

РАЗДЕЛ II. ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ

doi 10.17072/1994-9960-2017-4-561-574

УДК 330.43.332.1

ББК 65в641+65.04

JEL Code C10, C51, C21, R15

**ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО
РОСТА С ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ЭФФЕКТАМИ:
РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА****Елена Аркадьевна Гафарова**ORCID ID: [0000-0003-0798-7111](https://orcid.org/0000-0003-0798-7111), Researcher ID: [O-4516-2015](https://orcid.org/0-4516-2015)Электронный адрес: gafarovaea@mail.ruИнститут социально-экономических исследований Уфимского научного центра
Российской академии наук

450054, Россия, г. Уфа, Проспект Октября, 71

Пространственные модели регионального экономического роста позволяют оценить вклад факторов роста, а также выявить роль межрегиональных взаимодействий регионов. Эмпирические оценки прямых эффектов детерминант экономического роста самого региона, а также косвенных эффектов в виде влияния факторов развития соседних регионов могут быть получены средствами пространственной эконометрики. Модели пространственной эконометрики предусматривают различные типы пространственной зависимости: пространственные лаги для зависимой и независимой переменных, а также остатков. Актуальность исследования эмпирических пространственных моделей регионального экономического роста связана с необходимостью расширения моделей экономического роста за счет включения пространственных эффектов, а также низкой степенью апробации методов пространственной эконометрики в работах российских ученых. В статье приводится описание базовых моделей пространственной эконометрики и их анализ на основе сравнения ошибок, связанных с неправильным выбором спецификации. Представлены результаты обзора эмпирических моделей открытой региональной экономики и систематизированы основные направления исследования пространственных эффектов исследования экономического роста средствами эконометрики, среди которых модели бета-конвергенции, эмпирические соотношения Калдора и Вердоорна, модели производственных функций. Далее в рамках каждого направления описаны возможные эконометрические спецификации моделей регионального экономического роста с учетом пространственных эффектов и дополнительных объясняющих факторов, а также представлен обзор зарубежных и российских публикаций, в которых представлены результаты их применения. В прикладных исследованиях рассматривается вопрос выбора корректной спецификации для эконометрической пространственной модели. Поскольку пространственная зависимость в эмпирических моделях регионального экономического роста должна быть материального типа, предлагается отдавать предпочтение спецификациям пространственного лага (модель пространственной автокорреляции, пространственная модель Дарбина). Дальнейшее направление отечественных исследований в области моделирования открытой региональной экономики видится в разработке моделей регионального экономического роста средствами пространственной эконометрики, что позволит оценить экономические эффекты перетока основных факторов между регионами России.

Ключевые слова: модели экономического роста, региональная экономика, пространственная эконометрика, конвергенция, производственная функция, пространственная модель, пространственная зависимость, законы роста Калдора.

EMPIRICAL MODELS OF REGIONAL ECONOMIC GROWTH WITH SPATIAL EFFECTS: COMPARATIVE ANALYSIS RESULTS

Elena A. Gafarova

ORCID ID: [0000-0003-0798-7111](https://orcid.org/0000-0003-0798-7111), Researcher ID: [O-4516-2015](https://orcid.org/0-4516-2015)

E-mail: gafarova@mail.ru

Institute of Social and Economic Researches of Ufa Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences
71, prospekt Oktyabrya, Ufa, 450054, Russia

Spatial models of regional economic growth allow us to assess the contribution of growth factors, as well as spatial interaction effects among regions. Direct and indirect (or spillover) effect estimates can be obtained by methods of spatial econometrics. There are different types of spatial dependence in the models of spatial econometrics: spatial lags for dependent and independent variables, as well as residues. The relevance of the study of empirical regional economic growth models with spatial effects is associated with the need to expand economic growth models to include spatial effects, as well as a low degree of approbation of spatial econometrics methods to models of economic growth in Russian scientific works. The article describes the basic models of spatial econometrics and their analysis based on the comparison of errors associated with the wrong choice of the specification. The results of a review of empirical models of an open regional economy have been presented and the main directions of the study of the spatial effects of economic growth research using means of econometrics, including beta-convergence models, Kaldor and Verdoorn's empirical relations and production function models have been systematized. Further, the possible econometric specifications of regional economic growth models for each direction taking into account spatial effects and additional explanatory factors have been described. This paper reviews the empirical foreign and Russian literature on economic growth models with spatial effects. The issue of the correct model specification in applied empirical studies has been considered in the article. Because the spatial dependence in empirical growth models should be of the substantive type, it is proposed to give preference for spatial lag model specifications (spatial lag model and spatial Durbin model). We assume the further direction of Russian researches in the field of an open regional economy modeling by means of spatial econometrics that will allow us to estimate the economic effects of the flow of the main factors between the regions of Russia.

Keywords: models of economic growth, regional economy, spatial econometrics, beta-convergence, production function, spatial model, spatial dependence, Kaldor's growth laws.

Введение

Проблема экономического роста является актуальной в научных исследованиях на протяжении долгого времени. Существует множество теорий и моделей регионального экономического роста, обзор которых достаточно полно изложен в работе Ю.А. Гаджиева [1], при этом в большинстве из них предполагается, что развитие регионов происходит изолированно друг от друга. Однако модели закрытой экономики могут обеспечить в лучшем случае ограниченное понимание регионального роста. Игнорирование таких пространственных межрегиональных взаимосвязей, как экономическая интеграция, развитие внешней торговли, движение капитала, распространение инноваций, миграция населения и трудовых ресурсов и др., в современных условиях невозможно. Пространственные эффекты в моделях экономи-

ческого роста должны быть рассмотрены как с точки зрения прямого влияния факторов самого региона, так и косвенного влияния факторов соседних регионов. Эмпирические оценки прямых и косвенных эффектов могут быть получены средствами пространственной эконометрики.

Первые эмпирические доказательства включения пространственных эффектов в модели экономического роста относятся к концу прошлого века. Так, G. Vernat [2] исследовал пространственные экстерналии в контексте законов Н. Калдора применительно к экономике США. Позже подобное исследование проведено в работах J. Pons-Novell, E. Viladecans [3] и B. Fingleton [4] для европейских регионов. Н. Armstrong [5], S. Rey, B. Montouri [6] одними из первых произвели включение пространственных лагов в неоклассическую модель бета-конвергенции для стран Европейского Союза

и США соответственно. Эти исследования способствовали появлению серии работ по бета-конвергенции. В настоящее время процесс теоретического и методологического обеспечения научного подхода к исследованию пространственных аспектов регионального экономического роста продолжается [7; 8] в направлении поиска инструментария для адекватного описания и прогнозирования пространственных аспектов экономики.

Согласно обозначенному вектору исследования в настоящей статье представлены результаты анализа эмпирических моделей регионального экономического роста. Актуальность исследования объясняется, с одной стороны, необходимостью анализа и прогнозирования сложной пространственной организации в экономике на региональном уровне и, с другой стороны – быстрым развитием методов пространственной эконометрики за рубежом и низкой степенью их апробации в прикладных отечественных исследованиях регионального экономического роста. Предметом данного исследования являются пространственные эконометрические модели регионального экономического роста. Цель заключается в анализе и обобщении международного опыта и выявлении новых перспективных направлений для отечественных прикладных исследований в области пространственного моделирования регионального экономического развития. Основная гипотеза заключается в проверке необходимости расширения эконометрического инструментария моделирования экономического роста регионов за счет учета пространственных эффектов. Систематизированы основные направления моделирования пространственных экстерналий в моделях экономического роста и соответствующие им эмпирические спецификации, а также дан обзор зарубежных и российских публикаций в рамках выделенных направлений.

Обзор моделей пространственной эконометрики

Модели пространственной эконометрики включают пространственные лаги переменных, т.е. взвешенные средние значе-

ния наблюдений «соседей» для каждой пространственной единицы. Учет «соседства» реализуется с помощью пространственных матриц. Обычно предполагается, что влияние «соседей» уменьшается с расстоянием. Пространственный лаг может рассматриваться как для зависимой, так и для независимой переменной, а также для остатков.

Описание моделей (в матричной нотации в соответствии с [9]) начнем с традиционной линейной регрессии для перекрестных (кросс-секционных) данных (OLS – Ordinary Least Squares), которая затем будет расширена за счет пространственных эффектов:

$$Y = \alpha l_n + X\beta + \varepsilon, \quad (1)$$

где $Y = (y_1, \dots, y_n)^T$ – вектор-столбец $n \times 1$ значений зависимой переменной для каждой единицы выборки, n – число элементов (т.е. территориальных систем) выборки; l_n – вектор из единиц размером $n \times 1$, связанный с оцениваемым параметром – константой α ; $X = (x_{ij})_{i=1, j=1}^{n, k}$ – матрица объясняющих переменных размером $n \times k$, k – число объясняющих переменных, β – вектор размерности $k \times 1$ оцениваемых параметров, отражающих влияние объясняющих переменных на зависимую переменную; $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)^T$ – вектор $n \times 1$ остатков модели, относительно которых здесь и далее предполагается, что они одинаково и независимо распределены с нулевым средним и дисперсией σ^2 , т.е. $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$, I_n – единичная матрица размером $n \times n$.

В модели пространственной автокорреляции (SAR – Spatial Autoregressive Model или SLM – Spatial Lag Model) учитывается взаимовлияние зависимой переменной между элементами выборки:

$$Y = \alpha l_n + \rho WY + X\beta + \varepsilon, \quad (2)$$

где ρ – коэффициент пространственной авторегрессии, $W = (w_{ij})_{i=1, j=1}^{n, n}$ – пространственная взвешивающая матрица размером $n \times n$, WY – пространственный лаг зависимой переменной.

Модель пространственной ошибки (SEM – Spatial Error Model) имеет вид

$$Y = \alpha l_n + X\beta + u,$$

$$u = \lambda Wu + \varepsilon, \quad (3)$$

где λ – коэффициент пространственной авторегрессии остатков u , Wu – пространственный лаг остатков. Оценивание модели (3) осуществляется после преобразования ошибок в виде $u = (I_n - \lambda W)^{-1} \varepsilon$ и подстановки их в основное уравнение.

Модель пространственной автокорреляции и пространственной ошибки (SAC) является обобщением двух предыдущих моделей:

$$Y = \alpha l_n + \rho W_1 Y + X\beta + u, \quad u = \lambda W_2 u + \varepsilon, \quad (4)$$

где W_1 и W_2 – пространственные взвешивающие матрицы размером $n \times n$ (не обязательно различающиеся). Модель SEM оценивается после преобразования остатков и подстановки их в основное уравнение аналогично модели SEM.

Пространственная модель Дарбина (SDM – Spatial Durbin Model) включает пространственные лаги как зависимой, так и независимой переменных:

$$Y = \alpha l_n + \rho \cdot W_1 Y + X \cdot \beta + W_2 X \cdot \theta + \varepsilon. \quad (5)$$

Самая общая модель (GNS – General Nesting Spatial Model), включающая все виды пространственного взаимодействия, имеет вид:

$$Y = \alpha l_n + \rho W_1 Y + X\beta + W_2 X \theta + u,$$

$$u = \lambda W_3 u + \varepsilon. \quad (6)$$

Здесь W_1 и W_2 и W_3 – пространственные взвешивающие матрицы размером $n \times n$, которые могут совпадать между собой. Вектор $W_1 Y$ отражает эндогенные эффекты взаимодействия между зависимыми переменными, $W_2 X$ – экзогенные эффекты взаимодействия между независимыми переменными (пространственный лаг независимой переменной), $W_3 u$ – эффекты взаимодействия между ошибками.

Расширение описанных моделей для панельных данных производится за счет

приписывания индекса t ко всем переменным и остаткам, а также введения индивидуальных и/или временных эффектов для учета пространственной и временной гетерогенности. Приведем самую общую модель GNS для панельных данных [10]:

$$Y_t = \alpha l_n + \rho W_1 Y_t + X_t \beta + W_2 X_t \theta + \mu + \xi_t l_n + u_t,$$

$$u_t = \lambda W_3 u_t + \varepsilon_t, \quad (7)$$

где $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_n)^T$ и ξ_t – индивидуальные и временные эффекты (фиксированные или случайные).

Таким образом, рассмотренные модели пространственной эконометрики различаются пространственными эффектами: WY – эффект эндогенного взаимодействия между зависимыми переменными, WX – эффект экзогенного взаимодействия между независимыми переменными, Wu – эффект взаимодействия между ошибками.

Очевидно, что на практике неизвестен тип процесса, порождающего исходные данные, поэтому неизбежны ошибки спецификации. В результате перед исследователями возникает проблема выбора правильной спецификации, которая подразумевает, во-первых, выбор правильной спецификации пространственных эффектов WY , WX , Wu и, во-вторых, определение правильной спецификации пространственной матрицы.

В табл. 1 сведены различия в спецификациях для рассмотренных моделей, а также описаны последствия неправильного выбора пространственных эффектов. Оценки коэффициентов самой общей модели GNS слабо идентифицированы и зачастую при оценивании имеют тенденцию становиться статистически незначимыми, и, как следствие, качество модели GNS не выделяет ее среди менее нагруженных пространственных моделей. Данное обстоятельство ограничивает использование самой общей спецификации пространственной модели в эмпирических исследованиях.

Сравнительный анализ моделей пространственной эконометрики

Модель	Спецификация			Ошибки неправильного выбора спецификации
	WY	WX	Wu	
OLS	–	–	–	Если процесс, порождающий данные, описывается моделью SEM, то оценки коэффициентов будут неэффективными на малых и смещенными на больших выборках, также будут смещенными оценки дисперсии коэффициентов. Если истинная модель SAR, SAC, то оценки коэффициентов будут смещенными за счет не включения существенных пространственных лагов WX и WY
SAR	+	–	–	Для истинных моделей OLS, SEM, SAC оценки коэффициентов будут несмещенными, но неэффективными. Кроме того, для процессов SEM и SAC оценки дисперсии остатков и ковариационной матрицы коэффициентов смещены. В случае истинных самых общих спецификаций SDM и GNS оценки коэффициентов будут смещенными
SEM	–	–	+	В случае истинной модели OLS оценки коэффициентов будут несмещенными, но неэффективными. В противном случае оценки будут смещенными за счет игнорирования пространственных лагов WX и WY
SAC	+	–	+	Если процесс генерации данных совпадает с SAR или SEM, оценки коэффициентов будут несмещенными, причем оценки дисперсии коэффициентов только в первом случае будут правильными. Для остальных процессов оценки коэффициентов будут смещенными
SDM	+	+	–	При любом способе генерации данных оценки коэффициентов будут несмещенными, но в случае OLS и SEM оценки дисперсии неэффективными. Для истинной модели SAC вопрос о поведении дисперсии остается мало изученным

Как видно из табл. 1, при оценивании модели SDM производятся несмещенные оценки при любом типе процесса, порождающего данные. Поэтому на практике моделирование начинается именно с этой спецификации. Дальнейшая проверка ограничений на коэффициенты модели осуществляется с помощью тестов Вальда, отношения правдоподобия или множителей Лагранжа [9].

Определение правильной спецификации взвешивающей пространственной матрицы также является сложной и противоречивой методологической проблемой пространственной эконометрики. Обзор подходов к формированию пространственных матриц представлен в [11]. При этом в большинстве прикладных экономических региональных исследований пространственная матрица основана на простой смежности пространственных единиц, расстояниях (или их квадратах), а также минимального времени в пути между ними. В эмпирических исследованиях в рамках одной модели матрицы W_1 , W_2 и W_3 зачастую выбираются одинаковыми для упрощения вычислительной процедуры и экономической интерпретации результатов.

Ознакомившись с базовыми моделями пространственной эконометрики, перейдем к описанию моделей регионального экономического роста с пространственными эффектами.

Пространственные эффекты в эмпирических моделях регионального экономического роста

Можно выделить три направления, традиционно сложившихся в зарубежной современной научной литературе по вопросам исследования пространственных эффектов в моделях регионального экономического роста методами пространственной эконометрики. Первое направление связано с вариацией модели бета-конвергенции регионов, предложенной в 1990-х гг. В основе второго направления лежат эмпирические соотношения Н. Калдора (1957 г.) и Дж. Вердоорна (1949 г.), называемые законами. Третье направление представлено производственными функциями с пространственными эффектами. При этом работы по исследованию пространственных аспектов в моделях бета-конвергенции представлены намного шире по сравнению с другими описанными

направлениями. Далее в целях изучения международного опыта и выявления новых перспективных направлений для отечественных прикладных исследований в области пространственного моделирования регионального развития систематизируем наборы эмпирических пространственных эконометрических моделей.

Пространственные эффекты в моделях конвергенции

Процесс конвергенции регионов представляет собой сближение уровней экономического развития за определенный временной период. При абсолютной бета-конвергенции бедные регионы растут более быстрыми темпами, чем богатые, в результате чего догоняют их в своем экономическом развитии. Бета-конвергенция диагностируется на регрессионных моделях кросс-секционных или панельных данных. Модель абсолютной бета-конвергенции имеет вид

$$\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right) = \alpha + \beta \cdot \ln y_0 + \varepsilon, \quad (8)$$

где y_T и y_0 – темпы роста доходов или ВВП на душу населения в конечный (Т) и начальный периоды времени, выбранные для анализа; $\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right)$ – средний темп роста доходов или ВВП на душу населения за анализируемый период (0, Т); α , β – оцениваемые параметры, β – коэффициент конвергенции.

Условная конвергенция предполагает, что сближение происходит при условии схожести определенных характеристик экономик регионов. Поэтому в моделях условной бета-конвергенции показатели экономического роста зависят еще и от детерминант равновесного экономического роста:

$$\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right) = \alpha + \beta \cdot \ln y_0 + X \cdot \delta + \varepsilon, \quad (9)$$

X – матрица детерминант равновесного экономического роста. α , β , δ – оцениваемые параметры.

Гипотеза о наличии абсолютной или условной конвергенции принимается в случае статистически значимого отрицательного коэффициента β который характеризует

скорость сближения. Согласно [12] модели условной и безусловной бета-конвергенции могут использоваться только для верификации теоретических моделей экономического роста, а не позволяют исследовать динамику неравенства экономик.

Пространственное расширение моделей абсолютной и условной бета-конвергенции возможно на основе спецификаций SAR, SEM, SAC, SDM. Пространственные модели абсолютной конвергенции, называемые минимально условной конвергенцией, записываются в следующем виде:

SAR:

$$\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right) = \alpha + \beta \cdot \ln y_0 + \rho \cdot W \cdot \left[\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right) \right] + \varepsilon; \quad (10)$$

SEM:

$$\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right) = \alpha + \beta \cdot \ln y_0 + u, \quad (11)$$

$$u = \lambda Wu + \varepsilon;$$

SAC:

$$\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right) = \alpha + \beta \cdot \ln y_0 + \rho \cdot W \cdot \left[\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right) \right] + u, \quad (12)$$

$$u = \lambda Wu + \varepsilon;$$

SDM:

$$\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right) = \alpha + \beta \cdot \ln y_0 + \rho \cdot W \cdot \left[\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right) \right] + \theta \cdot W \cdot \ln y_0 + \varepsilon. \quad (13)$$

Модели условной бета-конвергенции с пространственными эффектами имеют следующий вид:

SAR:

$$\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right) = \alpha + \beta \cdot \ln y_0 + X \cdot \delta + \rho \cdot W \cdot \left[\frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{y_T}{y_0}\right) \right] + \varepsilon; \quad (14)$$

SEM:

$$\frac{1}{T} \cdot \ln \left(\frac{y_T}{y_0} \right) = \alpha + \beta \cdot \ln y_0 + \quad (15)$$

$$+ X \cdot \delta + u, \quad u = \lambda Wu + \varepsilon;$$

SAC:

$$\frac{1}{T} \cdot \ln \left(\frac{y_T}{y_0} \right) = \alpha + \beta \cdot \ln y_0 +$$

$$+ X \cdot \delta + \rho \cdot W \cdot \left[\frac{1}{T} \cdot \ln \left(\frac{y_T}{y_0} \right) \right] + u, \quad (16)$$

$$u = \lambda Wu + \varepsilon;$$

SDM:

$$\frac{1}{T} \cdot \ln \left(\frac{y_T}{y_0} \right) = \alpha + \beta \cdot \ln y_0 +$$

$$+ \rho \cdot W \cdot \left[\frac{1}{T} \cdot \ln \left(\frac{y_T}{y_0} \right) \right] + \theta_1 \cdot W \cdot \ln y_0 + \quad (17)$$

$$+ W \cdot X \cdot \theta_2 + \varepsilon.$$

S. Rey, B. Montouri [6] и H. Armstrong [5] одними из первых включили пространственные лаги в неоклассическую модель бета-конвергенции. В работе [5] на основе пространственной спецификации SEM были переоценены темпы сближения европейских стран по среднему душевому уровню ВВП за период 1950–1990 гг. Авторы [6] показали, что ошибки традиционной модели конвергенции являются пространственно зависимыми, они также впервые дали оценку роли пространственных эффектов в исследовании конвергенции региональных доходов в США в течение 1924–1994 гг. на основе модели пространственной ошибки. Это послужило толчком для появления серии зарубежных и российских исследований пространственных эффектов в моделях бета-конвергенции. Краткое описание исследований, посвященных конвергенции российских регионов с учетом пространственных взаимосвязей, представлено в табл. 2.

Таблица 2

Обзор эмпирических пространственных моделей конвергенции российских регионов

Автор, источник, период анализа	Экзогенные факторы условной конвергенции	Спецификация модели; пространственная матрица	Основные выводы
Конвергенция регионов по среднему душевому ВВП			
О. Луговой и др. [13], 1998–2004 гг.	Доля топливной промышленности в валовом выпуске, финансовая помощь регионам, число аспирантов, наличие морского порта, депрессивность региона	OLS, SAR, SEM, SDM; матрица минимального времени в пути между регионами	Гипотеза минимально условной конвергенции не подтвердилась. Условная конвергенция регионов обнаруживается, наиболее значимым экзогенным фактором является финансовая помощь регионам. Пространственные связи между регионами могут быть описаны показателями инфраструктуры и человеческого капитала. Эффекты пространственного перетока неоднородны для групп регионов
Т. Буччеллато [14], 1999–2004 гг.	Прямые иностранные инвестиции, доля исследователей в общей численности населения, соотношение объемов добычи нефти и газа с доходами на душу населения	OLS, SAR, SEM; матрица смежности	OLS-модель условной конвергенции переоценивает скорость сходимости. Производство углеводородов является важным фактором условной конвергенции. Доказывается важность учета географических факторов в моделях конвергенции
О.С. Балаш [15], 2008–2010 гг.	Инвестиции, численность студентов, количество выданных патентов	OLS, SAR, SEM, SACSDM; матрица обратных расстояний между регионами по автомобильным дорогам	Подтверждение наличия пространственной зависимости для экономического роста регионов РФ

Автор, источник, период анализа	Экзогенные факторы условной конвергенции	Спецификация модели; пространственная матрица	Основные выводы
А.Г. Исаев [16], 2000–2013 гг.	Инвестиции, индикаторы развития транспортной инфраструктуры	Динамическая SDM; матрица смежности	Подтверждается наличие отрицательных пространственных эффектов, генерируемых инфраструктурой
О.А. Демидова, Д.С. Иванов [17], 2005–2011 гг.	Площадь региона, уровень урбанизации, плотность населения, инвестиции, структура ВРП по ВЭД, поступления в бюджет, импорт, экспорт, доля выданных патентов	Динамическая модель SAR с непостоянным коэффициентом пространственной корреляции; матрица смежности	Внешние эффекты зависят от плотности населения и уровня урбанизации регионов. Подтверждается условная бета-конвергенция
Конвергенция регионов по среднедушевым доходам			
Е.А. Коломак [18], 1996–2008 гг.	Основные фонды, объем розничной торговли, доля устойчивых отраслей, развитие Интернета	SDM; матрица обратных квадратов расстояний и матрица смежности	Наблюдаются различия в оценках пространственных внешних эффектов для групп регионов – отрицательные для восточного и положительные для западных макрорегионов. Подтверждается условная бета-конвергенция
В.И. Иванова [19], 1996–2012 гг.	Индикаторы размера рынка (численность населения)	SAC; модифицированная матрица смежности, матрица обратных географических расстояний	Подтверждается условная бета-конвергенция, положительное влияние размеров рынка на экономический рост. Введение пороговых значений расстояний в пространственную матрицу изменяет значения индекса Морана
Е.С.Вакуленко [20], 1996–2010 гг.	Показатели миграции, инвестиции, трансферты, демографические индикаторы, структура занятых по ВЭД	Динамическая SAR для панельных данных; матрица обратных расстояний	Пространственная корреляция в доходах не обнаружена. Необходимость включения в модель пространственного лага отсутствует. Условная бета-конвергенция объясняется показателями миграции

Как видно из табл. 2, в большинстве работ подтверждается наличие пространственной автокорреляции и необходимость пространственного расширения моделей конвергенции для регионов РФ. В то же время имеются противоречивые результаты по оценке вклада показателей человеческого капитала в процессы конвергенции регионов, что обуславливает необходимость дальнейших исследований в данном направлении.

Пространственная зависимость в законах Н. Калдора и Дж. Вердоорна

В рамках этого направления исследуются закономерности Н. Калдора и Дж. Вердоорна, которые представляют собой полученные эмпирическим путем соотношения причин экономического роста. Например, по первому закону Н. Калдора темпы

роста ВВП страны (q_{GDP}) положительно связаны с темпами роста производственного сектора (q_m), традиционно оцениваемого в следующем виде:

$$q_{GDP} = a_1 + a_2 \cdot q_m + \varepsilon, \quad a_2 > 0. \quad (18)$$

Расширение модели Н. Калдора за счет включения пространственных экстерналий, а также дополнительных объясняющих факторов имеет вид:

SAR:

$$q_{GDP} = a_1 + a_2 \cdot q_m + X \cdot \delta + \rho \cdot W \cdot q_{GDP} + \varepsilon; \quad (19)$$

SEM:

$$q_{GDP} = a_1 + a_2 \cdot q_m + u, \quad u = \lambda W u + \varepsilon; \quad (20)$$

SAC:

$$q_{GDP} = a_1 + a_2 \cdot q_m + X \cdot \delta + \rho \cdot W \cdot q_{GDP} + u, \quad u = \lambda Wu + \varepsilon; \quad (21)$$

SDM:

$$q_{GDP} = a_1 + a_2 \cdot q_m + \rho \cdot W \cdot q_{GDP} + \theta_1 \cdot W \cdot q_m + W \cdot X \cdot \theta_2 + \varepsilon. \quad (22)$$

В многочисленных зарубежных работах исследуется применимость законов Калдора – Вердоорна методами пространственной эконометрики для американских, европейских, турецких, китайских, индийских и др. регионов. Впервые пространственное расширение законов Калдора на основе спецификаций SAR и SEM встречается в статье [2] применительно к регионам США для периода 1977–1990 гг. В работе [3] доказана необходимость учета пространственной автокорреляции SAR (без включения экзогенных факторов) в соотношениях Вердоорна и Калдора, а также их актуальность для территориальных единиц NUTS I за период 1984–1992 гг. Автор [4] показал необходимость включения пространственных лагов экзогенных переменных на основе спецификации SDM для регионов EU NUTS II в течение 1975–1995 гг. Справедливость гипотезы для китайских регионов в 1996–2006 гг. о двигателе их роста на основе законов Калдора, дополненных пространственными лагами и дополнительными объясняющими переменными (среди которых запасы человеческого капитала, плотность населения, прямые иностранные инвестиции, среднедушевые доходы населения, развитие транспортной инфраструктуры), подтверждается в работе [21]. Апробация законов Н. Калдора и Дж. Вердоорна в российских работах в настоящее время не представлена, поэтому проверка этих соотношений для регионов РФ может стать предметом дальнейших прикладных исследований.

Пространственные эффекты в производственных функциях

Запишем теоретическую производственную функцию в наиболее общем виде:

$$Q = f(A_1, A_2, \dots, A_k), \quad (23)$$

где Q – объем выпуска, A_1, A_2, \dots, A_k – объемы затрат факторов производства.

Ее пространственное расширение выглядит следующим образом:

SAR:

$$Q = f(A_1, A_2, \dots, A_k, WQ) + \varepsilon; \quad (24)$$

SEM:

$$Q = f(A_1, A_2, \dots, A_k) + u, \quad u = \lambda Wu + \varepsilon; \quad (25)$$

SAC:

$$Q = f(A_1, A_2, \dots, A_k, WQ) + u, \quad u = \lambda Wu + \varepsilon; \quad (26)$$

SDM:

$$Q = f\left(A_1, A_2, \dots, A_k, WQ, WA_1, WA_2, \dots, WA_k\right) + \varepsilon. \quad (27)$$

Пространственное расширение неоклассических моделей Солоу и Менкью – Ромера – Уэйла (MRW), а также их оценивание производится в работах [22; 23; 24]. Авторы [24] предложили пространственное расширение модели Солоу с учетом пространственной взаимозависимости стран на основе модели SAR для выборки 91 страны за период 1960–1995 гг. М. Fischer [22] предложил пространственное расширение MRW-модели и произвел ее апробацию для регионов 22 европейских стран за период 1995–2004 гг. на основе спецификации Дарбина SDM для панельных данных. Позже в работе [23] на основе модели MRW в этой же спецификации выявлена сильная пространственная зависимость для бразильских микрорегионов за период 1970–2010 гг.

В другой работе [25] изучаются источники роста в провинциях Китая в период 1978–1998 гг. посредством модели, вошедшей в себя источники роста как неоклассического, структуралистского и институционального подходов, так и новой теории роста. Основной акцент сделан на учете пространственных эффектов на основе модели SAR. Доказано эмпирически, что пространственные эффекты взаимовлияния увеличивают предельную производительность факторов производства и, как следствие, национальный выпуск.

Из российских работ по пространственному моделированию регионального роста в качестве примера можно привести [13; 26]. Так, О.Н. Лободина и Ю.Д. Шмидт [26] исследовали развитие инновационных процессов в регионах России на основе производственной функции знаний в спецификации панельной модели пространственной автокорреляции. Апробация для регионов РФ технически сложной для оценивания эконометрической модели экономического роста, представляющей собой систему одновременных уравнений по типу производственных функций с включением пространственной автокорреляции, представлена в работе [13]. При этом эмпирически доказано, что вклад фактора пространственных связей в экономический рост регионов РФ является доминирующим.

Низкая степень апробации в работах российских ученых, расширенных с учетом пространственных эффектов производственных функций, обеспечивает перспективность и новизну дальнейших исследований в этом направлении.

В заключении обзора основных направлений моделирования пространственных экстерналий в моделях экономического роста остановимся на важном вопросе выбора спецификации, от которого зависит интерпретация полученных результатов. Как отмечается в [8], большинство региональных экономистов, не задумываясь о выборе типа пространственной зависимости, «подгоняют» эконометрические спецификации под реальные данные. При верификации модели следует учитывать, что внешние эффекты от пространственных взаимосвязей регионов в долгосрочной перспективе являются следствием, прежде всего, технологической диффузии и движения материальных потоков. Региональные внешние эффекты, вызванные экономическими шоками, играют незначительную роль в долгосрочном экономическом росте. Это означает, что пространственная зависимость регионов в моделях экономического роста должна быть именно материального типа. Поэтому

предпочтительнее использовать модели пространственного лага (SAR, SDM), нежели модели пространственной ошибки (SEM, SAC). Кроме того, как отмечают В. Fingleton, Е. Lopez-Bazo [8], если в эмпирических исследованиях лучшая модель основана на спецификации пространственной ошибки, то это может свидетельствовать о пропущенных пространственно автокоррелированных переменных в модели (особенно, если в модель не включены дополнительные объясняющие регрессоры). А это, в свою очередь, может спровоцировать неправильное понимание причинно-следственных процессов в региональной экономике.

Заключение

Проведенный в статье анализ и систематизация результатов эмпирических исследований регионального экономического роста позволили:

- подтвердить гипотезу исследования о необходимости расширения моделей экономического роста за счет включения пространственных эффектов;
- определить основные направления в области моделирования регионального экономического роста средствами пространственной эконометрики: модели бета-конвергенции, эмпирические соотношения Калдора – Вердоорна, модели производственных функций;
- выявить низкую степень апробации пространственных моделей регионального экономического роста в российских научных работах, основанных на законах Калдора – Вердоорна и моделях производственных функций.

Обосновано, что низкая степень апробации моделей регионального экономического роста методами пространственной эконометрики в российских исследованиях (за исключением, быть может, моделей конвергенции) открывает широкие перспективы перед отечественными учеными в области моделирования региональной экономики как открытой системы. Предметом дальнейших исследований является разработка методами простран-

ственной эконометрики производственных функций для российских регионов и оцен-

ка на их основе прямых и косвенных эффектов факторов экономического роста.

Благодарности

Статья выполнена в рамках государственного задания ИСЭИ УНЦ РАН в части проведения НИР по теме «Технологии и инструментарий моделирования влияния трансформации человеческого капитала на пространственно-экономическое развитие территориальных систем» (№ гос. регистрации АААА-А17-117021310210-1).

Список литературы

1. *Гаджиев Ю.А.* Зарубежные теории регионального экономического роста и развития // Экономика региона. 2009. № 2. С. 45–62.
2. *Bernat G.A.* Does manufacturing matter? A spatial econometric view of Kaldor's laws // Journal of Regional Science. 1996. Vol. 36. № 3. P. 463–477. doi: 10.1111/j.1467-9787.1996.tb01112.x.
3. *Pons-Novell J., Viladecans E.* Kaldor's laws and spatial dependence: evidence for the European regions // Regional Studies. 1999. Vol. 33. Iss. 5. P. 443–451. doi: 10.1080/00343409950081284.
4. *Fingleton B.* Externalities, economic geography, and spatial econometrics: conceptual and modeling developments // International Regional Science Review. 2003. Vol. 26. Iss. 2. P. 197–207. doi: 10.1177/0160017602250976.
5. *Armstrong H.* Convergence among regions of the European Union, 1950–1990 // Papers in Regional Science. 1995. Vol. 74. Iss. 2. P. 143–152. doi: 10.1111/j.1435-5597.1995.tb00633.x.
6. *Rey S., Montouri B.* U.S. regional income convergence: A spatial econometric perspective // Regional Studies. 1999. Vol. 33. Iss. 2. P. 143–156. doi: 10.1080/00343409950122945.
7. *Минакир П.А., Демьяненко А.Н.* Пространственная экономика: эволюция подходов и методология // Пространственная экономика. 2010. № 2. С. 6–32.
8. *Fingleton B., Lopez-Bazo E.* Empirical growth models with spatial effects // Papers in Regional Science. 2006. Vol. 85. Iss. 2. P. 177–198. doi: 10.1111/j.1435-5957.2006.00074.x.
9. *LeSage J.P., Pace R.K.* Introduction to spatial econometrics. N. Y.: Chapman and Hall/CRC, 2009. 338 p. doi: 10.1201/9781420064254.
10. *Elhorst J.P.* Spatial econometrics: From cross-sectional data to spatial panels. Heidelberg, N. Y., Dordrecht, L.: Springer. 2014. 126 p. doi: 10.1007/978-3-642-40340-8.
11. *Anselin L.* Spatial econometrics: Methods and models. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publ., 1988. 304 p. doi: 10.1007/978-94-015-7799-1.
12. *Глуценко К.П.* Мифы о бета-конвергенции // Журнал новой экономической ассоциации. 2012. № 4 (16). С. 26–44.
13. Экономико-географические и институциональные аспекты экономического роста в регионах. Консорциум по вопросам прикладных экономических исследований / Канадское агентство по международному развитию и др.; О. Луговой и др. М.: ИЭПП, 2007. 164 с.
14. *Buccellato T.* Convergence across Russian Regions: A spatial econometrics approach. Centre for the Study of Economic and Social Change in Europe, SSEES, UCL. L., UK // Economics Working Papers. 2007. № 72. P. 1–27.
15. *Балаш О.С.* Пространственный анализ конвергенции регионов России // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Экономика. Управление. Право. 2012. Т. 12. Вып. 4. С. 45–52.
16. *Исаев А.Г.* Транспортная инфраструктура и экономический рост: пространственные эффекты // Пространственная экономика. 2015. № 3. С. 57–73. doi: 10.14530/se.2015.3.057-073.
17. *Демидова О.А., Иванов Д.С.* Модели экономического роста с неоднородными пространственными эффектами (на примере российских регионов) // Экономический журнал ВШЭ. 2016. Т. 20, № 1. С. 52–75.
18. *Коломак Е.А.* Пространственные экстерналии как ресурс экономического роста // Регион: экономика и социология. 2010. № 4. С. 73–87.
19. *Иванова В.И.* Региональная конвергенция доходов населения: пространственный анализ // Пространственная экономика. 2014. № 4. С. 100–119. doi: 10.14530/se.2014.4.100-119.

20. Вакуленко Е.С. Ведет ли миграция населения к межрегиональной конвергенции в России? // Вестник НГУЭУ. 2013. № 4. С. 239–264.
21. Guo D., Dall'erba S., Le Gallo J. The Leading role of manufacturing in China's Regional economic growth: A spatial econometric approach of Kaldor's Laws // International Regional Science Review. 2012. Vol. 36. P. 139–166. doi: 10.1177/0160017612457779.
22. Fischer M.M. A spatial Mankiw–Romer–Weil model: Theory and evidence // The Annals of Regional Science. 2011. Vol. 47. Iss. 2. P. 419–436. doi: 10.1007/s00168-010-0384-6.
23. Lima R.A., Neto R.S. Economic growth in Brazilian micro-regions: A spatial panel approach. URL: http://www.regionalstudies.org/uploads/Economic_Growth_in_Brazilian_Micro-regions_Ricardo_Carvalho.pdf (дата обращения: 22.09.2017).
24. Ertur C., Koch W. Growth, technological interdependence and spatial externalities: Theory and evidence // Journal of Applied Econometrics. 2007. Vol. 22 (6). P. 1033–1062. doi: 10.1002/jae.963.
25. Ying L.G. Understanding China's recent growth experience: A spatial econometric perspective // The Annals of Regional Science. 2003. Vol. 37. Iss. 4. P. 613–628. doi: 10.1007/s00168-003-0129-x.
26. Лободина О.Н., Шмидт Ю.Д. Оценка влияния пространственных факторов на интенсивность инновационных процессов // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 2013. № 3 (67). С. 20–30.

Статья поступила в редакцию 25.09.2017

Сведения об авторе

Гафарова Елена Аркадьевна – кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник сектора экономико-математического моделирования, Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра Российской академии наук (Россия, 450054, г. Уфа, проспект Октября, 71; e-mail: gafarovaea@mail.ru).

Acknowledgements

The article has been prepared in the framework of the state assignment by the Institute of Social and Economic Researches of Ufa Scientific Centre of the Russian Academy Sciences in the terms of the research on the theme “Technologies and tools of modelling of the impact of human capital transformation on spatial and economic development of territorial schemes” (No. AAAA-A17-117021310210-1).

References

1. Gadzhiev Yu.A. Zarubezhnye teorii regional'nogo ekonomicheskogo rosta i razvitiya [The foreign theories of the regional economic growth and development]. *Ekonomika regiona* [Economy of Region], 2009, no. 2, pp. 45–62. (In Russian).
2. Bernat G. A. Does manufacturing matter? A spatial econometric view of Kaldor's laws. *Journal of Regional Science*, 1996, vol. 36, no. 3, pp. 463–477. doi: 10.1111/j.1467-9787.1996.tb01112.x.
3. Pons-Novell J., Viladecans E. Kaldor's laws and spatial dependence: Evidence for the European regions. *Regional Studies*, 1999, vol. 33, iss. 5, pp. 443–451. doi: 10.1080/00343409950081284.
4. Fingleton B. Externalities, economic geography, and spatial econometrics: Conceptual and modeling developments. *International Regional Science Review*, 2003, vol. 26, iss. 2, pp. 197–207. doi: 10.1177/0160017602250976.
5. Armstrong H. Convergence among regions of the European Union, 1950–1990. *Papers in Regional Science*, 1995, vol. 74, iss. 2, pp. 143–152. doi: 10.1111/j.1435-5597.1995.tb00633.x.
6. Rey S., Montouri B. U.S. regional income convergence: A spatial econometric perspective. *Regional Studies*, 1999, vol. 33, iss. 2, pp. 143–156. doi: 10.1080/00343409950122945.
7. Minakir P.A., Dem'yanenko A.N. Prostranstvennaya ekonomika: evolyutsiya podkhodov i metodologiya [Spatial economics: The evolution of approaches and methodology]. *Prostranstvennaya Ekonomika* [Spatial Economics], 2010, no. 2, pp. 6–32. (In Russian).
8. Fingleton B., Lopez-Bazo E. Empirical growth models with spatial effects. *Papers in Regional Science*, 2006, vol. 85, iss. 2, pp. 177–198. doi: 10.1111/j.1435-5597.2006.00074.x.

9. LeSage J.P., Pace R.K. *Introduction to spatial econometrics*. New York: Chapman and Hall/CRC, 2009. 338 p. doi: 10.1201/9781420064254.
10. Elhorst J.P. *Spatial econometrics: From cross-sectional data to spatial panels*. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 2014. 126 p. doi: 10.1007/978-3-642-40340-8.
11. Anselin L. *Spatial econometrics: Methods and models*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publ., 1988. 304 p. doi: 10.1007/978-94-015-7799-1.
12. Gluschenko K. Mify o beta-konvergentsii [Myths about beta-convergence]. *Zhurnal novoi ekonomicheskoi assotsiatsii* [Journal of the New Economic Association], 2012, no. 4(16), pp. 26–44. (In Russian).
13. *Ekonomiko-geograficheskie i institutsional'nye aspekty ekonomicheskogo rosta v regionakh* [Analysis of economic growth in regions: Geographical and institutional aspect]. Konsortium po voprosam prikladnykh ekonomicheskikh issled. Kanadskoe agentstvo po mezhdunarodnomu razvitiyu [i dr.] [Consortium for Economic Policy Research and Advice, etc.]. Ed. by Lugovoi O., et al. Moscow, IEPP Publ., 2007. 164 p. (In Russian).
14. Buccellato T. *Convergence across Russian regions: A spatial econometrics approach*. Centre for the Study of Economic and Social Change in Europe, SSEES, UCL, Economics Working Papers, London, UK, 2007, no. 72, pp. 1–27.
15. Balash O.S. Prostranstvennyi analiz konvergentsii regionov Rossii [Convergence spatial analysis of Russia's regions]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Serii: Ehkonomika. Upravlenie. Pravo*. [Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Economics. Management. Law], 2012, vol. 12, iss. 4, pp. 45–52. (In Russian).
16. Isaev A.G. Transportnaya infrastruktura i ekonomicheskii rost: Prostranstvennye efekty [Transport infrastructure and economic growth: Spatial effects]. *Prostranstvennaya Ekonomika* [Spatial Economics], 2015, no. 3, pp. 57–73. (In Russian). doi: 10.14530/se.2015.3.057-073.
17. Demidova O.A., Ivanov D.S. Modeli ekonomicheskogo rosta s neodnorodnymi prostranstvennymi effektami (na primere rossiiskikh regionov) [Models of economic growth with heterogenous spatial effects: The case of Russian regions]. *Ekonomicheskii zhurnal Vysshei shkoly ekonomiki* [Higher School of Economics Economic Journal], 2016, vol. 20, no. 1, pp. 52–75. (In Russian).
18. Kolomak E.A. Prostranstvennye eksternalii kak resurs ekonomicheskogo rosta [Spatial externalities as a source of economic growth]. *Region: Ekonomika i sociologiya* [Region: Economics and Sociology], 2010, no. 4, pp. 73–87. (In Russian).
19. Ivanova V.I. Regional'naya konvergentsiya dokhodov naseleniya: Prostranstvennyi analiz [Regional convergence of income: Spatial analysis]. *Prostranstvennaya ekonomika* [Spatial Economics], 2014, no. 4, pp. 100–119. (In Russian). doi: 10.14530/se.2014.4.100-119.
20. Vakulenko E.S. Vedet li migratsiya naseleniya k mezhregional'noi konvergentsii v Rossii? [Does migration lead to regional convergence in Russia?]. *Vestnik NGUEU* [Vestnik NSUEM], 2013, no. 4, pp. 239–264. (In Russian).
21. Guo D., Dall'erba S., Le Gallo J. The leading role of manufacturing in China's regional economic growth: A spatial econometric approach of Kaldor's laws. *International Regional Science Review*, 2012, vol. 36, pp. 139–166. doi: 10.1177/0160017612457779.
22. Fischer M.M. A spatial Mankiw–Romer–Weil model: Theory and evidence. *The Annals of Regional Science*, 2011, vol. 47, iss. 2, pp. 419–436. doi: 10.1007/s00168-010-0384-6.
23. Lima R.A., Neto R.S. *Economic growth in Brazilian micro-regions: A spatial panel approach*. Available at: http://www.regionalstudies.org/uploads/Economic_Growth_in_Brazilian_Micro-regions_Ricardo_Carvalho.pdf (accessed 22.09.2017).
24. Ertur C., Koch W. Growth, technological interdependence and spatial externalities: Theory and evidence. *Journal of Applied Econometrics*, 2007, vol. 22, iss. 6, pp. 1033–1062. doi: 10.1002/jae.963.
25. Ying L.G. Understanding China's recent growth experience: A spatial econometric perspective. *The Annals of Regional Science*, 2003, vol. 37, iss. 4, pp. 613–628. doi: 10.1007/s00168-003-0129-x.
26. Lobodina O.N., Shmidt Yu.D. Otsenka vliyaniya prostranstvennykh faktorov na intensivnost' innovatsionnykh protsessov [Estimation of the influence of spatial factors on the intensity of innovation processes]. *Izvestiya Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. Ekonomika i upravlenie* [The Bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management], 2013, no. 3(67), pp. 20–30. (In Russian).

The date of the manuscript receipt: 25.09.2017

Information about the Author

Gafarova Elena Arkad'evna – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of Economic-Mathematical Modeling Sector, Institute of Social and Economic Researches of Ufa Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (71, prospekt Oktyabrya, Ufa, 450054, Russia; e-mail: gafarovaea@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Гафарова Е.А. Эмпирические модели регионального экономического роста с пространственными эффектами: результаты сравнительного анализа // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика» = Perm University Herald. Economy. 2017. Том 12. № 4. С. 561–574. doi: 10.17072/1994-9960-2017-4-561-574

Please cite this article in English as:

Gafarova E.A. Empirical models of regional economic growth with spatial effects: Comparative analysis results. *Vestnik Permskogo universiteta. Seria Ekonomika = Perm University Herald. Economy.* 2017, vol. 12, no. 4, pp. 561–574. doi: 10.17072/1994-9960-2017-4-561-574