



Munich Personal RePEc Archive

## **Estimating the impact of external shocks on Russian economy: GVAR approach**

Zubarev, Andrey and Kirillova, Maria

RANEPA

1 May 2022

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/113762/>  
MPRA Paper No. 113762, posted 13 Jul 2022 16:02 UTC

## **Оценивание влияния внешних шоков на российскую экономику с помощью модели GVAR**

Зубарев Андрей Витальевич – к.э.н., заведующий лабораторией прикладного макроэкономического анализа Института прикладных экономических исследований РАНХиГС, 119571, Москва, пр. Вернадского, д. 82, zubarev@ranepa.ru, +7 (926) 523-64-34

Кириллова Мария Андреевна – младший научный сотрудник лаборатории прикладного макроэкономического анализа Института прикладных экономических исследований РАНХиГС, 119571, Москва, пр. Вернадского, д. 82, kirillova-ma@ranepa.ru, +7 (967) 010-30-60

### **Аннотация**

Взаимосвязи между экономиками различных стран и их зависимость от мировых рынков свидетельствуют о том, что для анализа влияния внешних шоков на конкретную экономику необходимо использовать глобальные модели, в частности эконометрические. Целью данной работы является построение глобальной модели векторной авторегрессии (GVAR), включающей Россию как один из регионов, и оценка влияния некоторых внешнеэкономических шоков на российские макроэкономические показатели. Мы строим модель, включающую 41 крупнейшую экономику, в том числе Россию, и отдельно выделяем рынок нефти. Особенности модели являются учёт структурных сдвигов в динамике российского выпуска и новая предложенная нами спецификация уравнений спроса и предложения нефти. Для получения количественных оценок используются функции импульсных откликов. В работе мы анализируем реакцию выпусков, объёмов добычи нефти и цены на нефть в ответ на шок выпуска США. В ответ на снижения выпуска в ведущей мировой экономике выпуски остальных стран снижаются как минимум в течение первого года после шока. Также выявлено значимое снижение нефтяных цен и не выявлено значимого изменения объёмов добычи в большинстве стран в ответ на данный шок.

**Ключевые слова:** глобальная векторная авторегрессия, GVAR, цены на нефть, выпуск, добыча нефти, функции импульсных откликов.

**JEL:** C32, E17, F47

## **Estimating the impact of external shocks on Russian economy: GVAR approach**

Zubarev Andrey – The Institute of Applied Economic Research, RANEPА, 119571, Moscow, 82 Prospekt Vernadskogo, zubarev@ranepa.ru, +7 (926) 523-64-34

Kirillova Maria – The Institute of Applied Economic, RANEPА, 119571, Moscow, 82 Prospekt Vernadskogo, kirillova-ma@ranepa.ru, +7 (967) 010-33-60

### Abstract

The relationship between the economies of various countries and their dependence on the world markets indicate that for econometric analysis of the impact of external shocks on a particular economy, it is necessary to use a model of the global economy. The aim of this paper is to build a global vector autoregression model (GVAR), including Russia as one of the regions, and to obtain the impact of some external economic shocks on Russian macroeconomic indicators. We build a model that includes 41 of the world's major economies, including Russia, and the oil market. The special features of our model are structural shifts in the dynamics of Russian output and the new specification of oil supply and oil demand. Impulse response functions are used to obtain quantitative estimates. In this paper, we analyze the reaction of outputs, oil production volumes and oil prices in response to the output shock of the United States. In response to the negative shock of output in the world's leading economy, outputs in the rest of the world declined for at least the first year after the shock. There was also a significant decline in oil prices and no significant change in oil production volumes in most countries.

**Key words:** global vector autoregression, GVAR, oil prices, GDP, oil production, impulse response function

**JEL:** C32, E17, F47

### Введение

В современном мире различные страны и рынки находятся в сильной взаимосвязи друг с другом. Шоки, возникающие у отдельных участников глобальной экономики, могут с различной силой и скоростью затрагивать другие страны. В частности, российские показатели, такие как уровень ВВП и реальный курс, подвержены влиянию внешних шоков, в первую очередь шоков цены на нефть, которая, в свою очередь, связана с уровнем мировой деловой активности. Кроме того, мировой рынок нефти связан с объёмами её добычи, процентной политикой государств и т.д. Взаимосвязи между торговыми партнёрами и зависимость от мировых финансовых, сырьевых и других рынков свидетельствуют о том, что для анализа влияния различных внешних шоков на конкретную экономику необходимо использовать глобальную эконометрическую модель, отражающую основные каналы передачи шоков между макроэкономическими показателями как внутри страны, так и между экономиками.

Целью данной работы является оценка влияния внешнеэкономических шоков на российские макроэкономические показатели.

В качестве инструмента мы используем модель глобальной векторной авторегрессии (GVAR), представленную в пионерской работе [Pesaran et al, 2004] и

расширенную в дальнейших исследованиях. Для построения модели GVAR используется набор стран, образующих индивидуальные страновые модели с домашними эндогенными, иностранными слабо экзогенными и глобальными экзогенными переменными, характеризующими мировые рынки. Кроме того, иностранные переменные агрегированы в соответствии с их весами в торговом балансе с домашней страной для уменьшения количества оцениваемых коэффициентов. Для получения оценок влияния внешних шоков на ту или иную экономику индивидуальные модели собираются в общую систему уравнений для последующих получения функций импульсных откликов и прогнозирования.

Существенным новшеством данной работы является включение России в список рассматриваемых экономик. При этом при моделировании долгосрочного соотношения для выпуска учитывается наличие структурных сдвигов в темпах экономического роста и зависимость от цены на нефть. Другой важной особенностью данной работы является предложенная новая спецификация индивидуальных моделей для объемов добычи нефти и модели для нефтяных цен. Мы предполагаем, что в динамике объемов добычи присутствует инерционность и изменения в объемах мирового выпуска или мировых цен на нефть влияют на добычу лишь с некоторым лагом. Мировые же цены на нефть, напротив, могут быстро реагировать на изменения мировых показателей выпуска и добычи.

Структура работы выглядит следующим образом. За обзором литературы следует описание алгоритма оценивания модели GVAR, состоящей из индивидуальных моделей для каждой страны и модели мирового рынка нефти. Далее приводятся импульсные отклики макроэкономических показателей на шоки для проверки валидности модели.

## 1. Обзор литературы

Модель GVAR впервые была представлена в работе [Pesaran et al., 2004] как компактная эконометрическая модель, которая отражает взаимосвязь между макроэкономическими показателями внутри стран и механизмы распространения шоков между экономиками. Такой подход помогает решить проблему «проклятия размерности», которая возникает в стандартной VAR–модели. Авторы работы предлагают оценивать блок регрессий для каждой страны отдельно, считая иностранные переменные слабо экзогенными (это показывают и проведенные тесты). Кроме того, количество оцениваемых коэффициентов удастся снизить, агрегируя иностранные переменные (одного типа) с помощью весов из объемов торговли рассматриваемой страны с остальными экономиками. При данном подходе внешние шоки от других стран будут передаваться в соответствии с их весом в торговом балансе конкретной экономики. После оценивания индивидуальные модели объединяются в единую модель для получения откликов в ответ на шоки для всех стран. Авторы используют так называемые обобщенные импульсные отклики (GIRF), устраняющие зависимость откликов от порядка включения в модель стран и их рядов.

В работе [Dees et al., 2007] GVAR–модель рассматривается как альтернатива модели с ненаблюдаемыми переменными. Авторы изучают реакцию Еврозоны как единой экономики на изменение денежной-кредитной политики в США и глобальные шоки. Было обнаружено, что шоки на финансовых рынках США очень быстро передаются Еврозоне и величина отклика превышает величину первоначального шока, а шоки монетарной политики США не приводят к значимым для Еврозоны последствиям. В [Dees et al., 2007] подчеркивается, что стандартная формулировка модели GVAR не позволяет оценить

реакцию стран на структурные шоки конкретной экономики. Ортогонализировать шоки в рамках модели GVAR затруднительно из-за большого числа переменных. Авторы сравнивают результаты обобщенных и ортогонализированных откликов, при условии, что структурными шоками будут выступать шоки экономики США, распространяющиеся далее на остальные экономики.

В работах [Dees et al., 2009; Dees et al., 2014] предлагается перейти к структурным шокам экономик, построив модель в отклонениях от долгосрочного равновесия с рациональными ожиданиями. Авторы с использованием данного подхода построили функции импульсных откликов для ВВП, инфляции и процентной ставки США и Еврозоны в ответ на шоки мирового спроса и предложения.

В [Cashin et al., 2014] GVAR-модель модифицирована для идентификации структурных шоков спроса и предложения нефти со знаковыми ограничениями. При построении GVAR-модели цена на нефть считалась эндогенной для США и экзогенной для всех остальных стран. [Mohaddes, Pesaran, 2016; Mohaddes, Raissi, 2019] продолжили работу с нефтяными шоками. Авторы дополнили набор стран крупнейшими экспортёрами нефти (исключая Россию из-за недостаточно длинного временного ряда). При этом цена на нефть в их работах считается экзогенной для всех стран. В [Mohaddes, Pesaran, 2016] рынок нефти вынесен в отдельное уравнение и зависит от мирового уровня выпуска и мирового предложения нефти — агрегированных домашних переменных добычи нефти всех стран модели. В работе авторы изучали влияние локальных шоков предложения сырья странами-экспортёрами и оценили, в какой мере выпуски различных стран реагируют на шоки предложения нефти в Саудовской Аравии. В работе [Mohaddes, Raissi, 2019] исследовано воздействие шоков предложения нефти различными странами-экспортёрами на нефтяные цены и уровни ВВП в остальных странах.

Модель GVAR широко используется для исследования реакции основных макроэкономических показателей на различные шоки. Например, в работе [Cesa-Bianchi, 2013] изучается влияние шоков спроса на жилые дома в США на экономику развитых и развивающихся стран. В [Gauvin et al., 2013] авторы исследовали, как шоки экономики Китая воздействуют на показатели других стран и, в особенности, на экспортёров сырья. В [Bettendorf, 2017] оценено, как шоки в США влияют на международную торговлю и глобальный дисбаланс. Авторы [Neghad, Hosseini, 2017] в своей работе исследовали влияние шоков нефтяных цен на уровень безработицы в странах и лаг, с которым монетарная политика государств реагирует на изменения. [Jibril, Halac, 2019] выявили положительные эффекты от роста нефтяных цен на экономику Нигерии. В работе [Olayungbo, 2019] изучаются эффекты от торговой войны США и Китая на экономики некоторых африканских стран. Кроме нефти исследователи включали в модель и другие сырьевые товары. Например, [Wei, Lahiri, 2019] добавили цены на металлы и оценивали влияние сырьевых шоков на монетарную политику стран NAFTA.

Ряд работ посвящен изучению влияния пандемии COVID-19 на экономику различных стран с помощью моделей GVAR. В [Milani, 2021] автор на дневных данных оценил воздействие мер по социальному дистанцированию и ограничению передвижения на распространение COVID-19 и рост безработицы. [Smith et al., 2020] при помощи GVAR прогнозировали темпы экономического роста при альтернативных сценариях отсутствия пандемии, одной и двух волнах заражения, на основе чего далее строился условный прогноз выделения CO<sub>2</sub> в атмосферу. Расчеты показывают быстрое восстановление стран после пандемии, причем развивающиеся экономики обгоняют развитые страны в возвращении к

прежним темпам роста. В [Chudik et al., 2020] для оценки воздействия шока COVID-19 применили пороговую GVAR–модель (TGVAR), в которой к нефтяным ценам дополнительной глобальной переменной добавляется волатильность на финансовом рынке. В результате получен прогноз на 2020 год с сильным падении ВВП всех стран, хотя развивающиеся азиатские страны испытают его в меньшей степени. В развитых экономиках ожидается значительное падение процентных ставок.

При построении GVAR–моделей одним из важных этапов оценивания является выделение коинтеграционных соотношений для каждой экономики. В работах [Pesaran et al., 2004], [Dees et al., 2007] и других авторов данные соотношения строятся для оценивания долгосрочных зависимостей между макроэкономическими показателями и отделения их от краткосрочных эффектов. Авторы обычно пользуются статистическими тестами для определения коинтеграции, мы предлагаем их выделение с использованием теоретических и эмпирических исследований по данной теме.

Существует ряд работ по поиску долгосрочных связей между различными факторами, обычно включаемыми в GVAR–модель, которые стоит учесть при построении коинтеграционных соотношений. В работе [Lee, 2005] для развивающихся экономик было выявлено положительное влияние потребления энергоносителей на экономический рост и в долгосрочном, и в краткосрочном периоде. Обратная зависимость энергопотребления от ВВП не была обнаружена. [Narayan, Smith, 2008] исследовали те же факторы в странах G7 и получили схожие с [Lardic, Mignon, 2006; Lardic, Mignon, 2008] результаты, что рост нефтяных цен ведет к падению темпов роста ВВП в странах G7. При оценивании долгосрочного соотношения для российского уровня ВВП цена нефти включается как один из важнейших факторов развития экономики. [Казакова, Синельников-Мурылев, 2009] разделяли темпы роста ВВП на структурную и конъюнктурную компоненты с учетом влияния нефтяных цен на развитие российской экономики и динамики российских инвестиций. Другой важной особенностью российского выпуска является наличие структурных сдвигов. [Дробышевский и др., 2018; Ломиворотов, 2014; Пестова, Мамонов, 2016; Полбин, Скроботов, 2016; Полбин, 2020] оценивают наличие как минимум двух изломов в тренде для уровня ВВП с 1995 по 2015 гг. и возможное замедление темпов роста в связи с ухудшением внешнеэкономической ситуации после 2014 года.

[Божечкова, Трунин, 2016] привели обзор работ по изучению долгосрочных соотношений для реального обменного курса. Авторы выделяют факторы со стороны предложения (эффект Балассы–Самуэльсона при различном соотношении цен торгуемых и неторгуемых товаров) и со стороны спроса (иностранные активы, государственные расходы, условия на мировом рынке). Для оценивания коинтеграционного соотношения реального курса России авторы используют дифференциал производительности труда России и Германии, цену на нефть, отношение государственных расходов к ВВП, чистый отток частного капитала. В результате получено положительное влияние относительной производительности труда, нефтяных цен и госрасходов, отрицательное влияние вывоза капитала на реальный курс.

## **2. Построение GVAR–модели**

### ***2.1 Общий вид GVAR–модели***

В [Dees et al., 2007; Mohaddes, Pesaran, 2016] и других работах предлагается стандартный подход для оценивания индивидуальных уравнений модели GVAR в виде:

$$x_{it} = a_{i0} + a_{i1}t + \sum_{l=1}^p \Phi_{il} x_{i,t-l} + \Lambda_{i0} x_{it}^* + \sum_{l=1}^q \Lambda_{il} x_{i,t-l}^* + \Psi_{i0} d_t + \sum_{l=1}^s \Psi_{il} d_{t-l} + \varepsilon_{it},$$

где  $x_{it}$  – вектор эндогенных домашних переменных  $i$ -ой страны;  $x_{it}^*$  – взвешенные переменные других стран относительно  $i$ -ой, которые являются слабо экзогенными для нее;  $d_t$  – вектор глобальных экзогенных переменных, например, цены на нефть.

Для построения индивидуальных моделей рассматриваемых  $N$  экономик обычно используется следующий набор переменных:  $x = (y, \pi, q, rer, r, qoil)'$ , где  $y$  – реальный ВВП,  $\pi$  – инфляция,  $q$  – реальный фондовый индекс,  $rer$  – реальный обменный курс национальной валюты относительно доллара США,  $r$  – номинальная краткосрочная процентная ставка,  $qoil$  – объемы добычи нефти.

Не все переменные обязаны присутствовать в каждой индивидуальной модели, например, добычу нефти  $qoil$  имеет смысл использовать только для стран–экспортеров нефти. Если у страны нет достаточно длинного исторического ряда для устойчивого внутреннего фондового рынка или рынка долгосрочных ценных бумаг, то данные показатели также не включаются.

Для решения проблемы сверхпараметризации [Pesaran et al., 2004] предложили агрегировать слабо экзогенные переменные путем взвешивания. В данном случае мы взвешиваем иностранные показатели (за исключением  $qoil$ ) следующим образом:

$$y_{it}^* = \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt}, \quad w_{ii} = 0, \text{ где } w_{ij} \text{ – вес, с которым } j\text{-я страна воздействует на } i\text{-ю. Авторы}$$

оригинальной модели предлагают брать веса из торгового баланса: для каждой пары стран

$$w_{ij} = \frac{Export_{ij} + Import_{ij}}{Export_i + Import_i}. \text{ Если вес – доля торговли со страной } j \text{ в общей торговле страны } i,$$

то при распространении шоков большее влияние на страну  $i$  окажут те экономики, которые сильнее с ней связаны.

Из-за нестационарности рядов  $x_{it}$  (см. [Dees et al., 2007] и др.) оценивание модели проводится в форме модели коррекции ошибок с экзогенными переменными (VECMX) с некоторым количеством долгосрочных соотношений  $ECM_{it}$  в модели:

$$\Delta x_{it} = a_{i0} + \alpha_{i1} ECM_{i,t-1} + \Lambda_{i0} \Delta x_{it}^* + \Psi_{i0} \Delta d_t + \sum_{l=1}^p \Phi_{il} \Delta x_{i,t-l} + \sum_{l=1}^q \Lambda_{il} \Delta x_{i,t-l}^* + \sum_{l=1}^s \Psi_{il} \Delta d_{t-l} + u_{it},$$

$$ECM_{it} = -\beta'_i ((x'_{it}, x'^{*}_{it}, d'_t)' - \gamma_i t) = \beta'_{ix} x_{it} + \beta'_{ix^*} x_{it}^* + \beta'_{id} d_t + \beta'_i \gamma_i t.$$

Для каждой страны с помощью теста Йохансена определяется количество коинтеграционных соотношений, что выражается в ранге матрицы  $\beta_i$ . Далее

коэффициенты индивидуальной страновой модели оцениваются с помощью метода наименьших квадратов. После получения оценок коэффициентов модели слабая экзогенность внешних переменных проверяется тестированием значимости  $\gamma_{ij,l}$  в уравнении для каждого из показателей, формирующих  $x_{it}$ .

$$\Delta x_{it}^* = \mu_{it} + \sum_{j=1}^{r_i} \gamma_{ij,l} ECM_{i,t-1}^j + \sum_{k=1}^{p_i} v_{ik,l} \Delta x_{i,t-k} + \sum_{k=1}^{q_i} \tau_{ik,l} \Delta x_{i,t-k}^* + \sum_{k=1}^{s_i} v_{ik,l} \Delta d_{i,t-k} + \varepsilon_{it,l},$$

Оцененные индивидуальные модели можно представить в следующем виде:

$$A_i(L)z_{it} = \phi_{it},$$

$$z_{it} = (x'_{it}, x'^{*}_{it})', \phi_{it} = a_{i0} + a_{i1}t + \sum_{i=1}^N \Psi_i d_t + u_{it}.$$

Для каждой страны формируется матрица  $W_i = (W_{i1}, \dots, W_{iN})$ ,  $W_{ii} = 0$  так, чтобы  $z_{it} = W_i x_t$ ,  $x_t = (x'_{i1}, \dots, x'_{iN})'$ . Тогда индивидуальные модели записываются как  $A_i(L)W_i x_t = \phi_{it}$ , а вместе образуют единую GVAR-модель

$$G(L)x_t = \phi_t,$$

$$G(L) = \begin{pmatrix} A_1(L)W_1 \\ \dots \\ \dots \\ A_N(L)W_N \end{pmatrix}, \phi_t = \begin{pmatrix} \phi_{i1} \\ \dots \\ \dots \\ \phi_{iN} \end{pmatrix}.$$

В данной работе мы используем обобщенные импульсные отклики (GIRF), предложенные [Коор et al., 1996] и адаптированные для VECM-оценивания [Pesaran, Shin, 1998], впоследствии часто используемые для работы с моделями GVAR. Преимущество GIRF по сравнению с ортогональными импульсными откликами (OIR, используемыми, например, для построения откликов в SVAR моделях [Sims, 1980]) в том, что не требуется проводить ортогонализацию шоков и упорядочивание переменных всех стран.

Преобразованная в форме векторной авторегрессии модель

$$Gx_t = Hx_{t-1} + \dots + a_0 + a_1 t + \sum_{i=1}^N \Psi_i d_t + u_t, u_t \square IID(0, \Sigma_u)$$

может быть использована для прогнозирования и получения функций импульсных откликов. Например, для моделирования некоторого шока формируется вектор  $a_t$  с весами для всех переменных глобальной модели. Для переменных, не подвергающихся шоку мгновенно, веса равны нулю. Для остальных показателей веса формируются в соответствии с предположениями о природе шока.

В нулевой момент времени величина отклика модели в форме представлена в виде . Значения в остальные моменты времени вычисляются из формулы рекурсивно.

$$\varphi(0, x : u_i^{global}) = \frac{G^{-1} \Sigma_u a_l}{\sqrt{a_l' \Sigma_u a_l}}$$

Рассматриваемая предполагает, что данные представлены в виде сбалансированной панели, а ковариационная матрица состоит из попарных ковариаций между всеми показателями всех стран на одном и том же временном промежутке. Мы же хотим включить в модель Россию, данные по которой доступны на более коротком периоде, чем по всем остальным странам. Для этого по всем переменным модели, кроме российских, ковариация рассчитывается на более длинных доступных рядах, как и раньше: в модели без России на длинных рядах вычисляются  $\tilde{u}_i$  и строится матрица вида

$$\begin{pmatrix} \text{cov}(\tilde{u}_1, \tilde{u}_1) & \text{cov}(\tilde{u}_1, \tilde{u}_2) & \dots & \text{cov}(\tilde{u}_1, \tilde{u}_N) \\ \text{cov}(\tilde{u}_1, \tilde{u}_2) & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{cov}(\tilde{u}_1, \tilde{u}_N) & \dots & \dots & \text{cov}(\tilde{u}_N, \tilde{u}_N) \end{pmatrix}.$$

На следующем шаге модель оценивается на коротких рядах и для всех стран, включая Россию, вычисляется  $u_i$ . Далее в ковариационную матрицу добавляются столбцы и строки для  $u_{rus}$ :

$$\Sigma_u = \begin{pmatrix} \text{cov}(\tilde{u}_1, \tilde{u}_1) & \dots & \text{cov}(u_1, u_{rus}) & \dots & \text{cov}(\tilde{u}_1, \tilde{u}_N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{cov}(u_1, u_{rus}) & \dots & \text{cov}(u_{rus}, u_{rus}) & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{cov}(\tilde{u}_1, \tilde{u}_N) & \dots & \dots & \dots & \text{cov}(\tilde{u}_N, \tilde{u}_N) \end{pmatrix}.$$

Таким образом, мы можем строить функции импульсных откликов, учитывая доступную информацию на временных периодах максимально возможной длины.

## 2.2 Индивидуальная модель для России

Особое внимание при построении GVAR-модели следует уделить индивидуальной модели для российской экономики, так как она является предметом наибольшего интереса. Стандартная модель GVAR предполагает возможное наличие коинтеграционного соотношения не только между домашними переменными, но и между домашними и иностранными переменными. Поэтому обычно для стран в долгосрочном соотношении участвуют компоненты  $x^*$ . Для российской экономики исследования не подтверждают устойчивые взаимосвязи с какими-либо макроэкономическими показателями (приведённые в обзоре теоретические и эмпирические работы показывают, что тренда со сдвигом и цены

на нефть достаточно для объяснения устойчивого роста выпуска). Поэтому предлагается рассматривать в качестве долгосрочного соотношения модель:

$$y_{rus,t} = c + \mu_0 dt_{0t} \times t + \gamma dt_{1t} + \mu_1 dt_{1t} \times t + \beta poil_t + \varepsilon_{1t},$$

где  $dt_{0t}$  – дамми-переменная для периода до структурного сдвига в третьем квартале 2007 года,  $dt_{1t}$  – дамми-переменная для периода после сдвига (оценки из работы [Полбин, Скроботов, 2016], [Полбин, 2020]).

Обозначив  $\mu = \mu_0 dt_{0t} \times t + \mu_1 dt_{1t} \times t$ , модель можно представить как

$$\Delta y_{rus,t} = \mu_t + \gamma \Delta dt_{1t} + \alpha ECM_{1,t-1} + \eta (\Delta y_{rus,t-1} - \mu_{t-1} - \gamma \Delta dt_{1,t-1}) + \rho_1 \Delta rer_{rus,t-1} + \rho_2 \Delta y_{rus,t}^* + \theta \Delta poil_t + \varepsilon_{1t}$$

По аналогии с работой [Fokin, Polbin, 2019] для очистки ряда выпуска от тренда введем переменную вида  $\Delta y_{long,t} = \Delta y_t - \mu_t - \gamma \times \Delta dt_{1t}$  и преобразуем уравнение с добавлением возможных факторов изменения уровня ВВП. Иностраный ВВП  $y^*$  аналогичным образом очищается от тренда для получения  $\Delta y_{long,t}^*$ . После кризиса 2007 года темпы роста мирового ВВП не изменились, но так как  $y^*$  рассчитывается для средневзвешенного торгового партнёра России, нет противоречия в том, что в иностранном выпуске есть некоторый структурный сдвиг, который мы также выделяем.

Полученное уравнение в форме модели коррекции ошибок оценивается с помощью метода наименьших квадратов для дальнейшего получения импульсных откликов:

$$\Delta y_{long,t} = c + \alpha ECM_{1,t-1} + \eta \Delta y_{long,t-1} + \rho_1 \Delta rer_{t-1} + \rho_2 \Delta y_{long,t}^* + \theta_1 \Delta poil_t + \theta_2 \Delta poil_{t-1} + \varepsilon_t.$$

В соответствии с [Трунин и др., 2010; Божечкова, Трунин, 2016] и другими работами, на долгосрочный реальный эффективный курс рубля влияют такие переменные, как дифференциал производительности труда, чистые иностранные активы и условия торговли. Иностранные активы не входят в набор показателей для стандартной GVAR–модели, остальные же две переменных возможно учесть при построении уравнения для реального курса. В качестве прокси для условий торговли в моделях, как правило, используется цена на нефть  $poil$  (товар, приносящий существенную долю экспортных доходов). Важно отметить, что в модели для каждой страны используется курс отечественной валюты относительно доллара. Включение эффективного курса в GVAR–подходе не требуется, так как в общем случае для индивидуальных моделей формируется переменная  $rer_i^* = \sum_j w_{ij} rer_{jt}$ , которая и является, по сути, эффективным обменным курсом.

Дифференциал производительности труда можно в контексте GVAR–модели заменить разностью в уровнях ВВП России  $y_{rus,t}$  и усреднённого торгового партнёра  $y_{rus,t}^*$ .

Чистые финансовые активы не входят в стандартный набор переменных модели GVAR, но, как показывает оценивание, перечисленные переменные имеют достаточную объясняющую силу для обменного курса  $rer_{rus,t}$ :

$$rer_{rus,t} = c + \phi_1 y_{rus,t} + \phi_2 y_{rus,t}^* + \beta poil_t + \varepsilon_{2t}.$$

В предположении, что краткосрочное влияние на курс осуществляется через изменение цены на нефть, векторная модель коррекции ошибок для курса рубля записывается в виде:

$$\Delta rer_{rus,t} = c + \alpha ECM_{2,t-1} + \theta_1 \Delta poil_t + \theta_2 \Delta poil_{t-1} + \varepsilon_{2t}.$$

Коэффициенты модели в уровнях (долгосрочное соотношение) при показателях российского и внешнего выпусков оказались значимы и разные по знаку, гипотеза о их равенстве по модулю не отвергается, что не противоречит предположению о способности внутреннего и внешнего выпусков заменить дифференциал производительности труда. Данная спецификация позволяет придерживаться теоретических предпосылок о долгосрочном соотношении для валютного курса и оставаться в рамках GVAR-подхода.

### 2.3 Спецификация локального предложения нефти странами-экспортёрами

В работе [Mohaddes, Pesaran, 2016] предложение нефти в стране-экспортере определяется растущим во времени мировым спросом на нефть, чему соответствует включенный в уравнение тренд. Кроме того, предполагается, что объемы добычи нефти зависят от текущих значений выпуска, цен на нефть и остальных переменных модели.

В действительности, предложение нефти – достаточно инерционная величина, возможность резко изменять добычу ограничена в большинстве стран. У некоторых экспортеров нефти наблюдается снижение предложения объемов добычи в ответ на различные шоки, но связано оно скорее с потерей доли нефтяного рынка и переходу ее к крупным игрокам. В работе [Kilian, 2017] показано, что Саудовская Аравия, одна из стран, способных быстро изменять уровень добычи нефти, предпочитает реагировать на шоки спроса операциями с чистыми иностранными активами, а не изменением непосредственно добычи. Построенная в существующих работах модель GVAR также не отражает наличие жестких соглашений и квот, не позволяющих странам менять уровень добычи нефти. Кроме того, [Kilian, 2017] пишет о сложностях стран-экспортеров поддерживать сговор по ограничению добычи, так как некоторые страны отклоняются от соглашений, чтобы не терять выручку. Учитывая вышесказанное, мы предлагаем следующую спецификацию модели коррекции ошибок для предложения нефти со стороны стран-экспортеров, убрав из нее одномоментные переменные, что подчеркивает инерционность  $qoil$ :

$$\Delta qoil_{it} = c_i + \alpha ECM_{i,t-1} + \beta \Delta y_{i,t-1}^* + \nu \Delta qoil_{i,t-1} + \phi_1 \Delta poil_{t-1} + \phi_2 \Delta poil_{t-2} + \varepsilon_{it}.$$

В стандартной модели предполагается, что в коинтеграционном соотношении для каждой экономики участвуют все домашние переменные. Добавим дополнительное соотношение для предложения нефти, обусловленное только ценой на нефть и трендом,

который отражает рост предложения нефти с ростом мировой экономической активности и соответствующим ростом спроса на нефть:

$$qoil_t = c + \mu t + poil_t + v_t.$$

В спецификации не учитываются возможные структурные сдвиги для предложения нефти странами-экспортерами, хотя эта информация позволила бы уточнить оценивание. Что касается долгосрочного соотношения для объема добычи нефти в России, то мы используем подход, аналогичный выделению структурного сдвига в тренде для реального ВВП:

$$qoil_{rus,t} = c_{rus} + \mu_0 dt_{0t} \times t + \gamma dt_{1t} + \mu_1 dt_{1t} \times t + \beta poil_t + \varepsilon_{rus,t},$$

где  $dt_{0t}$  – дамми периода до  $T_{rus} = 2007q3$ ,  $dt_{1t}$  – дамми периода, начиная с  $T$ .

Дополнительно в работе выделяется структурный сдвиг для США, связанный со сланцевой революцией и приведший к резкому росту объемов добычи нефти. Из оценок в работе [Kilian, 2017] мы делаем предположение, что разворот в долгосрочном тренде произошел в  $T_{us} = 2008q3$ .

#### 2.4 Спецификация уравнения глобального спроса на нефть

По аналогии с работами [Mohaddes, Pesaran, 2016; Mohaddes, Raissi, 2019] мы добавляем к полученной GVAR–модели отдельное уравнение для цены на нефть в виде:

$$\Delta poil_t = c + \sum_{l=1}^p \alpha_l \Delta poil_{t-l} + \sum_{l=0}^q \beta_l \Delta Y_{t-l} + \sum_{l=0}^r \gamma_l \Delta Q_{t-l} + v_t,$$

где цена на нефть  $poil_t$  зависит от своих лагов, а также от мирового спроса  $Y_t$  и предложения нефти  $Q_t$  соответственно. Данные ряды получены аналогично переменным  $x_t^*$ , но весами выступают доли стран модели в объемах мировой торговли для  $Y_t$  и доли стран-экспортеров нефти в общем объеме добычи нефти для  $Q_t$ .

В работах [Mohaddes, Pesaran, 2016; Mohaddes, Raissi, 2019; Chudik et al, 2020] уравнение рынка нефти оценивается в виде, схожем с , но без включения одномоментных значений выпуска и добычи нефти для удобства включения спроса на нефть в глобальную модель. Мы в данной работе предполагаем, что цена на нефть способна быстро реагировать на изменения спроса и предложения на рынке.

Модель не позволяет оценивать функции импульсных откликов аналогично индивидуальным моделям, так как не предполагает экзогенности мирового уровня выпуска  $Y_t$  и объемов добычи  $Q_t$ . Отчасти проблема решается предложенной спецификацией модели предложения нефти, которая не включает в себя одномоментных значения выпуска и цены на нефть. Модели для индивидуальных выпусков включают в себя текущие значения нефтяных цен, что приводит к эндогенности  $Y_t$  и  $poil_t$ . Однако для решения

данной проблемы можно предположить, что реальный выпуск стран не успевает реагировать на быстрое изменение нефтяных цен. В рамках данной предпосылки мы убираем из индивидуальных моделей для выпуска  $y_{it}$  одномоментные значения цены на нефть  $poil_t$ , оставляя при этом лаги цены.

Модель глобальной экономики оценивается в MATLAB с помощью пакета GVAR Toolbox [Smith, Galesi, 2011].

### 3. Данные

В качестве домашних переменных, аналогично работе [Mohaddes, Pesaran, 2016] для рассматриваемых экономик (см. Таблицу 1, страны Евросоюза и страны GCC+ в модели объединены в соответствующие блоки и рассматриваются как единые экономики) используются следующие показатели:  $x = (y, \pi, q, rer, r, qoil)'$ , где  $y$  – реальный ВВП,  $\pi$  – инфляция,  $q$  – реальный фондовый индекс,  $rer$  – реальный обменный курс национальной валюты относительно доллара США,  $r$  – номинальная и краткосрочная процентная ставка,  $qoil$  – объемы добычи нефти.

Переменные для всех стран получены из квартальных данных (для России за 1999–2020 гг., для остальных стран за 1979–2020 гг.). Данные по выпуску, ИПЦ, фондовому индексу, ставкам и цене на нефть взяты из баз IMF<sup>1</sup> и OECD<sup>2</sup>. Данные по объемам добычи нефти взяты в EIA<sup>3</sup>. Ряды для реального выпуска очищены от сезонности с помощью процедуры X-13ARIMA-SEATS. При наличии только годовых данных на некоторых промежутках ряды интерполированы в соответствии с процедурой, описанной в [Dees et al., 2007]. Объемы экспорта и импорта для каждой страны взяты из базы данных IMF<sup>4</sup>.

Временной ряд для России взят за период 1999q1–2020q4. Период с 1979–1991 гг. относится к стране с другим устройством экономики и не отражает современную структуру. Период 1991–1998 гг. можно считать переходным, с наблюдавшимся трансформационным сдвигом. Из-за короткого по сравнению с другими странами временного промежутка измерений в GVAR-модели приходится сокращать количество переменных для оценивания. В уравнение для России включаются лишь уровень реального ВВП, реальный обменный курс и объемы добычи нефти в стране. Данные переменные являются ключевыми для описания системы отечественной экономики и ее связей с глобальной экономикой.

Развитые экономики:		Страны Азии:	Страны Латинской Америки:
<b>Евросоюз:</b> <b>(в составе)</b>	Германия Нидерланды	Китай Индия	Аргентина Бразилия

<sup>1</sup> International Monetary Fund, International Financial Statistics <https://data.imf.org/>

<sup>2</sup> Organisation for Economic Co-operation and Development <https://stats.oecd.org/>

<sup>3</sup> Energy Information Administration <https://www.eia.gov/international/data/world/>

<sup>4</sup> International Monetary Fund, Direction of Trade Statistics <https://data.imf.org/>

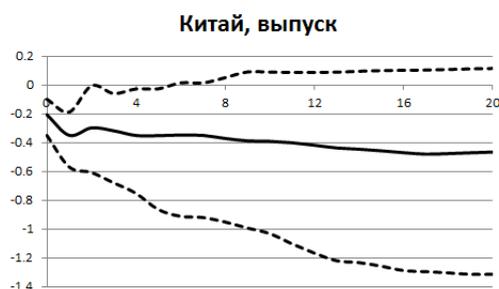
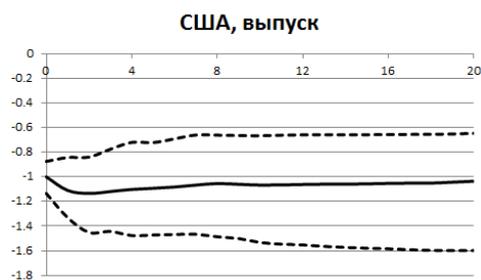
США Япония Великобритания Южная Корея Канада Австралия Сингапур Швейцария Швеция Норвегия Новая Зеландия	Франция	Индонезия	Чили
	Бельгия	Малайзия	Мексика
	Италия	Таиланд	Перу
	Австрия		
	Испания	<b>Страны Европы:</b>	<b>Страны Африки:</b>
	Финляндия	Россия	ЮАР
		Турция	
		<b>Восток и Центральная Азия:</b>	
		Саудовская Аравия	Иран
		<b>Страны GCC+:</b>	
		Бахрейн	Оман
		Кувейт	Катар
		ОАЭ	Алжир
		Ливия	

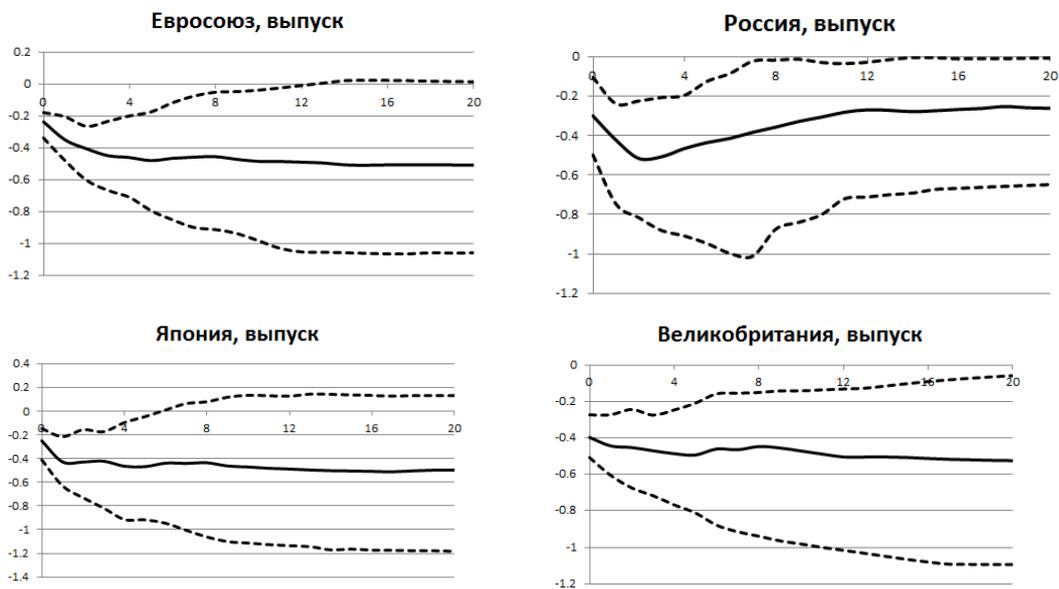
Таблица 1 Страны, включённые в модель

#### 4. Импульсные отклики на макроэкономические шоки

В данной работе мы рассматриваем крупный внешний локальный макроэкономический шок, потенциально важный для российской экономики (и для остального мира): локальный (отрицательный) шок ВВП США. Функции импульсных откликов представлены для периода в 20 кварталов, однако наиболее интересными и валидными являются оценки для краткосрочного периода (примерно 2 года). Отклики получены в ответ на шоки в размере одного стандартного отклонения соответствующей величины. На графиках указаны 68% доверительные интервалы и медианный отклик, полученные на основании процедуры бутстрапирования.

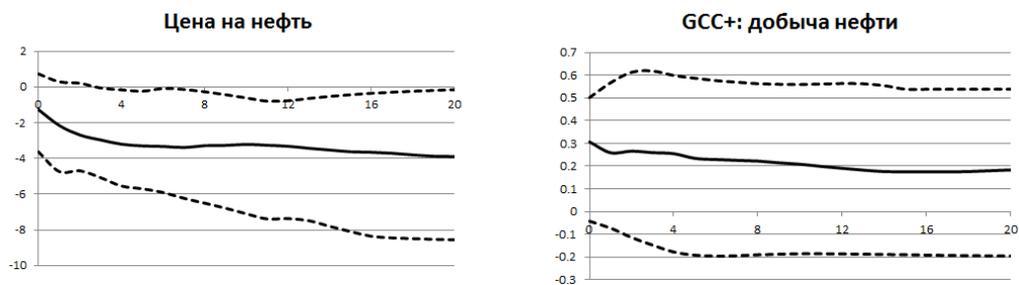
При шоке ВВП США, соответствующему падению выпуска в США на 1% к предыдущему кварталу, страны также значимо реагируют снижением своего выпуска (Рис. 1). Из графиков видно, что Еврозона мгновенно реагирует падением на 0.25% с последующим снижением на 0.5% к концу первого года. На второй год после шока падение остается таким же. Реакция России составляет -0.3% к предыдущему кварталу на конец первого года после шока с некоторым восстановлением к концу второго года. Выпуск в Китае падает на 0.2% в момент шока, а через год после его возникновения изменение становится незначимым.

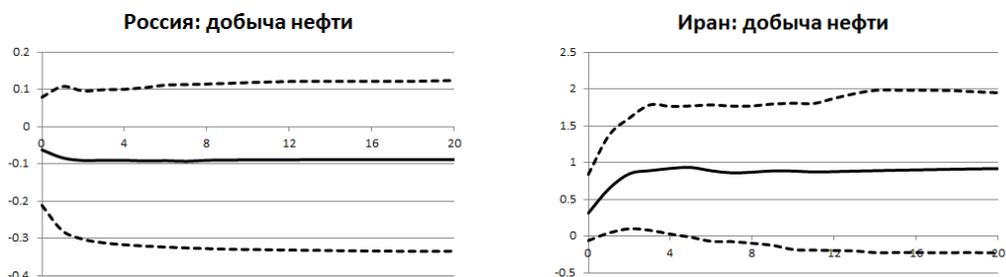




**Рис. 1** Негативный шок ВВП США: выпуск

Цена на нефть (см. Рис. 2) падает на 1.5% в момент шока выпуска в США, а к концу первого года падение составляет около 3% к предыдущему кварталу. Отклики объемов добычи нефти на шок незначимы для большинства стран, только Иран реагирует небольшим наращиванием добычи в течение нескольких кварталов на первый год после шока.





**Рис. 2** Негативный шок ВВП США: цена и добыча нефти

## Выводы

В данной работе мы сконструировали модель глобальной векторной авторегрессии GVAR, особенностями которой является включение российской экономики, а также новая предложенная нами спецификация спроса и предложения нефти, в которой объем добычи нефти в соответствующих странах реагирует только на лаги цены на нефть и объемов добычи нефти, в то время как цена на нефть может моментально изменяться в ответ на шоки уровня мировой деловой активности и выпуска нефти. Российская модель включена в модель GVAR наряду с 41 экономикой, охватывающими более 90% мирового ВВП. В рамках индивидуальной модели для российской экономики оценены долгосрочные и краткосрочные соотношения для реального ВВП, реального обменного валютного курса и объемов добычи нефти в России с учетом экзогенных показателей цены на нефть и мирового уровня деловой активности, а также структурных сдвигов. При помощи функций импульсных откликов была проведена оценка влияния внешнего экономического шока на российские и зарубежные макроэкономические показатели. В частности, мы рассмотрели шок выпуска США и получили количественные оценки его влияния на выпуски других стран и цену на нефть, реакция же выпуска нефти в большинстве экономик оказалась незначима.

## Список литературы

1. Божечкова А., Трунин П. Анализ факторов динамики реального валютного курса // Издательский дом «Дело» РАНХиГС. 2016.
2. Дробышевский С., Идрисов Г., Каукин А., Павлов П., Синельников-Мурылев С. Декомпозиция темпов роста российской экономики в 2007—2017 гг. и прогноз на 2018—2020 гг. // Вопросы экономики. 2018. №. 9. С. 5–31.
3. Казакова М., Синельников-Мурылев С. Конъюнктура мирового рынка энергоносителей и темпы экономического роста в России // Экономическая политика. 2009. №. 5. С. 118-135.

4. Ломиворотов Р. Влияние внешних шоков и денежно-кредитной политики на экономику России // Вопросы экономики. 2014. № 11. С. 122–139.
5. Пестова А., Мамонов М. Оценка влияния различных шоков на динамику макроэкономических показателей в России и разработка условных прогнозов на основе BVAR-модели российской экономики // Экономическая политика. 2016. Т. 11. №. 4. С. 56–92.
6. Полбин А. В. Оценка траектории темпов трендового роста ВВП России в ARX-модели с ценами на нефть // Экономическая политика. 2020. Т.15. №.1.С.40–63.
7. Полбин А., Скроботов А. Тестирование наличия изломов в тренде структурной компоненты ВВП Российской Федерации // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2016. Т. 20, №. 4.
8. Трунин П., Князев Д., Кудюкина Е. Анализ факторов динамики обменного курса рубля // Научные труды Института Гайдара. 2010. №. 144Р.
9. Bettendorf T. Investigating Global Imbalances: Empirical evidence from a GVAR approach // Economic Modelling. 2017. Vol. 64. P. 201–210.
10. Cashin P. et al The differential effects of oil demand and supply shocks on the global economy // Energy Economics. 2014. Vol. 44. P. 113–134.
11. Cesa-Bianchi A. Housing cycles and macroeconomic fluctuations: A global perspective // Journal of International Money and Finance. 2013. Vol. 37. P. 215–238.
12. Chudik A. et al. A counterfactual economic analysis of Covid-19 using a threshold augmented multi-country model // National Bureau of Economic Research. 2020.No.w27855.
13. Dees S. et al. Constructing Multi-Country Rational Expectations Models //Oxford Bulletin of Economics and Statistics. 2014. Vol. 76. No. 6. P.812–840.
14. Dees S. et al Exploring the international linkages of the euro area: a global VAR analysis // Journal of applied econometrics. 2007. Vol. 22. No 1. P. 1–38.
15. Dees S. et al. Identification of new Keynesian Phillips curves from a global perspective // Journal of Money, Credit and Banking. 2009. Vol. 41No. 7.P. 1481–1502.
16. Fokin N., Polbin A. A Bivariate Forecasting Model For Russian GDP Under Structural Changes In Monetary Policy and Long-Term Growth // University Library of Munich. 2019. No. 95306.
17. Gauvin L. et al. Towards Recoupling? Assessing the Impact of a Chinese Hard Landing on Commodity Exporters: Results from Conditional Forecast in a GVAR Model // University Library of Munich.2013. No. 65457.
18. Jibril N. U., Halaç U. Oil Price Shocks and Macroeconomic Instability in Nigeria: Evidence from GVAR // International Journal of Contemporary Economics and Administrative Sciences. 2019. Vol. 9. No. 1. P. 94–118.
19. Kilian L. The impact of the fracking boom on Arab oil producers // The Energy Journal. 2017. Vol. 38. No. 6.
20. Kilian L. Oil price shocks: Causes and consequences // Annu. Rev. Resour. Econ. 2014. Vol. 6. No. 1. P. 133–154.
21. Koop G., Pesaran M., Potter S. Impulse response analysis in nonlinear multivariate models // Journal of econometrics. 1996. Vol. 74. No. 1. P. 119–147.
22. Krane J. A refined approach: Saudi Arabia moves beyond crude // Energy Policy. 2015. Vol. 82. P. 99–104.

23. Lardic S., Mignon V. The impact of oil prices on GDP in European countries: An empirical investigation based on asymmetric cointegration // *Energy policy*. 2006. Vol. 34. No. 18. P. 3910–3915.
24. Lardic S., Mignon V. Oil prices and economic activity: An asymmetric cointegration approach // *Energy Economics*. 2008. Vol. 30. No. 3. P. 847–855.
25. Lee C. Energy consumption and GDP in developing countries: a cointegrated panel analysis // *Energy economics*. 2005. Vol. 27.No. 3. P. 415–427.
26. Milani F. COVID-19 outbreak, social response, and early economic effects: a global VAR analysis of cross-country interdependencies // *Journal of Population Economics*. 2021.
27. Mohaddes K., Pesaran M. Country-specific oil supply shocks and the global economy: A counterfactual analysis // *Energy Economics*. 2016. Vol. 59. P. 382–399.
28. Mohaddes K., Raissi M. The US oil supply revolution and the global economy // *Empirical Economics*. 2019. Vol. 57. No. 5. P. 1515–1546.
29. Narayan P., Smyth R. Energy consumption and real GDP in G7 countries: new evidence from panel cointegration with structural breaks // *Energy Economics*. 2008. Vol. 30. No. 5. P. 2331–2341.
30. Neghad M., Hosseini R. Effects of Oil Shocks on the Unemployment: GVAR Approach // *Romanian Economic Journal*. 2017. Vol. 20. No. 65.
31. Neri S., Nobili A. The transmission of US monetary policy to the euro area // *International Finance*. 2010. Vol. 13. No. 1. P. 55–78.
32. Olayungbo D. The US–China trade dispute: spill-over effects for selected oil-exporting countries in Africa using GVAR analysis // *Transnational Corporations Review*. 2019. Vol. 11. No. 4. P. 310–322.
33. Pesaran M., Schuermann T., Weiner S. Modeling regional interdependencies using a global error-correcting macroeconomic model // *Journal of Business & Economic Statistics*. 2004. Vol. 22. No. 2. P. 129–162.
34. Pesaran M., Shin Y. Generalized impulse response analysis in linear multivariate models // *Economics letters*. 1998. Vol. 58. No. 1. P. 17–29.
35. Sims C. Macroeconomics and reality // *Econometrica: journal of the Econometric Society*. 1980. P. 1–48.
36. Smith V. L., Galesi A. <https://sites.google.com/site/gvarmodelling/gvar-toolbox>
37. Smith L. V., Tarui N., Yamagata T. Assessing the impact of COVID-19 on global fossil fuel consumption and CO2 emissions // *ISER DP*. 2020. No.1093.
38. Wei H., Lahiri R. The impact of commodity price shocks in the presence of a trading relationship: A GVAR analysis of the NAFTA // *Energy Economics*. 2019. Vol. 80. P. 553–569.

## References

1. Bettendorf T. Investigating Global Imbalances: Empirical evidence from a GVAR approach // *Economic Modelling*. 2017. Vol. 64. P. 201–210.
2. Bozhechkova A., Trunin P. Analysis of Factors Affecting the Dynamics of the Real Ruble Exchange Rate // Publishing House "Delo" RANEPА, 2016.

3. Cashin P. et al. The differential effects of oil demand and supply shocks on the global economy // *Energy Economics*. 2014. Vol. 44. P. 113–134.
4. Cesa-Bianchi A. Housing cycles and macroeconomic fluctuations: A global perspective // *Journal of International Money and Finance*. 2013. Vol. 37. P. 215–238.
5. Chudik A. et al. A counterfactual economic analysis of Covid-19 using a threshold augmented multi-country model // *National Bureau of Economic Research*. 2020.No.w27855.
6. Dees S. et al. Constructing Multi-Country Rational Expectations Models // *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*. 2014. Vol. 76. No. 6. P.812–840.
7. Dees S. et al Exploring the international linkages of the euro area: a global VAR analysis // *Journal of applied econometrics*. 2007. Vol. 22. No 1. P. 1–38.
8. Dees S. et al. Identification of new Keynesian Phillips curves from a global perspective // *Journal of Money, Credit and Banking*. 2009. Vol. 41. No. 7.P. 1481–1502.
9. Drobyshevsky S., Idrisov G., Kaukin A., Pavlov P, Sinelnikov-Murylev, S. Decomposition of Russian GDP growth rates in 2007—2017 and forecast for 2018—2020 // *Voprosy Ekonomiki*. 2018. No. 9. P. 5–31.
10. Fokin N., Polbin A. A Bivariate Forecasting Model For Russian GDP Under Structural Changes In Monetary Policy and Long-Term Growth // *University Library of Munich*. 2019. No. 95306.
11. Gauvin L. et al. Towards Recoupling? Assessing the Impact of a Chinese Hard Landing on Commodity Exporters: Results from Conditional Forecast in a GVAR Model // *University Library of Munich*.2013. No. 65457.
12. Jibril N. U., Halaç U. Oil Price Shocks and Macroeconomic Instability in Nigeria: Evidence from GVAR // *International Journal of Contemporary Economics and Administrative Sciences*. 2019. Vol. 9. No. 1. P. 94–118.
13. Kazakova M., Sinelnikov-Murylev, S. The Global Market for Energy Sources and the Pace of Economic Growth In Russia // *Economic Policy*. 2009. No. 5. P. 118-135.
14. Kilian L. The impact of the fracking boom on Arab oil producers // *The Energy Journal*. 2017. Vol. 38. No. 6.
15. Kilian L. Oil price shocks: Causes and consequences // *Annu. Rev. Resour. Econ*. 2014. Vol. 6. No. 1. P. 133–154.
16. Koop G., Pesaran M., Potter S. Impulse response analysis in nonlinear multivariate models // *Journal of econometrics*. 1996. Vol. 74. No. 1. P. 119–147.
17. Krane J. A refined approach: Saudi Arabia moves beyond crude // *Energy Policy*. 2015. Vol. 82. P. 99–104.
18. Lardic S., Mignon V. The impact of oil prices on GDP in European countries: An empirical investigation based on asymmetric cointegration // *Energy policy*. 2006. Vol. 34. No. 18. P. 3910–3915.
19. Lardic S., Mignon V. Oil prices and economic activity: An asymmetric cointegration approach // *Energy Economics*. 2008. Vol. 30. No. 3. P. 847–855.
20. Lee C. Energy consumption and GDP in developing countries: a cointegrated panel analysis // *Energy economics*. 2005. Vol. 27.No. 3. P. 415–427.
21. Lomivorotov R. Impact Of External Shocks And Monetary Policy On Russian Economy // *Voprosy Ekonomiki*. 2014. No 11. P. 122–139.

22. Milani F. COVID-19 outbreak, social response, and early economic effects: a global VAR analysis of cross-country interdependencies // *Journal of Population Economics*. 2021.
23. Mohaddes K., Pesaran M. Country-specific oil supply shocks and the global economy: A counterfactual analysis // *Energy Economics*. 2016. Vol. 59. P. 382–399.
24. Mohaddes K., Raissi M. The US oil supply revolution and the global economy // *Empirical Economics*. 2019. Vol. 57. No. 5. P. 1515–1546.
25. Narayan P., Smyth R. Energy consumption and real GDP in G7 countries: new evidence from panel cointegration with structural breaks // *Energy Economics*. 2008. Vol. 30. No. 5. P. 2331–2341.
26. Neghad M., Hosseini R. Effects of Oil Shocks on the Unemployment: GVAR Approach // *Romanian Economic Journal*. 2017. Vol. 20. No. 65.
27. Neri S., Nobili A. The transmission of US monetary policy to the euro area // *International Finance*. 2010. Vol. 13. No. 1. P. 55–78.
28. Olayungbo D. The US–China trade dispute: spill-over effects for selected oil-exporting countries in Africa using GVAR analysis // *Transnational Corporations Review*. 2019. Vol. 11. No. 4. P. 310–322.
29. Pesaran M., Schuermann T., Weiner S. Modeling regional interdependencies using a global error-correcting macroeconomic model // *Journal of Business & Economic Statistics*. 2004. Vol. 22. No. 2. P. 129–162.
30. Pesaran M., Shin Y. Generalized impulse response analysis in linear multivariate models // *Economics letters*. 1998. Vol. 58. No. 1. P. 17–29.
31. Pestova A., Mamonov M. Estimating the Influence of Different Shocks on Macroeconomic Indicators and Developing Conditional Forecasts on the Basis of BVAR Model for the Russian Economy // *Economic Policy*. 2016. T. 11. No. 4. P. 56–92.
32. Polbin A. Estimating Time-Varying Long-Run Growth Rate of Russian GDP in the ARX Model with Oil Prices // *Economic Policy*. 2020. T.15. No.1. P. 40–63.
33. Polbin A., Skrobotov A. Testing for Structural Breaks in the Long-run Growth Rate of the Russian Economy // *HSE Economic Journal*. 2016. T. 20, No. 4, P. 588–623.
34. Sims C. Macroeconomics and reality // *Econometrica: journal of the Econometric Society*. 1980. P. 1–48.
35. Smith V. L., Galesi A. <https://sites.google.com/site/gvarmodelling/gvar-toolbox>
36. Smith L. V., Tarui N., Yamagata T. Assessing the impact of COVID-19 on global fossil fuel consumption and CO2 emissions // *ISER DP*. 2020. No.1093.
37. Trunin P., Knyazev D., Kudykina E. Perspective issues in the CBR’s exchange rate policy // *MPRA Paper*. 2011. No. 33944.
38. Wei H., Lahiri R. The impact of commodity price shocks in the presence of a trading relationship: A GVAR analysis of the NAFTA // *Energy Economics*. 2019. Vol. 80. P. 553–569.