

# ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

УДК 332.012.2+332.1

Л.А. Серков<sup>1</sup>*Институт экономики Уральского отделения РАН,  
г. Екатеринбург, Россия*

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНЫХ ШОКОВ НА ЭНДОГЕННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ КОМПАКТНОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ<sup>2</sup>

**Аннотация.** Разработка региональных динамических моделей представляет научный и практический интерес для поиска путей эффективного использования ресурсного потенциала регионов. Целью данной публикации является формализации процессов регионального развития на основе компактной субъектной динамической стохастической модели и объяснение влияния структурных внешних и внутренних шоков в рамках данной модели на региональные показатели. Параметры модели оцениваются байесовским методом на статистических данных экономики Свердловской области. При разработке модели и анализе влияния внешних и внутренних шоков на региональные показатели использовались экономико-математические методы и методы компьютерного моделирования. В модели рассматривается пять видов агентов – домашние хозяйства, фирмы, производящие промежуточный и конечный продукт, региональное и федеральное правительство и Центробанк. В качестве фактора, влияющего на объем выпуска вводится социальный капитал региона, зависящий от социальных расходов (включая расходы на здравоохранение) и расходов на образование и науку в регионе. Посредством функций импульсного отклика получены результаты по влиянию одномоментных положительных внешних и внутренних временных шоков на некоторые региональные переменные исследуемой модели (совокупное потребление, инвестиции, объем выпуска, реальная заработная плата, уровень инфляции и т. д.). Доказано, что фискальная региональная политика более эффективна при зависимости региональных расходов от долговых обязательств. При допущении несовершенной мобильности труда роль шоков эффективных налоговых ставок на волатильность эндогенных региональных переменных снижается. Полученные результаты могут использоваться при разработке эффективной противочиклической региональной политики. Сделан вывод о том, что при разработке эффективной противочиклической региональной политики следует принимать во внимание полученные в данной статье результаты по влиянию внешних и внутренних шоков на региональные показатели.

**Ключевые слова:** регион; динамические стохастические модели; шоки спроса и предложения; социальный капитал; функции импульсного отклика.

### Актуальность темы исследования

Актуальность предлагаемого исследования определяется необходимостью разработки политики эффективного использования производственного, ресурсного, инновационного и иного потенциала в целях устойчивого развития региона, что, в свою очередь, предопределяет создание методического инструментария

формирования стратегии регионального развития. Это становится тем более актуальным в связи с утверждением концепции пространственного развития регионов. Важнейшим подобным инструментарием, позволяющим формализовать региональные процессы, являются динамические модели субъекта Федерации, в рамках которых можно исследовать

закономерности и каналы взаимодействия субъекта с остальными субъектами и с центром.

Среди динамических моделей выделяется особый класс – динамические стохастические модели общего равновесия (DSGE-модели) [14, 15]. Данный тип моделей стал результатом нового неоклассического синтеза и комбинирует лучшие идеи двух современных школ экономической мысли: неоклассиков и неокейнсианцев. Однако помимо теоретической ценности данные модели приносят большую пользу и в практических целях, подтверждением чего является повсеместное использование данного инструментария центральными банками многих стран мира: Канады [16], Великобритании [11], США [10] и др. DSGE-модели предлагают формальный экономико-математический аппарат как для анализа источников флуктуации экономики (шоков), так и для анализа макроэкономической политики. Теоретической основой рассматриваемого вида анализа являются микроэкономические обоснования, в рамках которых динамика экономической системы представляет собой результат некоторой оптимизационной деятельности экономических агентов.

С помощью DSGE-моделей можно анализировать закономерности и каналы взаимодействия региональной фискальной и государственной бюджетной и монетарной политики. Также посредством этих моделей можно прогнозировать процессы регионального развития и устойчивости региональной политики,

а также разрабатывать рекомендации по проведению антициклической региональной политики.

Таким образом, исходя из вышеописанного, формализация процессов регионального развития на основе динамических стохастических моделей является актуальной, а полученные при формализации результаты моделирования оригинальными. Так как одной из недостаточно изученных проблем регионального развития является объяснение причинно-следственных связей между внутрирегиональными макроэкономическими переменными (показателями) и между макроэкономическими переменными региона и центра, то цель предлагаемой публикации заключается в исследовании влияния внешних (со стороны центра и других регионов) и внутренних шоков спроса и предложения на поведение экономических агентов. Решение данной задачи осуществляется на основе компактной региональной субъектной DSGE-модели, параметры которой оцениваются байесовским методом на статистических данных экономики Свердловской области.

#### **Анализ современного состояния исследований в данной области**

Большинство моделей региональной экономики в настоящее время являются эконометрическими или балансовыми [2]. Слабая сторона эконометрических моделей состоит в том, что они констатируют существование связи переменных, но не способны ее объяснить. Слабая сторона балансовых моделей заключается в неспособности этих моделей выразить отношения между экономическими агентами, поэтому балансовые модели часто неспособны уловить фактические проблемы, с которыми сталкивается экономическое развитие. Особый

<sup>1</sup> Серков Леонид Александрович – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Института экономики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия (620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29); e-mail: dsge2012@mail.ru.

<sup>2</sup> Статья подготовлена в соответствии с государственным заданием ФАНО России для ФГБУН Института экономики УрО РАН на 2018 г.

класс моделей экономики (в том числе региональной) образуют модели общего экономического равновесия, описывающие экономику как результат взаимодействия агентов различных типов [21]. Модели общего равновесия сложны, поскольку представляют собой целую связку нелинейных задач оптимизации поведения агентов. Среди моделей общего равновесия следует выделить особый класс моделей – вычислимые модели общего равновесия (CGE-модели). Сильной стороной этих моделей является достаточная степень детализации описания экономики. Для России CGE модель региональной экономики была недавно разработана в ЦЭМИРАН под руководством академика В.Л. Макарова [4]. Слабой стороной этой модели (и вообще всех CGE-моделей) является схематичное описание системы экономических отношений между агентами. Эти отношения описываются как совершенно конкурентные отношения собственника – потребителя и фирмы – производителя на фоне государственного регулирования. Следует отметить, что все вышеперечисленные модели не учитывают ожидания экономических агентов. Кроме того, параметры этих моделей не имеют микроэкономического обоснования и не учитывают предпочтения индивидуальных агентов. Всех перечисленных выше недостатков лишены динамические стохастические модели общего равновесия, составляющие в настоящее время теоретический фундамент современной экономики. DSGE-модели описывают национальные экономики многих стран. Анализу макроэкономической политики зарубежных стран посвящены, например, работы [17, 20, 24]. Анализ макроэкономической политики России рассматривался в публикациях [5, 6]. Вместе с тем практически отсутствуют работы по описанию

региональных экономик с помощью этих моделей. Из всех имеющихся исследований региональных экономик следует отметить публикацию [9] по влиянию фискальной политики на региональную инфляцию, но эта работа является чисто теоретической и не имеет прикладного значения. Также можно отметить публикацию [13], в которой исследуется фискальная политика в двухрегиональной модели. Но модель, представленная в данной статье, не учитывает взаимодействие регионов.

Недостаточный интерес к региональным моделям вызван тем, что в докризисный период (2008) разработчиков и исследователей DSGE-моделей интересовал в основном анализ монетарной политики, так как многие экономисты считали, что фискальная политика непригодна в качестве контрциклического инструмента. Непреходящий интерес к анализу фискальной политики возник в посткризисный период. С другой стороны, модели региональных экономик в силу отсутствия замкнутости финансовых и материальных потоков являются более сложными по сравнению с моделями национальных экономик. Кроме того, в моделях региональных экономик следует учитывать наличие коррелированности региональных шоков с шоками со стороны национальной экономики.

Таким образом, вышеприведенный анализ свидетельствует о практически полном отсутствии применения DSGE-моделей к изучению региональных экономик, что еще раз подтверждает актуальность темы исследования.

### **Методология исследования и описание модели**

В предлагаемой компактной региональной модели рассматривается пять видов агентов – домашние хозяйства, фирмы, производящие промежуточный

и конечный продукт, региональное и федеральное правительство и Центробанк. В качестве региона может выступать область или федеральный округ.

При исследовании применяется подход общего равновесия. Такой подход предполагает, что все экономические агенты оптимизируют свою целевую функцию в рамках определенных ограничений. Домохозяйства максимизируют ожидаемый поток полезности путем соответствующего выбора жизненных траекторий потребления и часов досуга, исходя из своего ожидаемого дохода в течение жизненного цикла. Фирмы максимизируют дисконтированный ожидаемый поток прибыли, выбирая в каждом периоде объем производства и количество задействованных в нем факторов при заданном техноло-

гическом ограничении. Фирмы в экономике производят дифференцированный продукт, то есть различные бренды одного и того же товара. Дифференцированность брендов служит источником некоторой монополярной силы производителя. Цены в экономике фиксируются на некоторый период, согласно определенным моделям. При этом принимается во внимание дифференцированность общего уровня цен и инфляций в регионах. Так как все регионы отличаются не только уровнем экономического, но и социального развития, то в разрабатываемой модели учитывается социальный капитал региона.

Особенность модели заключается в том, что каждое ее уравнение является не просто эмпирической закономерностью, а структурным поведенческим правилом,

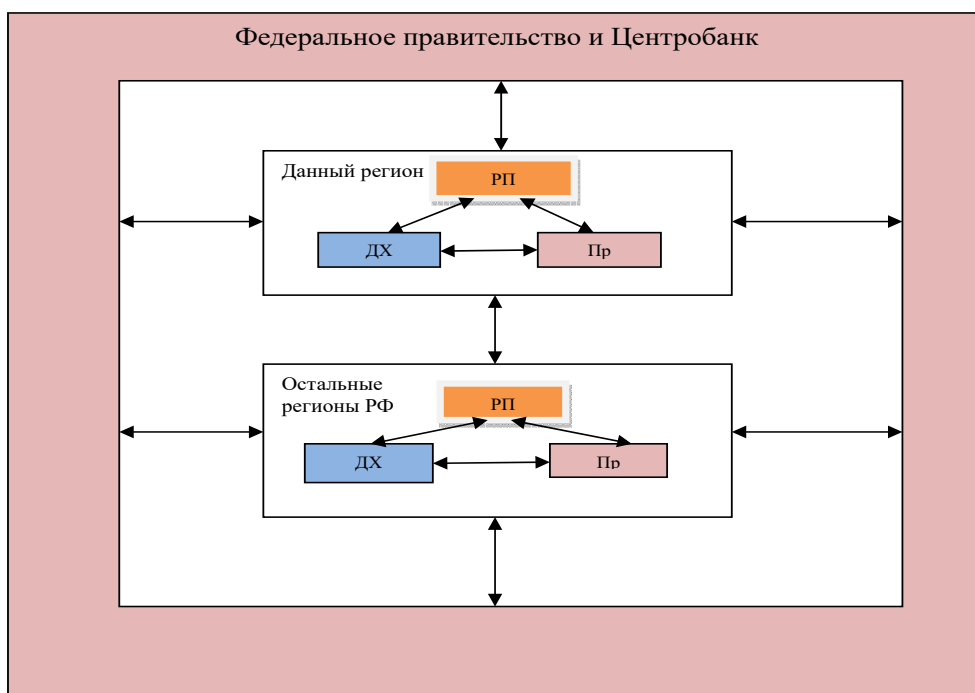


Рис. 1. Блок-схема DSGE-модели региона. ДХ – домашние хозяйства (включая собственников фирм), Пр – производители (фирмы, производящие промежуточный и конечный продукт), РП – региональное правительство

получаемым из микроэкономических обоснований. Причинно-следственные связи между внутрорегиональными макроэкономическими переменными (показателями) и между аналогичными переменными региона и центра изучались помощью функций импульсного отклика полученной модели. Моделирование устойчивой региональной бюджетной политики осуществлялось на основе байесовского метода сравнения моделей с различными правилами проведения бюджетной политики. Влияние временных шоков на вариацию региональных макропеременных исследовалось с помощью декомпозиции дисперсий моделируемых шоков.

Исследуемая модель оценивалась по статистическим данным Свердловской области, поэтому она и выступает в качестве региона. Так как размер экономики Свердловской области составляет малую часть экономики остальных регионов РФ (ВВП Свердловской области составляет примерно 2,4 % от ВВП РФ), то ее размеры можно пренебречь и рассматривать исследуемую региональную модель как модель малой экономики. Термин «малая» означает, что изменения в экономике региона не оказывают влияние на национальную экономику. Если в качестве региона рассматривается федеральный округ, то это приближение несправедливо. Рассматриваемый (в дальнейшем – домашний) регион взаимодействует с оставшимися регионами РФ, с центральным правительством и Центробанком. Так как в публикации исследуется влияние внешних (со стороны центра и других регионов) и внутренних шоков спроса и предложения на поведение экономических агентов, то взаимодействием регионов с остальным миром пренебрегаем.

Исследуемая модель является неокейнсианской DSGE-моделью с

рациональными ожиданиями экономических агентов [20] без наличных денег, с жесткими ценами и гибкой заработной платой. Гибкость заработной платы означает совершенную мобильность труда между фирмами. Кроме того, анализируется спецификация модели с жесткой заработной платой. Схематичное изображение модели показано на рис. 1. Предлагаемая модель построена в соответствии с общими принципами разработки DSGE-моделей<sup>3</sup> [8, 9, 11].

Домашние хозяйства. В описываемой модели существует континуальное множество бесконечно живущих репрезентативных домохозяйств единичной массы (агенту присваивается индекс  $j \in [0, 1]$ , в дальнейшем этот индекс для домохозяйств будем опускать ввиду их репрезентативности), потребляющих конечные товары. Предполагается наличие двух типов домохозяйств: домохозяйства, имеющие доступ к финансовым рынкам, и домохозяйства, не участвующие в деятельности финансовых рынков. Первые домохозяйства, являющиеся держателями активов и собственниками фирм, сглаживают свое потребление во времени и их доля составляет  $1 - \lambda$ . Второй тип домохозяйств – это агенты без активов и обязательств. Этот тип агентов потребляет весь свой текущий доход, не оптимизирует потребление и их доля составляет  $\lambda$ .

Домохозяйства, имеющие доступ к финансовым рынкам, в каждом периоде времени  $t$  решают задачу максимизации ожидаемой дисконтированной суммы значений функции полезности и

<sup>3</sup> Ввиду определенного формата публикации в статье приведены лишь основные уравнения модели без подробных выкладок по их получению. Полную систему уравнений модели с подробными разъяснениями автор готов предоставить по первой просьбе.

функции, затраченного на труд времени репрезентативного домохозяйства

$$\max E_0 \left\{ \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t [U(C_t^R) - V(Z_t^N, N_t^R)] \right\}, \quad (1)$$

где  $E_0$  – оператор рациональных ожиданий потребителей<sup>4</sup>,  $\beta$  – коэффициент дисконтирования  $0 < \beta < 1$ ,  $N_t^R$  – количество отработанных часов,  $Z_t^N$  – серийно коррелированный шок предложения труда,  $C_t^R$  – объем потребления некоторого композитного продукта (продукта, производимого в домашнем регионе и импортируемого из остальных регионов РФ) домохозяйствами, имеющим доступ к финансовым рынкам. Все переменные модели являются переменными на душу населения.

Домохозяйства, имеющие доступ к финансовым рынкам, максимизируют свое благосостояние при следующем динамическом бюджетном ограничении

$$\begin{aligned} (1 + \tau_{c,t})C_t^R + I_t^R + \frac{B_t}{(1+r_t)P_t} + \frac{B_t^c}{(1+r_t^c)P_t\Phi(A_t)} = \\ = \frac{B_{t-1}}{P_t} + \frac{B_{t-1}^c}{P_t} + \frac{(1-\tau_{h,t})W_t}{P_t} N_t^R + \\ + (1-\tau_{p,t})r_t^k K_t^R + (1-\tau_{p,t})X_t + Tr_t + Tr_t^c, \quad (2) \end{aligned}$$

где  $B_t, B_t^c$  – однопериодные долговые региональные и федеральные обязательства (в номинальном выражении),  $r_t, r_t^c$  – номинальные процентные ставки по этим обязательствам,  $r_t^k$  – реальная арендная стоимость капитала,  $W_t$  – заработная плата за один час в номинальном выражении,  $I_t^R$  – реальный объем инвестиций,  $P_t$  – индекс уровня цен в регионе (индекс потребительских цен),  $X_t$  – реальная прибыль собственников фирм,  $Tr_t, Tr_t^c$  – суммарные трансферты со стороны региона

<sup>4</sup> Более подробно о рациональных ожиданиях можно познакомиться в [1].

и центра,  $\tau_{c,t}, \tau_{h,t}, \tau_{p,t}$  – эффективные налоговые ставки косвенного налога на потребителя (налог на добавленную стоимость), налога с располагаемого дохода и налога с прибыли (и с капитала) соответственно. Отметим, что эти налоги являются искажающими. В бюджетном ограничении (2)  $\Phi(A_t)$  – премия за риск владения федеральными обязательствами<sup>5</sup>, где  $A_t = \frac{B_t^c}{P_t}$ . В рассматриваемой модели эта премия за риск связана с уровнем долговых обязательств региона и определяет степень его дотационности.

Накопление капитала домохозяйствами с доступом к финансовым рынкам происходит в соответствии с уравнением

$$K_{t+1}^R = (1-\delta)K_t^R + f\left(\frac{I_t^R}{K_t^R}\right)K_t^R, \quad (3)$$

где  $\delta$  – норма амортизации, а второе слагаемое в правой части отражает ресурсные издержки на введение нового капитала (скорость приспособления капитала). Предполагается, что

$$f' > 0, f'' \leq 0, f'(\delta) = 1, f(\delta) = \delta.$$

Домохозяйства, не владеющие активами, потребляют весь свой текущий доход, не сглаживая потребление. У данного типа домохозяйств отсутствует межвременное замещение, связанное с изменением процентной ставки. Такие домохозяйства выбирают уровень потребления и количество рабочего времени в момент времени  $t$  исходя из бюджетного ограничения

$$(1 + \tau_{c,t})C_t^N = \frac{(1-\tau_{h,t})W_t}{P_t} N_t^N + Tr_t + Tr_t^c, \quad (4)$$

где  $C_t^N$  – объем потребления некоторого композитного товара домохозяйством, не имеющим доступ к финансовым рынкам.

<sup>5</sup> Более подробно о целесообразности введения премии за риск можно познакомиться в публикации [8].

Функция полезности для домохозяйств с доступом к финансовым рынкам  $U(C_t^R) \equiv (C_t^R - hC_{t-1}^R)^{1-\sigma} / (1-\sigma)$ , и функция затраченного на труд времени  $V(Z_t^N, N_t^R) \equiv (N_t^R)^{1+\phi} / (1+\phi)$ , где  $\sigma$  – параметр, обратный эластичности межвременного замещения,  $\phi$  – параметр, обратный эластичности предложения труда. Этот параметр определяется также как предельная норма замещения потребления досугом. Параметр  $h$  в функции полезности отражает наличие привычек в потреблении ( $0 \leq h \leq 1$ ). Предполагается, что устойчивый уровень отработанных рабочих часов одинаков у обеих групп домохозяйств:  $N_t^R = N_t^N = N_t$ .

Таким образом, задача для домашних хозяйств с доступом к финансовым рынкам заключается в максимизации функции благосостояния (1) при динамических ограничениях (2) и (3).

Потребление домашних хозяйств, не имеющих доступа к финансовым рынкам, определяется из (5):

$$C_t^N = \frac{(1 - \tau_{h,t})W_t}{(1 + \tau_{c,t})P_t} N_t^N + \frac{(Tr_t + Tr_t^c)}{(1 + \tau_{c,t})}. \quad (5)$$

Агрегированное потребление обеих типов домохозяйств  $C_t = (1 - \lambda)C_t^R + \lambda C_t^N$ , капитал  $K_t = (1 - \lambda)K_t^R$ , инвестиции  $I_t = (1 - \lambda)I_t^R$ . Отметим также, что агрегированное количество отработанных часов  $N_t = (1 - \lambda)N_t^R + \lambda N_t^N$ .

Отметим, что в спецификации модели с гибкой заработной платой последняя определяется в каждый период из условий первого порядка при максимизации ожидаемой дисконтированной полезности (1) по количеству отработанных часов при ограничениях (2) и (3). Кроме того, как уже отмечалось выше, в публикации анализировалась спецификация модели с жесткой заработной платой. В этом

случае задачу выбора новой заработной платы домашнее хозяйство решает не в каждый период, а когда получает информационный сигнал [10, 11]. При этом в качестве ограничения принимается во внимание зависимость спроса на дифференцированный труд со стороны  $n$ -й фирмы  $N_t(n) = \left( \frac{W(n)_t}{W_t} \right)^{\frac{-(1+\lambda_w)}{\lambda_w}} N_t$ , где  $N_t$  – агрегированный спрос на труд,  $\lambda_w$  – надбавка к заработной плате [5, 6, 10, 11].

Производители. В модели предполагается наличие двух типов фирм – фирмы, производящие собственный продукт («домашние» производители), и фирмы – импортеры. Потребительский сектор других регионов не моделируется явным образом, а предполагается, что другие регионы предъявляют некоторый спрос на товары и услуги домашних производителей, и этот спрос отрицательно зависит от относительной цены этих товаров и услуг. Поэтому в модели не выделяются явным образом фирмы – экспортеры. Домашние производители состоят из фирм, производящих конечный продукт и фирм, производящих промежуточный продукт. При этом фирмы, производящие конечный продукт действуют в условиях совершенной конкуренции, а фирмы, производящие промежуточный продукт – в условиях монополистической конкуренции. Фирмы производят конечный продукт, потребляемый сектором домашних хозяйств в описываемом и в остальных регионах, а также региональным правительством.

Потребление конечного продукта домашними хозяйствами описывается функцией с постоянной эластичностью замещения (CES-функцией)<sup>6</sup>

$$C_t = [(1 - \alpha_C)^{1/\eta} C_{H,t}^{(\eta-1)/\eta} + \alpha_C^{1/\eta} C_{F,t}^{(\eta-1)/\eta}]^{\eta/(\eta-1)}, \quad (6)$$

где индексы потребления собственных где  $C_{H,t}$ ,  $C_{F,t}$  – индексы потребления собственных

(произведенных в рассматриваемом регионе) и импортных (произведенных в остальных регионах) товаров и услуг. Параметр  $\alpha_C$  определяет долю импортных товаров в индексе потребительских цен или степень открытости региональной экономики. Параметр  $\eta$  – эластичность замещения между собственными и импортными (получаемыми из других регионов) товарами и услугами ( $\eta > 0$ ). Индексы потребления собственных и импортных товаров и услуг описываются CES-функцией агрегации промежуточных благ, предлагаемых множеством промежуточных фирм единичной меры

$$C_{H,t} = \left( \int_0^1 C_{H,t}(h)^{(\varepsilon_H - 1)/\varepsilon_H} dh \right)^{\varepsilon_H / (\varepsilon_H - 1)} \quad \text{и}$$

$$C_{F,t} = \left( \int_0^1 C_{F,t}(f)^{(\varepsilon_F - 1)/\varepsilon_F} df \right)^{\varepsilon_F / (\varepsilon_F - 1)}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_H, \varepsilon_F$  – эластичности замещения между  $h$ -й и  $f$ -й разновидностью домашних и импортных брендов соответственно ( $\varepsilon_H, \varepsilon_F \geq 1$ ).

Задача нахождения функций спроса (7) решается минимизацией расходов на потребительскую корзину ( $P_{H,t}C_{H,t} + P_{F,t}C_{F,t}$ ) при условии (6). Решением этой задачи являются функции спроса

$$C_{H,t} = (1 - \alpha_C)C_t(P_{H,t}/P_t)^{-\eta}, \quad (8)$$

$$C_{F,t} = \alpha_C C_t(P_{F,t}/P_t)^{-\eta}, \quad (9)$$

где  $P_{H,t}$  – уровень потребительских цен домашних региональных товаров,  $P_{F,t}$  – уровень потребительских цен товаров, импортируемых из других регионов.

Уровень инвестиций в домашнее производство в регионе описывается также функцией с постоянной эластичностью замещения аналогичной (6). Соответственно, спрос на инвестиции

<sup>6</sup> Выбор данного вида функции потребления обусловлен тем, что товары и услуги, производимые внутри региона, являются несовершенными заменителями товаров и услуг, производимых в других регионах.

описывается функциями аналогичными функциям спроса (8)–(9).

Будем считать, что расходы регионального правительства  $G_t$  связаны лишь с приобретением товаров и услуг, производимых в рассматриваемом регионе. То есть

$$(1 - \psi_t)G_t = \left[ \int_0^1 G_{H,t}(h)^{(\varepsilon_H - 1)/\varepsilon_H} \right]^{\varepsilon_H / (\varepsilon_H - 1)}, \quad (10)$$

где  $\psi_t$  – зависящая от времени доля расходов регионального правительства на социальную политику, здравоохранение, науку и образование.

Производство домашнего промежуточного продукта задается функцией  $Y_t(k) = Z_t^Y N_t^{1-\alpha_K} K_t^{\alpha_K} K_t^{g_Y}$ , где  $Z_t^Y$  – совокупная факторная производительность, зависящая от уровня технологий,  $\alpha_K$  – доля капитала в объеме выпуска. Переменная  $K_t^g$  в производственной функции производителей промежуточного продукта определяет социальный капитал региона, зависящий от социальных расходов (включая расходы на здравоохранение) и расходов на образование и науку в регионе. Наличие социального капитала в производственной функции обеспечивает существование положительных экстерналий для фирм частного сектора и вводит канал воздействия региональной фискальной политики на объем выпуска.

Домашние товары и услуги потребляются, как отмечалось выше, домашними хозяйствами описываемого и остальных регионов, а также домашним региональным правительством. При этом неявно полагается, что фирмы-экспортеры приобретают гомогенный домашний продукт, дифференцируют его на множество брендов, которые потребляются в сторонних регионах. Также предполагается, что потребители остальных регионов имеют те же предпочтения для домашних товаров и услуг, что и домашние



потребители. Тогда спрос на домашние товары и услуги, а также на инвестиции со стороны сторонних потребителей описывается функцией (по аналогии с функциями спроса (8) и (9))

$$\begin{aligned} C_{H,t}^f &= \alpha^f \left( \frac{P_{H,t}}{P_{F,t}^f} \right)^{-\eta} C_t^f, \\ I_{H,t}^f &= \alpha^I \left( \frac{P_{H,t}}{P_{F,t}^f} \right)^{-\eta} I_t^f, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $C_t^f, I_t^f$  – совокупный сторонний спрос на все потребляемые блага и инвестиции в остальных регионах,  $\alpha^f, \alpha^I$  – степень открытости экономики сторонних регионов для товаров, услуг и инвестиций домашнего региона,  $P_{F,t}^f$  – цена на импортируемые из домашнего региона товары и услуги. Совокупный спрос на домашние товары и услуги  $C_{H,t}^T$  определяется

$$\begin{aligned} C_{H,t}^T &= C_{H,t} + C_{H,t}^f + (1 - \psi_t)G_t = \\ &= (1 - \alpha) \left( \frac{P_{H,t}}{P_t} \right)^{-\eta} C_t + \\ &+ \alpha^f \left( \frac{P_{H,t}}{P_{F,t}^f} \right)^{-\eta} C_t^f + (1 - \psi_t)G_t. \end{aligned} \quad (12)$$

Как уже отмечалось выше, фирмы, производящие промежуточный продукт, действуют в условиях несовершенной конкуренции, то есть могут самостоятельно изменять цены. Исследуемая модель является неокейнсианской и предполагает номинальную жесткость цен в соответствии с подходом Ротемберга [18, 19]. Согласно этому подходу издержки изменения цен фирм являются квадратичной функцией от ценового изменения. Эти издержки возникают из-за изменения внутренней инфляции (инфляции, связанной с ценами на блага, производимые в домашнем регионе) по отношению к стационарной и из-за изменения внутренней инфляции по

отношению к общей инфляции (инфляции, связанной с уровнем потребительских цен) в предыдущий период. При этом оптимальная цена в текущий момент времени определяется из условия максимизации прибыли производителей.

Фирмы-импортеры домашнего региона приобретают продукт по цене  $P_{F,t}^f$ . Каждый импортер устанавливает свой бренд на продукт и продает его на домашнем рынке по цене  $P_{F,t}(f)$ . Это означает, что фирмы импортируют общий гомогенный продукт, а затем наделяют его индивидуальными характеристиками, превращая его в дифференцированный. По аналогии с внутренними промежуточными товарами отдельный вид импортируемой продукции выступает в качестве несовершенного субститута по отношению к другим. Импортеры действуют в условиях монополистической конкуренции. Оптимальная цена в момент времени  $t$ , которую они устанавливают, определяется аналогично оптимальной цене домашних производителей, за исключением того, что номинальные предельные издержки импортеров равны  $P_{F,t}^f$ .

**Региональное правительство.** Региональное правительство покупает конечный продукт домашнего производителя, выпускает долговые обязательства и взимает налоги. Реальное бюджетное ограничение регионального правительства с учетом расщепления налогов между регионом и центром определяется как

$$\begin{aligned} (1 - \psi_t)G_t + \frac{B_{t-1}}{P_t} + Tr_t &= \\ &= \tau_{h,t} \left( \frac{W_t N_t}{P_t} + r_t^k K_t \right) + 0.85 \tau_{p,t} X_t + \\ &+ \frac{B_t}{(1 + r_t)P_t} + Tr_t^c, \end{aligned} \quad (13)$$

где  $\psi_t$  – зависящая от времени доля расходов регионального правительства на

Серков Л.А.

социальную политику, здравоохранение, науку и образование,  $Tr_t^c$  – трансферты со стороны центра. В бюджетном ограничении регионального правительства (13) отсутствует слагаемое, связанное с взиманием региональным правительством налога на добавленную стоимость  $\tau_{C,P}$  так этот налог полностью поступает в федеральный бюджет. Множитель 0,85 перед налогом на прибыль  $\tau_{P,t}$  означает, что 85 % этого налога поступают в региональный бюджет.

В исследуемой модели анализируются три различных бюджетных правила для расходов регионального правительства

$$\ln\left(\frac{G_t}{G}\right) = \rho_g \ln\left(\frac{G_{t-1}}{G}\right) + (1 - \rho_g)\mu_{gb} \ln\left(\frac{B_t/P_t}{B/P}\right) + \varepsilon_{g,t} + corr_{-}\varepsilon_{g,gc}\varepsilon_{gc,t},$$

$$\varepsilon_{g,t} \sim N(0, \sigma_g^2), \quad (14)$$

$$\ln\left(\frac{G_t}{G}\right) = \rho_g \ln\left(\frac{G_{t-1}}{G}\right) + (1 - \rho_g)\mu_{gy} \ln\left(\frac{y_{t-1}}{y}\right) + \varepsilon_{g,t} + corr_{-}\varepsilon_{g,gc}\varepsilon_{gc,t},$$

$$\varepsilon_{g,t} \sim N(0, \sigma_g^2), \quad (15)$$

$$\ln\left(\frac{G_t}{G}\right) = \rho_g \ln\left(\frac{G_{t-1}}{G}\right) + \varepsilon_{g,t} + corr_{-}\varepsilon_{g,gc}\varepsilon_{gc,t},$$

$$\varepsilon_{g,t} \sim N(0, \sigma_g^2), \quad (16)$$

то есть рассматриваются два бюджетных правила с обратной связью между расходами и долговыми обязательствами (14), расходами и ВВП (15) и экзогенное правило без обратной связи (16). Параметры  $\mu_{gb}, \mu_{gy}$  в (14), (15) – коэффициенты обратной связи. Параметр  $corr_{-}\varepsilon_{g,gc}$  – коэффициент корреляции между шоком региональных расходов  $\varepsilon_{g,t}$  и шоком государственных расходов  $\varepsilon_{gc,t}$ . Все переменные без индекса  $t$  являются стационарными детерминированными значениями соответствующих переменных, зависящих от времени. Региональные трансферты распределяются по аналогии с уравнением (14)

$$\ln\left(\frac{Tr_t}{Tr}\right) = \rho_{tr} \ln\left(\frac{Tr_{t-1}}{Tr}\right) + (1 - \rho_{tr})\mu_{tr} \ln\left(\frac{B_t/P_t}{B/P}\right) + \varepsilon_{tr,t},$$

$$\varepsilon_{tr,t} \sim N(0, \sigma_{tr}^2). \quad (17)$$

Ставки подоходного налога положительно зависят от отношения долговых обязательств региона к ВВП<sup>7</sup>

$$\ln\left(\frac{\tau_{h,t}}{\tau_h}\right) = \rho_{th} \ln\left(\frac{\tau_{h,t-1}}{\tau_h}\right) + (1 - \rho_{th}) \ln\left(\frac{B_t^c/P_t}{y_{t-1}^c/y^c}\right) + \varepsilon_{th,t},$$

$$\varepsilon_{th,t} \sim N(0, \sigma_{th}^2), \quad (18)$$

$$\ln\left(\frac{\tau_{c,t}}{\tau_c}\right) = \rho_{tc} \ln\left(\frac{\tau_{c,t-1}}{\tau_c}\right) + (1 - \rho_{tc}) \ln\left(\frac{B_t^c/P_t}{y_{t-1}^c/y^c}\right) + \varepsilon_{tc,t},$$

$$\varepsilon_{tc,t} \sim N(0, \sigma_{tc}^2), \quad (19)$$

$$\ln\left(\frac{\tau_{P,t}}{\tau_P}\right) = \rho_{tP} \ln\left(\frac{\tau_{P,t-1}}{\tau_P}\right) + (1 - \rho_{tP}) \ln\left(\frac{B_t^c/P_t}{y_{t-1}^c/y^c}\right) + \varepsilon_{tP,t},$$

$$\varepsilon_{tP,t} \sim N(0, \sigma_{tP}^2), \quad (20)$$

Как уже отмечалось выше, социальный капитал  $K_t^g$  в выражении для производственной функции зависит от социальных расходов, расходов на

<sup>7</sup> Так как налоговые ставки устанавливаются центром, то они зависят от отношения федеральных долговых обязательств к ВВП.

здравоохранение, образование и науку со стороны регионального правительства. Представим эту функциональную зависимость в виде

$$\ln \frac{K_t^g}{K^g} = \beta_{K_g} \ln \frac{K_{t-1}^g}{K^g} + \beta_g \ln \frac{G_t^s}{G^s} + \varepsilon_{K_g,t},$$

$$\varepsilon_{K_g,t} \sim N(0, \sigma_{K_g}^2), \quad (21)$$

где  $G^s$  – социальные расходы, расходы на здравоохранение, образование и науку, составляющие определенную долю совокупных расходов регионального правительства

$$G_t^s = \psi_t G_t. \quad (22)$$

Наконец, агрегированный региональный ВРП определяется как

$$Y_t = C_{H,t} + C_{H,t}^f + G_t + I_{H,t} + I_{H,t}^f. \quad (23)$$

**Федеральное правительство и Центральный банк.** Федеральное правительство покупает конечный продукт производителей всех регионов, выпускает долговые обязательства и получает с учетом расщепления налоги с регионов. Реальное бюджетное ограничение Федерального правительства определяется как

$$G_t^c + \frac{B_{t-1}^c}{P_t} + Tr_t^c = \tau_{c,t} (C_t^f + G_t^c) +$$

$$+ 0.15 \tau_{p,t} X_t + \frac{B_t^c}{(1+r_t^c)P_t}. \quad (24)$$

Для федерального бюджета также анализируются три различных правила для государственных расходов и трансфертов аналогичные региональным правилам (14) – (16).

На данный момент в экономической среде нет консенсуса относительно единого правила, которого бы придерживался ЦБ России. Существуют работы, показывающие, что правило Российского Центрального банка может рассматриваться как стандартное правило Тейлора для

процентной ставки [25]. Поэтому в данной публикации монетарная политика ЦБ моделируется именно в такой форме, то есть предполагается, что процентная ставка подчиняется правилу

$$\ln \left( \frac{R_t^c}{R^c} \right) = \omega_{rc} \ln \left( \frac{R_{t-1}^c}{R^c} \right) +$$

$$+ \left( \frac{1 - \omega_r}{R^c} \right) \left[ \omega_{\pi c} \ln \left( \frac{\pi_t^c}{\pi} \right) + \omega_{yc} \left( \ln \left( \frac{y_t^c}{y_{t-1}^c} \right) \right) \right] + \varepsilon_t^{rc},$$

$$\varepsilon_t^{rc} \sim N(0, \sigma_{rc}^2), \quad (25)$$

где  $R_t^c = 1 + r_t^c$ ,  $\omega_{rc}, \omega_{\pi c}, \omega_{yc}$  – весовые факторы в правиле Тейлора.

### Решение и оценка параметров модели

Для решения приведенной системы уравнений последние представлялись в логлинеаризованном виде<sup>8</sup> относительно соответствующих устойчивых стационарных состояний. Процесс логлинеаризации заключается в преобразовании соотношений модели таким образом, что все уравнения модели становятся линейными функциями относительно переменных, представленных в виде логарифмических отклонений от устойчивых значений. Например, переменная в логлинеаризованном виде  $\hat{x}_t = \ln \left( \frac{x_t}{x} \right)$ , где  $x_t$  – значение переменной в момент  $t$ , а  $x$  – ее устойчивое стационарное детерминированное значение. Решение модели осуществлялось в п/п Matlab.

Параметры модели оценивались с помощью метода Байеса на данных экономики Свердловской области. Байесовский метод оценки параметров DSGE моделей сочетает в себе процесс калибровки и эконометрического оценивания методом максимального правдоподобия [8, 23]. Используя теорему Байеса и

<sup>8</sup> Ввиду ограниченного формата публикации система логлинеаризованных уравнений не приводится. Автор готов предоставить ее по первому запросу.

свойства предельной функции плотности вероятности (marginal density), можно записать

$$p(\vartheta | Y_T) = \frac{p(Y_T | \vartheta) * p(\vartheta)}{p(Y_T)} = \frac{p(Y_T | \vartheta) * p(\vartheta)}{\int p(Y_T | \vartheta) * p(\vartheta) d\vartheta}, \quad (26)$$

где  $\vartheta$  – вектор параметров модели,  $Y_T$  – вектор наблюдаемых переменных,  $T$  – размер выборки,  $p(Y_T | \vartheta)$  – функция правдоподобия,  $p(\vartheta | Y_T)$  – апостериорная функция плотности вероятности вектора параметров модели,  $p(\vartheta)$  – априорная функция плотности вероятности вектора параметров модели. Функция  $p(Y_T)$  – функция маргинального правдоподобия.

Априорная функция  $p(\vartheta)$  вычисляется следующим образом. Путем калибровки определяются точечные оценки параметров, которые принимаются за их математические ожидания. На основе предположений разработчика, значений в других исследованиях и т. д. определяются стандартные отклонения параметров. В зависимости от ограничений на параметры делаются предположения об их законах распределения. Например, если параметр по определению неотрицателен, то используют гамма-распределение; если значения параметра находятся в диапазоне от нуля до единицы, то используют бета-распределение; если параметр может принимать любые значения, то применяют нормальное распределение и т. д. Исходя из априорного математического ожидания и стандартного отклонения параметра, определяется вид  $p(\vartheta)$ .

Так как вид функции правдоподобия известен, то можно определить и вид числителя в (26), в то время как знаменатель является константой (не зависит от  $\vartheta$ ).

Для того чтобы вычислить оценку параметра на основе апостериорного распределения, необходимо оценить его

математическое ожидание. Эта задача может решаться с помощью алгоритма случайного блуждания Метрополиса – Хастингса и алгоритма выборки по значимости [8].

При оценке модели использовались квартальные данные для экономики Свердловской области с 1 квартала 2003 г. по 4 квартал 2015 г. по следующим макроэкономическим переменным<sup>9</sup>: ВРП, ВВП, конечное потребление домашних хозяйств региона, конечное потребление домашних хозяйств РФ, доля суммарных региональных расходов на социальную политику, здравоохранение, науку и образование, средняя заработная плата в регионе<sup>10</sup>, уровень общей инфляции в РФ, уровень потребительских цен в регионе и в стране.

Из временного ряда переменных удалялась сезонная составляющая с помощью X-12-ARIMA. Все ряды логарифмировались, и из них удалялась трендовая составляющая с помощью фильтра Ходрика – Прескотта. Полученные циклические компоненты в дальнейшем трактовались как отклонения от долгосрочного равновесия (стационарного состояния).

Несколько параметров модели фиксировалось. Предполагалось, что коэффициент дисконтирования  $\beta = 0,9$ , что соответствует реальной процентной ставке, равной одному проценту в квартал. Это стандартный выбор значения этого коэффициента. Норма амортизации капитала  $\delta = 0,025$ . Параметры  $\alpha_C, \alpha_P, \alpha_F$  считались равными степени открытости национальной экономики 0.26 [5, 6]. Параметр  $h$  принимался равным 0,75, параметр  $\alpha_K =$

<sup>9</sup> Источником данных являются официальные сайты Росстата и ЦБ.

<sup>10</sup> Все вышеперечисленные переменные представлены на душу населения в постоянных ценах первого квартала 2003 г.

0,3 [5], параметр  $\lambda = 0,5$ . Налоговые ставки  $\tau_h = 0,13$ ,  $\tau_p = 0,2$ ,  $\tau_c = 0,18$  (основные ставки). Остальные параметры оценивались с помощью метода Байеса.

### Сравнение правил фискальной политики в исследуемой модели

Выбор адекватного статистическим данным правила фискальной политики проводился путем сравнения исследуемых моделей с различными формулировками этого правила. Исследовалась модель  $M_1$  с зависимостью региональных и государственных расходов от долговых обязательств (зависимость (14) и аналогичная зависимость для госрасходов), модель  $M_2$  с зависимостью региональных и федеральных расходов от регионального объема выпуска (зависимость (15) и аналогичная зависимость для госрасходов) и модель  $M_3$  с экзогенной зависимостью региональных и федеральных расходов (зависимость (16) и аналогичная зависимость для госрасходов). Целевым критерием сравнения моделей является фактор Байеса [8].

Для структурных моделей  $M_i$  и  $M_j$  фактор Байеса определяется как отношение функций маргинального правдоподобия (см. (26))

$$B_{i,j}(Y_T) = \frac{p(Y_T | M_i)}{p(Y_T | M_j)}$$

Результаты сравнения моделей приведены в табл. 1. Сравнение правил политики региональных расходов в моделях  $M_1$ ,  $M_2$  и  $M_3$  (табл. 1) свидетельствует о большем значении функции маргинального правдоподобия для модели с  $M_1$  с эндогенной зависимостью региональных и государственных расходов от долговых обязательств по сравнению с моделями  $M_2$  и  $M_3$ . Таким образом, модель  $M_1$  более адекватно описывает статистические данные Свердловской области. Поэтому при

исследовании свойств региональной модели использовалось бюджетное правило (14) (и аналогичное правило для госрасходов).

### Анализ функций импульсного отклика

Одной из важнейших характеристик DSGE-моделей является поведение функций импульсного отклика. На рис. 2–11 показано влияние одномоментных положительных внешних и внутренних временных шоков на некоторые региональные переменные исследуемой модели с гибкой заработной платой при значениях параметров  $\lambda = 0,5$ ,  $\alpha_k = 0,33$ . Доля социального капитала как фактора производства равна 20 %. Величина шоков равна одному стандартному отклонению.

Некоторые результаты являются ожидаемыми. Например, влияние технологического шока внутри региона (рис. 2) приводит к росту региональных переменных: уровня потребления, объема выпуска, объема инвестиций, заработной платы и к уменьшению инфляции (как внутренней, так и общей). Ожидаемым является также то, что увеличение процентной ставки Центральным банком (рис. 4) приводит к снижению этих региональных переменных.

Интересным результатом является влияние шока социального капитала на поведение региональных переменных (рис. 3). Одномоментное увеличение социального капитала по своему влиянию аналогично положительному технологическому шоку, то есть приводит к росту потребления, заработной платы и к уменьшению инфляции. Следует отметить также, что рост региональных расходов (рис. 5) приводит к увеличению регионального потребления, объема выпуска, уровня инвестиций и к росту инфляции в регионе. Рост федеральных расходов, напротив, вызывает снижение уровня инвестиций (рис. 6). Это вызвано разной реакцией потребителей с

Серков Л.А.

доступом к финансовым рынкам (собственников фирм) на рост государственных и региональных расходов. Так как налоговые ставки устанавливаются федеральным правительством, то данный тип потребителей считает, что текущий рост госрасходов будет компенсирован последующим ростом налогов и объем инвестиций с их стороны снижается. Этот эффект отсутствует в случае увеличения региональных расходов.

Противоположная реакция реальной заработной платы на рис. 5, 6 связана с различной реакцией предложения труда на эти шоки. Как показано в [12], при положительных шоках государственных расходов конкурируют два противоположных эффекта: эффект снижения предложения труда, приводящий к росту реальной заработной платы, и эффект отрицательного дохода, приводящий к ее снижению. Результат конкуренции определяется значением эластичности предложения труда. В свою очередь, производители для сохранения прежнего объема выпуска ввиду жесткости цен должны увеличить спрос на трудовые ресурсы.

Реакция региональных переменных на внешний шок спроса и внешний рост цен показана на рис. 7, 8. Снижение региональ-

ного потребления на рис. 7 вызвано увеличением внешнего спроса.

На рис. 9–11 представлена реакция исследуемых региональных переменных на шоки налоговых процентных ставок. При этом реакция переменных на рост процентной ставки налога с располагаемого дохода (рис. 10) и налога на прибыль (рис. 11) одинакова. Региональное потребление, объем выпуска и инвестиций, реальная заработная плата и инфляция с увеличением указанных процентных ставок снижаются. Отметим, что эти налоги поступают в распоряжение регионального правительства. Напротив, косвенные налоги на потребление поступают в распоряжение федерального правительства. Одновременное увеличение ставки косвенных потребительских налогов (рис. 9) в отличие от предыдущей реакции исследуемых переменных приводит к увеличению инвестиций на рост налоговой ставки. Противоположная реакция уровня инвестиций в регионе на одновременный рост искажающих потребительских налогов, возможно, связана с тем, что эти налоги в меньшей степени затрагивают собственников фирм по сравнению с другими налогами. Тем не менее полученный результат пока не очень понятен.

Таблица 1

Значения фактора Байеса для сравниваемых моделей с различным правилом региональных и государственных расходов

Показатель	Исследуемые модели		
	$M_1$	$M_2$	$M_3$
Значения параметра $\mu_g$	0.1965	0.1431	-
Логарифм функции маргинального правдоподобия	696.654	679.111	676.981
Фактор Байеса	$\exp(19.673)$	$\exp(2.130)$	1

**Анализ влияния структурных шоков на эндогенные переменные компактной региональной динамической модели**

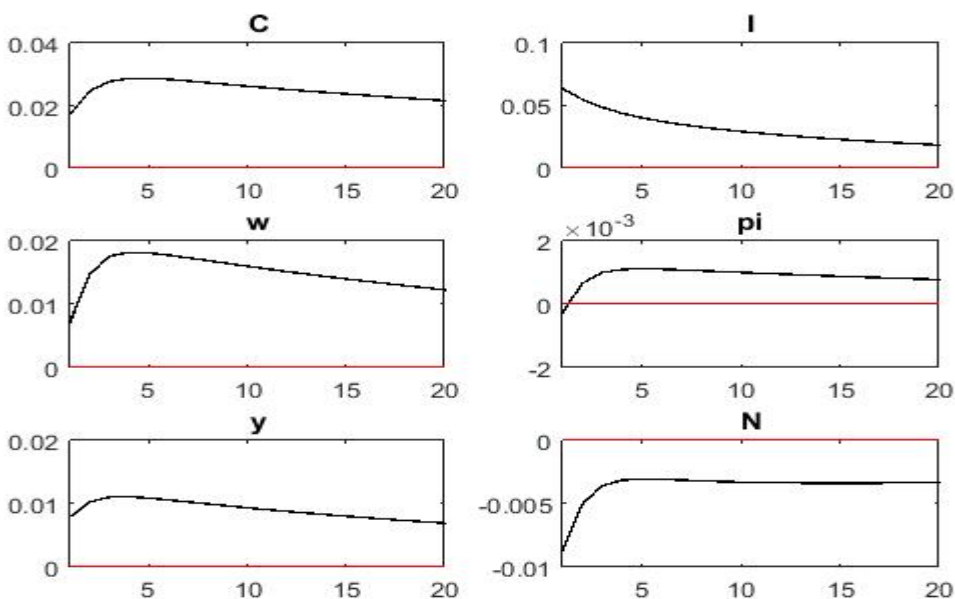


Рис. 2. Функции импульсного отклика совокупного потребления (C), инвестиций (I), общей инфляции (pi), объема выпуска (y), количества отработанных часов (N), реальной заработной платы (w) на технологический шок

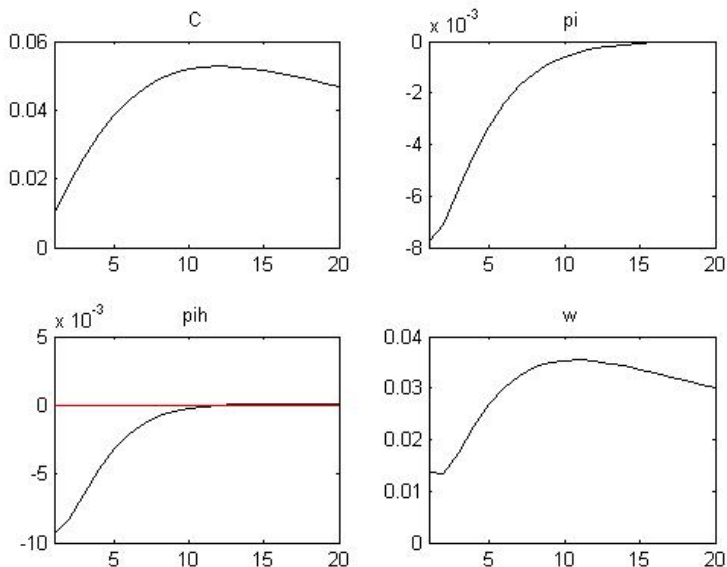


Рис. 3. Функции импульсного отклика совокупного потребления (C), общей инфляции (pi), внутренней инфляции (pih), реальной заработной платы (w) на шок социального капитала

Серков Л.А.

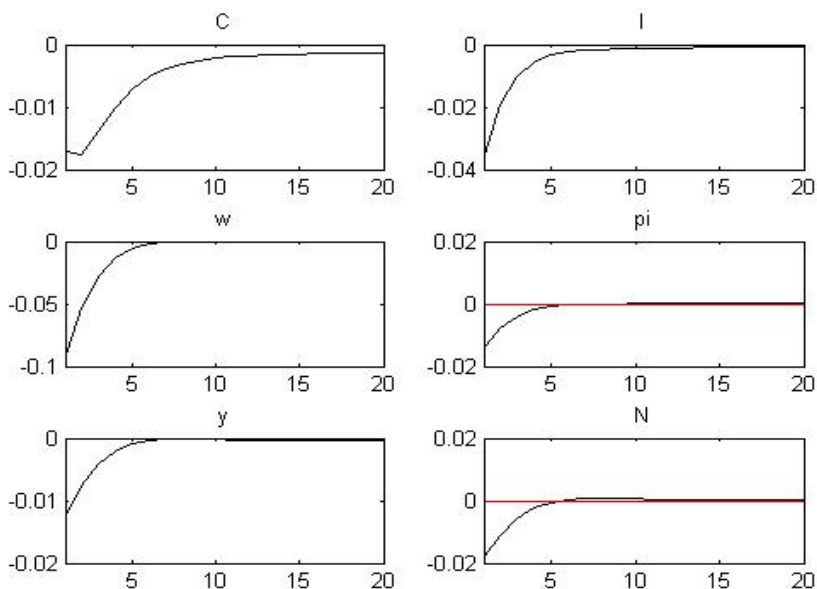


Рис. 4. Функции импульсного отклика совокупного потребления ( $C$ ), инвестиций ( $I$ ), общей инфляции ( $\pi$ ), объема выпуска ( $y$ ), количества отработанных часов ( $N$ ), реальной заработной платы ( $w$ ) на шок процентной ставки Центробанка

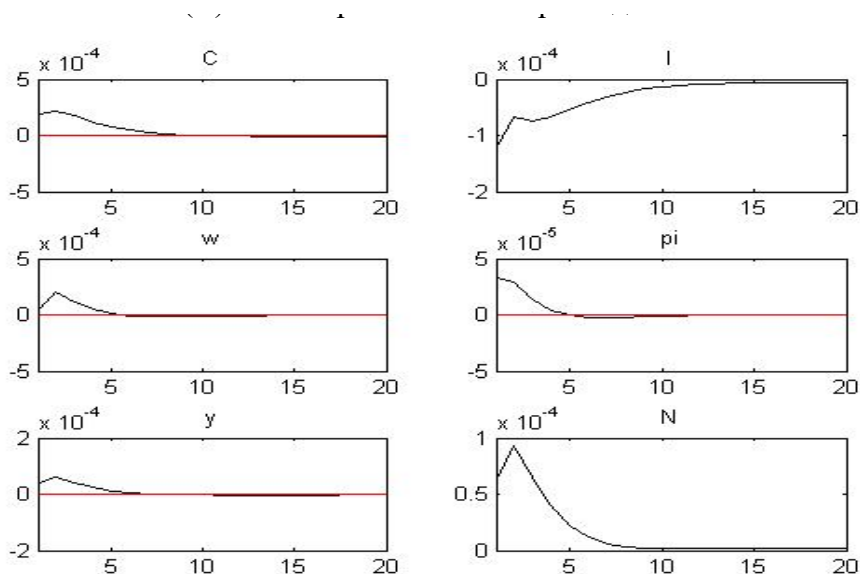


Рис. 5. Функции импульсного отклика совокупного потребления ( $C$ ), инвестиций ( $I$ ), общей инфляции ( $\pi$ ), объема выпуска ( $y$ ), количества отработанных часов ( $N$ ), реальной заработной платы ( $w$ ) на шок региональных расходов



**Анализ влияния структурных шоков на эндогенные переменные компактной региональной динамической модели**

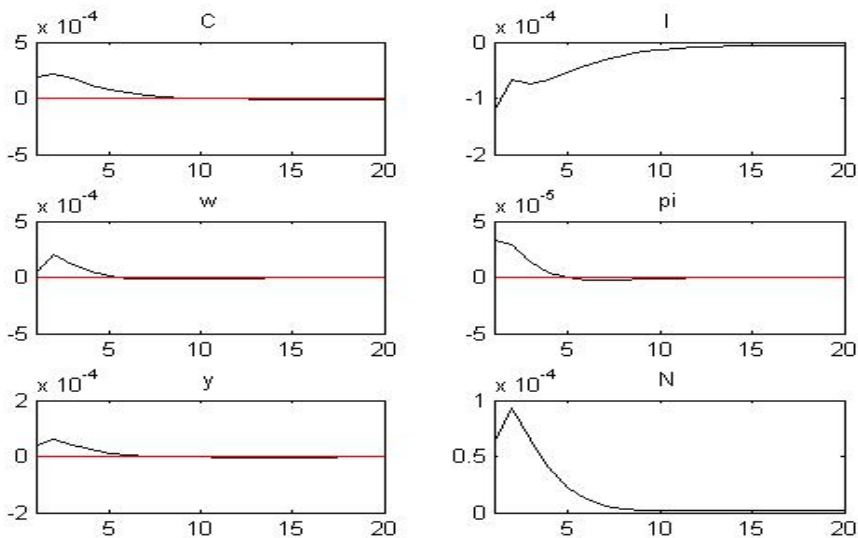


Рис. 6. Функции импульсного отклика совокупного потребления (C), инвестиций (I), общей инфляции (pi), объема выпуска (y), количества отработанных часов (N), реальной заработной платы (w) на шок государственных расходов

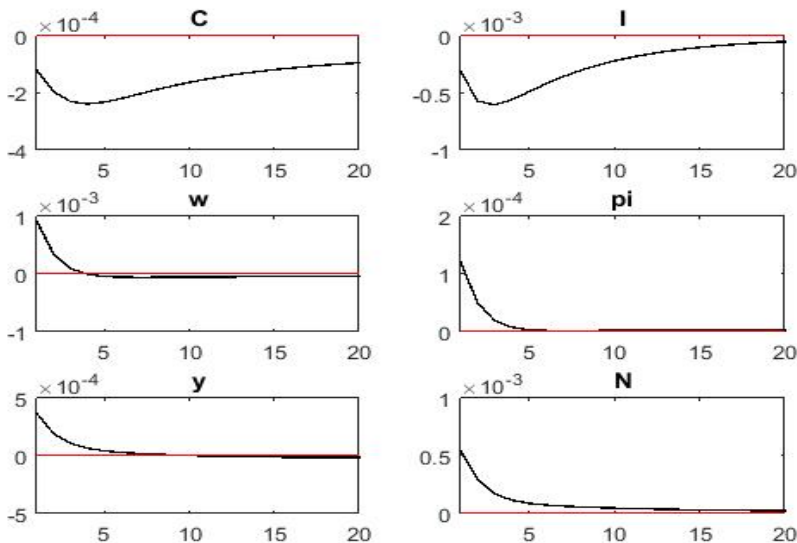


Рис. 7. Функции импульсного отклика совокупного потребления (C), инвестиций (I), общей инфляции (pi), объема выпуска (y), количества отработанных часов (N), реальной заработной платы (w) на шок совокупного потребления сторонних регионов

Серков Л.А.

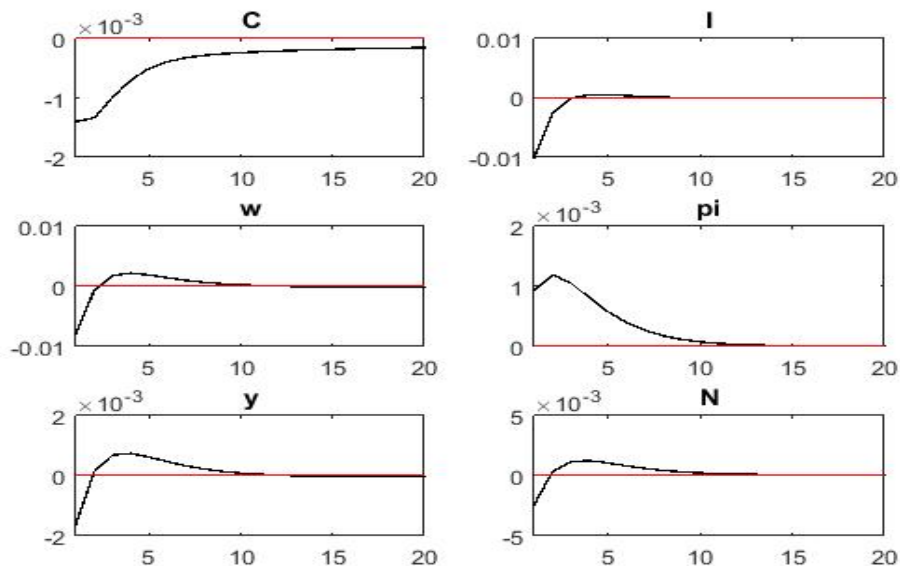


Рис. 8. Функции импульсного отклика совокупного потребления (C), инвестиций (I), общей инфляции (pi), объема выпуска (y), количества отработанных часов (N), реальной заработной платы (w) на шок уровня цен сторонних регионов

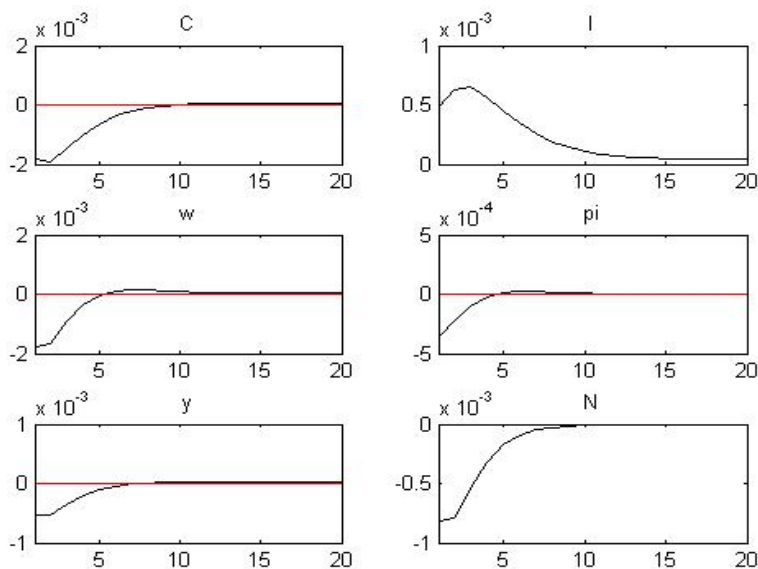


Рис. 9. Функции импульсного отклика совокупного потребления (C), инвестиций (I), общей инфляции (pi), объема выпуска (y), количества отработанных часов (N), реальной заработной платы (w) на шок процентной ставки косвенных налогов на потребление

**Анализ влияния структурных шоков на эндогенные переменные компактной региональной динамической модели**

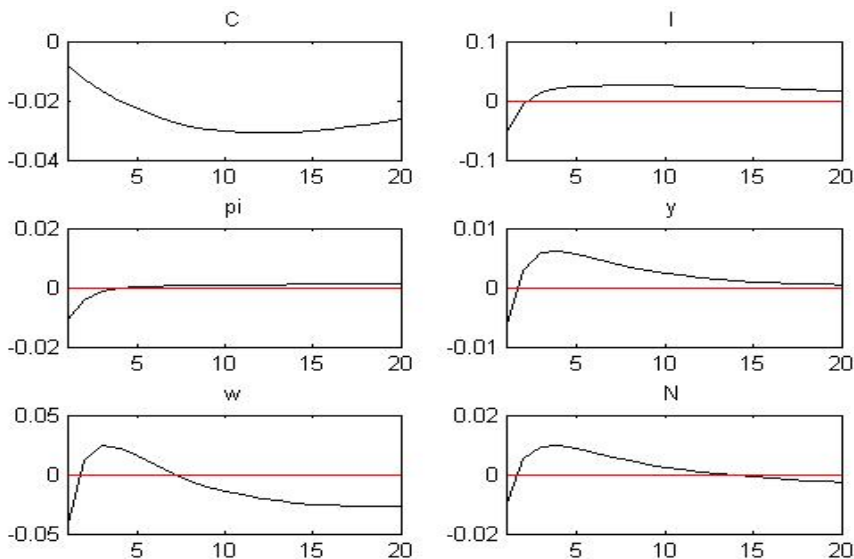


Рис. 10. Функции импульсного отклика совокупного потребления (C), инвестиций (I), общей инфляции (pi), объема выпуска (y), количества отработанных часов (N), реальной заработной платы (w) на шок процентной ставки налога на располагаемый доход

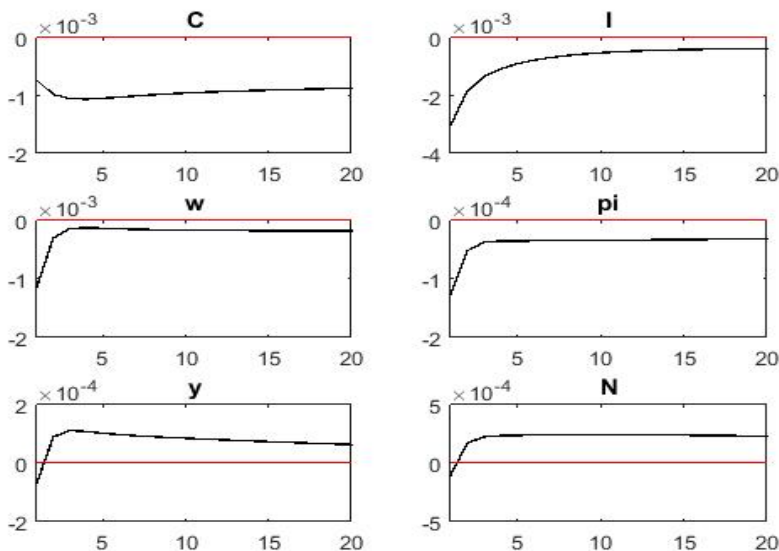


Рис. 11. Функции импульсного отклика совокупного потребления (C), инвестиций (I), общей инфляции (pi), объема выпуска (y), количества отработанных часов (N), реальной заработной платы (w) на шок процентной ставки налога на прибыль

Серков Л.А.

### Декомпозиция динамики региональных переменных

В табл. 2 и 3 представлены данные по вкладу дисперсий временных шоков в динамику основных региональных переменных для модели с гибкой (табл. 2) и с жесткой (табл. 3) заработной платой. Интересно отметить, что шоки региональных и госрасходов ( $xi\_G$  и  $xi\_Gf$ ) незначительно влияют на изменение рассматриваемых региональных переменных. Это справедливо как для модели с гибкой, так и для модели с жесткой заработной платой. Данный результат свидетельствует о том, что политика, связанная с региональным и государственным потреблением, влияет на региональные переменные косвенным образом – через налоги, трансферты и регулируемые цены. Достаточно большое влияние на изменение объема выпуска оказывает технологический шок ( $xi\_y$ ). Данный эффект выражен в меньшей

степени для модели с жесткой заработной платой. При этом в декомпозиции вариации основных макроэкономических переменных не наблюдается значительного вклада этого шока в конечное потребление товаров и услуг и инвестиции. Полученный результат свидетельствует о том, что технологические шоки обуславливают большую долю вариации регионального объема выпуска при анализе факторов делового цикла. Таким образом, региональный деловой цикл в рассматриваемом периоде в большей мере обуславливается факторами со стороны предложения, а не со стороны спроса. Из шоков эффективной налоговой ставки наибольшее влияние на объем выпуска и реальную заработную плату оказывает шок ставки налога с располагаемого дохода ( $xi\_tau\_h$ ). Шок налоговой ставки налога на прибыль и доходность капитала ( $xi\_tau\_k$ ) оказывает наибольшее влияние на волатильность инвестиций и объем выпуска.

Таблица 2

Декомпозиция дисперсий эндогенных переменных в модели с гибкой заработной платой

Показатель	$xi\_y$	$xi\_b$	$xi\_pf\_f$	$xi\_tau\_c$	$xi\_tau\_h$	$xi\_rf$	$xi\_G$	$xi\_Gf$	$xi\_C\_f$	$xi\_I$	$xi\_tau\_k$
$y$	22,54	7,11	3,70	2,72	28,84	1,03	2,98	2,23	17,43	5,54	11,89
$C$	5,41	5,54	39,11	4,67	6,76	1,85	3,31	1,52	30,13	1,98	3,43
$I$	5,65	1,95	24,62	3,51	6,97	4,61	3,91	1,41	3,31	12,21	21,98
$pih$	2,67	47,99	15,56	2,63	3,94	4,75	4,13	1,73	5,62	3,61	2,83
$w$	3,01	43,49	10,93	1,15	28,74	7,86	3,16	1,67	7,43	2,21	3,90

**Анализ влияния структурных шоков на эндогенные переменные компактной региональной динамической модели**

Наибольшее влияние на изменение региональной инфляции оказывает шок регионального долга (шок премии за риск  $xi_b$ ). При этом для модели с жесткой заработной платой влияние этого шока на изменение объема выпуска и конечного потребления увеличивается по сравнению с моделью с гибкой заработной платой. Стоит отметить, что моделирование шоков премии за риск в настоящей модели является критичным упрощением влияния шоков финансового сектора и несовершенств финансового рынка. Таким образом, наличие несовершенств финансового рынка положительно связано с их влиянием на вариации регионального объема выпуска и потребления. В свою очередь, влияние данного фактора на региональную экономику может являться аргументацией для дальнейшего расширения модели с более детализированным финансовым сектором.

Наибольшее влияние на вариацию регионального потребления и объема выпуска оказывает шок совокупного потребления со стороны сторонних регионов ( $xi_{C_f}$ ). Наличие жесткости заработных плат уменьшает эффект влияния этого шока на изменение конечного потребления примерно в полтора раза.

Включение в модель жесткости заработной платы (табл. 3) снижает влияние шока налога с располагаемого дохода на объем выпуска, но усиливает влияние этого шока на волатильность заработной платы. Усиливается влияние шока ставки налога на прибыль и доходность капитала на объем региональных инвестиций. Снижается также влияние на реальную региональную заработную плату шока регионального долга. Также отметим незначительное влияние на волатильность региональных переменных шока федеральной процентной ставки ( $xi_{rf}$ ). Этот шок оказывает влияние

Таблица 3  
Декомпозиция дисперсий эндогенных переменных в модели с жесткой заработной платой

Показатель	$xi_y$	$xi_b$	$xi_{pf_f}$	$xi_{tau_c}$	$xi_{tau_h}$	$xi_{rf}$	$xi_G$	$xi_{Gf}$	$xi_{C_f}$	$xi_I$	$xi_{tau_k}$
$y$	15,98	21,11	1,88	1,72	18,81	1,23	4,98	1,23	22,53	1,54	7,89
$C$	5,02	15,54	35,83	3,47	8,16	1,15	3,33	1,12	20,12	1,24	3,13
$I$	3,99	3,95	15,16	13,51	3,97	4,64	3,98	1,56	4,36	4,52	30,23
$pih$	2,90	41,99	25,56	0,66	6,44	4,25	3,53	1,23	4,12	0,65	1,87
$w$	3,61	25,04	15,13	3,16	41,24	7,16	3,16	1,67	6,44	1,21	3,98

в основном на уровне инвестиций, региональной инфляции и реальной заработной платы. При объяснении влияния эффекта жесткости заработных плат на вариации эндогенных переменных необходимо учитывать, что непредвиденное изменение цен приводит к отличию фактической реальной заработной платы от ожидаемых значений. Согласно стандартной формулировке предполагается, что фирмы определяют занятость исходя из фактической, реализовавшейся реальной заработной платы. Если цены, например, непредвиденно низкие, то фактическая реальная заработная плата превышает уровень, выравнивающий рынок труда, и фирмы сокращают занятость.

### Заключение

В данной публикации представлена компактная региональная динамическая стохастическая модель общего равновесия, оцененная на статистических данных Свердловской области. Эту модель нельзя считать в полной мере региональной моделью экономики Свердловской области, так как она не отражает структуру экономики данного региона. В публикации представлен общий тренд к построению

моделей региональных экономик в рамках подхода общего равновесия с учетом микроэкономических обоснований и рациональных ожиданий экономических агентов. Поэтому представленная публикация ставит ряд вопросов для будущих исследований. В частности, потребительский сектор описывается репрезентативными агентами, это означает, что все потребители признаются одинаковыми. Учет этого фактора может несколько изменить полученные результаты<sup>11</sup>, например, в контексте причинно-следственных связей переменных модели. Кроме того, детализация модели должна учитывать взаимодействие регионов с остальным миром. Моделирование такой экономики выходит за рамки данного исследования, так как целью публикации было исследование влияния внешних и внутренних шоков на региональные показатели. Указанные выше вопросы являются интересной темой для дальнейших исследований в области регионального моделирования.

<sup>11</sup> В частности, модель с гетерогенными агентами рассмотрена автором в работе [7].

### Список использованных источников

1. Андреев М.Ю., Поспелов И.Г. Принцип рациональных ожиданий: Обзор концепций и примеры моделей. М.: ВЦ РАН, 2008. 79 с.
2. Гранберг А.Г. Основы региональной экономики. М.: ГУ ВШЭ, 2001. 495 с.
3. Громова Е., Малаховская О., Сосунов К. Эмпирический анализ оптимальной политики в России: новый кейнсианский подход. Препринт WP12/2009/01. М.: Высшая школа экономики, 2009. 81 с.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сулакшин С.С. Применение вычислимых моделей в государственном управлении. М.: Научный эксперт, 2007. 304 с.
5. Малаховская О.А., Минабутдинов А.Р. Динамическая стохастическая модель общего равновесия экспортно-ориентированной экономики. Препринт WP12/2013/04. М.: Высшая школа экономики, 2013. 33 с.
6. Полбин А.В. Построение динамической стохастической

- модели общего равновесия для экономики с высокой зависимостью от экспорта нефти // Экономический журнал ВШЭ. 2013. № 2. С. 1–37.
7. Серков Л.А. Моделирование ожиданий в системах с гетерогенными агентами // Журнал экономической теории. 2015. № 2. С. 86–92.
  8. An S., Schorfheide F. Bayesian Analysis of DSGE Models // *Econometric Reviews*. 2007. Vol. 26, Issue 2–4. P. 113–172.
  9. Duarte M., Wolman A. Fiscal Policy and regional inflation in a currency Union // *Journal of International Economics*. 2008. Vol. 74, Issue 2. P. 384–401.
  10. Erceg C.J., Guerrier L., Gust C. SIGMA: A New Open Economy Model for Policy Analysis // *International Journal of Central Banking*. 2006. Vol. 2, No. 1. P. 111–144.
  11. Harrison R., Nikolov K., Quinn M., Ramsay G., Scott A., Thomas R. The Bank of England Quarterly Model. Bank of England, 2005. 244 p.
  12. Kamps C. The Dynamic Macroeconomic Effects of Public Capital. Berlin: Springer-Verlag, 2004.
  13. Tamegawa K. Two-Region DSGE Analysis of Regionally Targeted Fiscal Policy // *The Review of Regional Studies*. 2012. Vol. 42. P. 249–263.
  14. Kydland F.E., Prescott E.C. Time to Build and Aggregate Fluctuations // *Econometrica*. 1982. Vol. 50. P. 1345–1371.
  15. Kydland F.E., Prescott E.C. The Computational Experiment: An Econometric Tool // *Journal of Economic Perspectives*. 1996. Vol. 10. P. 69–86.
  16. Murchison S., Rennison A. ToTEM: The Bank of Canada's New Quarterly Projection Model // Bank of Canada Technical Report. 2006. No. 97.
  17. Rees D., Smith P., Hall J. A Multi-sector Model of the Australian Economy // *Economic Record*. 2016. Vol. 92, Issue 298. P. 374–408.
  18. Rotemberg J. Sticky Prices in the United States // *The Journal of Political Economy*. 1982. Vol. 90, No. 6. P. 1187–1211.
  19. Rotemberg J.J., Woodford M. Real Business-Cycle Models and the Forecastable Movements in Output, Hours, and Consumption // *American Economic Review*. 1996. Vol. 86. P. 71–89.
  20. Silvio M., Azevedo C. Structural Trends and Cycles in a DSGE Model for Brazil // Working Paper. Banco Central do Brasil. No. 434. Banco Central do Brasil, 2016. 57 p.
  21. Sargent T.J., Wallace N. Rational' Expectations, the Optimal Monetary Instrument, and the Optimal Money Supply Rule // *Journal of Political Economy*. 1975. Vol. 83. P. 241–254.
  22. Sims C.A. Macroeconomics and Methodology // *Journal of Economic Perspectives*. 1996. Vol. 10. P. 105–120.
  23. Schorfheide F. Loss Function-Based Evaluation of DSGE Models // *Journal of Applied Econometrics*. 2000. Vol. 15. P. 645–670.
  24. Valdivia D. Handbook on DSGE models: some useful tips in modeling a DSGE models // MPRA Paper. 2015. No. 61347.
  25. Yudaeva K., Ivanova N., Kamenskikh M. What does the Bank of Russia target? Technical report. Sberbank, Center for Macroeconomic Research, 2010.

Serkov L.A.

*Institute of Economics, the Ural Branch of RAS,  
Ekaterinburg, Russia*

## ANALYSIS OF THE EFFECT OF STRUCTURAL SHOCKS ON THE ENDOGENIC VARIABLES OF A COMPACT REGIONAL DYNAMIC MODEL

**Abstract.** The development of regional dynamic models is of scientific and practical interest for finding ways to effectively use the resource potential of the regions. In this article, for the purpose of formalizing regional development processes, it is proposed to consider the dynamic stochastic model of the region and the impact of structural external and internal shocks on regional indicators within the framework of this model. The parameters of the model are estimated by the Bayesian method on the basis of statistical data of the economy of the Sverdlovsk region. In developing the model and analyzing the impact of external and internal shocks on regional indicators, economic and mathematical methods and methods of computer modeling were used. The model considers five types of agents - households, firms producing intermediate and final products, regional and federal governments, and the Central Bank. Social capital of the region is introduced into the model as a factor influencing the volume of output, depending on social expenditures (including health care costs) and expenditures on education and science in the region. Using the impulse response functions, results were obtained regarding the effect of one-step positive external and internal temporary shocks on some regional variables of the model under study (total consumption, investment, output, real wages, inflation, etc.). It is proved that fiscal regional policy is more effective when regional expenditures depend on debt obligations. With the assumption of imperfect labor mobility, the role of shocks of effective tax rates on the volatility of endogenous regional variables is reduced. The results obtained can be used to develop effective counter-cyclical regional policies. It is concluded that when developing an effective countercyclical regional policy, one should take into account the results obtained in this article on the impact of external and internal shocks on regional indicators.

**Key words:** region; dynamic stochastic models; supply and demand shocks; social capital; impulse response function.

### References

1. Andreev, M.Iu., Pospelov, I.G. (2008). *Printsip ratsional'nykh ozhidanii: Obzor kontseptsii i primery modelei [The Rational Expectations Principle. An Overview of the Concept and Examples of Models]*. Moscow, Computing Centre of RAS.
2. Granberg, A.G. (2001). *Osnovy regional'noi ekonomiki [Fundamentals of Regional Economics]*. Moscow, Higher School of Economics.
3. Gromova, E., Malakhovskaia, O., Sosunov, K. (2009). *Empiricheskii analiz optimal'noi politiki v Rossii: novyi keinsianskii podkhod [Empirical Analysis of Optimum Policy for Russia: A New Keynesian Approach]*. Preprint WP12/2009/01. Moscow, Higher School of Economics.
4. Makarov, V.L., Bakhtizin, A.R., Sulakshin, S.S. (2007). *Prime-*



- nenie vychislimykh modelei v gosudarstvennom upravlenii (Application of Computational Models in Public Administration). Moscow, Nauchnyi Ekspert.
5. Malakhovskaia, O.A., Minabutdinov, A.R. (2013). *Dinamicheskaia stokhasticheskaia model' obshchego ravnovesiia eksportnoorientirovannoi ekonomiki [Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of An Export-Oriented Economy]*. Preprint WP12/2013/04. Moscow, Higher School of Economics.
  6. Polbin, A.V. (2013). Postroenie dinamicheskoi stokhasticheskoi modeli obshchego ravnovesiia dlia ekonomiki s vysokoi zavisimost'iu ot eksporta nefti (Development of a Dynamic Stochastic General Equilibrium Model for an Economic with High Dependence on Oil Export). *Ekonomicheskii zhurnal VShE (Highest School of Economics Economic Journal)*, No. 2, 1–37.
  7. Serkov, L.A. (2015). Modelirovanie ozhidanii v sistemakh s geterogennymi agentami (Modelling of Expectations in the System with Heterogeneous Agents in the Presence of Shadow Economy). *Zhurnal ekonomicheskoi teorii (Russian Journal of Economic Theory)*, No. 2, 86–92.
  8. An, S., Schorfheide, F. (2007). Bayesian Analysis of DSGE Models. *Econometric Reviews*, Vol. 26, Issue 2–4, 113–172.
  9. Duarte, M., Wolman, A. (2008). Fiscal Policy and regional inflation in a currency Union. *Journal of International Economics*, Vol. 74, Issue 2, 384–401.
  10. Erceg, C.J., Guerrier, L., Gust, C. (2006). SIGMA: A New Open Economy Model for Policy Analysis. *International Journal of Central Banking*, Vol. 2, No. 1, 111–144.
  11. Harrison, R., Nikolov, K., Quinn, M., Ramsay, G., Scott, A., Thomas, R. (2005). *The Bank of England Quarterly Model*. Bank of England, 244.
  12. Kamps, C. (2004). *The Dynamic Macroeconomic Effects of Public Capital*. Berlin, Springer-Verlag.
  13. Tamegawa, K. (2012). Two-Region DSGE Analysis of Regionally Targeted Fiscal Policy. *The Review of Regional Studies*, Vol. 42, 249–263.
  14. Kydland, F.E., Prescott, E.C. (1982). Time to Build and Aggregate Fluctuations. *Econometrica*, Vol. 50, 1345–1371.
  15. Kydland, F.E., Prescott, E.C. (1996). The Computational Experiment: An Econometric Tool. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 10, 69–86.
  16. Murchison, S., Rennison, A. (2006). ToTEM: The Bank of Canada's New Quarterly Projection Model. Bank of Canada Technical Report, No. 97.
  17. Rees, D., Smith, P., Hall, J. (2016). A Multi-sector Model of the Australian Economy. *Economic Record*, Vol. 92, Issue 298, 374–408.
  18. Rotemberg, J. (1982). Sticky Prices in the United States. *The Journal of Political Economy*, Vol. 90, No. 6, 1187–1211.
  19. Rotemberg, J.J., Woodford, M. (1996). Real Business-Cycle Models and the Forecastable Movements in Output, Hours, and Consumption. *American Economic Review*, Vol. 86, 71–89.
  20. Silvio, M., Azevedo, C. (2016). Structural Trends and Cycles in a DSGE Model for Brazil. *Working Paper. Banco Central do Brasil*, No. 434. Banco Central do Brasil, 57.

---

**Серков Л.А.**

---

21. Sargent, T.J., Wallace, N. (1975). Rational' Expectations, the Optimal Monetary Instrument, and the Optimal Money Supply Rule. *Journal of Political Economy*, Vol. 83, 241–254.
22. Sims, C.A. (1996). Macroeconomics and Methodology. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 10, 105–120.
23. Schorfheide, F. (2000). Loss Function-Based Evaluation of DSGE Models. *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 15, 645–670.
24. Valdivia, D. (2015). *Handbook on DSGE models: some useful tips in modeling a DSGE models*. MPRA Paper, No. 61347.
25. Yudaeva, K., Ivanova, N., Kamenskikh, M. (2010). *What does the Bank of Russia target?* Technical report. Sberbank, Center for Macroeconomic Research.

### Information about the author

**Serkov Leonid Aleksandrovich** – Candidate of Physic and Mathematic Sciences, Senior Researcher, Institute of Economics, The Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia (620014, Ekaterinburg, Moskovskaya street, 29); e-mail: dsge2012@mail.ru.

**Для цитирования:** Серков Л.А. Анализ влияния структурных шоков на эндогенные переменные компактной региональной динамической модели // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2018. Т. 17, № 3. С. 445–470. DOI: 10.15826/vestnik.2018.17.3.020.

**For Citation:** Serkov L.A. Analysis of the Effect of Structural Shocks on the Endogenic Variables of a Compact Regional Dynamic Model. *Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management*, 2018, Vol. 17, No. 3, 445–470. DOI: 10.15826/vestnik.2018.17.3.020.

**Информация о статье:** дата поступления 27 февраля 2018 г.; дата принятия к печати 22 марта 2018 г.

**Article Info:** Received February 27, 2018; Accepted March 22, 2018.