространственной модели, но и определить оптимальный тип матрицы пространственных весов для ее построения.

На заключительном этапе исследования пространственный анализ динамики разрабатываемых в регионах передовых производственных технологий будет дополнен анализом их использования, а именно оценкой концентрации их использования в группе регионов, формирующих пространственный кластер по методике П. Морана.

Данный анализ позволит оценить востребованность передовых производственных технологий в регионах с развитым научно-исследовательским потенциалом, определить регионы, хозяйствующие субъекты которых активно их используют для модернизации технологических процессов, и в целом оценить сложившиеся пространственные

особенности научно-технологического развития регионов России. Построенные модели станут основой для сценарного прогнозирования научно-технологического развития регионов с учетом пространственных эффектов.

4. Результаты исследования

4.1. Пространственная кластеризация регионов по объему разрабатываемых передовых производственных технологий

Пространственный автокорреляционный анализ по методике П. Морана, показал, что разрабатываемые в России передовые производственные технологии концентрируются в регионах, обладающих мощным научно-исследовательским потенциалом.

Диаграмма рассеивания Морана, построенная в результате обобщения результатов данного анализа по нескольким матрицам пространственных весов, показала, что основными центрами разработки передовых производственных технологий являются г. Москва и Санкт-Петербург, Московская, Свердловская, Челябинская, Новосибирская, Томская, Тюменская, Белгородская, Ленинградская, Воронежская Самарская, Саратовская, Ростовская области, республики Татарстан и Башкортостан, Пермский и Краснодарский края (рис. 1).

Данные регионы формируют *квадрант НН* с высокими значениями исследуемого показателя и положительными индексами пространственной автокорреляции. Наиболее высокие локальные индексы Морана по матрице



Рис. 1. Диаграмма рассеивания Морана по объему разрабатываемых передовых производственных технологий в регионах России в 2021 г.

Fig. 1. The Moran scatterplot by volume of advanced production technologies being developed in the regions of Russia in 2021

Источник: составлено авторами.

пространственных весов, сформированной по линейным расстояниям, наблюдались в 2021 г. в г. Москва (0,010479), Московской области (0,018446), г. Санкт-Петербург (0,002884), Ленинградской (0,003060), Свердловской (0,001967) и Челябинской (0,001677) областях.

Положительные индексы пространственной автокорреляции Морана свидетельствуют о потенциальной возможности объединения данных территорий в пространственные кластеры. Близкое пространственное расположение регионов, входящих в данный квадрант, позволяет им наладить тесные межрегиональные взаимосвязи в научно-технологической сфере, что будет способствовать формированию и развитию пространственных кластеров.

Как показал анализ, отдельные регионы уже оказывают значительное влияние на окружающие регионы в процессах разработки передовых технологий. Так, зона сильного влияния, а ее формируют регионы, входящие в *квадрант LH*, образовалась вокруг г. Москва и Московской области, г. Санкт-Петербург и Ленинградской области (рис. 1). Наиболее высокие значения локальных индексов Морана в данном квадранте наблюдались в Тульской (-0,00239), Тверской (-0,00235), Калужской (-0,00222), Рязанской (-0,00134), Владимирской (-0,00124), Псковской (-0,00113), Новгородской (-0,00094) областях и Республике Карелия (-0,00093).

Регионы Урала и Поволжья оказывают более умеренное влияние на окружающие регионы. Можно выделить и регионы, существенно отличающиеся от окружающих по объему разрабатываемых передовых производственных технологий, в частности Новосибирскую, Томскую области и Краснодарский край. Данные регионы обладают мощным научно-исследовательским потенциалом, который может быть успешно реализован для создания прогрессивных технологий, однако их пространственное размещение в окружении регионов,

в которых не осуществляется активная научно-исследовательская и производственная деятельность, не позволяет им стать пространственными кластерами взаимосвязанных регионов со своей зоной влияния на окружающие территории.

Пространственный автокорреляционный анализ с использованием различных пространственных матриц показал, что подавляющее большинство регионов образуют *квадрант LL* диаграммы рассеивания Морана, что свидетельствует о высокой пространственной неоднородности процессов разработки передовых производственных технологий. Мы можем наблюдать ярко выраженные центры генерации новых технологий и их зоны влияния на окружающие территории.

Возможность формирования в России пространственных кластеров взаимосвязанных регионов, генерирующих передовые производственные технологии, была подтверждена и рассчитанными в ходе пространственного автокорреляционного анализа значениями глобального индекса Морана (табл. 1).

Положительные значения индекса Морана, рассчитанные с применением различных матриц пространственных весов, свидетельствуют о наличии пространственных взаимовлияний между исследуемыми территориями, их схожесть по объему разрабатываемых передовых производственных технологий и возможность формирования пространственных кластеров.

Наиболее высокое значение глобального индекса Морана было получено при проведении пространственного автокорреляционного анализа с использованием матрицы смежных границ. Это позволяет нам сделать предположение об оптимальности использования данной матрицы пространственных весов при построении пространственных моделей динамики разработки передовых производственных технологий в регионах России.

Таблица 1. Результаты пространственного автокорреляционного анализа объема разрабатываемых передовых производственных технологий в 2021 г. по методике Морана по различным матрицам пространственных весов

Table 1. Results of spatial autocorrelation analysis of the volume of developed advanced production technologies in 2021 according to Moran's method by different matrices of spatial weights

Матрицы пространственных весов между административными центрами регионов	Глобальный индекс Морана	$sd(I_i)$	$E(I_i)$	z-оценка	p-value
По автомобильным дорогам	0,0226	0,0005	3E-06	42,3	0
Нормированная матрица по автомобильным дорогам	0,0227	0,0005	3E-06	42,43	0
По линейным расстояниям	0,0229	0,0005	3E-06	47,705	0
Нормированная матрица по линейным расстояниям	0,0235	0,0004	3E-06	56,948	0
По смежным границам	0,1153	0,0008	2E-05	146,61	0
Нормированная матрица по смежным границам	0,0913	0,0008	1E-05	110,89	0
По протяженности ж/д путей сообщения	0,0281	0,0006	4E-06	47,655	0
Нормированная матрица по протяженности ж/д путей сообщения	0,0248	0,0005	3E-06	52,49	0

Источник: составлено авторами.

4.2. Оценка факторов, оказывающих влияние на объем разрабатываемых передовых производственных технологий

4.2.1. Регрессионный анализ панельных данных

Для оценки факторов, оказывающих влияние на объем разрабатываемых в регионах России передовых производственных технологий, была построена регрессионная модель с использованием панельных данных по 76 субъектам РФ за период с 2000 по 2021 г.

При ее формировании из-за отсутствия статистических данных из регрессионного анализа были исключены такие регионы, как Республика Крым, Ингушетия, Хакасия и Чечня, г. Севастополь, Еврейская автономная область, Ненецкий, Чукотский и Ямало-Ненецкий автономный округа.

Данные регионы отличаются крайне низким объемом разрабатываемых передовых производственных технологий.

Исходные данные в стоимостной форме были очищены от инфляции с использованием индексов потребительских цен, которые наблюдались в субъектах РФ с 2000 по 2021 г. Расчет описательных статистик по ключевым переменным в модели показал высокую неоднородность исходных данных. Для повышения их однородности была проведена процедура линеаризации данных путем извлечения натурального логарифма. Расширенный тест Augmented Dickey – Fuller подтвердил стационарность временных рядов по исследуемым переменным.

В результате регрессионного анализа оптимальной регрессионной моделью, как показали тесты Бреуш – Пагана

и Хаусмана, а также информационные критерии Шварца, Акаике и Ханнана – Куина, была признана модель с фиксированными эффектами. В ней отсутствует автокорреляция остатков, мультиколлинеарность, наблюдается гомоскедастичность и нормальность распределения остатков.

Построенная модель позволила установить положительное влияние

функционирующих в регионах научно-исследовательских организаций, численности исследователей, выполняющих научные исследования и разработки, а также внутренних затрат на прикладные научные исследования и разработки на объем разрабатываемых передовых производственных технологий (табл. 2).

Негативное влияние на динамику данного показателя оказала численность

Таблица 2. Основные параметры регрессионной модели зависимости динамики объема разрабатываемых технологий от различных факторов (с фиксированными эффектами)

Table 2. The main parameters of the regression model of the dependence of the dynamics of the volume of developed technologies on various factors (with fixed effects)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
const	-2,331	0,203	-11,460	<0,0001 ***
X1	0,519	0,076	6,809	<0,0001 ***
X2	-0,153	0,042	-3,647	0,0003 ***
X3	0,286	0,066	4,362	<0,0001 ***
X4	-0,016	0,026	-0,592	0,5539
X5	0,123	0,028	4,337	<0,0001 ***
X6	0,104	0,022	4,660	<0,0001 ***
R-squared	0,554	Mean dependent var	1,516	
Adjusted R-squared	0,513	S. D. dependent var	1,469	
S. E. of regression	1,006	Akaike info criterion	4846	
Sum squared resid	1610	Schwarz criterion	5291	
Log likelihood	-2341	Hannan-Quinn criter	5011	
F-statistic	24,35	Durbin-Watson stat	2,179	
Prob (F-statistic)	0,000			
Breusch-Pagan test statistic (LM)	0,971			0,548
Hausman test statistic (H)	24,752			0,0003

Источник: составлено авторами.

техников, занятых научными исследованиями и разработками. Выделяемые в регионах финансовые ресурсы для развития фундаментальной науки не оказали влияния на объем генерируемых передовых производственных технологий, коэффициент регрессии, соответствующий данному фактору в модели, оказался статистически незначимым.

Расчитанные коэффициенты регрессии показали, что ключевым фактором генерации передовых производственных технологий в регионах является обеспеченность территорий научными организациями и научно-исследовательскими кадрами.

Вместе с тем высокое значение константы в модели свидетельствует и о существовании других факторов, оказывающих значительное влияние на объем разрабатываемых передовых производственных технологий в регионах России. Таким фактором, согласно выдвинутой в работе гипотезе, являются пространственные эффекты, возникающие от соседства регионов с ведущими научно-исследовательскими центрами генерации передовых производственных технологий. Мы исходим из предположения о том, что регионы, находящиеся в окружении данных центров, будут также развиваться более высокими темпами, активней генерировать и внедрять передовые производственные технологии.

4.2.2. Модель пространственного запаздывания (SAR)

Для проверки данного предположения были построены модели с пространственным лагом (SAR) с использованием матриц пространственных весов по смежным границам между регионами и линейным расстояниям между их административными центрами. Основные параметры данных моделей и показатели их достоверности представлены в табл. 3.

Положительный, статистически значимый коэффициент регрессии

пространственно взвешенной переменной, установленный в ходе регрессионного моделирования, подтвердил выдвинутую гипотезу о наличии пространственных эффектов в динамике разрабатываемых технологий.

Согласно данным моделям, на динамику генерируемых в регионах передовых производственных технологий оказывают влияние не только изменение численности научно-исследовательских организаций, научно-исследовательских и инженерно-технических кадров и объемов финансирования фундаментальной, прикладной науки и разработок, но и деятельность по разработке передовых технологий в соседних регионах.

Построенная модель, а в частности высокое значение коэффициента регрессии при пространственно взвешенной переменной, показала важное значение пространственных особенностей размещения предприятий для генерации передовых производственных технологий. Размещаясь в окружении регионов, обладающих мощным научно-исследовательским потенциалом, предприятия получают важнейшее преимущество в использовании сформировавшейся инфраструктуры, научно-технического комплекса и более активно генерируют передовые производственные технологии.

Низкие значения информационных критериев Schwarz и Akaike, стандартных ошибок и остаточной дисперсии, а также более высокое значение квадрата корреляции исходных и смоделированных значений зависимой переменной позволили нам установить оптимальность регрессионной модели, построенной с использованием взвешивающей матрицы по смежным границам.

Согласно данной модели на объем разрабатываемых передовых производственных технологий влияют численность исследователей и техников, занятых научными исследованиями и разработками, а также объем

Таблица 3. Пространственные регрессионные модели динамики объема разработанных в регионах России передовых производственных технологий по матрице линейных расстояний и смежных границ методом двухэтапного GMM
 Table 3. Spatial regression models of the dynamics of the volume of advanced production technologies developed in the regions of Russia according to the matrix of linear distances and adjacent boundaries using the two-stage GMM method

Variable	Матрица пространственных весов по линейным расстояниям				Матрица пространственных весов по смежным границам между регионами			
	SAR	SEM	SAC	SDM	SAR	SEM	SAC	SDM
a (-1)	0,055 ***	0,083 ***	0,054 ***	0,025	0,067 ***	0,049 ***	0,046 ***	0,040 **
WY – пространственный лаг объема разработанных передовых производственных технологий	75,304 ***		80,946 ***	76,114 ***	64,106 ***		41,744 ***	62,948 ***
WE – пространственная ошибка модели		68,39 ***	-4,291			64,28 ***		
X1 – численность организаций, выполняющих научные исследования и разработки	0,138 ***	0,635 ***	0,111 *	0,817 ***	-0,126	0,353 ***	0,129 *	0,709 **
X2 – численность техников, занятых научными исследованиями и разработками	-0,049	-0,207 ***	-0,042	-0,207	0,103 ***	-0,108 ***	0,036	-0,131
X3 – численность исследователей, занятых научными исследованиями и разработками	0,061	0,281 ***	0,011	-0,676 ***	0,101 ***	0,377 ***	0,191 ***	-0,193
X4 – объем затрат на фундаментальные исследования	0,041 ***	0,068 ***	0,036 ***	0,018	-0,081 ***	-0,029 ***	-0,056 ***	-0,451 ***
X5 – объем затрат на прикладные исследования	0,131 ***	0,168 ***	0,123 ***	0,431 ***	0,048 ***	0,169 ***	0,101 ***	0,171 ***
X6 – объем затрат на разработки	0,007	0,101 ***	-0,0002	-0,073 *	0,011	0,076 ***	0,038 ***	0,113 ***
WX1 – пространственный лаг численности научно-исследовательских организаций				-53,074 ***				-62,944 ***

Окончание табл. 3

Variable	Матрица пространственных весов по линейным расстояниям				Матрица пространственных весов по смежным границам между регионами			
	SAR	SEM	SAC	SDM	SAR	SEM	SAC	SDM
WX2 – пространственный лаг численности техников				14,143				20,467 **
WX3 – пространственный лаг численности исследователей				53,056 ***				12,870
WX4 – пространственный лаг объема затрат на фундаментальные исследования				0,751				25,535 ***
WX5 – пространственный лаг объема затрат на прикладные исследования				-29,525 ***				-15,523 ***
WX6 – пространственный лаг объема затрат на разработки				6,262				-13,441 ***
Квадрат корреляции (V; Vmod)	0,846	0,806	0,847	0,844	0,877	0,843	0,875	0,877
S.E. of regression	0,324	0,357	0,327	0,326	0,284	0,320	0,286	0,286
Sum squared resid	156,7	190,1	159,8	157,92	120,2	153,2	122,0	121,4
Sargan – Hansen test (J-statistic)	46,89	170,35	43,844	32,027	53,14	50,92	47,62	40,98
Prob (J-statistic)	0,518	0,949	0,604	0,867	0,283	0,359	0,447	0,516
Jarque – Bera	738,0 ***	411,8 ***	685,6 ***	1197,6 ***	768,9 ***	145,2 ***	594,9 ***	637,7 ***
Arellano – Bond Test: AR (1)	-3,67***	-4,47 ***	-3,69 ***	-3,806 ***	-1,78 ***	-3,76 ***	-4,15 ***	-3,62 ***
AR (2)	1,509	1,789	1,508	1,296	0,269	0,783	0,578	0,138
Schwarz criterion	-0,253	-0,423	-0,212	-0,243	-0,389	-0,452	-0,385	-0,419
Akaike info criterion	-0,351	-0,521	-0,314	-0,363	-0,487	-0,550	-0,486	-0,538

Источник: составлено авторами.

осуществляемых затрат на фундаментальные и прикладные исследования. Данные факторы оказывают непосредственное влияние на динамику разрабатываемых технологий в регионе их сосредоточения и косвенное влияние на их динамику в соседних регионах.

4.2.3. Модель пространственной ошибки (SEM)

Для оценки наличия пространственных зависимостей между остатками в панельной модели с фиксированными эффектами были сформированы модели пространственной ошибки (SEM), при этом оптимальной, обладающей наименьшими стандартными ошибками, остаточной дисперсией и информационными критериями, была признана модель, построенная с применением взвешивающей матрицы по смежным границам (табл. 2).

Данная модель, в отличие от модели пространственного лага SAR, позволила подтвердить влияние численности научно-исследовательских кадров и внутренних затрат на разработки на динамику генерируемых в регионах передовых технологий. Как и в модели SAR, выделяемые в регионах финансовые ресурсы на развитие фундаментальной науки не оказали должного влияния на рост объема разрабатываемых передовых технологий. Построенная модель показала, что, помимо оказывающих влияние факторов, наблюдаются взаимосвязи и в пространственных ошибках модели.

4.2.4. Модель пространственного запаздывания и ошибки (SAC)

Для учета пространственного лага и ошибки в модели была сформирована интегрированная модель SAC, при этом оптимальной моделью была признана модель по смежным границам. Она позволила скорректировать значение оцениваемого пространственного эффекта, наблюдавшегося в динамике разрабатываемых передовых производственных

технологий. Коэффициент пространственной авторегрессии, характеризующий наличие пространственного лага в модели, значительно превысил размер вектора, не зависящих от времени индивидуальных пространственно зависимых специфических эффектов, характеризующих пространственную ошибку в модели. Это подтверждает важное значение пространственных эффектов в научно-технологичном развитии регионов. Рост объема разрабатываемых передовых технологий в научно-исследовательских центрах способствует его росту и в окружающих их регионах.

Модель подтвердила положительное влияние числа научно-исследовательских организаций, исследовательских кадров, выделяемых финансовых ресурсов на прикладные исследования и разработки на динамику разрабатываемых в регионах новых технологий, а также негативное влияние осуществляемых затрат на фундаментальные исследования. Численность технического персонала, участвующего в научных исследованиях, как и в модели, построенной по МНК с фиксированными эффектами, не оказала влияния на динамику разрабатываемых технологий (табл. 2, 3).

4.2.5. Пространственная модель Дарбина (SDM)

Для учета пространственных эффектов исследуемых факторов на динамику разрабатываемых передовых производственных технологий были построены регрессионные модели Дарбина (SDM) по двум матрицам пространственных весов.

Оптимальной моделью по всем рассматриваемым параметрам была признана модель, при построении которой использовалась взвешивающая матрица смежных границ между регионами. Она позволила не только подтвердить влияние окружающих регионов и скорректировать коэффициент пространственной авторегрессии, но и определить,

что на динамику разрабатываемых передовых производственных технологий оказывают положительное влияние располагающиеся в соседних регионах инженерно-технические кадры, занимающиеся научными исследованиями и разработками. В самих регионах технические кадры не оказывают влияние на динамику генерируемых технологий, данный факт был подтвержден и другими регрессионными моделями.

Модель Дарбина в отличие от модели пространственного лага (SAR) подтвердила влияние функционирующих в регионах научно-исследовательских организаций и в то же время показала негативное влияние их динамики в окружающих регионах. На это указывает отрицательный пространственный лаг указанной переменной (-62,9). Если учесть, что значительная часть научно-исследовательских организаций сконцентрирована в 18 регионах страны, а в остальных регионах их численность с каждым годом сокращается, то вполне закономерно установленное моделью Дарбина негативное влияние сокращающейся численности организаций в окружающих регионах на процессы разработки передовых производственных технологий.

Построенная модель Дарбина, как и прочие пространственные модели, подтвердила негативное влияние внутренних затрат научных организаций, выделяемых на фундаментальные исследования, на динамику разрабатываемых передовых производственных технологий, но при этом показала значимость выделения финансовых ресурсов научным организациям, осуществляющим данные исследования в окружающих регионах.

Для разработки технологий, востребованных в производстве, необходимы прикладные исследования и разработки, и модель Дарбина показала значимость выделения финансовых ресурсов для их проведения (табл. 2), однако без фундаментальных исследований невозможно

получить прорывной, прогрессивный характер разрабатываемых технологий, поэтому выделяемое финансирование организациям фундаментальной науки окружающих регионов оказывает положительное влияние на динамику генерируемых технологий. Поскольку не все регионы активно генерируют данные технологии, а только те, в которых сконцентрирован научно-исследовательский потенциал, то и выделяемые организациями финансовые ресурсы на прикладные исследования и разработки в окружающих регионах не оказывают должного влияния на динамику генерируемых передовых производственных технологий в других территориальных системах.

Пространственная модель Дарбина, построенная с использованием матрицы пространственных весов по смежным границам, по многим критериям, а в частности по стандартным ошибкам, размеру остаточной дисперсии, информационным критериям, квадрату корреляции между исходными и моделируемыми значениями зависимой переменной была выбрана в качестве оптимальной модели, описывающей зависимость динамики генерируемых в регионах России передовых производственных технологий от различных факторов, наблюдающихся как в самих регионах, так и их окружении.

Данная модель позволяет установить все многообразие пространственных эффектов, которые наблюдаются в процессах разработки передовых производственных технологий.

5. Обсуждение результатов

Построенные регрессионные модели и пространственный автокорреляционный анализ показали значимость пространственных особенностей размещения научно-исследовательских организаций, научных и инженерно-технических кадров, а также выделяемого финансирования научных исследований для разработки передовых

производственных технологий. В условиях пространственной неоднородности исследуемых процессов, такие модели позволяют с наименьшим уровнем погрешностей оценить их зависимость от факторов внутренней и внешней среды. И в результате проведенного исследования данная гипотеза была подтверждена.

Регионы с развитым научно-исследовательским потенциалом, к которым нами были отнесены г. Москва и Санкт-Петербург, Московская, Свердловская, Челябинская, Новосибирская, Томская области и другие субъекты РФ, значительно отличаются от других территориальных систем и по объему и динамике разработки передовых производственных технологий. Данные регионы отличаются и значительными результатами их внедрения в производстве.

Так, по данным 2021 г. в 18 регионах, в которых было сконцентрировано 61,3% всех российских научно-исследовательских организаций, 78% исследователей и техников, осуществляющих научные исследования и разработки, а также

78,9% выделяемых на науку финансовых средств, было разработано 86,5% и использовано 51,6% всех передовых производственных технологий. Основными центрами их использования являются регионы их разработки: г. Москва (5,1% всех использованных в России передовых технологий), г. Санкт-Петербург (4,2%), Московская область (6,3%), Свердловская область (6,4%), Пермский край (6,3%), Самарская область (2,8%), Республика Татарстан (2,6%), Челябинская область (2,5%), Саратовская область (2,5%) и др. (рис. 2).

За период с 2000 по 2021 г. уровень концентрации используемых технологий значительно вырос в промышленно развитых регионах, таких как Свердловская область (с 2,9 до 6,4%), Республика Татарстан (с 1,5 до 2,6%), Ленинградская область (с 0,2 до 1,1%) и г. Санкт-Петербург (с 3,0 до 4,2%), Краснодарский край (с 0,5 до 1,9%), Пермский край (с 2,3 до 6,3%).

Рост концентрации используемых технологий в данных регионах позволяет нам сделать вывод о востребованности

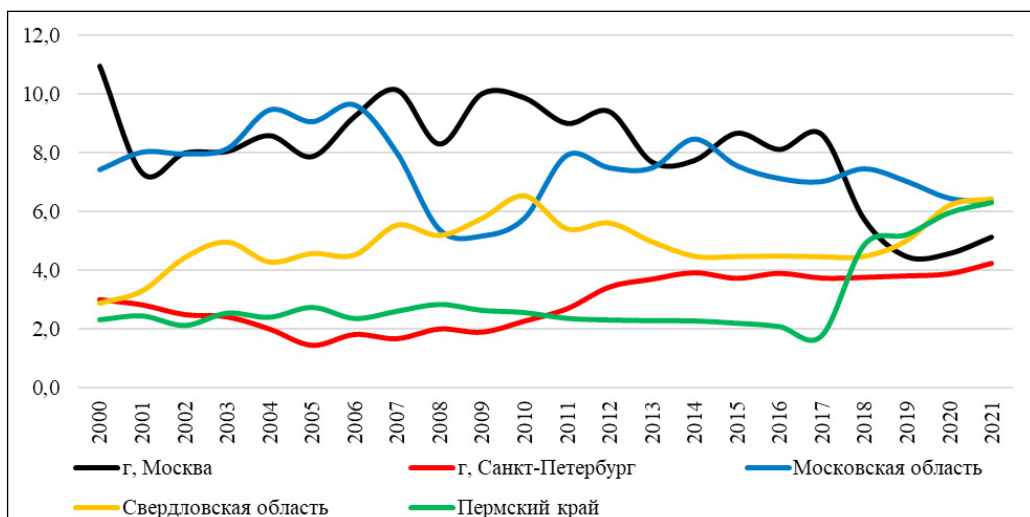


Рис. 2. Динамика концентрации используемых передовых производственных технологий в регионах России за период с 2000 по 2021 г., в %

Fig. 2. Dynamics of the concentration of advanced production technologies in use in the regions of Russia for the period from 2000 to 2021, in %

Источник: составлено авторами

сконцентрированного в них мощного научно-исследовательского потенциала. Промышленные предприятия регионов – центров разработки передовых производственных технологий активно их внедряют в производстве.

Рост концентрации используемых технологий наблюдался и в регионах, не обладающих мощным научно-исследовательским потенциалом, но располагающихся в непосредственной близости к ним, а именно, во Владимирской, Вологодской, Липецкой, Тверской, Ярославской областях, Красноярском крае, ЯНАО и в Республике Мордовия. Располагаясь в окружении региональных научно-исследовательских центров, такие территориальные системы получают важное преимущество – доступ к научно-исследовательской инфраструктуре, необходимой для разработки передовых производственных технологий, а также к инновационной инфраструктуре (технопаркам, венчурным фондам), необходимой для их успешного внедрения.

Таким образом, в научно-технологическом развитии регионов наблюдаются пространственные эффекты, и они оказывают значительное влияние на динамику разрабатываемых и используемых передовых производственных технологий.

Результаты исследования согласуются с полученными выводами других авторов, которые наблюдали пространственные эффекты в процессах влияния научно-исследовательского потенциала на динамику научно-технологического развития провинций Китая, что нашло свое отражение в исследованиях He et al. [6], Zhu et al. [7] и Yan et al. [8].

Результаты данного исследования согласуются также с выводами, полученными Рыжей [3], о благоприятном влиянии научно-технологического потенциала на динамику научно-технологического развития.

Основное ограничение нашего исследования заключается в том, что

используемый в исследовании методический подход в большей степени учитывает влияние внутренних факторов на процессы разработки передовых производственных технологий, там, где пространственные эффекты имеют наиболее важное значение, и в меньшей степени оценивает влияние внешних факторов, таких как санкционное давление, запрет на импорт высокотехнологичного оборудования, нестабильная экономическая и политическая ситуация в мире и др. Оценке их влияния на процессы разработки передовых производственных технологий будет посвящено отдельное исследование.

6. Заключение

Пространственное моделирование динамики научно-технологического развития российских регионов позволило получить значимые сведения о факторах, влияющих на создание передовых производственных технологий. Анализ показал, что концентрация исследовательских организаций, научных и инженерных кадров, а также выделяемое финансирование НИОКР, играют решающую роль в развитии передовых производственных технологий.

Исследование выявило, что территории, с активно развивающимся научно-исследовательским потенциалом, отличаются значительным объемом разрабатываемых передовых производственных технологий. Сконцентрированные здесь научные организации, научно-исследовательские и инженерно-технические кадры, финансовые ресурсы, выделяемые на научные исследования и разработки, положительно влияют на динамику генерируемых новых технологий. Поскольку значительная часть данных технологий разрабатывается в регионах с развитым производственным комплексом, то можно предположить, что сконцентрированный на их территории научно-исследовательский потенциал востребован.

Регрессионные модели и пространственный автокорреляционный анализ показали значимость пространственных особенностей процессов разработки передовых производственных технологий. Регионы, обладающие мощным научно-исследовательским потенциалом, имеют значительные результаты в разработке и внедрении передовых технологий в хозяйственной деятельности.

Таким образом, можно заключить, что поставленная исследовательская цель, а именно, оценка влияния динамики научно-исследовательского потенциала регионов на динамику разрабатываемых в них передовых производственных технологий с помощью методов пространственного моделирования, и соответствующие задачи для реализации данной цели, достигнуты.

Также в процессе исследования была подтверждена гипотеза о том, что в условиях высокой пространственной неоднородности научно-технологического развития при оценке влияния различных факторов на динамику разрабатываемых передовых производственных

технологий недопустимо формирование обычных регрессионных моделей, не учитывающих пространственные эффекты, а целесообразно построение пространственных моделей SAR, SEM, SAC, SDM и др.

Теоретическая значимость проведенного исследования состоит в развитии методического подхода для пространственного моделирования динамики разрабатываемых передовых производственных технологий в регионах России, а также в выявлении факторов, влияющих на их создание.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов органами власти для формирования стратегий содействия научно-техническому развитию регионов Российской Федерации, учитывая важность развития их научно-исследовательского потенциала для обеспечения технологического суверенитета в условиях санкционного давления и существующих ограничений в доступе к международным финансовым и технологическим рынкам.

Список использованных источников

1. Батьковский А.М., Кравчук П.В., Стяжкин А.Н. Оценка экономической эффективности производства высокотехнологичной продукции инновационно-активными предприятиями отрасли // Креативная экономика. 2019. № 1 (13). С. 115–128. <https://doi.org/10.18334/ce.13.1.39738>
2. Молодцова О.П. Факторы, влияющие на научно-технологическую деятельность в регионе // Стратегии бизнеса. 2022. Т. 10, № 12. С. 306–310. <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2022-12-306-310>
3. Рыжая А.А. Факторы, влияющие на научно-технологическое развитие промышленного комплекса региона // Молодежный научно-исследовательский журнал. 2017. № 5-1 (59). С. 38–43. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.019>
4. Тюрина Ю.Г., Лавренко Е.А., Селиверстова Н.И., Колмыкова М.А., Саморуков А.А. Система факторов научно-технологического развития региона // Российское предпринимательство. 2018. Т. 19, № 5. С. 1480–1500. <http://dx.doi.org/10.18334/rp.19.5.39107>
5. Shiyong H., Jianjia H., Liangrong S. Fiscal science and technology expenditure and the spatial convergence of regional innovation efficiency: evidence from China's province-level data // Economic Research-Ekonomska Istraživanja. 2023. Vol. 36, Issue 1. Pp. 1848–1866. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2094436>
6. He B., Wang J., Wang J., Wang K. The Impact of Government Competition on Regional R&D Efficiency: Does Legal Environment Matter in China's Innovation System? // Sustainability. 2018. Vol. 10, Issue 12. P. 4401. <https://doi.org/10.3390/su10124401>

7. Zhu D., Zhang Y., Lu Z. Does Government Purchasing Science and Technology Public Service Promote Regional S&T Innovation Ability? Evidence from China // Sustainability. 2023. Vol. 15, Issue 3. P. 2354. <https://doi.org/10.3390/su15032354>
8. Yan Y., Jiang L., He X., Hu Y., Li J. Spatio-temporal evolution and influencing factors of scientific and technological innovation level: A multidimensional proximity perspective // Frontiers in Psychology. 2022. Vol. 13. P. 920033. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.920033>
9. Malecki E. Science, technology, and regional economic development: Review and prospects // Research Policy. 1981. Vol. 10, Issue 4. Pp. 312–334. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(81\)90017-2](https://doi.org/10.1016/0048-7333(81)90017-2)
10. Luo Q. Research on the Dynamic Evolution of Scientific and Technological Innovation Efficiency in Universities and Identification of Influencing factors – based on Markov Chain Estimation and GMM Model // Mathematical Problems in Engineering. 2021. Vol. 2021. P. 9831124. <https://doi.org/10.1155/2021/9831124>
11. Zou L., Zhu Y.W. Universities' Scientific and Technological Transformation in China: Its Efficiency and Influencing Factors in the Yangtze River Economic Belt // PLoS One. 2021. Vol. 16, Issue 12. P. e0261343. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261343>
12. Zulkarnain R., Djuraidah A., Sumertajaya M. Spatial autoregressive stochastic frontier model with application to Indonesia's aquaculture // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1863. P. 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1863/1/012044>
13. Kazama S., Izumi H., Sarukkalige P., Nasu T., Sawamoto M. Estimating snow distribution over a large area and its application for water resources // Hydrological Processes. 2008. Vol. 22, Issue 13. Pp. 2315–2324. <https://doi.org/10.1002/HYP.6826>
14. Ren Q. The impact of digital financial development on the economic development of cities in Jiangsu Province – Empirical test based on the spatial lag model // BCP Business & Management. 2022. Vol. 35. Pp. 798–805. <https://doi.org/10.54691/bcpbm.v35i.3406>
15. Al-Hasani G., Asaduzzaman, Soliman A.H. Comparison of spatial regression models with Road Traffic Accidents Data R // Proceedings of the International Conference on Statistics: Theory and Applications. 2019. P. 31. <https://doi.org/10.11159/ICSTA.19.31>
16. Jaya I.G., Ruchjana B.N., Tantular B., Zulhanif, Andriyana Y. Simulation and Application of the Spatial Autoregressive Geographically Weighted Regression Model (SAR-GWR) // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13, No. 1. Pp. 377–385. URL: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_0118_6679.pdf
17. Lambert D.M., Brown J.P., Florax R.J.G.M. A two-step estimator for a spatial lag model of counts: Theory, small sample performance and an application // Regional Science and Urban Economics. 2010. Vol. 40, Issue 4. Pp. 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2010.04.001>
18. Шаклеина М.В., Шаклеин К.И. Факторы регионального развития предпринимательства России: оценка и роль пространственных взаимосвязей // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2022. Т. 15, № 5. С. 118–134. <https://doi.org/10.15838/esc.2022.5.83.6>
19. Liu X., Kounadi O., Zurita-Milla R. Incorporating Spatial Autocorrelation in Machine Learning Models Using Spatial Lag and Eigenvector Spatial Filtering Features // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2022. Vol. 11, Issue 4. P. 242. <https://doi.org/10.3390/ijgi11040242>
20. Aw A., Cabral E.N. Functional SAC model: With application to spatial econometrics // arXiv. 2004. Vol. 55, No. 1. Pp. 1–12. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.07725>
21. Wang R., Wang F. Exploring the Role of Green Finance and Energy Development towards High-Quality Economic Development: Application of Spatial Durbin Model and Intermediary Effect Model // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19, Issue 14. P. 8875. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148875>
22. Zhang Q., Tang D., Boamah V. Exploring the Role of Forest Resources Abundance on Economic Development in the Yangtze River Delta Region: Application of Spatial Durbin SDM Model // Forests. 2022. Vol. 13, Issue 10. P. 1605. <https://doi.org/10.3390/f13101605>

23. Mukrom M. H., Yasin H., Hakim A.R. Pemodelan Angka Harapan Hidup Provinsi Jawa Tengah Menggunakan Robust Spatial Durbin Model // Jurnal Gaussian. 2021. Vol. 10, No. 1. Pp. 44–54. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.10.1.44-54>
24. Lacombe D.J., Holloway G.J., Shaughnessy T.M. Bayesian Estimation of the Spatial Durbin Error Model with an Application to Voter Turnout in the 2004 Presidential Election // International Regional Science Review. 2014. Vol. 37, Issue 3. Pp. 298–327. <https://doi.org/10.1177/0160017612452133>
25. Lu Y., Zhu S. Digital economy, scientific and technological innovation, and high-quality economic development: A mediating effect model based on the spatial perspective // PloS ONE. 2022. Vol. 17, Issue 11. P. e0277245. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277245>
26. Wu F., Gao Q., Liu T. Nonlinear Effect of Scientific and Technological Innovation on Economic Development Based on Spatial Panel and Threshold Model // Advances in Economics, Business and Management Research. 2019. Vol. 85. Pp. 255–263. <https://doi.org/10.2991/icoeme-19.2019.49>
27. Huang Z. The Spatial Spillover Effect of Input and Output of Scientific Progress on Regional Economic Growth: The Case of Guangdong Province // Open Journal of Statistics. 2020. Vol. 10, No. 3. Pp. 540–553. <https://doi.org/10.4236/ojs.2020.103032>
28. Zeng L. China's Eco-Efficiency: Regional Differences and Influencing Factors Based on a Spatial Panel Data Approach // Sustainability. 2021. Vol. 13, Issue 6. P. 3143. <https://doi.org/10.3390/su13063143>
29. Zou Y., Huang M., Xiang W., Lu L., Lu Y., Gao J., Cheng Y. The impact of high-tech industry development on energy efficiency and its influencing mechanisms // Frontiers in Environmental Science. 2022. Vol. 10. P. 962627. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.962627>
30. Jamhuri J., Azhar B., Puan C., Norizah K. GWR-PM – Spatial variation relationship analysis with Geographically Weighted Regression (GWR) – An application at Peninsular Malaysia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 37. P. 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012032>
31. Jasim I.A., Fileeh M.K., Ebrahim M.A., Al-Maliki L.A., Al-Mamoori S.K., Al-Ansari N. Geographically weighted regression model for physical, social, and economic factors affecting the COVID-19 pandemic spreading // Environmental Science and Pollution Research. 2022. Vol. 29, Issue 34. Pp. 51507–51520. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18564-w>
32. Comber A.C., Brunson M., Charlton G., Dong R., Harris B., Lu Y., Lu D., Murakami T., Nakaya Y., Wang, Harris P. The GWR Route Map: A Guide to the Informed Application of Geographically Weighted Regression // arXiv. 2004. P. 06070. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.06070>
33. Nazarpour A., Paydar G.R., Mehregan F.F., Hejazi S.J., Jafari M. Application of geographically weighted regression (GWR) and singularity analysis to identify stream sediment geochemical anomalies, case study, Takab Area, NW Iran // Journal of Geochemical Exploration. 2022. Vol. 235. P. 106953. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2022.106953>
34. Наумов И.В., Отмахова Ю.С., Красных С.С. Методологический подход к моделированию и прогнозированию воздействия пространственной неоднородности процессов распространения COVID-19 на экономическое развитие регионов // Компьютерные исследования и моделирование. 2021. Т. 13, № 3. С. 629–648. <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2021-13-3-629-648>
35. Наумов И.В., Красных С.С. Исследование пространственной гетерогенности и межрегиональных взаимосвязей в процессах привлечения банковского капитала в российскую экономику // Финансы: теория и практика. 2022. Т. 26, № 6. С. 233–252. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2022-26-6-233-252>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Наумов Илья Викторович

Кандидат экономических наук, доцент, заведующий лабораторией моделирования пространственного развития территорий Института экономики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия (620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2464-6266> e-mail: naumov.iv@uiec.ru

Красных Сергей Сергеевич

Кандидат экономических наук, младший научный сотрудник лаборатории моделирования пространственного развития территорий Института экономики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия (620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2692-5656> e-mail: krasnykh.ss@uiec.ru

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-01674, <https://rscf.ru/project/22-28-01674/>

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Наумов И.В., Красных С.С. Пространственное моделирование влияния научно-исследовательского потенциала на динамику научно-технологического развития регионов России // Journal of Applied Economic Research. 2023. Т. 22, № 3. С. 630–656. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.3.026>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 16 июня 2023 г.; дата поступления после рецензирования 18 июля 2023 г.; дата принятия к печати 3 августа 2023 г.

Spatial Modelling of the Impact of R&D Potential on the Dynamics of Scientific and Technological Development of Russian Regions

Ilya V. Naumov  , Sergey S. Krasnykh 

*Institute of Economics, The Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia*

 naumov.iv@uiiec.ru

Abstract. The study of the scientific and technological development of Russia's regions is important for several reasons. Firstly, the development of advanced production technologies is crucial for enhancing the competitiveness of Russian industry and ensuring the country's technological sovereignty. Secondly, analyzing the impact of science expenditures, the number of researchers and the number of organizations on the development of advanced technologies will help to identify the factors that either promote or hinder scientific and technological progress in different regions. This, in turn, can serve as the basis for developing proposals to update the Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation, as well as the development strategies of federal districts and constituent entities of the Russian Federation. The purpose of this study is to assess the impact of the dynamics of the regions' R&D potential on the dynamics of advanced production technologies developed within those regions using spatial modelling methods. The following hypothesis has been proposed - increasing budget expenditures on science and technology has a positive impact on the development of advanced manufacturing technologies in Russian regions. The novelty of the methodological approach lies in the use of spatial modelling methods applying several spatial weight matrices. In the course of the study, it was confirmed that the dynamics of the newly developed advanced production technologies is positively influenced by the engineering and technical personnel based in the neighboring regions who are engaged in research and development, as well as by the financial resources allocated to scientific organizations of the surrounding regions to conduct fundamental research. According to Durbin's model, the number of R&D organizations operating in the surrounding regions and the amount of funding allocated for applied research and development have a negative impact on the dynamics of developed advanced technologies. The theoretical significance of the study lies in the identification of factors affecting the creation of domestic advanced manufacturing technologies. The practical significance lies in the possibility of using these results to form strategies to promote scientific and technological development of the regions of the Russian Federation under modern conditions.

Key words: scientific and technological development; spatial modeling; Russian regions; spatial lag model (SAR); spatial error model (SEM); spatial lag and error model (SAC); Spatial Durbin model (SDM).

JEL O33

References

1. Batkovskii, A.M., Kravchuk, P.V., Stiazhkin, A.N. (2019). Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti proizvodstva vysokotekhnologichnoi produktsii innovatsionno-aktivnymi predpriiatiiami otrasli (Evaluation of the economic efficiency of the production of high-tech products by innovation-active enterprises of the industry). *Kreativnaia ekonomika (Creative Economy)*, No. 1 (13), 115–128. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/ce.13.1.39738>
2. Molodtsova, O.P. (2022). Faktory, vliiaushchie na nauchno-tehnologicheskuiu deiatel'nost v regione (Factors affecting scientific and technological activities in the region). *Strategii*

business (Business Strategies), Vol. 10, No. 12, 306–310. (In Russ.). <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2022-12-306-310>

3. Ryzhaia, A.A. (2017). Faktory, vliiaushchie na nauchno-tekhnologicheskoe razvitie promyshlennogo kompleksa regiona (Factors affecting the scientific and technological development of regional industrial complex). *Mezhdunarodny nauchno-issledovatel'skii zhurnal (International Research Journal)*, No. 5-1 (59), 38–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.019>

4. Tiurina, Iu.G., Lavrenko, E.A., Seliverstova, N.I., Kolmykova, M.A., Samorukov, A.A. (2018). Sistema faktorov nauchno-tekhnologicheskogo razvitiia regiona (System of factors of scientific and technological development of the region). *Rossiiskoe predprinimatel'stvo [Russian Entrepreneurship]*, Vol. 19, No. 5, 1480–1500. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.18334/rp.19.5.39107>

5. Shiyong, H., Jianjia, H., Liangrong, S. (2023). Fiscal science and technology expenditure and the spatial convergence of regional innovation efficiency: evidence from China's province-level data. *Economic Research-Ekonomika Istraživanja*, Vol. 36, Issue 1, 1848–1866. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2094436>

6. He, B., Wang, J., Wang, J., Wang, K. (2018). The Impact of Government Competition on Regional R&D Efficiency: Does Legal Environment Matter in China's Innovation System? *Sustainability*, Vol. 10, Issue 12, 4401. <https://doi.org/10.3390/su10124401>

7. Zhu, D., Zhang, Y., Lu, Z. (2023). Does Government Purchasing Science and Technology Public Service Promote Regional S&T Innovation Ability? Evidence from China. *Sustainability*, Vol. 15, Issue 3, 2354. <https://doi.org/10.3390/su15032354>

8. Yan, Y., Jiang, L., He, X., Hu, Y., Li, J. (2022). Spatio-temporal evolution and influencing factors of scientific and technological innovation level: A multidimensional proximity perspective. *Frontiers in Psychology*, Vol. 13, 920033. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.920033>

9. Malecki, E. (1981). Science, technology, and regional economic development: Review and prospects. *Research Policy*, Vol. 10, Issue 4, 312–334. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(81\)90017-2](https://doi.org/10.1016/0048-7333(81)90017-2)

10. Luo, Q. (2021). Research on the Dynamic Evolution of Scientific and Technological Innovation Efficiency in Universities and Identification of Influencing factors – based on Markov Chain Estimation and GMM Model. *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2021, 9831124. <https://doi.org/10.1155/2021/9831124>

11. Zou, L., Zhu, Y.W. (2021). Universities' Scientific and Technological Transformation in China: Its Efficiency and Influencing Factors in the Yangtze River Economic Belt. *PLoS One*, Vol. 16, Issue 12, e0261343. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261343>

12. Zulkarnain, R., Djuraidah, A., Sumertajaya, M. (2021). Spatial autoregressive stochastic frontier model with application to Indonesia's aquaculture. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1863, 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1863/1/012044>

13. Kazama, S., Izumi, H., Sarukkalige, P., Nasu, T., Sawamoto, M. (2008). Estimating snow distribution over a large area and its application for water resources. *Hydrological Processes*, Vol. 22, Issue 13, 2315–2324. <https://doi.org/10.1002/HYP.6826>

14. Ren, Q. (2022). The impact of digital financial development on the economic development of cities in Jiangsu Province – Empirical test based on the spatial lag model. *BCP Business & Management*, Vol. 35, 798–805. <https://doi.org/10.54691/bcpbm.v35i.3406>

15. Al-Hasani, G., Asaduzzaman, Soliman, A.H. (2019). Comparison of spatial regression models with Road Traffic Accidents Data R. *Proceedings of the International Conference on Statistics: Theory and Applications*, 31. <https://doi.org/10.11159/ICSTA19.31>

16. Jaya, I.G., Ruchjana, B.N., Tantular, B., Zulhanif, Andriyana, Y. (2018). Simulation and Application of the Spatial Autoregressive Geographically Weighted Regression Model (SAR-GWR). *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 13, No. 1, 377–385. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_0118_6679.pdf

17. Lambert, D.M., Brown, J.P., Florax, R.J.G.M. (2010). A two-step estimator for a spatial lag model of counts: Theory, small sample performance and an application. *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 40, Issue 4, 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2010.04.001>

18. Shakleina, M.V., Shaklein, K.I. (2022). Faktory regionalnogo razvitiia predprinimatelstva Rossii: otsenka i rol prostranstvennykh vzaimosviazei (Drivers of entrepreneurship development in Russia's regions: Assessment and the role of spatial interrelations). *Ekonomicheskie i sotsialnye peremeny: Fakty, tendentsii, prognoz (Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast)*, Vol. 15, No. 5, 118–134. (In Russ.). <https://doi.org/10.15838/esc.2022.5.83.6>
19. Liu, X., Kounadi, O., Zurita-Milla, R. (2022). Incorporating Spatial Autocorrelation in Machine Learning Models Using Spatial Lag and Eigenvector Spatial Filtering Features. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 11, Issue 4, 242. <https://doi.org/10.3390/ijgi11040242>
20. Aw, A., Cabral, E.N. (2004). Functional SAC model: With application to spatial econometrics. *arXiv*, Vol. 55, No. 1, 1–12. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.07725>
21. Wang, R., Wang, F. (2022). Exploring the Role of Green Finance and Energy Development towards High-Quality Economic Development: Application of Spatial Durbin Model and Intermediary Effect Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 19, Issue 14, 8875. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148875>
22. Zhang, Q., Tang, D., Boamah, V. (2022). Exploring the Role of Forest Resources Abundance on Economic Development in the Yangtze River Delta Region: Application of Spatial Durbin SDM Model. *Forests*, Vol. 13, Issue 10, 1605. <https://doi.org/10.3390/f13101605>
23. Mukrom, M. H., Yasin, H., Hakim, A.R. (2021). Pemodelan Angka Harapan Hidup Provinsi Jawa Tengah Menggunakan Robust Spatial Durbin Model. *Jurnal Gaussian*, Vol. 10, No. 1, 44–54. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.10.1.44-54>
24. Lacombe, D.J., Holloway, G.J., Shaughnessy, T.M. (2014). Bayesian Estimation of the Spatial Durbin Error Model with an Application to Voter Turnout in the 2004 Presidential Election. *International Regional Science Review*, Vol. 37, Issue 3, 298–327. <https://doi.org/10.1177/0160017612452133>
25. Lu, Y., Zhu, S. (2022). Digital economy, scientific and technological innovation, and high-quality economic development: A mediating effect model based on the spatial perspective. *PLoS ONE*, Vol. 17, Issue 11, e0277245. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277245>
26. Wu, F., Gao, Q., Liu, T. (2019). Nonlinear Effect of Scientific and Technological Innovation on Economic Development Based on Spatial Panel and Threshold Model. *Advances in Economics, Business and Management Research*, Vol. 85, 255–263. <https://doi.org/10.2991/icoeme-19.2019.49>
27. Huang, Z. (2020). The Spatial Spillover Effect of Input and Output of Scientific Progress on Regional Economic Growth: The Case of Guangdong Province. *Open Journal of Statistics*, Vol. 10, No. 3, 540–553. <https://doi.org/10.4236/ojs.2020.103032>
28. Zeng, L. (2021). China's Eco-Efficiency: Regional Differences and Influencing Factors Based on a Spatial Panel Data Approach. *Sustainability*, Vol. 13, Issue 6, 3143. <https://doi.org/10.3390/su13063143>
29. Zou, Y., Huang, M., Xiang, W., Lu, L., Lu, Y., Gao, J., Cheng, Y. (2022). The impact of high-tech industry development on energy efficiency and its influencing mechanisms. *Frontiers in Environmental Science*, Vol. 10, 962627. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.962627>
30. Jamhuri, J., Azhar, B., Puan, C., Norizah, K. (2016). GWR-PM – Spatial variation relationship analysis with Geographically Weighted Regression (GWR) – An application at Peninsular Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 37, 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012032>
31. Jasim, I.A., Fileeh, M.K., Ebrahmem, M.A., Al-Maliki, L.A., Al-Mamoori, S.K., Al-Ansari, N. (2022). Geographically weighted regression model for physical, social, and economic factors affecting the COVID-19 pandemic spreading. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 29, Issue 34, 51507–51520. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18564-w>
32. Comber, A.C., Brunson, M., Charlton, G., Dong, R., Harris, B., Lu, Y., Lu, D., Murakami, T., Nakaya, Y., Wang, Harris, P. (2004). The GWR Route Map: A Guide to the

Informed Application of Geographically Weighted Regression. *arXiv*, 06070. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.06070>

33. Nazarpour, A., Paydar, G.R., Mehregan, F.F., Hejazi, S.J., Jafari, M. (2022). Application of geographically weighted regression (GWR) and singularity analysis to identify stream sediment geochemical anomalies, case study, Takab Area, NW Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 235, 106953. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2022.106953>

34. Naumov, I.V., Otmakhova, Iu.S., Krasnykh, S.S. (2021). Metodologicheskii podkhod k modelirovaniu i prognozirovaniu vozdeistviia prostranstvennoi neodnorodnosti protsessov rasprostraneniia COVID-19 na ekonomicheskoe razvitie regionov (Methodological approach to modeling and forecasting the impact of the spatial heterogeneity of the COVID-19 spread on the economic development of Russian regions). *Kompiuternye issledovaniia i modelirovanie (Computer Research and Modeling)*, Vol. 13, No. 3, 629–648. (In Russ.). <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2021-13-3-629-648>

35. Naumov, I.V., Krasnykh, S.S. (2022). Issledovanie prostranstvennoi geterogenosti i mezhregionalnykh vzaimosviazei v protsessakh privlecheniia bankovskogo kapitala v rossiiskuiu ekonomiku (The Study of Spatial Heterogeneity and Interregional Relations in the Processes of Attracting Banking Capital to the Russian Economy). *Finansy: teoriia i praktika (Finance: Theory and Practice)*, Vol. 26, No. 6, 233–252. (In Russ.). <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2022-26-6-233-252>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ilya Viktorovich Naumov

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Modeling of Spatial Development of Territories, Institute of Economics, The Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia (620014, Yekaterinburg, Moskovskaya street, 29); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2464-6266> e-mail: naumov.iv@uiec.ru

Sergey Sergeevich Krasnykh

Candidate of Economic Sciences, Researcher, Laboratory of Modeling of Spatial Development of Territories, Institute of Economics, The Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia (620014, Yekaterinburg, Moskovskaya street, 29); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2692-5656> e-mail: krasnykh.ss@uiec.ru

ACKNOWLEDGMENTS

The research was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 22-28-01674, <https://rscf.ru/project/22-28-01674/>

FOR CITATION

Naumov, I.V., Krasnykh, S.S. (2023). Spatial Modelling of the Impact of R&D Potential on the Dynamics of Scientific and Technological Development of Russian Regions. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 22, No. 3, 630–656. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.3.026>

ARTICLE INFO

Received June 16, 2023; Revised July 18, 2023; Accepted August 3, 2023.

