

# ПРИМЕНЕНИЕ МИРОВЫХ МОДЕЛЕЙ «ЗАТРАТЫ – ВЫПУСК» ДЛЯ АНАЛИЗА СТРУКТУРНЫХ СДВИГОВ И ОЦЕНКИ УЧАСТИЯ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ В ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕПОЧКАХ

В. Г. Варнавский

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва

✉ [varnavsky@imemo.ru](mailto:varnavsky@imemo.ru)

**Аннотация.** Россия значительной частью своей экономики участвует в международном разделении труда, мировой торговле, трансграничных производственных цепочках. В последние годы усиливается управление государством этими процессами путем прямых инвестиций в производство и инфраструктуру, а также применения мер налоговой, кредитной, бюджетной и иной политики. В результате возрастает потребность в проведении экономических исследований с применением математических моделей управления отраслями и комплексами, построенных на межстрановых таблицах «затраты – выпуск» (межотраслевые балансы мировой экономики) с выделенными в них блоками внешней торговли. В статье введены в научный оборот межотраслевые балансы мировой экономики, созданные в последние годы, дан их обзор. Предложена модель экономики России, основанная на традиционных таблицах «затраты – выпуск» с расширением их с помощью матриц потоков импорта промежуточной и конечной продукции. Проведена верификация модели на примере отраслей добывающего, обрабатывающего и транспортного комплексов России. Получены оценки динамики их развития и структурных сдвигов за период 2000–2018 гг. с учетом внешнеторговой составляющей. В модель введены формулы для вычисления коэффициентов участия отраслей в глобальных производственных цепочках. Исследование показало, что по степени включения в трансграничные добывающие, обрабатывающие, транспортно-логистические цепочки Россия сопоставима с другими странами, обладающими крупными территориями, запасами полезных ископаемых и транспортными коммуникациями, такими как США и Австралия. Определены перспективные направления совершенствования модели.

**Ключевые слова:** мировые модели «затраты – выпуск», управление отраслями, добывающая промышленность, обрабатывающая промышленность, транспортный комплекс, внешняя торговля, структурные сдвиги, глобальные производственные цепочки.

## ВВЕДЕНИЕ

Мировые модели «затраты – выпуск» (межотраслевые балансы мировой экономики (МОБ МЭ), межстрановые таблицы «затраты – выпуск») – не новый, но эффективный и перспективный инструмент экономического анализа, который дает возможность решать самые разные задачи управления. Он известен еще с 1980-х гг., когда был опубликован доклад «Будущее мировой экономики», подготовленный группой экспертов ООН во главе с известным русским (по происхождению) экономистом В. В. Леонтьевым; глава IV этого доклада называлась «Описание мировой межрегиональной модели затраты – выпуск» [1, с. 57–75]. В докладе блоки глобальной модели рассматривались как регионы мировой экономики. Но наиболее активно это направление экономических исследований ста-

ликован доклад «Будущее мировой экономики», подготовленный группой экспертов ООН во главе с известным русским (по происхождению) экономистом В. В. Леонтьевым; глава IV этого доклада называлась «Описание мировой межрегиональной модели затраты – выпуск» [1, с. 57–75]. В докладе блоки глобальной модели рассматривались как регионы мировой экономики. Но наиболее активно это направление экономических исследований ста-



ло разрабатываться уже в XXI в., когда появились теории межстрановой фрагментации производства, глобальных производственных и стоимостных цепочек, внешней торговли в категориях добавленной стоимости и др. Все они опирались на математический аппарат описания сбалансированного развития с использованием в том числе межстрановых таблиц «затраты – выпуск» и МОБ МЭ.

Методологические основы современных межотраслевых балансов как инструмента экономических исследований наиболее полно представлены в объемном (более 700 стр. текста) Руководстве ООН по составлению и анализу таблиц «затраты – выпуск» [2]. И хотя в нем специально не рассматриваются вопросы построения именно МОБ МЭ, документ четко определяет главный вектор их развития. Такое внимание крупнейшей международной организации мира к тематике межотраслевых балансов мировой экономики не случайно и связано с рядом обстоятельств.

Во-первых, экономическая глобализация выдвинула на передний план проблематику мирового экономического роста во всех его проявлениях – закономерностях, тенденциях и трендах, управлении международной торговлей и межстрановыми производственными активами, трансграничным движением капитала, миграцией трудовых ресурсов и т. д. Проведение комплексных междисциплинарных исследований взаимосвязанного мира потребовало адекватного научного инструментария. И межотраслевые балансы мировой экономики стали как раз таким инструментом анализа.

Во-вторых, наблюдавшийся в конце XX – начале XXI в. бурный рост производительности труда и эффективности производства происходил в значительной степени благодаря повышению международной производственной кооперации и трансграничному взаимодействию хозяйствующих субъектов, расширению объема зарубежных поставок продукции и капиталовложений. Эти процессы также выдвинули на первый план задачу разработки адекватного методического, статистического и математического инструментария исследования глобальных процессов в области межстранового производства и управления им.

В-третьих, компьютеризация и цифровизация позволили исследователям на своих рабочих местах в режиме реального времени создавать сложные, многопараметрические, большеразмерные модели экономического развития, включать в них межотраслевые межстрановые связи, получать тем самым более полную, структурированную, разга-

регированную до уровня отраслей и производств картину развития мировой экономики. Мощные компьютеры и соответствующее программное обеспечение создали условия для обработки крупных объемов статистической и иной информации, в том числе мировых межотраслевых балансов большой размерности.

---

## 1. ОБЗОР МОДЕЛЕЙ И БАЗ ДАННЫХ

---

### 1.1. Теоретические основы

Межотраслевые балансы, их составление, проведение по ним расчетов стали в последние годы одним из важных объектов теории и прикладных исследований управления в социально-экономических системах. Активизация работ в этом направлении началась после мирового финансово-экономического кризиса 2008–2009 гг., когда, несмотря на многочисленные исследования мировой экономики, проводившиеся в том числе с использованием сложных, многопараметрических, стохастических и игровых моделей прогнозирования, никто не смог предсказать его наступления.

Другим фактором, способствовавшим широкому применению межотраслевых балансовых моделей в решении управленческих задач, стали появившиеся примерно в то же время концепции глобальных цепочек создания стоимости (ГЦСС, англ. *Global Value Chains, GVCs*) и «торговли в категориях добавленной стоимости» (англ. *Trade in Value Added, TiVA*). Заинтересованность в развитии этих концепций высказали такие международные организации, как ООН, ЮНКТАД, ВТО, что дало дополнительный толчок развитию мировых межотраслевых балансов. В частности, в 2016 г. ООН выпустила «Руководство по измерению глобального производства», важными составными частями которого являются обе эти концепции [3].

Главная методологическая проблема, которую решали ученые с начала 2000-х гг., сводилась к строгому математическому разложению стоимости экспорта на составляющие элементы в зависимости от страны происхождения. Теоретическими разработками решения этой проблемы занимались многие экономические школы. В результате это удалось сделать в 2010-е гг. группе ученых и специалистов под руководством директора управления экономики и главного экономиста Комиссии по международной торговле США Р. Купмана [4].

Полученные ими формульные зависимости составляющих экспорта в категориях добавленной стоимости легли в основу базы данных ОЭСР и ВТО TiVA Database [5].

Из числа работ последних лет следует выделить книгу коллектива ученых под руководством известного профессора международной экономики Женевского института международных исследований Р. Болдуина [6]. В ней изучается инструментарий оценки воздействия внешних шоков на глобальные цепочки и представлен системный подход к разработке соответствующих индикаторов. В частности, на примере трех стран (США, Китай, Мексика) подробно разобран механизм отслеживания трехзвенной цепочки поставок: импорт промежуточной продукции (первое звено) – переработка (второе звено) – экспорт в третью страну (третье звено). Представлен математический аппарат, использующий таблицы «затраты – выпуск». В другой работе приводятся полученная авторами формула и алгоритм разложения валового экспорта на компоненты по добавленной стоимости [7].

Европейским союзом опубликован технический отчет, который позволяет разложить факторную составляющую двусторонней торговли, измеряемой на таможенной границе, и учесть специфику различных стран и отраслей в глобальных цепочках создания стоимости [8]. В нем предложены и обоснованы новые формулы расчета соотношения добавленной стоимости и экспорта в мультирегиональных таблицах «затраты – выпуск».

## 1.2. Прикладные исследования

Еще со времен В. В. Леонтьева одним из главных направлений прикладных исследований, основанных на межотраслевых балансах, было проведение расчетов структурных изменений в экономике и оценка влияния факторов производства на экономический рост. В настоящее время в мире выпускается ряд специализированных журналов, посвященных анализу структурных сдвигов. Например, это индексируемый в Scopus журнал *Structural Change and Economic Dynamics* (Нидерланды). В нем большое внимание уделяется вопросам разработки и применения в экономическом анализе мировых моделей «затраты – выпуск». Так, в статье [9] изучаются структурные сдвиги между крупными группами стран мировой экономики. В частности, показано, что участие в глобальных производственных цепочках может облегчить процесс структурных преобразований в развивающихся экономиках.

В 2011 г. Тихоокеанская ассоциация проведения исследований «затраты – выпуск» (*The Pan-Pacific Association of Input–Output Studies*, PAPAIOS) учредила междисциплинарный научный журнал *The Journal of Economic Structures*, статьи которого также размещаются в Scopus. В публикации этого журнала [10] анализируются ряды статистических данных по экономическому росту ряда стран ОЭСР за период с 1995 по 2011 г. С использованием модели «затраты – выпуск» определяется вклад в него компонент конечного спроса.

Одно из интересных прикладных исследований для автомобильной промышленности проведено разработчиками базы данных *World Input–Output Database M*. Тиммером с коллегами (университет Гронингена, Нидерланды) [11]. Используя таблицы «затраты – выпуск» для мировой экономики, они проанализировали динамику сдвигов в географическом распределении добавленной стоимости в мировом автомобилестроении за 1995–2011 гг. Получен вывод о растущей международной фрагментации производства в отрасли как внутри регионов, так и между ними.

В последние годы из-за участившихся катастроф как техногенного, так и природного характера возросло число публикаций по оценке влияния на экономику и отдельные отрасли различного рода форс-мажорных обстоятельств, от землетрясений и наводнений до пандемии COVID-19. Для анализа механизма передачи шоков от падения спроса на готовую продукцию в статье [12], например, построена и используется глобальная таблица «затраты – выпуск» (35 отраслей, 29 эндогенных и 59 экзогенных стран). Также авторами разработаны специальные индексы для измерения степени сокращения добавленной стоимости и выпуска промежуточных товаров.

В статье [13] изучаются экономические последствия землетрясения в префектуре Кумамото (Япония) в 2016 г. Используя межрегиональную таблицу «затраты – выпуск», авторы моделируют негативные эффекты для потребительских расходов и добавленной стоимости в регионах страны. Одновременно оценивается позитивное влияние резкого роста совокупных расходов государства и домохозяйств на реконструкцию и строительство. С учетом межотраслевых связей оценен чистый прирост добавленной стоимости. Сделан вывод о том, что несмотря на прямой ущерб экономике префектуры Кумамото от землетрясения, хозяйственная деятельность по ликвидации последствий превысила его и привела к быстрому восстановлению экономики региона.



В исследовании [14] также изучаются экономические потери от кибератак в Японии с использованием производственной функции и модели «затраты – выпуск». За целевую функцию модели принят размер ущерба и эффективность различных государственных мер по снижению и предотвращению ущерба. Исходная числовая информация – потерянное рабочее время вследствие киберинцидентов. Эти данные были наложены на таблицу «затраты – выпуск», благодаря чему удалось рассчитать опосредованные эффекты. В результате был оценен прямой и косвенный ущерб во всех отраслях экономики Японии в показателях потерянного рабочего времени.

Наиболее популярной темой последних лет является пандемия COVID-19. Значительный объем литературы посвящен оценке ее воздействия с применением метода «затраты – выпуск» в качестве инструмента исследования из-за его наиболее полного учета прямых и опосредованных эффектов. Например, в [15] на основе теоретико-графового метода и таблиц «затраты – выпуск» выделяются отрасли экономики, потенциально наиболее уязвимые для пандемии COVID-19. Анализ проводился для восьми крупнейших стран, включая Россию. Установлено, что во всех странах приоритетными для правительств отраслями по принятию мер помощи были обрабатывающая промышленность, недвижимость и оптовая торговля.

### 1.3. Базы данных

За последние десятилетия в мире было реализовано достаточно много проектов по созданию глобальных моделей, фактографическую основу которых составляют базы данных, содержащих таблицы «затраты – выпуск». Разработаны они и поддерживаются как частными организациями, так и по заказам органов власти.

Одной из первых крупных мирового уровня разработок в этой области является база данных глобальной торговли Global Trade Analysis Project database<sup>1</sup> (GTAP). Она существует с 1992 г. и создана консорциумом университетов США, частных и международных организаций в целях предоставления пользователям разнообразной структурированной статистической и расчетной числовой информации по экономическим показателям. Раз-

мещается в университете Пердью (США). Основа GTAP – это мультирегиональная многоотраслевая математическая модель общего равновесия с совершенной конкуренцией и постоянной отдачей от масштаба производства. Центральным ее звеном является база данных показателей двусторонней торговли стран мира, производства, потребления и промежуточного использования товаров и услуг («затраты – выпуск»). Версия 11 GTAP содержит данные за 2004, 2007, 2011, 2014 и 2017 гг. в разрезе 65 отраслей по 141 стране (включая Россию), может быть структурирована по 19 регионам мира, что делает ее мультирегиональной.

В 2009 г. Европейский союз принял решение о финансировании проекта по разработке собственной базы данных мировых межотраслевых балансов World Input–Output Database (WIOD). По заказу ЕС эту работу в течение нескольких лет выполнял консорциум европейских университетов и исследовательских центров. Поддерживается база данных головной организацией консорциума – университетом Гронинген<sup>2</sup> (Нидерланды). Актуальная версия от 2016 г. содержит 15 ежегодных МОБ МЭ за 2000–2014 гг., охватывает 43 страны (27 стран ЕС + 16 стран, не входящих в союз, включая Россию) + «остальной мир», 56 отраслей.

Расширением WIOD с помощью дополнительных страновых таблиц стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) является база данных Multiregional Input–Output Table<sup>3</sup> (MRIO). Она включает в дополнение к имеющимся в WIOD 6-ти азиатским странам еще 19 стран этого региона. Работу по составлению MRIO с 2014 г. ведет и финансирует Азиатский банк развития. В базу данных включены национальные таблицы «затраты – выпуск» по 26 странам АТР за 2000–2020 гг.

В данной статье для моделирования использована информация из базы данных Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) Inter-Country Input–Output<sup>4</sup> (ICIO), версия 2021 г. Таблицы «затраты – выпуск» ICIO составлены за 1995–2018 гг. по 67 странам (в том числе по России) в разрезе 45 отраслей по стандартной международной отраслевой классификации ISIC 2009 г.

<sup>2</sup> URL: <https://www.rug.nl/ggdc/valuechain/wiod/?lang=en> (дата обращения 19.02.2024).

<sup>3</sup> URL: <https://www.adb.org/what-we-do/data/regional-input-output-tables> (дата обращения 19.02.2024).

<sup>4</sup> URL: <https://www.oecd.org/sti/ind/inter-country-input-output-tables.htm> (дата обращения 19.02.2024).

<sup>1</sup> URL: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/> (дата обращения 19.02.2024).

## 2. МОДЕЛЬ

### 2.1. Межотраслевой баланс мировой экономики

Авторская трактовка математической модели МОБ МЭ приведена в табл. 1.

Здесь:

$a_{ij}^{mn}$  – поток продукции отрасли  $i$  страны  $m$ , поступившей в промежуточное (производственное) потребление отрасли  $j$  страны  $n$ ;

$y_{ik}^{mn}$  – продукция отрасли  $i$  страны  $m$ , поступившая в конечное потребление страны  $n$  в форме компоненты  $k = 1, \dots, K$  (категории конечного потребления). Как правило, конечное потребление включает три группы затрат: конечное (непроизводственное) использование продуктов и услуг каждой отрасли на потребление домашних хозяйств, органов государственного управления, некоммерческих организаций, обслуживающих домашние хозяйства; валовое накопление основного

капитала, изменение запасов материальных оборотных средств, чистое приобретение ценностей; экспорт – импорт;

$x_i^m$  – валовая продукция отрасли  $i$  страны  $m$ ;

$v_j^n$  – добавленная стоимость, созданная в от-

расли  $j$  страны  $n$ . Может быть представлена в виде суммы таких компонент (категорий), как оплата труда наемных работников, валовая прибыль, валовой смешанный доход, налоги и субсидии (–), связанные с производством, потребление основного капитала, налоги и субсидии (–) на продукты;

$i, j \in \{1, 2, \dots, I\}$ ,  $i$  и  $j$  – номера отраслей в строках и столбцах матрицы МОБ МЭ соответственно,  $I, J$  – число отраслей,  $I = J$ ;

$n, m \in \{1, 2, \dots, M\}$ ,  $n$  и  $m$  – номера стран в МОБ МЭ в строках и столбцах соответственно,  $N, M$  – число стран,  $N = M$ ;

$k \in \{1, 2, \dots, K\}$ ,  $k$  – компонента конечного потребления,  $K$  – число компонент конечного потребления в МОБ МЭ.

Таблица 1

Межотраслевой баланс мировой экономики

Затраты		Выпуск										Валовой выпуск
		Промежуточные товары					Конечный продукт					
		$1_1$	...	$n_j$	...	$N_J$	$1_1$	...	$n_k$	...	$N_K$	
Страна 1	$1_1$	$a_{11}^{11}$	...	$a_{1j}^{1n}$	...	$a_{1J}^{1N}$	$y_{11}^{11}$	...	$y_{1k}^{1n}$	...	$y_{1K}^{1N}$	$x_1^1$
	$2_1$	$a_{21}^{11}$	...	$a_{2j}^{1n}$	...	$a_{2J}^{1N}$	$y_{21}^{11}$	...	$y_{2k}^{1n}$	...	$y_{2K}^{1N}$	$x_2^1$
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$I_1$	$a_{I1}^{11}$	...	$a_{Ij}^{1n}$	...	$a_{IJ}^{1N}$	$y_{I1}^{11}$	...	$y_{Ik}^{1n}$	...	$y_{IK}^{1N}$	$x_I^1$
Страна 2	$1_2$	$a_{11}^{21}$	...	$a_{1j}^{2n}$	...	$a_{1J}^{2N}$	$y_{11}^{21}$	...	$y_{1k}^{2n}$	...	$y_{1K}^{2N}$	$x_1^2$
	$2_2$	$a_{21}^{21}$	...	$a_{2j}^{2n}$	...	$a_{2J}^{2N}$	$y_{21}^{21}$	...	$y_{2k}^{2n}$	...	$y_{2K}^{2N}$	$x_2^2$
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$I_2$	$a_{I1}^{21}$	...	$a_{Ij}^{2n}$	...	$a_{IJ}^{2N}$	$y_{I1}^{21}$	...	$y_{Ik}^{2n}$	...	$y_{IK}^{2N}$	$x_I^2$
Страна $m$	$1_m$	$a_{11}^{m1}$	...	$a_{1j}^{mn}$	...	$a_{1J}^{mN}$	$y_{11}^{m1}$	...	$y_{1k}^{mn}$	...	$y_{1K}^{mN}$	$x_1^m$
	$2_m$	$a_{21}^{m1}$	...	$a_{2j}^{mn}$	...	$a_{2J}^{mN}$	$y_{21}^{m1}$	...	$y_{2k}^{mn}$	...	$y_{2K}^{mN}$	$x_2^m$
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$I_m$	$a_{I1}^{m1}$	...	$a_{Ij}^{mn}$	...	$a_{IJ}^{mN}$	$y_{I1}^{m1}$	...	$y_{Ik}^{mn}$	...	$y_{IK}^{mN}$	$x_I^m$
Страна $M$	$1_M$	$a_{11}^{M1}$	...	$a_{1j}^{Mn}$	...	$a_{1J}^{MN}$	$y_{11}^{M1}$	...	$y_{1k}^{Mn}$	...	$y_{1K}^{MN}$	$x_1^M$
	$2_M$	$a_{21}^{M1}$	...	$a_{2j}^{Mn}$	...	$a_{2J}^{MN}$	$y_{21}^{M1}$	...	$y_{2k}^{Mn}$	...	$y_{2K}^{MN}$	$x_2^M$
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$I_M$	$a_{I1}^{M1}$	...	$a_{Ij}^{Mn}$	...	$a_{IJ}^{MN}$	$y_{I1}^{M1}$	...	$y_{Ik}^{Mn}$	...	$y_{IK}^{MN}$	$x_I^M$
Добавленная стоимость		$v_1^1$	...	$v_j^n$	...	$v_J^N$	–	–	–	–	–	–
Валовой выпуск		$x_1^1$	...	$x_j^n$	...	$x_J^N$	–	–	–	–	–	–



Валовой выпуск  $x_i^m$  отрасли  $i$  страны  $m$  по строкам можно представить как сумму продукции промежуточного и конечного потребления:

$$x_i^m = \sum_{n=1}^M \sum_{j=1}^I a_{ij}^{mn} + \sum_{n=1}^M \sum_{k=1}^K y_{ik}^{mn}, \quad (1)$$

а по столбцам в виде суммы промежуточного потребления и добавленной стоимости:

$$x_j^n = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I a_{ij}^{mn} + v_j^n. \quad (2)$$

Преобразуем исходные уравнения и введем новые обозначения.

Сформируем новый вектор валового выпуска  $\hat{X}$ , расположив в нем последовательно валовые выпуски  $x_i^m$  по странам  $m = 1, 2, \dots, M$ :

$$\hat{X} = \{x_1^1, x_2^1, \dots, x_I^1, x_1^2, x_2^2, \dots, x_I^2, \dots, x_1^M, x_2^M, \dots, x_I^M\}.$$

Число компонент в векторе  $\hat{X}$  будет равно  $I \times M$ . Обозначим это число через  $R$ , а компоненты вектора  $\hat{X}$  через  $\hat{x}_r$ . Тогда вектор  $\hat{X}$  можно записать в форме

$$\hat{X} = \{\hat{x}_r\}_{r=1, \dots, R}.$$

Аналогично построим вектор конечной продукции для мировой экономики  $\hat{Y} = \{\hat{y}_r\}_{r=1, \dots, R}$ , где  $\hat{y}_r$  – расположенные последовательно по странам показатели конечного потребления по всем отраслям.

Представим матрицу потоков промежуточной продукции  $\{a_{ij}^{mn}\}_{i,j=1,2,\dots,I}^{m,n=1,2,\dots,M}$ , пронумеровав в ней все строки и столбцы от 1 до  $R$ , в форме

$$\hat{A} = \{\hat{a}_{rs}\}_{r,s=1, \dots, R}$$

и вычислим коэффициенты прямых затрат (технологические коэффициенты) МОБ мировой экономики  $c_{rs}$  при сквозной нумерации строк и столбцов:  $c_{rs} = \hat{a}_{rs} / \hat{x}_s$ , где  $r$  и  $s$  – это текущие строка и столбец соответственно.

Тогда матрица прямых затрат МОБ мировой экономики примет вид:

$$C = \{c_{rs}\}_{r,s=1,2,\dots,R},$$

а уравнение межотраслевого баланса в матричной форме будет таким:

$$\hat{X} = C\hat{X} + \hat{Y}$$

или

$$\hat{X} = (E - C)^{-1} \hat{Y}, \quad (3)$$

где  $\hat{X}$  – вектор валовой продукции  $\{\hat{x}_r\}_{r=1, \dots, R}$ ;  $\hat{Y}$  – вектор конечной продукции  $\{\hat{y}_r\}_{r=1, \dots, R}$ ;  $C$  – мат-

рица коэффициентов прямых затрат  $\{c_{rs}\}_{r,s=1,2,\dots,R}$ ;

$E$  – единичная матрица размерности  $R \times R$  (по диагонали находятся единицы, все остальные элементы равны нулю).

## 2.2. Таблицы «затраты – выпуск» ICIO

Для проведения расчетов по формуле (3) была использована информация из базы данных ICIO, версия 2021 г. (см. сноску 4 на с. 33). Реализация модели (1)–(3) представляет собой МОБ МЭ со следующими параметрами:  $i, j = 1, \dots, 45$ ;  $I, J = 45$  – число отраслей;  $m, n = 1, \dots, 67$ ;  $M, N = 67$  – число стран;  $r = 1, \dots, 3\,015$ ;  $R = 3\,015$  – число строк и столбцов.

Вектор конечной продукции  $\hat{Y}$  представлен в ICIO в разрезе  $K = 6$  компонент ( $k = 1, \dots, 6$ ): потребление домашних хозяйств; потребительские расходы некоммерческих организаций, обслуживающих домашние хозяйства; прямые закупки нерезидентами; конечное потребление правительства; валовое накопление основного капитала и изменения в товарно-материальных запасах [5, p. 10].

Каждая страновая матрица промежуточной продукции в ICIO  $A = \{a_{ij}\}$  разбита на две матрицы:

$$AD = \{a_{ij}^d\}_{i,j=1, \dots, I} \text{ – матрица промежуточных}$$

потоков продукции внутри страны (*domestic intermediate inputs*);

$$IM = \{im_{ij}\}_{i,j=1, \dots, I} \text{ – матрица импорта, поступающего}$$

в промежуточное потребление (промежуточный импорт, *intermediate import*):

$$A = AD + IM. \quad (4)$$

Аналогично разложены компоненты конечного потребления на внутреннюю продукцию и прямой импорт.

## 2.3. Оценка участия отраслей в трансграничных производственных цепочках

Наличие матрицы импорта промежуточной продукции для российской экономики позволяет рассчитать уровень включения ее отраслей в глобальные цепочки создания стоимости (ГЦСС). Для этого в модели рассчитывается показатель объема промежуточного импорта, входящего в состав экспорта, из таблиц ICIO (см. сноску 4 на с. 33) в авторской трактовке:

$$ImCEx = CIM(E - CAD)^{-1} Ex, \quad (5)$$

где:

$\mathbf{ImCEx} = \{imce_j\}_{j=1, \dots, I}$  – вектор значений импорта промежуточной продукции, который входит в состав экспорта по каждой отрасли (называется также «содержание импорта в экспорте», «объем импорта в экспорте» или «импортная составляющая экспорта»). Экономически  $j$ -я компонента ( $imce_j$ ) вектора  $\mathbf{ImCEx}$  означает импортированную всеми отраслями в целях промежуточного потребления продукцию, которая в результате производственной переработки в экономике и получения готовой продукции входит в состав экспорта отрасли  $j$ . На это указывает произведение матрицы прямых затрат импорта  $\mathbf{CIM}$  на матрицу коэффициентов полных затрат внутренней продукции  $(\mathbf{E} - \mathbf{CAD})^{-1}$ , умноженную на вектор экспорта;

$\mathbf{CIM} = \{im_{ij} / x_j\}_{ij=1, \dots, I}$  – матрица коэффициентов прямых затрат импорта отрасли  $i$  при производстве продукции в отрасли  $j$ , получена из матрицы  $\mathbf{IM}$  (4);

$\mathbf{CAD} = \{a_{ij}^d / x_j\}_{ij=1, \dots, I}$  – матрица коэффициентов прямых затрат внутренней продукции (т. е. без учета импорта) при производстве продукции в отрасли  $j$ , получена из матрицы  $\mathbf{AD}$  (4);

$\mathbf{Ex} = \{ex_i\}_{i=1, \dots, I}$  – вектор экспорта по отраслям.

Полученные показатели с экономической точки зрения интерпретируются следующим образом:

- $(\mathbf{E} - \mathbf{CAD})^{-1} \mathbf{Ex}$  – вектор размерности  $I$  ( $I$  – число отраслей, введенное выше при пояснении переменных табл. 1), показывающий, сколько внутренней валовой продукции необходимо, чтобы произвести экспорт  $\mathbf{Ex}$ , который в данной формуле представляет собой аналог конечного продукта, поставляемого за рубеж;

- $\mathbf{CIM}$  – при умножении данной матрицы размерности  $I \times I$ , состоящей из удельных затрат промежуточного импорта на единицу валовой продукции каждой отрасли, на указанный в предыдущем пункте вектор, получается вектор импорта, который затрачен на выпуск экспортированной продукции (по отрасли  $i = 1, \dots, I$ ).

Содержание импорта в экспорте (вектор  $\mathbf{ImCEx}$ ), или импортная составляющая экспорта, представляет собой вклад, который импорт вносит в производство экспортируемых товаров и услуг, и является показателем включения отрасли в глобальные цепочки через импорт. Таким образом, в цепочку входят минимум три страны – производитель импортной продукции, страна, в которой про-

исходит переработка импорта, и потребитель экспортированной продукции. Также этот показатель отражает уровень вертикальной специализации страны и ее отраслей в мировой экономике [16, р. 6].

## 2.4. Уравнения для отраслевых комплексов России

Добывающий, обрабатывающий и транспортный сектора в ICIO, в том числе и для России, представлены в разрезе следующих подотраслей (с отраслевыми номерами, под которыми они входят в исходные таблицы):

3. Добыча энергетических ресурсов;
4. Прочие отрасли добывающей промышленности;
5. Вспомогательная деятельность добывающих отраслей;
- 6–22. Обрабатывающая промышленность, в том числе:
  10. Кокс и нефтепродукты;
  15. Metallургия;
  - 20, 21. Автотранспортные средства (включая транспортное оборудование);
  22. Прочие отрасли обрабатывающей промышленности;
  35. Наземный транспорт, включая транспортировку по трубопроводам;
  36. Водный транспорт;
  37. Воздушный транспорт;
  38. Логистика, управление и вспомогательная деятельность.

В модели в соответствии с формулой (1) валовая продукция анализируемых комплексов России рассчитывается по формулам

$$x_d^{\text{RF}} = \sum_{s=3}^5 \left( \sum_{j=1}^{45} a_{sj}^{\text{RF}} + \sum_{k=1}^6 y_{sk}^{\text{RF}} \right), \quad (6)$$

$$x_o^{\text{RF}} = \sum_{s=6}^{22} \left( \sum_{j=1}^{45} a_{sj}^{\text{RF}} + \sum_{k=1}^6 y_{sk}^{\text{RF}} \right), \quad (7)$$

$$x_t^{\text{RF}} = \sum_{s=35}^{38} \left( \sum_{j=1}^{45} a_{sj}^{\text{RF}} + \sum_{k=1}^6 y_{sk}^{\text{RF}} \right), \quad (8)$$

где  $x_d^{\text{RF}}$ ,  $x_o^{\text{RF}}$  и  $x_t^{\text{RF}}$  – валовые выпуски отрасли по добыче полезных ископаемых, обрабатывающей промышленности и транспортной отрасли РФ соответственно;  $a_{sj}^{\text{RF}}$  – потоки промежуточной продукции отрасли  $s$  в отрасль  $j$  экономики России, включая импорт,  $s = 6, \dots, 22$ ;  $j = 1, 2, \dots, 45$ ;  $y_{sk}^{\text{RF}}$  – конечное потребление компоненты  $k$  продукции отрасли  $s$  в России, включая импорт,  $k = 1, \dots, 6$ .

### 3. РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Апробация модели (1)–(8) была проведена на примере отраслей добывающего, обрабатывающего и транспортного комплексов. Такой выбор объясняется важностью их для экономики России и высокой степенью вовлечения в трансграничные цепочки создания стоимости (ТЦСС). Были рассчитаны показатели структурных сдвигов в этих комплексах и уровень их включения в ТЦСС, а также проведен сравнительный анализ с другими странами.

Расчеты показали, что в рассматриваемом периоде 2000–2018 гг. добывающие отрасли и транспорт были драйверами экономического развития в России. Рост их производства опережал другие макроэкономические показатели, в частности валовой внутренний продукт (ВВП) и валовой объем производства в стране. В то время как ВВП и валовая продукция России увеличились в 2000–2018 гг. в 6 раз, объем выпуска добывающих отраслей показал рост в 7,2 раза, а транспортного комплекса – в 6,4 раза (расчет здесь и далее в текущих долл. США). А доля обрабатывающей промышленности в валовой продукции экономики России сократилась с 27,5 % до 26,0 %. В стоимостном выражении добыча полезных ископаемых возросла с 39,1 млрд долл. в 2000 г. до 280,4 млрд долл. в 2018 г. Производство отраслей транспортного сектора выросло за тот же период с 34 млрд долл. до 217 млрд долл. (в текущих ценах).

Мощным внутренним драйвером развития России был научно-технический прогресс, позволивший резко повысить эффективность и оптимизировать управление потоками продукции, логистику, вспомогательную деятельность. Благодаря их опережающему росту произошли значительные структурные сдвиги внутри самих комплексов.

В добыче полезных ископаемых и на транспорте выросло значение вспомогательных, дополнительных видов деятельности, включающих логистику, управление, сервисные услуги, а в добывающих отраслях также еще и разведку полезных ископаемых. В добывающем комплексе доля энергетических ресурсов сократилась с 85,8 % в 2000 г. до 78,8 % в 2018 г., а доля вспомогательных подотраслей добычи полезных ископаемых увеличилась за тот же период почти в три раза – с 3,7 % до 10,1 % (рис. 1).

В обрабатывающей промышленности сдвиги во многом повторяли тренды добычи полезных ископаемых. В структуре обрабатывающей промышленности наиболее существенно увеличился удельный вес кокса и нефтепродуктов (рис. 2). Также немного повысилась доля в обрабатывающей промышленности автотранспортных средств, но сократился относительный уровень металлургии.

В транспортном комплексе структурные сдвиги были еще более значительными: доля логистики, управления, складской и иной вспомогательной деятельности в валовой продукции возросла в 2,4 раза с 13,1 % в 2000 г. до 31,6 % в 2018 г. (рис. 3).

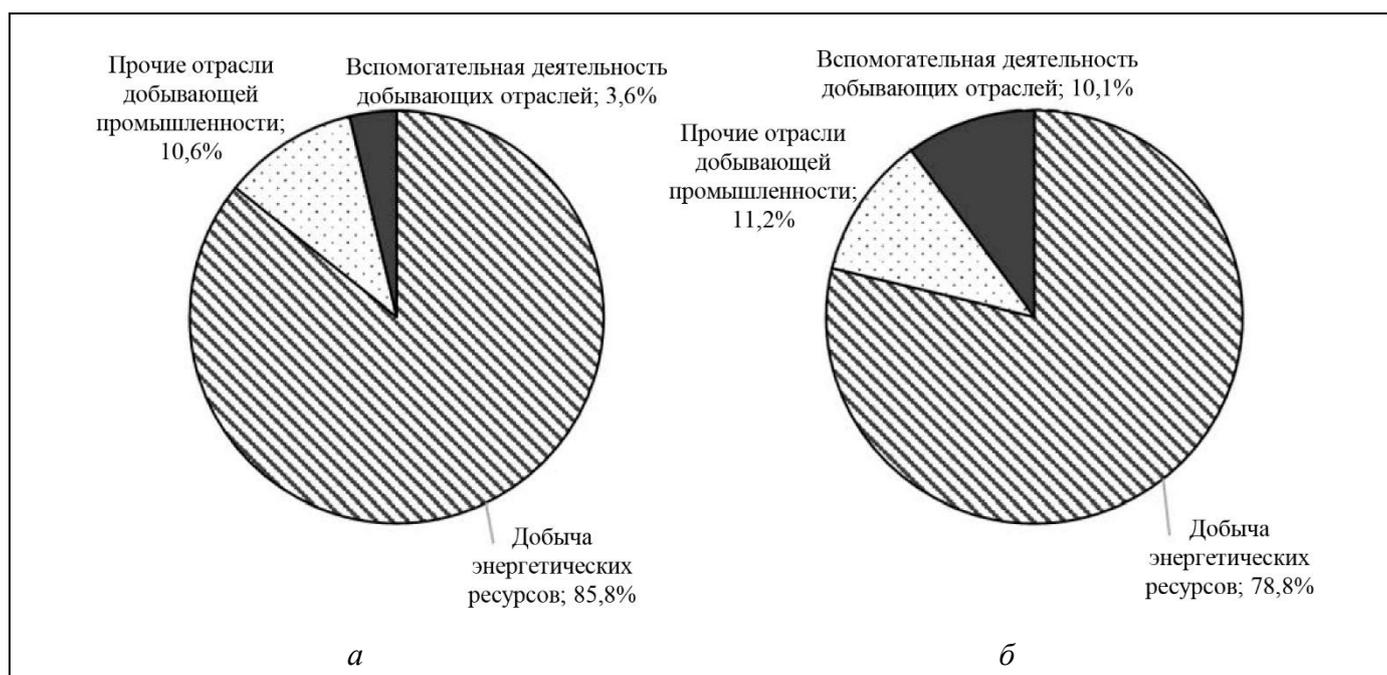


Рис. 1. Структура валовой продукции комплекса добывающих отраслей России: а – 2000 г., б – 2018 г.

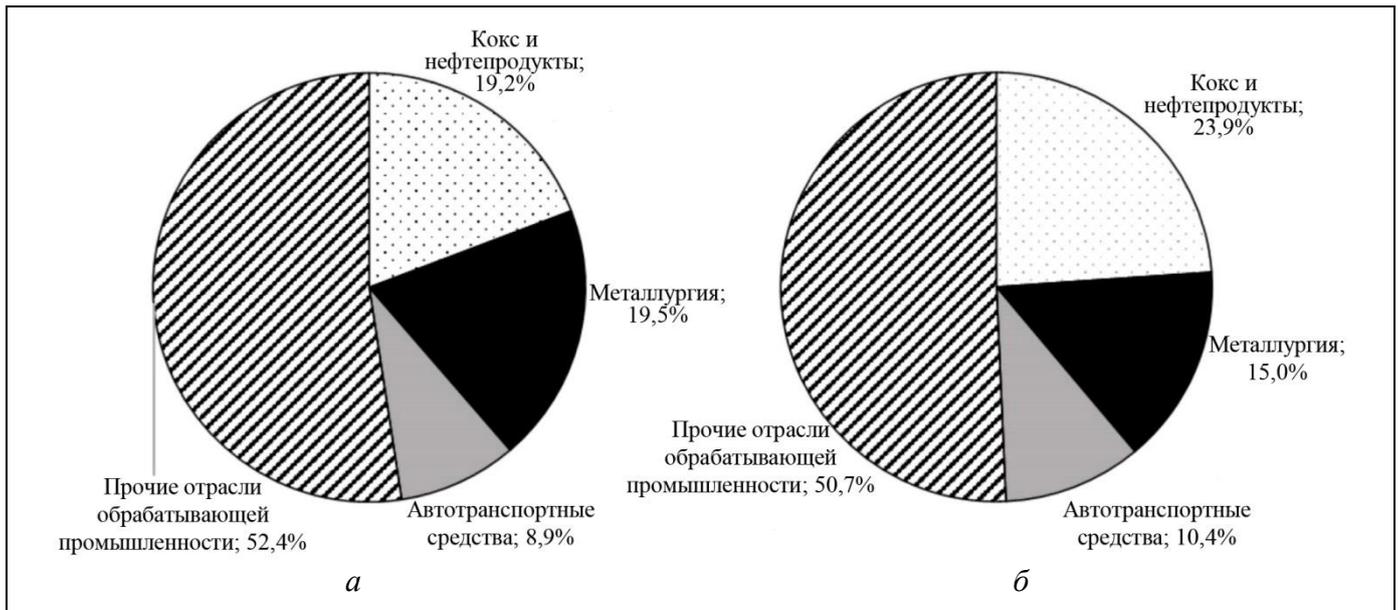


Рис. 2. Структура валовой продукции обрабатывающей промышленности России: а – 2000 г., б – 2018 г.

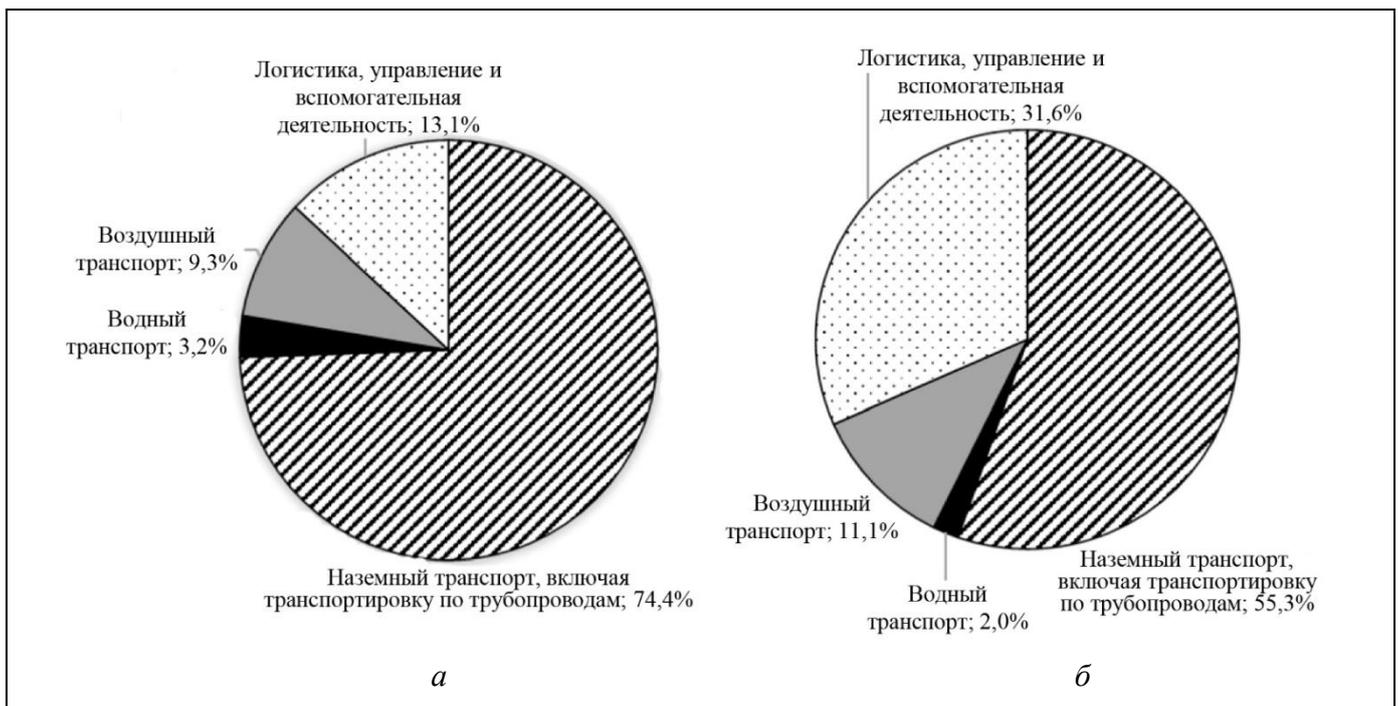


Рис. 3. Структура валовой продукции транспортного комплекса России: а – 2000 г., б – 2018 г.

Повысился также удельный вес авиационных перевозок, что связано с активным включением страны в глобальные цепочки и бурным развитием зарубежного туризма.

На уровне макроструктурных показателей «промышленность – услуги» существенных сдвигов не наблюдалось. Доля услуг оставалась практически неизменной в течение всего времени наблюдения на уровне 60,2–60,8 % в 2000–2018 гг. соответственно.

Во всех трех выделенных секторах особенно высокими темпами возрастал импорт продукции, происходило их включение в глобальные производственные цепочки. Внутриотраслевое потребление импортных товаров в добывающих отраслях выросло в 16 раз – с 50 млн долл. в 2000 г. до почти 800 млн долл. в 2018 г. Это во много раз больше, чем в целом увеличение импорта по экономике (в 5,5 раза). В то же время с учетом не только внутриотраслевого, но и межотраслевого, а также



конечного потребления импорт в добывающем комплексе повысился только в 4,5 раза – с 693 млн долл. в 2000 г. до 3,1 млрд долл. в 2018 г.

В транспортном комплексе России импорт вырос в 6,5 раз – с 4,8 млрд долл. в 2000 г. до 31,5 млрд долл. в 2018 г. В результате его доля в общем объеме импорта увеличилась с 7,5 % до 9,0 %. Такая высокая импортная зависимость негативно отразилась на транспортной отрасли в период пандемии COVID-19 и последовавшей затем экономической стагнации.

Расчеты по формуле (5) показали, что включение России в трансграничные производственные цепочки в добывающих, обрабатывающих и транспортных отраслях сопоставимо с другими странами, обладающими значительными территориями, объемами добычи полезных ископаемых и разветвленными сетями транспортных коммуникаций (США, Австралия) (табл. 2).

В каких-то отраслях Россия опережает эти страны, в других – уступает. Но все три страны – Россия, США и Австралия – существенно отстают от Китая по межстрановой производственной кооперации, что объясняется его более высокой степенью интеграции в глобальную экономику в качестве мировой фабрики и главного экспортера промышленных товаров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Последнее десятилетие мировые межотраслевые балансы активно создаются международными организациями. В условиях глобализации, межстранового разделения труда, активизации внеш-

ней торговли они востребованы правительствами и исследователями как инструмент экономического анализа для выработки и оценки эффективности экономических и политических решений. Они могут быть использованы для решения разнообразных задач управления социально-экономическим развитием и производством, проведения имитационных расчетов, оценки чувствительности экономических систем, отраслей, комплексов с целью выработки оптимальных управленческих решений на уровне государства и крупных компаний, работающих на мировых рынках.

Предложенная в статье модель позволила провести расчеты по оценке места и роли добывающего и транспортного комплексов России и показать важность управления ими в целях повышения эффективности экономики в целом. С привлечением инструментария межотраслевых балансов и выделением в них потоков импортной продукции в составе промежуточного и конечного потребления получен вывод о том, что с интенсификацией включения добывающих отраслей и транспорта России в международные связи возрастала их роль в качестве драйвера экономики страны. Развитие обоих народнохозяйственных комплексов в течение почти 20 лет (2000–2018 гг.) происходило опережающими темпами.

Расчеты показали, что и в добыче полезных ископаемых, и на транспорте России в 2000–2018 гг. происходили крупные структурные сдвиги, связанные главным образом с научно-техническим прогрессом. Из подотраслей обоих комплексов наиболее высокими темпами роста выделялись расходы на управление, логистику и вспомогательные виды деятельности.

Таблица 2

**Доля импорта в составе экспорта России и ряда стран в 2018 г., %**

Отрасли	Россия	США	Австралия	Китай
Добыча энергетических ресурсов	3,9	11,4	7,1	12,5
Добыча прочих полезных ископаемых	7,0	9,0	9,8	15,7
Вспомогательная деятельность в добывающих отраслях	12,5	6,8	8,5	16,3
Кокс и нефтепродукты	5,9	28,4	24,2	39,6
Металлургия	11,8	20,9	17,3	17,8
Автотранспортные средства	34,8	27,2	30,2	14,3
Наземный транспорт, вкл. транспортировку по трубопроводам	7,7	5,9	14,0	9,6
Водный транспорт	12,4	7,5	10,6	20,1
Воздушный транспорт	14,3	5,2	20,6	16,2
Логистика, управление, вспомогательная деятельность	10,5	5,9	5,9	14,5
В целом по экономике	8,7	10,1	10,8	17,1

На основании проведенного исследования можно сделать общий вывод, что добывающий и транспортный комплексы России в периоде до пандемии COVID-19 имели устойчивые и в целом оптимальные стратегии развития и вовлечения в глобальные цепочки.

Перспективными направлениями совершенствования и расширения областей применения предложенной в статье модели могут стать задачи управления:

– импортозамещением в Российской Федерации на отраслевом уровне путем включения в модель блока ограничений по импорту, критерия эффективности и алгоритма поиска оптимальной стратегии в рамках введенных ограничений;

– выбросами парниковых газов на уровне отраслей и производств путем введения в модель экологического блока;

– налогами и прибылью с выделением их в модели в виде отдельной позиции в добавленной стоимости и с применением методики, предложенной, например, в работе [17].

Построенная модель может включать ценообразование и динамику, применяться для целей управления, прогнозирования и планирования экономики и отраслей. Также она может быть положена в основу решения целых классов имитационных и оптимизационных задач управления экономикой России в условиях санкционных и иных ограничений, в частности в рамках теории управления многоресурсными саморазвивающимися системами, оптимизации технологического ядра с целевой функцией продуктивности, оптимального планирования и других, описанных в работах [18–20].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Будущее* мировой экономики: Доклад группы экспертов ООН во главе с В. Леонтьевым / Перевод с англ. под общей ред. А.И. Шапиро. – М.: Международные отношения, 1979. – 216 с. [*The future of the world economy: A United Nations Study / by W. Leontief, A.P. Carter, P. Petri, and J.J. Stern. – New York: Oxford University Press, 1977. – 110 p.*]
2. *Handbook on Supply and Use Tables and Input-Output Tables with Extensions and Applications.* – New York: United Nations, 2018. – 712 p.
3. *Guide to Measuring Global Production.* – New York and Geneva: United Nations, 2015. – 159 p.
4. *Koopman, R., Wang, Z., Wei, S. Tracing Value-Added and Double Counting in Gross Exports // American Economic Review.* – 2014. – Vol. 104, no. 2. – P. 459–94.
5. *Guilhoto, J.M., Webb, C., Yamano, N. Guide to OECD TiVA Indicators, 2021 edition.* – Paris: OECD, 2022. – 55 p.
6. *Baldwin, R., Freeman, R., Theodorakopoulos, A. Horses for Courses: Measuring Foreign Supply Chain Exposure. NBER Working Paper no. 30 525.* – Cambridge: NBER, 2022. – 60 p.
7. *Miroudot, S., Ye, M. Decomposing Value Added in Gross Exports from a Country and Bilateral Perspective.* – Rochester: SSRN, 2022. – 11 p.
8. *Arto, I., Dietzenbacher, E., Rueda-Cantuche, J.M. Measuring Bilateral Trade in Value Added Terms. Technical report.* – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. – 30 p.
9. *Kumar, R. Global Value Chains and Structural Transformation: Evidence from the Developing World // Structural Change and Economic Dynamics.* – 2023. – Vol. 66. – P. 285–299.
10. *Mendoza, M.A.M. An Analysis of Economic Growth Using Input-Output Tables // Journal of Economic Structures.* – 2023. – Vol. 12. – Art. no. 21.
11. *Timmer, M.P., Dietzenbacher, E., Los, B., et al. An Illustrated User Guide to the World Input-Output Database: the Case of Global Automotive Production // Review of International Economics.* – 2015. – Vol. 23, no. 3. – P. 575–605.
12. *Shrestha, N., Sato, K. Global and Regional Shock Transmission: An Asian Perspective // Journal of Economic Structures.* – 2021. – Vol. 10. – Art. no. 27.
13. *Takeda, K., Inaba, K. The Damage and Reconstruction of the Kumamoto Earthquake: An Analysis on the Impact of Changes in Expenditures with Multi-regional Input-Output Table for Kumamoto Prefecture // Journal of Economic Structures.* – 2022. – Vol. 11. – Art. no. 20.
14. *Kokaji, A., Goto, A. An Analysis of Economic Losses from Cyberattacks: Based on Input-Output Model and Production Function // Journal of Economic Structures.* – 2022. – Vol. 11. – Art. no. 34.
15. *Temel, T., Phumpiu, P. Pathways to Recovery from COVID-19: Characterizing Input-Output Linkages of a Targeted Sector // Journal of Economic Structures.* – 2021. – Vol. 10. – Art. no. 29.
16. *Borin, A., Mancini, M. Measuring What Matters in Global Value Chains and Value-Added Trade. Policy Research working paper no. WPS 8804.* – Washington, D.C.: World Bank Group, 2019. – 64 p.
17. *Бурков В.Н., Буркова И.В., Щепкин А.В. Условие прибыльности в модели Леонтьева // Управление большими системами.* – 2021. – Вып. 91. – С. 78–95. [*Burkov, V.N., Burkova, I.V., Shchepkin, A.V. Profitability Condition in the Leontief Model. – Large-Scale Systems Control.* – 2021. – Iss. 91. – P. 78–95. (In Russian)]
18. *Гусев В.Б. Экстремальные характеристики модели технологического ядра крупномасштабной экономической системы // Проблемы управления.* – 2021. – № 6. – С. 30–39. [*Gusev, V.B. The Technological Core Model of a Large-scale Economic System: Optimal Characteristics // Control Sciences.* – 2021. – No. 6. – P. 25–33.]
19. *Гусев В.Б. Равновесные модели многоресурсных саморазвивающихся систем // Проблемы управления.* – 2007. – № 3. – С. 18–25. [*Gusev, V.B. Equilibrium Models of Multi-Resource Self-Developing Systems // Control Sciences.* – 2007. – No. 3. – P. 18–25. (In Russian)]
20. *Гусев В.Б. Бинарная модель управления реструктуризацией технологического ядра экономики // Проблемы*



управления. – 2022. – № 6. – С 14–25. [Gusev, V.B. A Strategic Management Model for Restructuring the Technological Core of an economy // Control Sciences. – 2022. – No. 6. – P. 11–20.]

*Статья представлена к публикации членом редколлегии В. В. Клочковым.*

*Поступила в редакцию 09.01.2024,  
после доработки 19.02.2024.  
Принята к публикации 21.02.2024.*

**Варнавский Владимир Гаврилович** – д-р экон. наук,  
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН,  
г. Москва,  
✉ varnavsky@imemo.ru  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1772-1800>

© 2024 г. Варнавский В. Г.



Эта статья доступна по [лицензии Creative Commons «Attribution» \(«Атрибуция»\) 4.0 Всемирная.](#)

## STRUCTURAL SHIFTS AND THE PARTICIPATION OF RUSSIAN INDUSTRIES IN GLOBAL VALUE CHAINS: AN ANALYSIS USING WORLD INPUT-OUTPUT TABLES

V. G. Varnavskii

Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ varnavsky@imemo.ru

**Abstract.** Russia actively participates in the international division of labor, global trade, and cross-border value chains. Foreign trade represents a significant share of its gross domestic product. In recent years, the Russian government has been strengthening its public policy to carry out infrastructure and production projects as well as use tax, credit, budgetary, and other policy measures to stimulate economic growth. Hence, there is a growing demand for economic research using mathematical models for managing the economy and industries based on world input-output models with foreign trade blocks highlighted therein. This paper introduces into scientific circulation the world input-output tables created in recent decades, including their brief overview. We propose a model for the Russian economy based on Leontief's Input-Output tables in which each industry's supplies of products to other industries are decomposed into domestic output and import flows. The model is verified using an example of the mining, manufacturing, and transport complexes of Russia. Their output dynamics and structural shifts are estimated for the period 2000–2018 considering the foreign trade component. Special attention is paid to the participation of these complexes in Global Value Chains (GVCs). We present and analyze formulas for determining the participation of industries in GVCs. According to the calculations, Russia's involvement in mining, manufacturing, and transport GVCs is comparable with other countries having large territories, mineral reserves, and transport communications, such as the United States and Australia. Some promising lines to improve the model are described.

**Keywords:** world input-output tables, industries management, mining, manufacturing, transport, foreign trade, structural shifts, Global Value Chains.