

---

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

---

### Пространственная модель воспроизводства на панельных данных

© 2021 г. И.А. Лакман, В.М. Тимирьянова

**И.А. Лакман,**

ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет, ФГБОУ ВО Уфимский государственный  
авиационный технический университет, Уфа; e-mail: lackmania@mail.ru

**В.М. Тимирьянова,**

ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет, Уфа; e-mail: 79174073127@mail.ru

Поступила в редакцию 25.09.2020

*Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FZWU-2020-0027).*

**Аннотация.** Воспроизводственный процесс характеризует движение товарных и встречных им финансовых потоков в экономике, оказывая влияние на ее развитие, что и определяет интерес ученых, органов государственного управления и предпринимательских структур к его изучению. В данной статье воспроизводство рассматривается как процесс, изменяющийся во времени и имеющий пространственную зависимость в силу территориального несовпадения мест производства и потребления. Учесть одновременно пространственное и динамическое изменение фаз производства, обмена и потребления в рамках воспроизводственного процесса позволили методы пространственно-панельного анализа. В работе приведены результаты статистических тестов, подтверждающих возможность конструирования панельных и пространственных моделей и позволяющих определить их спецификацию, оценена пространственная автокорреляция данных, построены эконометрические модели с наложением пространственной матрицы и без нее, проведено сравнение полученных моделей. Расчеты проводились по данным 83 субъектов РФ за период 2010–2019 гг. Модели позволили выделить индивидуальные эффекты территорий, эффекты по периодам, а также оценить влияние расположения территорий на изменение производства. Результаты выявили двунаправленное влияние региональных систем воспроизводства друг на друга. Положительное значение пространственного авторегрессионного коэффициента указывает на положительную связь регионального производства в рамках национальной воспроизводственной системы, отрицательное — на то, что между соседними территориями присутствуют обратные связи. Полученные результаты значительно расширяют возможности прогнозирования и управления изменениями воспроизводственного процесса в регионах и в стране в целом.

**Ключевые слова:** панельные данные, панельная модель с фиксированными эффектами, панельная модель со случайными эффектами, пространственная модель на панельных данных, воспроизводство, пространственная автокорреляция данных.

**Классификация JEL:** C23, D51.

**DOI:** 10.31857/S042473880011338-0

## ВВЕДЕНИЕ

Воспроизводство товаров представляет собой последовательную смену фаз производства, распределения, обмена и потребления. Исследование процесса воспроизводства, циклической смены фаз, в том числе с выделением контуров движения промежуточных и потребительских товаров, проводится уже давно. В настоящее время сложилось общепринятое понимание сущности этого явления (Шнипер, Воевода, Гузнер, 1986; Ахунов, Юсупов, Янгиров, 2011; Килин, 2013). В каждом регионе формируется своя воспроизводственная система, основанная на специфическом, присущем именно ему сочетании ресурсов воспроизводства. Различная территориальная локализация воспроизводства определяет объем и структуру межрегиональных связей как необходимых для завершения воспроизводственных циклов в региональных каналах движения товаров.

Первые исследования региональных воспроизводственных систем концентрировали внимание на региональных пропорциях воспроизводства, размещении производительных сил (Шнипер и др., 1986), в том числе в рамках межотраслевых моделей (Leontief, Strout 1963). Эти исследования нашли отражение в разрабатываемых модификациях модели «затраты–выпуск» (Килин, 2013), которые (в случае построения связанных региональных моделей) позволяют оценить межрегиональные потоки (Sonis, Hewings, Gazel, 1995) и выйти на пространственный аспект воспроизводства. Однако в рамках таких моделей сложно исследовать динамические изменения в региональных воспроизводственных системах.

Также проводились оценки региональных пропорций воспроизводства и процесса формирования валовой добавленной стоимости в рамках воспроизводственного цикла (Новоселов, 2006). Было проанализировано развитие регионального воспроизводственного потенциала, в том числе в динамике (Ахунов и др., 2011). Однако в подобных работах акцент делался на выявление региональных различий и анализ взаимного расположения региональных воспроизводственных систем не предусматривался. Такой подход упрощал представление о пространственном аспекте воспроизводственных процессов.

В работах, направленных на выявление пространственных связей, преимущественно рассматриваются только отдельные фазы воспроизводства (Demidova, 2015; Zemtsov, Tsareva, 2018), что не позволяет анализировать воспроизводство как процесс последовательной смены зависящих друг от друга фаз производства, распределения, обмена и потребления. Для анализа смены фаз воспроизводства предложено много моделей. Как правило, они раскрывают связи доходов с оборотом розничной торговли и объемами производства (Никоноров, 2018; Васильчук, 2018; Зимин, Тимирьянова, 2016; Полякова, Симарова, 2014; Пришляк, 2005). Однако в таких моделях редко выделяются пространственные эффекты и не учитывается оборот оптовой торговли, что во многом связано с его высокой концентрацией в отдельных субъектах РФ и слабым проявлением эффекта при оценке региональных наблюдений (так называемые кросс-секционные наблюдения) в рамках одного года.

Целью проведенного нами исследования является количественная оценка во времени и пространстве факторов, влияющих на процессы воспроизводства товаров. Актуальность исследования определяется ключевой ролью воспроизводственного процесса в экономическом развитии территорий и стремлением всех ее участников к его расширению.

## 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Связь фаз воспроизводства определяется их естественной последовательностью: вначале товар производится, в последующем он реализуется посредниками и в конце цикла его приобретают для конечного потребления. Здесь зависимой переменной служит показатель «Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Обрабатывающие производства»<sup>1</sup> в расчете на 1 человека» (ОП<sub>it</sub>).

В модели индекс  $i$  указывает номер региона РФ ( $i = 1, \dots, 83$ );  $t$  — год наблюдения динамики.

В качестве факторных переменных, влияющих на объемы производства, в модель включены:

— переменная, характеризующая распределение и обмен. Она описывает оборот оптовой торговли с дорасчетом на объемы деятельности, не наблюдаемой прямыми статистическими методами<sup>2</sup>, в среднем на 1 жителя в субъекте РФ  $i$  в период времени  $t$  (ОТ<sub>it</sub>). Дорасчет показателя осуществляется Федеральной службой государственной статистики в соответствии с утвержденной ею методикой;

— переменная, описывающая потребление. Она отвечает за оборот розничной торговли на душу населения<sup>3</sup> (РТ<sub>it</sub>).

<sup>1</sup> Источник: Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) (<https://www.fedstat.ru/indicator/58464>).

<sup>2</sup> Источник: ЕМИСС (<https://www.fedstat.ru/indicator/40538>).

<sup>3</sup> Источник: ЕМИСС (<https://www.fedstat.ru/indicator/33533>).

Значения всех переменных пересчитаны на душу населения, чтобы акцентировать внимание на результативности, исключив влияние фактора «Заселенность территорий».

**1 этап.** Проведены тесты, позволяющие определить возможность применения инструментов панельного анализа данных к уже существующим и выдвинуть предварительные гипотезы о спецификации панельных моделей: тесты проверки наличия единичных корней в панельных переменных, предложенные в (Im, Pesaran, Shin, 2003; Hadri, 2000); проверка панельной коинтеграции (Pedroni, 1999) на выявление ненаблюдаемых эффектов и на остаточную последовательную корреляцию (Baltagi, Li, 1995; Wooldridge, 2002)). Выбор длины лага запаздывания в соответствующих тестах осуществлялся автоматически, согласно методу А. Холла (Hall, 1994). Тесты проводились без экзогенных переменных, с общей или индивидуальными константами в панельных регрессиях, а также — включением временных трендов.

**2 этап.** Построение моделей спецификаций:

— *модель панельных данных* (pooling model, или сквозная регрессия, обобщенная модель) — обычная линейная модель регрессии (без учета панельной структуры данных), в которой предписывается одинаковое изменение всех объектов выборки во все периоды времени;

— *модель с фиксированными эффектами* (fixed effect model) предполагает, что каждый объект выборки уникален и его развитие не может рассматриваться как случайный результат. В рамках такой модели можно применить два варианта оценки — *between* и *within*<sup>4</sup>;

— *модель со случайными эффектами* (random effects model), в которой индивидуальные отличия объектов наблюдения имеют случайный характер.

Если спецификации ни одной из перечисленных моделей не подходят, считается, что имеет место *семейство несвязных регрессионных уравнений*.

Для моделей с фиксированным и случайным эффектами применялись три варианта спецификации включения панельных эффектов: *individual* — предназначен для оценки индивидуальных эффектов (независимых объектов наблюдения) панелей (фиксированных или случайных), *time* — учитывает эффекты по периодам, *two ways* — включает оба типа эффектов (двухнаправленная модель).

В обобщенном виде модель панельных данных выглядит следующим образом:

$$ОП_{it} = \alpha + \mu_i + \gamma_t + \beta_1 PT_{it} + \beta_2 OT_{it} + \varepsilon_{it},$$

где зависимая переменная  $ОП_{it}$  — объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Обрабатывающие производства», в расчете на 1 человека; независимая переменная (фактор)  $OT_{it}$  — оборот оптовой торговли с дорасчетом на объемы деятельности, не наблюдаемой прямыми статистическими методами, в среднем на 1 жителя в субъекте РФ  $i$ ; независимая переменная (фактор)  $PT_{it}$  — оборот розничной торговли на душу населения;  $\mu_i$  — индивидуальный эффект субъекта  $i$ , не зависящий от времени  $t$ ;  $\gamma_t$  — временные эффекты в момент времени  $t$  для каждого субъекта  $i$ , подлежащие оцениванию;  $\beta_1, \beta_2, \alpha$  — неизвестные параметры модели;  $\varepsilon_{it}$  — остатки (ошибки) — нормально распределенные случайные величины как по времени  $t$ , так и территориям  $i$ .

При  $\gamma_t = \mu_i = 0$  рассматривается модель со случайными эффектами, при  $\gamma_t = \alpha = 0$  — модель панельных данных с фиксированным эффектами; при  $\mu_i = \alpha = 0$  — модель с эффектами по периодам; при  $\alpha = 0$  — двухнаправленная модель панельных данных, которая содержит одновременно как индивидуальные, так и временные эффекты.

Далее проводились тесты на спецификацию панельных эффектов. F-тест с нулевой гипотезой о том, что все индивидуальные эффекты равны нулю, т.е. имеется сквозная регрессия ( $H_0: \mu_i = \mu_j = 0$ ). Тест Бройша–Пегана на основе LM-статистики теста множителей Лагранжа с нулевой гипотезой о том, что дисперсия случайных эффектов равна нулю, т.е. имеется сквозная регрессия ( $H_0: D(\gamma_i) = 0$ ). Тест Хаусмана на нулевую гипотезу о том, что эффекты не коррелируют с регрессорами, т.е. имеется модель со случайными эффектами ( $H_0: \text{corr}(\gamma_i, x_{it}) = 0$ ). Таким образом, спецификация случайных эффектов  $\gamma_i$  предполагает, что данные эффекты являются

<sup>4</sup> Применение оператора *between* предполагает усреднение значений по времени для отдельных объектов, *within* — оценку отклонения от среднего по времени для каждого отдельного объекта.

реализациями независимых случайных величин с нулевым средним значением и конечной дисперсией и что эффекты не коррелируют с остатками  $\varepsilon_{it}$ .

Для проверки гипотезы об отсутствии автокорреляции в остатках панельной модели анализировалась статистика Дарбина–Уотсона, измененная для панельных данных. Дополнительно проводился тест Бреуша–Годфри для оценки последовательной корреляции, применимый к моделям с фиксированными эффектами, выстраиваемыми по панели с короткими временными рядами (в данном случае — только 10 периодов).

**3 этап.** Оценка пространственной зависимости показателей, характеризующих производство, распределение, обмен и потребление в рамках воспроизводственной цепи. Для этого рассчитывались глобальный одномерный и двумерные индексы Морана, позволяющие оценить пространственную автокорреляцию значений показателей. Принципиальное отличие двумерного индекса от классического одномерного глобального индекса Морана состоит в том, что в двумерном случае пространственное отставание относится к экзогенной переменной (Anselin, Syabri, Smirnov, 2002):

$$I_b = \left[ \sum_i \left( \sum_j w_{ij} y_j x_i \right) \right] / \sum_i x_i^2,$$

где  $x_i$  — значение показателя территории  $i$ ;  $y_j$  — значение другого показателя соседней территории  $j$ ;  $w_{ij}$  — матрица весов, отражающая связь между объектами  $i$  и  $j$ .

В результате расчетов можно исследовать связи развития одной фазы воспроизводства с другими его фазами на соседних территориях.

Для определения пространственных связей задавалась матрица весов, формализующая допущение, что рассматриваемая территория имеет связь с соседними территориями:

$$W = w_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j; \\ 1, & \text{если } j \text{ имеет общую границу с } i; \\ 0 & \text{— в остальных случаях.} \end{cases}$$

В матрице сделаны следующие допущения. Сахалинская область, несмотря на водную преграду, рассматривается как соседняя с Приморским, Хабаровским и Камчатским краями; г. Калининград — с Санкт-Петербургом и Смоленской областью (данное допущение является спорным, но оно позволяет захватывать в исследовании Калининградскую область, рассматривать всю территорию как единое целое, учитывая факт морского и железнодорожного сообщения между этими территориями).

**4 этап.** Выстраивание пространственных моделей на панельных данных. Модель пространственного лага (SAR — Spatial Autoregressive Model) позволяет оценить влияние на показатели региона значений показателя соседних регионов; модель пространственной ошибки (SEM — Spatial Error Model) показывает пространственную зависимость ошибок; модель пространственной автокорреляции и пространственной ошибки (SAC — spatial autocorrelation model) объединяет возможности двух предыдущих моделей.

В обобщенном виде пространственная модель, построенная на панельных данных, имеет вид

$$\text{ОП}_{it} = \alpha + \beta_1 \text{РТ}_{it} + \beta_2 \text{ОТ}_{it} + \rho W \text{ОП}_{it} + v_{it}, \quad v_{it} = \lambda W u_{it} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it},$$

где  $W \text{ОП}_{it}$  — пространственно взвешенные значения зависимой переменной (переменная, умноженная на матрицу соседства);  $W u_{it}$  — матрица пространственной автокорреляции ошибки;  $\rho$  — авторегрессионный пространственный коэффициент;  $\lambda$  — вектор не зависящих от времени индивидуальных пространственно зависимых специфических эффектов.

При  $\lambda = 0$  рассматривается модель пространственного лага, при  $\rho = 0$  — модель пространственной ошибки. Индивидуальные эффекты по периодам  $\gamma_t$  и по объектам  $\mu_i$  могут быть как фиксированными, так и случайными (в зависимости от выбранной спецификации). В модели с фиксированными эффектами дамми-переменная вводится для каждой пространственной единицы и для каждого периода времени (кроме одной, чтобы избежать полной мультиколлинеарности). В модели случайных эффектов  $\mu_i$  и  $\gamma_t$  рассматриваются как случайные переменные, независимо и одинаково распределенные с нулевым средним и дисперсией  $\sigma_\mu^2$  и  $\sigma_\gamma^2$  соответственно. Предполагается, что  $\mu_i$ ,  $\gamma_t$  и  $\varepsilon_{it}$  не зависят друг от друга. Более детально спецификация случайных компонентов и особенности оценки ошибки для каждого случая представлены в работах (Mutl, Pfaffermayr, 2011; Millo, Piras, 2012).

Оценка возможностей построения таких моделей оценивалась с помощью тестов множителей Лагранжа (Baltagi et al., 2003; Baltagi et al., 2007) для всех случайных комбинаций эффектов и пространственной автокорреляции. Данные тесты позволяют проверить наличие пространственной корреляции в наблюдениях и идиосинкразических эффектов (индивидуальных региональных эффектов). Также был проведен модифицированный тест Хаусмана (Muhl, Pfaffermayr, 2011), в котором проверяется предположение о случайных эффектах в данных (Millo, Piras, 2012).

**5 этап.** Сравнение модели (этап 2), построенной на панельных данных без учета пространственной связи территорий, с моделью, построенной с учетом пространственной связи. По выбранным моделям проводится интерпретация результатов с позиции реализации воспроизводственного процесса. Критериями выбора подходящей спецификации модели являются значения критериев Акайке–Шварца ( $R^2$ ).

Расчеты проводились по данным для 83 субъектов РФ в период 2010–2019 гг., т.е. панельные переменные состояли из 83 кросс-секционных наблюдений и 10 периодов времени. Не учитывались сведения по Республике Крым и г. Севастополь в силу отсутствия сопоставимой статистики по ним в период до 2015 г.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ ПАНЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Для определения возможности применения инструментов панельного анализа к анализу производственных процессов были проведены тесты на наличие единичных корней в процессах, описываемых панельными данными. Отметим, что рассматриваемые данные имеют относительно небольшую длину ретроспективы (10 лет) и охватывают 83 объекта наблюдения. Тесты показали, что при анализе с исключенным детерминированным линейным трендом и индивидуальными эффектами гипотеза о наличии единичного корня не отклоняется (табл. 1). Иными

**Таблица 1.** Результаты тестирования гипотезы о наличии единичных корней в показателе объема отгруженной продукции

| Тест                   | Гипотеза                                                                   | Альтернативная гипотеза                                            | Индивидуальная константа (эффект)            | Индивидуальный перехват и временной тренд          |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Тест Има–Песарана–Шина | $H_0$ : наличие единичного корня в неоднородных панелях                    | $H_1$ : стационарность                                             | $W_{itbar} = 7,74$ ;<br>$p\text{-value} = 1$ | $W_{itbar} = -9,72$ ;<br>$p\text{-value} < 0,0001$ |
| Тест Хадри             | $H_0$ : стационарность либо на исходном ряде, либо вокруг линейного тренда | $H_1$ : наличие индивидуальных единичных корней в панельных данных | $z = 41,57$ ;<br>$p\text{-value} < 0,0001$   | $z = 8,97$ ;<br>$p\text{-value} < 0,0001$          |

**Таблица 2.** Результаты тестирования на оценку коинтеграции эндогенной ( $OP_{it}$ ) и экзогенных переменных

| Спецификация модели                                          |        | $OT_{it}$                              |                                     | $PT_{it}$                           |                                      |
|--------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
|                                                              |        | Исходные                               | Стандартизированные                 | Исходные                            | Стандартизированные                  |
| Обобщенная панельная модель                                  | $\nu$  | 1,224<br>$p\text{-value} = 0,111$      | -1,219<br>$p\text{-value} = 0,888$  | 0,585<br>$p\text{-value} = 0,279$   | 0,525<br>$p\text{-value} = 0,299$    |
|                                                              | $\rho$ | -1,126<br>$p\text{-value} = 0,130$     | -1,390<br>$p\text{-value} = 0,082$  | 0,102<br>$p\text{-value} = 0,541$   | -2,394<br>$p\text{-value} = 0,008$   |
|                                                              | ADF    | -4,699<br>$p\text{-value} < 0,0001$    | -5,143<br>$p\text{-value} < 0,0001$ | -4,159<br>$p\text{-value} < 0,0001$ | -5,245<br>$p\text{-value} < 0,0001$  |
| Индивидуальные константы (эффекты) в модели                  | $\nu$  | -0,992<br>$p\text{-value} = 0,839$     | 0,741<br>$p\text{-value} = 0,229$   | -0,162<br>$p\text{-value} = 0,564$  | -1,313<br>$p\text{-value} = 0,905$   |
|                                                              | $\rho$ | 1,922<br>$p\text{-value} = 0,973$      | -0,257<br>$p\text{-value} = 0,399$  | -0,389<br>$p\text{-value} = 0,229$  | -1,239<br>$p\text{-value} = 0,107$   |
|                                                              | ADF    | -2,750732<br>$p\text{-value} < 0,0001$ | -6,033<br>$p\text{-value} < 0,0001$ | -8,219<br>$p\text{-value} < 0,0001$ | -8,882<br>$p\text{-value} < 0,0001$  |
| Индивидуальная константа и наличие детерминированного тренда | $\nu$  | 8,557<br>$p\text{-value} < 0,0001$     | 3,382<br>$p\text{-value} = 0,0004$  | -1,499<br>$p\text{-value} = 0,933$  | -5,691<br>$p\text{-value} = 1,00$    |
|                                                              | $\rho$ | 2,762<br>$p\text{-value} = 0,997$      | 3,837<br>$p\text{-value} = 0,999$   | 3,044<br>$p\text{-value} = 0,998$   | 3,962<br>$p\text{-value} = 1,00$     |
|                                                              | ADF    | -4,314<br>$p\text{-value} < 0,0001$    | -7,435<br>$p\text{-value} < 0,0001$ | -8,129<br>$p\text{-value} < 0,0001$ | -13,776<br>$p\text{-value} < 0,0001$ |

Таблица 3. Результаты проведенных предварительных тестов для уточнения спецификации панельных моделей регрессии

| Тест                                                                                                                                          | Значение                                                                   | Альтернативная гипотеза                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Критерий Вулдриджа для ненаблюдаемых индивидуальных эффектов:<br>$H_0$ : нет ненаблюдаемых эффектов в остатках                                | $z = 4,864$ ;<br>$p\text{-value} < 0,0001$                                 | Присутствует ненаблюдаемый индивидуальный эффект в остатках                   |
| Локально устойчивые тесты Бера–Соса–Эскудеро–Юна                                                                                              | $\chi^2 = 26,878$ ,<br>$p\text{-value} < 0,0001$                           | Наличие случайных эффектов и авторегрессии первого порядка (AR(1)) в остатках |
| Односторонний тест Бера–Соса–Эскудеро–Юна                                                                                                     | $z = 42,459$ ,<br>$p\text{-value} < 0,0001$                                | Наличие авторегрессии первого порядка (AR(1)) в остатках и случайных эффектов |
| Совместный тест Балгати–Ли на случайные эффекты и последовательную корреляцию при нормальности и гомоскедастичности идиосинкразических ошибок | $\chi^2 = 2533,2$ ,<br>$p\text{-value} < 0,0001$                           | Наличие последовательной корреляции и/или случайных эффектов                  |
| Балгати–Ли–двусторонний тест ЛМ                                                                                                               | $\chi^2 = 540,61$ ,<br>$p\text{-value} < 0,0001$                           | AR(1)/MA(1) ошибки в модели со случайными эффектами                           |
| Тест Вулдриджа на последовательную корреляцию в моделях с фиксированными эффектами                                                            | $F = 1414,8$ ,<br>$df_1 = 1$ , $df_2 = 745$ ,<br>$p\text{-value} < 0,0001$ | Последовательная корреляция                                                   |
| Тест Песарана на кросс-секционную зависимость                                                                                                 | $z = 37,403$ ,<br>$p\text{-value} < 0,0001$                                | Кросс-секционная зависимость                                                  |

Таблица 4. Результаты теста Хаусмана

| Параметр          | Модель                                                    | Модель с фиксированными эффектами               |                                                  |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                   |                                                           | <i>within</i>                                   | <i>between</i>                                   |
| <i>individual</i> | Модель со случайным эффектом                              | $\chi^2 = 0,765$ ,<br>$p\text{-value} = 0,682$  | $\chi^2 = 0,805$ ,<br>$p\text{-value} = 0,669$   |
|                   | Модель с фиксированными эффектами, оператор <i>within</i> | —                                               | $\chi^2 = 0,805$ ,<br>$p\text{-value} = 0,669$   |
| <i>time</i>       | Модель со случайными эффектами                            | $\chi^2 = 8,589$ ,<br>$p\text{-value} = 0,014$  | $\chi^2 = 56,097$ ,<br>$p\text{-value} < 0,0001$ |
|                   | Модель с фиксированными эффектами, оператор <i>within</i> | —                                               | $\chi^2 = 13,916$ ,<br>$p\text{-value} = 0,001$  |
| <i>time</i>       | Модель со случайным эффектом                              | $\chi^2 = 28,85$ ,<br>$p\text{-value} < 0,0001$ | —                                                |

словами, данные тесты позволили выдвинуть гипотезу о наличии фиксированных эффектов в спецификации модели.

При включении в тестируемое уравнение детерминированного тренда критерии показывают, что нулевые гипотезы о существовании общего единичного корня для всей панельной переменной и индивидуальных единичных корней для каждого из временных рядов, объединенных в панель, можно отвергнуть.

Для проверки панельной коинтеграции проводился тест Педрони (Pedroni, 1999), в котором нулевая гипотеза об отсутствии панельной коинтеграции проверяется одновременно с гипотезой о наличии обобщенных коэффициентов авторегрессии (*within*-оценка) и с гипотезой о наличии обобщенных коэффициентов авторегрессии (*between*-оценка). В обоих случаях рассчитываются статистика Вальда ( $v$ ),  $\rho$ -статистика и статистика расширенного теста Дики–Фуллера (ADF) для проверки нулевой гипотезы (табл. 2). Результаты тестирования позволили сделать выводы о наличии коинтеграции рассматриваемых в исследовании панельных переменных и предположить возможность дальнейшего анализа долгосрочных взаимосвязей.

Далее были проведены тесты на наличие ненаблюдаемых эффектов и на остаточную последовательную корреляцию (табл. 3). Результаты последовательно проведенных тестов позволили опровергнуть гипотезу о верной сквозной (обобщенной) модели: F-тест для оператора *within*:  $F = 47,469$ ;  $p\text{-value} < 0,0001$ ; тест Бройши–Пегана на основе LM-статистики теста множителей Лагранжа  $\chi^2 = 2506,3$ ;  $p\text{-value} < 0,0001$ .

Тест Хаусмана показал, что наиболее подходящей спецификацией модели является панельная модель регрессии с включением фиксированных эффектов (табл. 4). В табл. 5 представлены результаты оценивания моделей методом наименьших квадратов.

Таблица 5. Результаты построения панельных моделей

| Показатель                          | Модель панельных данных (сквозная регрессия, модель пула) | Модель со случайным эффектом |                   |                   | Модель с фиксированными эффектами |                    |                 |                   |                  |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|------------------|
|                                     |                                                           | <i>individual</i>            | <i>time</i>       | <i>twoways</i>    | <i>individual</i>                 |                    | <i>time</i>     |                   | <i>twoways</i>   |
|                                     |                                                           |                              |                   |                   | <i>within</i>                     | <i>between</i>     | <i>within</i>   | <i>between</i>    | <i>within</i>    |
| Константа                           | −1,21 (13,37)                                             | −25,74***<br>(14,69)         | −1,21<br>(−13,37) | −7,61<br>(−17,07) |                                   | 17,65<br>(50,65)   |                 | −17,26<br>(18,26) |                  |
| Объем розничной торговли, $\beta_1$ | 1,02* (0,10)                                              | 1,2*<br>(0,07)               | 1,02*<br>(−0,1)   | 1,10*<br>(−0,09)  | 1,21*<br>(0,069)                  | 0,88**<br>(0,387)  | 0,86*<br>(0,12) | 0,74**<br>(0,29)  | 0,43**<br>(0,16) |
| Объем оптовой торговли, $\beta_2$   | 0,16* (0,03)                                              | 0,14*<br>(0,03)              | 0,16*<br>(−0,03)  | 0,13*<br>(−0,03)  | 0,14*<br>(0,029)                  | 0,18***<br>(0,095) | 0,17*<br>(0,03) | 0,52**<br>(0,18)  | 0,12*<br>(0,03)  |
| R <sup>2</sup>                      | 0,31                                                      | 0,49                         | 0,31              | 0,29              | 0,5                               | 0,25               | 0,23            | 0,98              | 0,05             |
| Скорректированный R <sup>2</sup>    | 0,30                                                      | 0,48                         | 0,3               | 0,29              | 0,45                              | 0,23               | 0,21            | 0,97              | −0,07            |

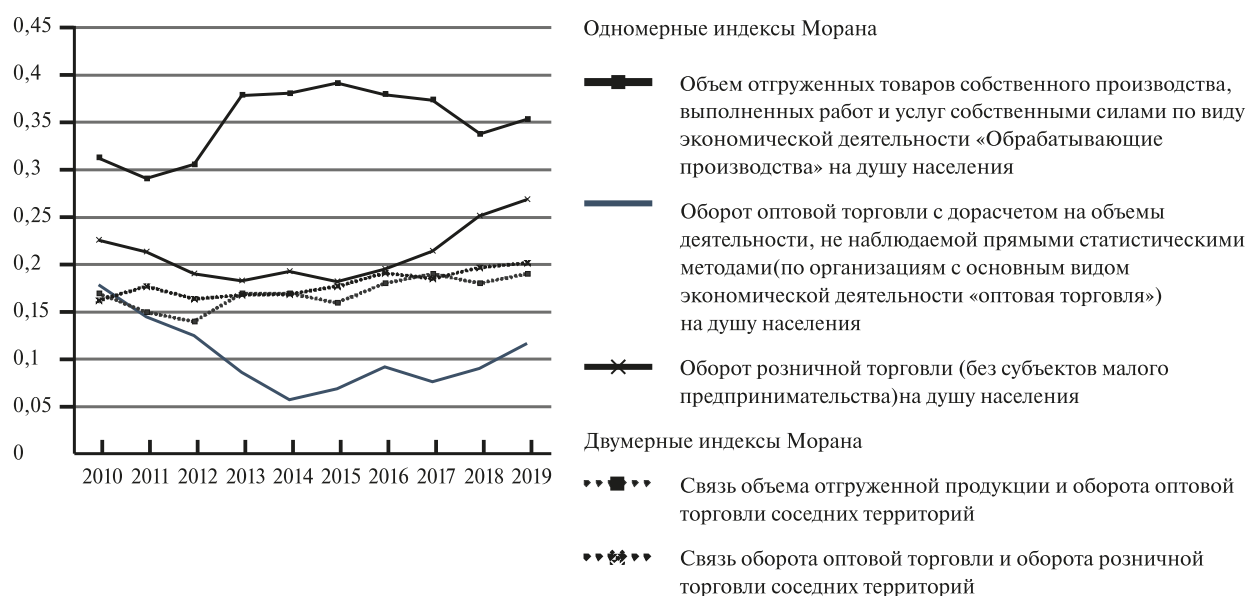
**Примечание:** В скобках указана стандартная ошибка оценок коэффициентов.

\*  $p\text{-value} < 0,001$ ; \*\*  $p\text{-value} < 0,01$ ; \*\*\*  $p\text{-value} < 0,05$ .

Для оценки качества панельных регрессионных моделей были проведены тесты, согласно которым эффективные оценки получены только по модели с фиксированными индивидуальными эффектами (оператор *between*): тест Бреуша–Годфри —  $\chi^2 = 0,221$ ;  $p\text{-value} = 0,895$ ; тест Дарбина–Уотсона —  $DW = 1,889$ ;  $p\text{-value} = 0,291$ . Однако данная модель не лишена недостатка, так как проверка остатков модели указала на их пространственную зависимость.

### 3. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АСПЕКТ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Воспроизводственные процессы не являются локально ограниченными. Несовпадение мест производства и потребления требует учета в исследованиях каналов связи между ними. Согласно построенным моделям оптовая торговля, определяющая эту связь, положительно влияет на реализацию первой фазы воспроизводства. Однако оптовая торговля предполагает не просто реализацию определенных объемов товаров, а межрегиональное взаимодействие в целях продвижения к потребителю созданных в рамках фазы производства товаров с одной территории на другую. Для обоснования пространственных связей между фазами воспроизводства был проведен расчет одномерных и двумерных индексов Морана для всех рассматриваемых переменных (см. рисунок)



**Рисунок.** Значение глобального индекса Морана

Таблица 6. Тесты на наличие пространственных эффектов

| Тест                                           | Гипотеза                                                                                                                                                                          | Значение                                                                                                          |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Тест Балтаги–Сонга–Коха                        | $H_0: \lambda = 0; \rho = 0$                                                                                                                                                      | $LM-H = 2591,5; p-value < 0,0001$                                                                                 |
| Тест Балтаги–Сонга–Коха на маржинальный эффект | $H_0: \lambda = 0$ при предположении, что $\rho = 0$                                                                                                                              | $LM1 = 50,06; p-value < 0,0001$                                                                                   |
|                                                | $H_0: \rho = 0$ при условии отсутствия случайных эффектов ( $\lambda = 0$ )                                                                                                       | $LM2 = 9,231; p-value < 0,0001$                                                                                   |
| Условный тест Балтаги–Сонга–Коха               | $H_0: \lambda = 0$ при условии возможного существования пространственной автокорреляции                                                                                           | $LM^* - \lambda = 7,68; p-value < 0,0001$                                                                         |
|                                                | $H_0: \rho = 0$ при условии возможного существования случайных эффектов                                                                                                           | $LM^* - \mu = 49,77; p-value < 0,0001$                                                                            |
| Модифицированный тест Хаусмана                 | $H_0: \text{corr}(\gamma_i, x_{it}) = 0$<br>для пространственных моделей:<br>— с пространственным лагом;<br>— с пространственной ошибкой;<br>— с пространственным лагом и ошибкой | $\chi^2 = 16,703; p-value = 0,0002$<br>$\chi^2 = 0,81775; p-value = 0,664$<br>$\chi^2 = 42,996; p-value < 0,0001$ |

Таблица 7. Результаты построения пространственных панельных моделей с фиксированными эффектами

| Коэффициент                                            | Спецификация модели |                  |                 |
|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|
|                                                        | <i>individual</i>   | <i>time</i>      | <i>twoways</i>  |
| Объем розничной торговли, $\beta_1$                    | 0,496** (0,086)     | 0,448** (0,091)  | 0,285* (0,133)  |
| Объем оптовой торговли, $\beta_2$                      | 0,138** (0,024)     | 0,187** (0,023)  | 0,116** (0,025) |
| Пространственный авторегрессионный коэффициент, $\rho$ | 0,103** (0,009)     | 0,145** (0,005)  | 0,105** (0,016) |
| Коэффициент пространственной ошибки, $\lambda$         | −0,065** (0,017)    | −0,154** (0,015) | −0,057* (0,027) |
| Коэффициент детерминации $R^2$                         | 0,9                 | 0,37             | 0,91            |
| Критерий Айкаике                                       | 8667,2              | 10226,9          | 8652,9          |
| Критерий Шварца                                        | 8690,8              | 10250,5          | 8676,5          |

\*\*  $p-value < 0,001$ ; \*  $p-value < 0,01$ .

**Примечание.** В скобках указана стандартная ошибка оценок коэффициентов.

Анализ данных за 2010–2019 гг. показал, что сильнее всего пространственная автокорреляция проявляется в объеме отгруженных товаров. Отмеченные пространственные связи указывают на возможность включения пространственного аспекта в выстраиваемые модели воспроизводства. Для определения возможности построения пространственных моделей на панельных данных были проведены тесты Балтаги–Сонга–Коха и Хаусмана (табл. 6).

Тесты Балтаги–Сонга–Коха показали необходимость включения в модель как пространственного лага, так и пространственной ошибки. Модифицированный тест Хаусмана (Muhl, Pfaffermayr, 2011) подтвердил гипотезу о необходимости введения фиксированных эффектов в спецификацию модели пространственного лага и пространственного лага ошибки. Учитывая результаты тестов, была выбрана спецификация модели SAC, включающая пространственные лаг и ошибку с фиксированными эффектами (табл. 7). Для оценки коэффициентов такой модели был выбран метод максимального правдоподобия.

Среди оцененных моделей наименьшее значение критериев Айкаике и Шварца и наибольшее значение  $R^2$  наблюдается у двухфакторной (двунаправленной) модели, включающей как временные, так и индивидуальные эффекты. Значения коэффициентов указывают на положительную связь между объемом отгруженной продукции и оборотом розничной торговли. Оптовая торговля, одной из функций которой является продвижение товаров как на внутренние, так и внешние рынки, согласно проведенным расчетам пока слабо, но также положительно связана с производством. Поэтому субъекты РФ должны активно ее развивать, стремясь сместить потоки на свою территорию, что способствует не только росту производства, но и увеличению валового регионального продукта, в объеме которого учитывается добавленная стоимость торговли. Прямая связь объема отгруженной продукции с объемами отгружаемой продукции в соседних территориях, определяемая положительным значением пространственного авторегрессионного коэффициента, косвенно указывает на взаимодействия между ними в рамках технологических

цепочек, а также на активное использование продуктов и товаров, произведенных на соседних территориях, что может положительно оцениваться с точки зрения интеграционных процессов и связанности пространства. Обратная зависимость с пространственной ошибкой указывает на то, что между соседними территориями наблюдаются также и обратные связи, которые в последующем целесообразно раскрыть.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное нами исследование показало, что изучать воспроизводственные процессы можно с применением методов пространственного панельного анализа. Построение таких моделей позволяет получать надежные и содержательные оценки, изучать истинные причинно-следственные связи между различными переменными, что представляется невозможным в рамках анализа данных только в динамике или только в пространстве отдельно.

В отличие от ранее полученных моделей, оценивающих связь производства и потребления в рамках воспроизводственной цепи, предложенные нами модели позволяют захватить как пространственный эффект, так и эффект времени, а также учесть результативность фазы распределения и обмена. В ранее разрабатываемых простых кросс-секционных моделях роль оптовой торговли не учитывалась в силу ее значительной концентрации в нескольких субъектах РФ при слабом развитии на остальной территории.

Расчеты показали, что пространственная модель регрессии по панельным данным адекватно описывает воспроизводственные процессы. Изменение объема отгруженной продукции на 91% (по  $R^2$ ) определяется факторами времени и пространства наряду с оборотами торговли. Таким образом, потребление, отражаемое в обороте розничной торговли, и обмен, характеризующий оптовую торговлю, положительно влияют на рост объема отгруженной продукции. Пространственный эффект проявляется в росте объема отгруженной продукции при его увеличении на соседних территориях.

Полученные нами результаты позволяют анализировать связь фаз воспроизводства, однако имеется ряд недостатков, определяемых данными. Во-первых, объем отгруженных товаров включает как производство потребительских, так и промежуточных товаров. Во-вторых, в моделях учитывается матрица простого соседства первого порядка. В случае применения матрицы обратных расстояний оценки могут быть количественно уточнены. Дальнейшее развитие исследований в данном направлении может предполагать включение пространственно взвешенных данных об обороте оптовой и розничной торговли, позволяющих учесть развитие фаз воспроизводства на соседних территориях.

Выводы, полученные нами в ходе данного исследования, в том числе касаются влияния оптовой торговли на объем производства. Они могут быть использованы органами государственного управления при планировании территориального развития, а также предприятиями при составлении собственной стратегии развития.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Ахунов Р.Р., Юсупов К.Н., Янгиров А.В.** (2011). Управление воспроизводственным потенциалом региона. Уфа: РИЦ БашГУ. [**Akhunov R.R., Yusupov K.N., Yangirov A.V.** (2011). *The reproductive potential of the region governance*. Ufa: BashSU (in Russian).]
- Васильчук Е.С.** (2018). Оценка состояния и прогнозирование развития розничной торговли в регионе. Актуальные проблемы и перспективы развития государственной статистики в современных условиях. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. С. 69–71. [**Vasilchuk E.S.** (2018). Assessing the state and forecasting the development of retail trade in the region. In: *Actual problems and prospects for the development of state statistics in modern conditions*. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference, 69–71 (in Russian).]
- Зимин А.Ф., Тимирьянова В.М.** (2016). Пространственный аспект развития рынка потребительских товаров: монография. Уфа: Уфимский институт (филиал) РЭУ им. Г.В. Плеханова. [**Zimin A.F., Timiryanova V.M.** (2016). *The spatial aspect of the development of the consumer goods market: monograph*. Ufa: Ufa Institute (branch) REU named after G.V. Plekhanov (in Russian).]
- Килин П.М.** (2013). Конструктивная политэкономия. Тюмень: ТюмГНГУ. [**Kilin P.M.** (2013). *Constructive political economy*. Tyumen: TSOGU (in Russian).]

- Никоноров В.М.** (2018). Комплекс моделей торговли РФ как сложной экономической системы // *Наука и бизнес: пути развития*. № 2 (80). С. 50–55. [**Nikonorov V.M.** (2018). A set of trade models in the Russian Federation as a complex economic system. *Science and Business: Ways of Development*, 2 (80), 50–55 (in Russian).]
- Новоселов А.С.** (2006). Регион как исходное понятие теории регионального воспроизводства // *Регион: экономика и социология*. № 3. С. 3–14. [**Novoselov A.S.** (2006). Region as the initial concept of the theory of regional reproduction. *Region: Economics and Sociology*, 3, 3–14 (in Russian).]
- Полякова А.Г., Симарова И.С.** (2014). Региональное экономическое пространство и территориальное развитие: оценка действия сил связанности // *Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление*. № 2. С. 48–60. [**Polyakova A.G., Simarova I.S.** (2014). Region economical space and territory development: The evaluation of cohesion forces. *Journal of Applied Economic Research*, 2, 48–60 (in Russian).]
- Пришляк Е.А.** (2005). Воспроизводство продовольственных товаров и его влияние на уровень жизни населения: автореферат дис. ... кандидата экономических наук: 08.00.01. Марийск: гос. техн. ун-т. Йошкар-Ола. 24 с. [**Prishlyak E.A.** (2005). *The reproduction of food products and its impact on the standard of living of the population: Abstract*. Marijs. state tech. un-t Yoshkar-Ola (in Russian).]
- Шнипер Р.И., Воевода И.Н., Гузнер С.С.** (1986). Региональная программа и принципы ее разработки: Вопросы межотраслевого взаимодействия. Новосибирск: Наука. [**Shniper R.I., Voevoda I.N., Guzner S.S.** (1986). *Regional program and principles of its development: Issues of intersectoral interaction*. Novosibirsk: Nauka (in Russian).]
- Anselin L., Syabri I., Smirnov O.** (2002). Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked Windows. *Computing Science and Statistics*, 33p. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Visualizing-Multivariate-Spatial-Correlation-with-Mirnov/4e34bd70317377971ba8df7259288b972ad6a239>
- Baltagi B.H., Song S.H., Jung B.C., Koh W.** (2007). Testing for serial correlation, spatial autocorrelation and random effects using panel data. *Journal of Econometrics*, 140 (1), 5–51.
- Baltagi B.H., Song S.H., Koh W.** (2003). Testing panel data regression models with spatial error correlation. *Journal of Econometrics*, 117, 123–150.
- Baltagi B., Li Q.** (1995). Testing AR(1) against MA(1) disturbances in an error component model. *Journal of Econometrics*, 68, 133–51.
- Demidova O.** (2015). Spatial effects for the eastern and western regions of Russia: A comparative analysis. *International Journal of Economic Policy in Emerging Economies*, 8 (2), 153–168.
- Hadri K.** (2000). Testing for stationarity in heterogeneous panel data. *The Econometrics Journal*, 3 (2), 148–161. DOI: 10.1111/1368-423x.00043
- Hall A.** (1994). Testing for a unit root in time series with pretest data-based model selection. *Journal of Business & Economic Statistics*, 12(4), 461–470.
- Im K.S., Pesaran M.H., Shin Y.** (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115 (1), 53–74. DOI: 10.1016/s0304-4076(03)00092-7
- Leontief W., Strout A.** (1963). Multiregional input-output analysis. *Structural Interdependence and Economic Development*. T. Barna (ed.), 119–150.
- Millo G., Piras G.** (2012). splm: Spatial Panel Data Models in R. *Journal of Statistical Software*. Vol. 47(i01). DOI: <http://hdl.handle.net/10.18637/jss.v047.i01> <https://www.jstatsoft.org/issue/view/v047>
- Mutl J., Pfaffermayr M.** (2011). The Hausman test in a Cliff and Ord panel model. *Econometrics Journal*, 14, 48–76.
- Pedroni P.** (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 653–670.
- Sonis M., Hewings G.J. D., Gazel R.** (1995). The structure of multi-regional trade flows: Hierarchy, feedbacks and spatial linkages. *The Annals of Regional Science*, 29 (4), 409–430.
- Wooldridge J.M.** (2002). *Econometric analysis of cross-section and panel data*. Cambridge: MIT Press.
- Zemtsov S.P., Tsareva Yu.V.** (2018). Entrepreneurial activity in the Russian regions: How spatial and temporal effects determine the development of small business. *Journal of the New Economic Association*, 1 (37), 118–134.

**Spatial model of reproduction on panel data**

© 2021 I.A. Lakman, V.M. Timiryanova

**I.A. Lakman,***Bashkir State University, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia; e-mail: lackmania@mail.ru***V.M. Timiryanova,***Bashkir State University, Ufa, Russia; e-mail: 79174073127@mail.ru*

Received 25.09.2020

*This work is supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project FZWU-2020-0027).*

**Abstract.** The reproduction process characterizes the movement of commodity and financial flows in the economy, influencing its development. This determines the interest of scientists, government bodies and entrepreneurial structures in its studying. In this article, reproduction is considered as a process that changes over time, on the one hand, and has a spatial dependence, due to the mismatch of places of production and consumption, on the other hand. The methods of spatial-panel analysis made it possible to take into account simultaneously the spatial and dynamic changes in the phases of production, exchange and consumption within the reproductive process. In the work, specialized statistical tests were consistently carried out, which substantiate the possibility of constructing panel and spatial models and make it possible to determine their specification. Further, the spatial autocorrelation of the data is estimated, econometric models are built with and without the imposition of a spatial matrix, and the obtained models are compared. The calculations were carried out on the basis of data from 83 constituent entities of the Russian Federation for the period 2010–2019. The constructed models made it possible to identify individual effects of territories, effects by periods, and also to assess the influence of the mutual location of territories relative to each other on changes in production. The results obtained indicate a bi-(contr)direction influence of regional reproduction systems on each other. On the one hand, the positive value of the spatial autoregressive coefficient indicates a positive relation between regional production within the national reproductive system, on the other hand — the negative value of the spatial error coefficient indicates that there are also feedbacks between the neighboring territories. The results obtained significantly expand the possibilities of forecasting and managing changes in the reproduction process in the regions and in the country as a whole.

**Keywords:** panel data, fixed effects model, random effects model, spatial panel, reproduction, spatial autocorrelation.

**JEL Classification:** C23, D51.

**DOI:** 10.31857/S042473880011338-0