

А.Л. Машкова
ЦЭМИ РАН, Москва

А.Р. Бахтизин
ЦЭМИ РАН, Москва

Агент-ориентированное моделирование устойчивости ключевых экономик к санкционному давлению¹

Аннотация. В условиях введения западными странами санкций против России актуальной задачей стала оценка перспектив мировой экономики и международной торговли с учетом возможности неполного замещения поставляемых ресурсов. Для решения этой задачи выбран агент-ориентированный подход. Основанная на нем компьютерная модель торговых войн отражает динамику международных товарных потоков между Россией, США, ЕС, Китаем и остальным миром с учетом торговых ограничений, курсов валют, инфляции и колебаний конечного спроса. Целью проведения расчетов являлась оценка чувствительности экономических систем различных стран к перестройке торговых отношений. В расчетах вводился параметр замещения ресурсов в диапазоне от 0 до 1, где 1 соответствует возможности полной замены ресурсов (базовый сценарий). В рамках экспериментов на модели были выбраны три уровня замещения: 1; 0,9 и 0,8. Анализ результатов показал, что чувствительность российской экономики к степени замещаемости ресурсов сравнительно невысока: отклонение ВВП в год введения санкций при рассмотренных уровнях замещения относительно базового сценария не превышает 1,7%. В наибольшей степени от введенных санкций страдает экономика Европейского союза, и ее чувствительность к уровню замещения ресурсов является наибольшей. Сравнение полученных прогнозов с ретроспективными данными за 2022–2023 гг. показало, что в большинстве вовлеченных в торговое противостояние стран замещение ресурсов оказалось близким к полному, и лишь в России и ЕС в некоторые моменты замещение опускалось до уровня 90–95%.

Ключевые слова: агент-ориентированная модель, торговые войны, торговые ограничения, импорт, экспорт, межотраслевой баланс.

Классификация JEL: F47.

Для цитирования: Машкова А.Л., Бахтизин А.Р. (2025). Агент-ориентированное моделирование устойчивости ключевых экономик к санкционному давлению // Журнал Новой экономической ассоциации. № 2 (67). С. 12–24.

DOI: 10.31737/22212264_2025_2_12-24

EDN: NECAPI

Введение

Торговые войны являются предметом научного рассмотрения уже на протяжении многих десятилетий (см., например, (Abiad et al., 2018; Bollen, Rojas-Romagosa, 2018; Dixon, Jerie, Rimmer, 2016; Hertel, 1997; Li, He, Lin, 2018; Ossa, 2014)), однако задача их исследования никогда не была такой актуальной, как сейчас. Сразу после начала Специальной военной операции на Украине против России были введены беспрецедентные в новейшей истории санкции. Согласно официальным данным о международной торговле США (Бюро экономического анализа США, 2024) за второй квартал 2022 г., объемы экспорта в Россию сокра-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 075-15-2024-525 от 23.04.2024).

тились в два раза, а импорта — на 80%, по сравнению с аналогичным периодом 2021 г. По данным Евростата (Евростат, 2024), объемы экспорта из стран ЕС в Россию с февраля по август 2022 г. упали на 40% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Объемы импорта, несмотря на введенные ограничения, выросли за аналогичный период на 56% в денежном выражении, т.е. ЕС стал закупать меньший объем энергоносителей из России, при этом платя за них гораздо более высокую цену. В результате ЕС сталкивается не только с энергетическим кризисом, но и с растущей инфляцией, составившей рекордные 10% в годовом выражении.

Пример Европейского союза в наибольшей степени иллюстрирует обоюдоострый характер вводимых ограничений, что связано как с ростом мировых цен на ресурсы, так и с невозможностью полностью перестроить систему международных поставок, исключив из нее Россию. В связи с этим обстоятельством возникает задача оценки перспектив динамики международных торговых отношений в ближайшие годы с учетом неполного замещения продаваемых Россией ресурсов, в частности энергоносителей, металлов, удобрений и продукции сельского хозяйства.

Эффективным инструментом для решения этой задачи являются компьютерные модели экономики, воспроизводящие процессы производства, потребления, занятости, и международные хозяйственные взаимосвязи. Модели международных отношений можно разделить на две группы: модели, воспроизводящие торговлю между всеми странами мира и их объединениями, и модели отдельных торговых зон (Makarov et al., 2019). Наиболее известным примером моделей первой группы является модельный комплекс WorldScan (Lejour et al., 2006; Hof et al., 2009; Timmer, 1998), разработанный международным коллективом в рамках Проекта по анализу глобальной торговли (GTAP) (Aguiar, Narayanan, McDougall, 2016; Corong et al., 2017; Hertel, 2013; Tongeren et al., 2017). В качестве примеров моделей второй группы можно привести модель многосекторной экономики GLOBE. Ее используют для оценки последствий торговых войн для стран, входящих в Североамериканскую зону свободной торговли (McDonald, Thierfelder, 2024). Также к данной группе относятся модель торговли товарами между Китаем, США и Мексикой MIRAGRODEP (Bouët, Laborde, 2017) и модель торговой войны между Китаем и США EAGLE (Bolt, Mavromatis, Wijnbergen, 2019).

Для решения поставленной в данной работе задачи необходима глобальная модель торговых отношений, рассматривающая Россию как ключевого игрока, наряду с США, Китаем и Европейским союзом. Эта задача реализуется коллективом ЦЭМИ РАН на базе агент-ориентированного подхода (Railsback, Grimm, 2019; Tesfatsion, 2006; Yang, Zhou, 2022; Макаров и др., 2022). Целью данной работы является оценка степени замещения на мировом рынке экспортируемых из России ресурсов и оценка последствий недостатка необходимых ресурсов для западных экономик с помощью разработанного инструментария.

1. Материалы и методы

В разработанной коллективом ЦЭМИ РАН модели торговых войн рассматривается динамика экономических отношений между тремя группами стран: Россией и Китаем, с одной стороны, блоком западных стран (США и ЕС) — с дру-

гой, и объединенным остальным миром – с третьей стороны. Структура модели была рассмотрена в (Машкова, Бахтизин, 2024), поэтому здесь мы приведем ее краткое описание и обновления, позволяющие рассмотреть случай неполного замещения ресурсов.

В разработанной модели торговых войн взаимодействуют агенты трех типов: государства, организации и жители. Агенты-организации в модели представляют укрупненные отрасли и осуществляют выпуск продукции. В каждой рассматриваемой стране выделяются организации одиннадцати укрупненных отраслей: сельское хозяйство, добывающая промышленность, производство топлива, химических продуктов, материалов, оборудования и транспорта, товаров легкой промышленности, строительство, сфера услуг, торговля и государственный сектор. Организации осуществляют поставки продукции друг другу, государству и населению, причем поставки из зарубежных организаций формируют потоки импорта и экспорта между странами. В качестве механизма торговой войны рассматриваются ограничения на товарные потоки, задаваемые для каждой пары стран в процентах от торгового оборота по отраслям. Динамика модели отражает изменения, которые вносят эти ограничения в производство и торговлю на уровне организаций, через алгоритм пересчета поставок и выпуска.

В данной работе мы ставим задачу оценки чувствительности экономических систем различных стран к перестройке мировых торговых отношений. В качестве параметра, характеризующего способность страны к такой перестройке, выбрано замещение ресурсов. Коэффициент замещения задается в диапазоне от 0 до 1, где 0 соответствует полной невозможности заменить ресурсы от попавшего под санкции поставщика, а 1 – возможности их замены в полном объеме, промежуточные значения характеризуют долю в общем объеме попавших под санкции поставок, которая может быть заменена поставками из других стран. Степень замещения ресурсов в мировой торговле зависит от ряда факторов: производственных мощностей в стране и у её торговых партнеров, скорости реформирования логистических цепочек возможности и желания стран, не вовлеченных в торговую войну, наращивать добычу полезных ископаемых.

Замещение поставок из недружественных стран в модели происходит за счет поставок из нейтральных и дружественных согласно долям, заданным в соответствующей таблице сценарных параметров (табл. 1). Столбцы в таблице соответствуют странам-покупателям, а строки – отраслям поставщиков, сгруппированным по странам; прочерки ставятся для недружественных стран. Сумма долей стран в замещении поставок по некоторой отрасли соответствует коэффициенту замещения ресурсов для этой отрасли в определенной стране. Таким способом для различных сценариев можно задать необходимые уровни замещаемости не только для стран, но и отраслей в них.

Значения в таблице рассчитаны пропорционально доле стран в исходных досанкционных поставках. Для различных сценариев эти доли могут быть изменены с учетом ожидаемого усиления торговых связей, как, например, между Россией и Китаем. Обращение к таблице происходит для организаций из стран, поставки в которые подпали под санкции, в рамках алгоритма пересчета выпуска и поставок (Машкова, Бахтизин, 2024), определяющего динамику торговых отношений в модели.

Таблица 1.

Доли стран в замещении поставок при введении санкций

Страны	Отрасль		Россия	ЕС	США	Китай
Россия	1	Сельское хозяйство	0,83	–	–	0,4
	2	Добыча полезных ископаемых	0,95	–	–	0,7
	...	...	...	...	...	...
	11	Строительство	1	–	–	0
ЕС	1	Сельское хозяйство	–	0,87	0,01	0,01
	...	...	...	...	...	...
	11	Строительство	–	1	0	0
США	1	Сельское хозяйство	–	0,01	0,89	–
	...	...	...	...	...	...
	11	Строительство	–	0	1	–
Китай	1	Сельское хозяйство	0,01	0,01	–	0,94
	...	...	...	...	...	...
	11	Строительство	0	0	–	0
Остальной мир	1	Сельское хозяйство	0,16	0,11	0,1	0,06
	...	...	...	...	...	...
	11	Строительство	0	0	0	0

Для учета влияния уровня замещения в алгоритм был внесен ряд изменений. Рассмотрим их более подробно для каждого шага.

1. Перераспределение внеоборотных поставок между поставщиками под действием санкций. Поскольку на данном этапе обрабатываются изменения во внеоборотных поставках, их неполное замещение не окажет прямого влияния на объемы выпуска продукции в текущем такте и алгоритм не имеет существенных отличий от приведенного в (Mashkova, Bakhtizin, 2022).

2. Пересчет и перераспределение заказов по оборотным поставкам сырья и комплектующих. На этом шаге в первую очередь рассматриваются организации обрабатывающей промышленности и сферы услуг, в последнюю – добывающей промышленности и сельского хозяйства. Для каждой организации ожидаемый спрос на ее продукцию пересчитывается с учетом изменений в конечном, промежуточном и государственном спросе и рассчитывается k_d – коэффициент динамики спроса относительно предшествующего такта. С учетом изменений в спросе и действующих торговых ограничений рассчитывается объем запрашиваемых от поставщиков поставок по каждому поставщику:

$$VP_i^{demand} = \min\{VP_i^{plan} k_d; VP_i^{plan} TR_i^{imp} TR_i^{exp}\}, \quad (1)$$

где VP_i^{demand} – объем требуемой поставки по отрасли i в следующем периоде, VP_i^{plan} – объем поставки по отрасли i в текущем периоде, k_d – коэффициент динамики спроса, TR_i^{imp} – торговые ограничения на импорт продукции отрасли i со стороны страны организации-покупателя, TR_i^{exp} – торговые ограничения на экспорт продукции отрасли i со стороны страны организации-продавца.

Если $VP_i^{demand} < VP_i^{plan} k_d$, это означает, что возник дефицит, связанный с торговыми ограничениями. В этом случае рассчитывается недостающий объем поставки $VP^{unavail}$ и добавляется в массив по отрасли i . После обработки всех поставщиков по отрасли i недостающие поставки распределяются среди организаций-поставщиков из стран, не подпавших под санкции, пропорционально их долям в замещении согласно данным исходной таблицы (см. табл. 1). В этот момент вступает в силу действие коэффициента замещения ресурсов: если сумма долей в таблице по отрасли i для страны, в которой располагается организация, меньше единицы, то невозможно в полной мере заместить потребность в ресурсах по отрасли i , возникшую в результате введения торговых ограничений.

Недополучение оборотных поставок непосредственно влияет на объемы выпуска организации, поэтому, если замещение ресурсов хотя бы по одной отрасли поставок i меньше единицы, для каждой отрасли поставок рассчитывается соответствующий коэффициент уменьшения kU_i :

$$kU_i = \min\{1, \Sigma VP_i^{demand} / \Sigma VP_i^{plan} k_d\}, \quad (2)$$

где kU_i — коэффициент уменьшения поставок по отрасли i ; ΣVP_i^{demand} — сумма требуемых поставок по всем поставщикам отрасли i в следующем периоде в условиях торговых ограничений; ΣVP_i^{plan} — сумма плановых поставок по всем поставщикам отрасли i в текущем периоде; k_d — коэффициент динамики спроса на продукцию организации.

Итоговый коэффициент уменьшения поставок организации устанавливается равным наименьшему из kU_i . Если kU меньше единицы, то пропорционально уменьшаются заказы по всем отраслям оборотных поставок. Для этого по каждой отрасли сопоставляются коэффициент уменьшения kU_i с итоговым коэффициентом уменьшения для организации kU . Если $kU_i > kU$, то пересчитывается объем всех требуемых поставок по отрасли i :

$$VP_i^{demand'} = VP_i^{demand} kU / kU_i, \quad (3)$$

где $VP_i^{demand'}$ — скорректированный объем требуемой поставки по отрасли i ; VP_i^{demand} — исходный объем требуемой поставки по отрасли i ; kU_i — коэффициент уменьшения поставок по отрасли i ; kU — итоговый коэффициент уменьшения поставок для организации.

В конце этапа перераспределения заказов по оборотным поставкам рассчитывается предварительное значение выпуска:

$$V_p = V_d kU, \quad (4)$$

где V_p — предварительное значение выпуска в следующем такте; V_d — расчетный спрос на продукцию в следующем такте; kU — коэффициент уменьшения оборотных поставок организации.

3. Пересчет продаж. Порядок обработки организаций на данном этапе является обратным: первыми обрабатываются организации добывающих отраслей и сельского хозяйства, а затем обрабатывающей промышленности, торговли и услуг. Поступившие заказы на продукцию организаций сопоставляются с ее производственными мощностями, доступным объемом сырья и комплектующих. С учетом этих факторов формируются доступные поставки, информация о которых возвращается заказчиком.

Изменения на данном шаге затрагивают те организации, которые нуждаются в сырье и комплектующих. Для каждой отрасли оборотных поставок i на основе полученных от поставщиков ответов о возможности осуществления поставок в запрошенном объеме рассчитывается коэффициент уменьшения поставок:

$$kU_i = \sum VP_i^{avail} / \sum VP_i^{demand'}, \quad (5)$$

где kU_i — коэффициент уменьшения поставок по отрасли i ; $\sum VP_i^{avail}$ — сумма доступных поставок по отрасли i в следующем периоде; $\sum VP_i^{demand'}$ — сумма требуемых поставок по отрасли i .

Узкое место в поставках kU определяется как наименьший из коэффициентов kU_i , а скорректированный объем выпуска V_p^* устанавливается в соответствии с ограничениями производственных мощностей и комплектующих:

$$V_p^* = \min\{V_p, kU, PL\}, \quad (6)$$

где kU — коэффициент уменьшения поставок; V_p — предварительное значение выпуска в следующем такте; PL — предельный возможный выпуск по производственным мощностям.

Затем рассчитывается объем доступных поставок, где организация является поставщиком:

$$VP^{avail} = VP^{demand'} V_p^* / V_d, \quad (7)$$

где VP^{avail} — объем доступной поставки; $VP^{demand'}$ — объем требуемой поставки; V_p^* — скорректированное значение выпуска в следующем такте; V_d — расчетный спрос на продукцию в следующем такте.

4. Пересчет поставок и выпуска. На данном этапе для каждой организации-покупателя сопоставляются требуемые ей поставки с доступными от поставщиков. Определяются узкие места в цепочке поставок и итоговый объем закупок сырья и комплектующих. Алгоритм данного шага не имеет существенных отличий от приведенного в (Машкова, Бахтизин, 2024).

Информационное обеспечение агентной модели торговых войн основано на официальных данных, представленных на сайтах Евростата², Бюро экономического анализа США³, Национального бюро статистики Китая⁴, Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации⁵ и Всемирного банка⁶. Основными информационными таблицами являются межотраслевой баланс, отраслевая структура валового внутреннего продукта, а также потоки импорта и экспорта между странами, включенными в модель. Вопросы согласования данных из различных источников и их приведения к виду, необходимому для загрузки в модель, рассмотрены в работе (Машкова, Бахтизин, 2023).

В качестве сценарных параметров моделирования устанавливаются: курс валют стран относительно друг друга; ожидаемая инфляция и динамика конечного спроса в каждой стране. Для отражения возможности замещения поставок по отрасли при введении торговых ограничений странами-поставщиками с помощью отечественных производителей или поставщиков из дружественных стран вво-

² <https://ec.europa.eu/eurostat>

³ <https://www.bea.gov/>

⁴ <http://www.stats.gov.cn/english/>

⁵ <http://www.gks.ru>

⁶ https://data.worldbank.org/?intcid=ecr_hp_BeltC_en_ext

дится параметр, характеризующий долю стран в увеличении поставок. Сумма долей стран по одной отрасли не может превышать единицы, сумма меньше единицы означает ограниченные возможности замещения подпавших под санкции ресурсов.

2. Результаты и обсуждение

В текущей ситуации экспериментальные исследования на разработанной модели носят скорее аналитический, нежели прогнозный характер. Сложность построения прогнозов, даже на краткосрочный период, обусловлена в первую очередь политической напряженностью в мире, неопределенными перспективами военных действий на Украине, вероятностью появления новых горячих точек (например, Тайваня). В ближайшие годы геополитические факторы будут определяющими для торговых взаимосвязей между странами и мировой экономики в целом.

Целью проведения серии расчетов на агент-ориентированной модели торговых войн являлась оценка чувствительности экономических систем различных стран к перестройке мировых торговых отношений с учетом возможности замещения подпавших под санкции ресурсов.

В рамках экспериментальных исследований на модели были выбраны три уровня замещения: 1; 0,9 и 0,8. Полное замещение, равное 1, достигается при быстрой перестройке производств, добычи и логистических цепочек, в расчетах ее примем за базовый сценарий. Уровни замещения ниже 0,8 не рассматриваются в данном исследовании, поскольку экономические системы стран являются достаточно гибкими: либо находятся поставщики в странах, не вводивших санкции, либо продолжается взаимодействие с поставщиками из подсанкционных стран через специально организованные торговые каналы в нейтральных странах (Кувалин и др., 2024). И в том, и в другом случае речь идет скорее об удорожании поставок, чем об их полной недоступности. Также для проведения расчетов были установлены параметры, характеризующие жесткость санкций. Снижение товарного обмена между Россией, ЕС и США после введения санкций, по официальным данным, составило порядка 50% (по данным Евростата и Бюро экономического анализа США), это значение было распространено на прогнозный период в 3 года. В качестве основного показателя адаптации экономики каждой страны к новым торговым условиям была выбрана динамика внутреннего валового продукта.

В данной работе представлены результаты проведенных расчетов на период три года после введения торговых ограничений. Для каждой рассматриваемой в модели страны после проведения динамического моделирования при различных показателях замещаемости ресурсов были построены ряды динамики ВВП в условиях сохранения текущих санкционных ограничений и произведено их сравнение с базовым сценарием, соответствующим полному замещению ресурсов. Также на графиках представлено сравнение полученных прогнозных данных с ретроспективными данными по динамике ВВП стран в модели за 2022 и 2023 г., соответствующих первому и второму году после введения санкционных ограничений. Сравнение расчетных данных с ретроспективными позволяет оценить, каким было реальное замещение ресурсов в экономиках стран, вовлеченных в санкционное противостояние. Для этого ретроспективная оценка ВВП сопоставляется с прогнозами в различных сценариях замещения ресурсов

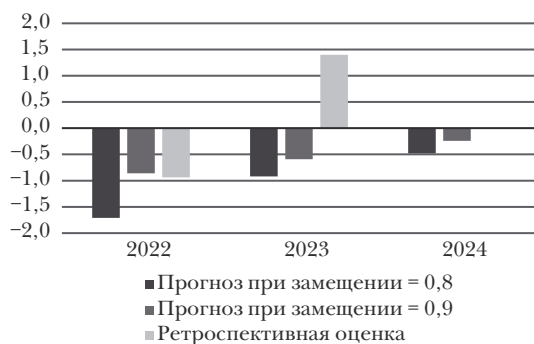


Рис. 1.

Отклонение динамики ВВП России в условиях различного замещения ресурсов от базового прогнозного сценария и сравнение с ретроспективной оценкой

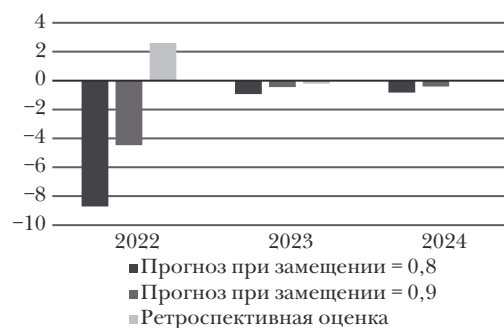


Рис. 2.

Отклонение динамики ВВП ЕС в условиях различного замещения ресурсов от базового прогнозного сценария и сравнение с ретроспективной оценкой

и выбирается наиболее близкий к реальности прогноз. Даже с учетом того, что на динамику ВВП оказывает влияние множество других факторов, такой подход представляется достаточно правомерным для получения первых ориентировочных оценок.

На рис. 1 представлены результаты расчетов для экономики России, чувствительность которой к степени замещения ресурсов можно оценить как среднюю: отклонение ВВП в год введения санкций при уровне замещения 0,9 относительно базового сценария, предполагающего полное замещение ресурсов, составляет 0,8%, при уровне 0,8–1,7%. В последующие годы влияние этого фактора становится все менее значительным и разница сценариев к третьему году после введения санкций при различных уровнях замещаемости составляет порядка 0,25% ВВП. Ретроспективная оценка, сделанная по данным Федеральной службы государственной статистики за 2022 г., находится в отрицательной зоне относительно базового сценария, показывая, что полное замещение ресурсов не было достигнуто и в среднем составила порядка 90%. Однако уже в 2023 г. эта проблема была решена, более того, были созданы дополнительные драйверы роста, неучтенные в прогнозе и определившие рост экономики выше базового сценария на 1,4%.

Экономика Европейского союза, напротив, показывает высокую степень чувствительности к уровню замещения ресурсов (рис. 2): при замещении на уровне 0,9 падение ВВП в год введения санкций составляет более 4% относительно базового сценария, при замещаемости порядка 0,8 – более чем на 8%. В последующие годы влияние стало менее значительным, однако при неполной замещаемости ресурсов затрудняется возвращение экономики к докризисному уровню в краткосрочном периоде. Показателем для сравнения за 2022 г. является оценка Всемирным банком динамики ВВП ЕС, за 2023 г. – оценки Европейской комиссии⁷.

Достоверность ретроспективных оценок экономики ЕС за 2022 г. вызывает некоторые вопросы, поскольку сложно сопоставить заявленный рост в 3,4%

⁷ https://commission.europa.eu/index_en

с повышением в этот период цен на энергоносители почти в два раза, что привело как к росту себестоимости продукции и переносу ряда производств за пределы Еврозоны, так и к снижению покупательской способности населения. Тем не менее, эти оценки признаны мировым сообществом, и на их основании следует сделать вывод, что в 2022 г. в ЕС было достигнуто полное замещение ресурсов. Этому могла способствовать сравнительно мягкая зима, позволившая сохранить достаточно большой запас газа в хранилищах. Однако уже в 2023 г. рост ВВП оказывается меньше прогнозируемого при базовом сценарии на 0,3%, что соответствует уровню замещения около 95%.

В экономике США наблюдается некоторая зависимость от уровня замещения ресурсов (рис. 3), отклонение от базового сценария в год введения санкций составляет в районе 0,6–1,1% ВВП, в последующие годы зависимость от степени замещения сглаживается. Следует отметить, что США в последние годы накладывали ограничения на товарный оборот не только с Россией, но и с Китаем (а также с рядом других стран, не выделяемых в качестве самостоятельных участников модели), и эти ограничения также были заложены в сценарные параметры моделирования. Базой для сравнения прогнозов модели с реальной динамикой ВВП США служат данные Бюро экономического анализа США за 2022 и 2023 г. В случае с экономикой США очевидно, что она стала бенефициаром сложившейся ситуации и замещение подпавших под ограничения поставок не стало проблемой. В наблюдаемом периоде экономика США показала рост в диапазоне 0,5–0,8% относительно базового сценария.

Наименьшую чувствительность к степени замещения ресурсов показывает экономика Китая: разница в ВВП при различных сценариях не превышает 0,5% (рис. 4). Базой для сравнения за 2022 г. выбрана оценка Всемирным банком динамики ВВП Китая, за 2023 г. — оценка Национального бюро статистики Китая. Ретроспективная оценка выше базового сценария, что позволяет заключить, что замещение поставок было полным.

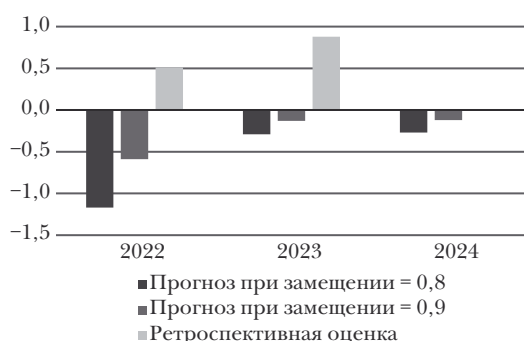


Рис. 3.

Отклонение динамики ВВП США в условиях различного замещения ресурсов от базового прогнозного сценария и сравнение с ретроспективной оценкой

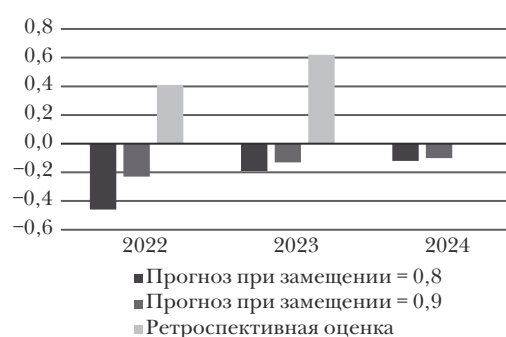


Рис. 4.

Отклонение динамики ВВП Китая в условиях различного замещения ресурсов от базового прогнозного сценария и сравнение с ретроспективной оценкой

На рис. 5 представлено сравнение чувствительности экономик различных стран к степени замещения подпавших под санкции ресурсов. Для иллюстрации рассматривается накопленная динамика ВВП за двухлетний период относительно базового сценария.

Сопоставление полученных прогнозов с ретроспективными оценками позволяет заключить, что для большинства вовлеченных в торговое противостояние стран замещение ресурсов оказалось практически полным, и лишь в России и ЕС в некоторые моменты замещение опускалось до уровня 90–95% (см. рис. 1–2). При этом сценарные расчеты на модели показывают, что в наибольшей степени от введенных санкций в случае неполного замещения ресурсов страдает экономика Европейского союза, поскольку ее чувствительность к этому фактору является наибольшей. Это обуславливает высокую зависимость европейской промышленности от поставок из США, что позволяет американской стороне не только повышать цены, но и более активно продвигать заключение соглашений, невыгодных для европейской стороны, таких как Трансатлантическое торговое и инвестиционное партнерство.

Заключение

Представленная работа посвящена разработке инструментов оценки последствий торговых войн между Россией, Китаем, США и Евросоюзом, их влияния на экономику участвующих стран и остального мира. В качестве основного метода исследования было выбрано агентное моделирование, позволяющее моделировать экономические операции на микроуровне, через решения отдельных организаций относительно изменения объемов выпуска и структуры поставок.

Приведем наиболее значимые результаты, представленные в статье.

1. Коэффициент замещения ресурсов, подпавших под торговые ограничения, отражающий сложность перестройки существующих цепочек поставок в связи с введенными санкциями.

2. Адаптация рекурсивного алгоритма пересчета продаж и поставок организаций с учетом введения концепции неполного замещения ресурсов, которая влияет на перераспределение оборотных поставок и возможности наращивания выпуска организациями.

3. Оценка чувствительности экономик различных стран к степени замещения подпавших под санкции ресурсов, основанная на анализе результатов серий расчетов на разработанной модели.

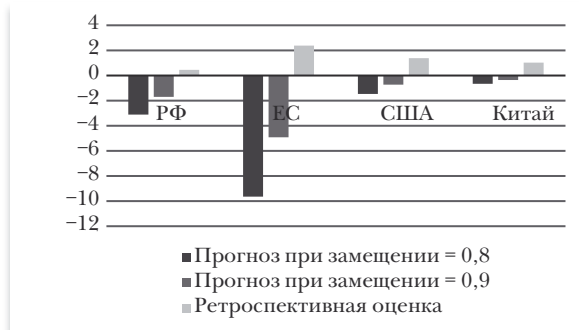


Рис. 5.

Сравнение чувствительности экономик различных стран к замещению ресурсов в условиях санкций относительно базового сценария и сравнение с ретроспективной оценкой

4. Оценки уровня замещения ресурсов в экономиках вовлеченных в торговое противостояние стран в первые два года после введения санкционных ограничений, полученные путем сравнения прогнозов с ретроспективными данными.

Следует отметить, что данные оценки напрямую связаны с принятым в модели допущением о том, что при недостатке хотя бы одного из необходимых ресурсов отрасли пропорционально сокращают производство и закупки других видов сырья, поэтому дефицит даже одного ресурса, например энергии, вызывает частичную остановку производства. Это предположение приводит к наблюдаемым результатам при оценке перспектив динамики экономик различных стран, и в наибольшей степени Евросоюза.

Перспективными направлениями исследований представляется учет в разработанной модели торговых войн новых возникших инвестиционных и инфраструктурных аспектов адаптации мировых экономик к условиям торгового противостояния как со стороны подсанкционных стран, так и со стороны стран, инициировавших введение ограничений на глобальном рынке, а также моделирование изменений в мировом политическом контексте, перераспределения зон экономического влияния и расширения экономических блоков, в первую очередь ЕС и БРИКС.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Кувалин Д.Б., Зинченко Ю.В., Лавриненко П.А., Ибрагимов Ш.Ш., Зайцева А.А.** (2024). Российские предприятия в конце 2023 года: восстановительный рост на фоне санкций, обострение дефицита рабочей силы и удорожание кредита // *Проблемы прогнозирования*. № 3 (204). С. 164–181. DOI: 10.47711/0868-6351-204-164-181 [Kovalin D.B., Zinchenko Yu.V., Lavrinenko P.A., Ibragimov Sh. Sh., Zaytseva A.A. (2024). Russian enterprises at the end of 2023: Recovery growth against the backdrop of sanctions, worsening labor shortages and rising credit costs. *Studies on Russian Economic Development*, 35, 3, 440–454 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Стрелковский Н.В.** (2022). Моделирование миграционных и демографических процессов с использованием FLAME GPU // *Бизнес-информатика*. Т. 16. № 1. С. 7–21. DOI: 10.17323/2587-814X.2022.1.7.21 [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Strelkovskii N.V. (2022). Simulation of migration and demographic processes using FLAME GPU. *Business Informatics*, 16, 1, 7–21. DOI: 10.17323/2587-814X.2022.1.7.21 (in Russian).]
- Машкова А.Л., Бахтизин А.Р.** (2023). Анализ отраслевой структуры и динамики товарообмена между Россией, Китаем, США и Европейским союзом в условиях торговых ограничений // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. Т. 16. № 3. С. 54–80. DOI: 10.15838/esc.2023.3.87.3 [Mashkova A.L., Bakhtizin A.R. (2023). Analyzing the industry structure and dynamics of commodity exchange between Russia, China, the USA and the EU under trade restrictions. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 16 (3), 54–80. DOI: 10.15838/esc.2023.3.87.3 (in Russian).]
- Машкова А.Л., Бахтизин А.Р.** (2024). Оценка последствий глобальных торговых войн для мировых экономик: инструменты и прогнозы // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 1 (62). С. 12–30. [Mashkova A.L., Bakhtizin A.R. (2024). Assessing consequences of global trade wars for world economies: Tools and forecasts. *Journal of the New Economic Association*, 1 (62), 12–30 (in Russian).]

- Abiad A., Baris K., Bernabe J.A., Bertulfo D.J., Camingue-Romance S., Feliciano P.N.** et al. (2018). The impact of trade conflict on developing Asia. *ADB Economics Working Paper Series*, 566. Asian Development Bank. [Online]. Available <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/471496/ewp-566-impact-trade-conflict-asia.pdf>
- Aguiar A., Narayanan B., McDougall R.** (2016). An overview of the GTAP 9 data base. *Journal of Global Economic Analysis*, 1, 181–208. DOI: 10.21642/JGEA.010103AF
- Bollen J., Rojas-Romagosa H.** (2018). Trade wars: Economic impacts of US tariff increases and retaliation: An international perspective. *CPB Background Document. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis*. [Online]. Available <https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/CPB-Background-Document-November2018-Trade-Wars-update.pdf>
- Bolt W., Mavromatis K., Wijnbergen S. van** (2019). The global macroeconomics of trade war: The EAGLE model on the US—China trade conflict. *DNB Working Paper*, 623. The Nederlandsche Bank. [Online]. Available https://www.dnb.nl/binaries/wp623_tcm46-381884.pdf
- Bouët A., Laborde D.** (2017). US trade wars with emerging countries in the 21st century. Make America and Its partners lose again. *IFPRI Discussion Paper*. [Online]. Available at: <http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/131368>
- Corong E., Hertel T., McDougall R., Tsigas M., Mensbrugghe D. van der** (2017). The standard GTAP model, version 7. *Journal of Global Economic Analysis*, 2, 1–119. DOI: 10.21642/JGEA.030101AF
- Dixon P., Jeri M., Rimmer M.** (2016). Modern trade theory for CGE modelling: The Armington, Krugman and Melitz models. *Journal of Global Economic Analysis*, 1 (1), 1–110. DOI: 10.21642/JGEA.010101AF
- Hertel T.** (2013). Global applied general equilibrium analysis using the global trade analysis project framework. *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, 1, 815–876. DOI:10.1016/B978-0-444-59568-3.00012-2
- Hertel T.W.** (ed.) (1997). *Global trade analysis: Modelling and applications*. New York: Cambridge University Press.
- Hof B., Leeuwen N. van, Lejour A., Tang P.** (1999). *The informal sector in WorldScan: The underpinning and the data internal CPB memorandum*, 99/IV/03, CPB, The Hague.
- Lejour A., Veenendaal P., Verweij G., Van Leeuwen N.** (2006). *Worldscan: A model for international economic policy analysis*. CPB Document 111, CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis.
- Li C., He C., Lin C.** (2018). Economic impacts of the possible China–US trade war. *Emerging Markets Finance and Trade*, 54, 1557–1577. DOI: 10.1080/1540496X.2018.1446131
- Makarov V.L., Wu J., Wu Z., Khabriev B.R., Bakhtizin A.R.** (2019). World trade wars: New impact estimation tools. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 89, 7, 745–754. DOI: 10.31857/S0869-5873897745-754
- Mashkova A., Bakhtizin A.** (2022). Assessment of impact of trade wars on production and exports of the Russian Federation using the agent-based model. *Advances in Systems Science and Applications*, 21 (4), 100–114. DOI: 10.25728/assa.2021.21.4.1165
- McDonald S., Thierfelder K.** (2024). *Globe v2: A SAM based global CGE model using GTAP data*. [Online]. Available at: http://cgemod.org.uk/globev2_2014.pdf. Last
- Ossa R.** (2014). Trade wars and trade talks with data. *American Economic Review*, 104 (12), 4104–4146. DOI: 10.1257/aer.104.12.4104

- Railsback S., Grimm V.** (2019). *Agent-based and individual-based modeling*. Princeton: Princeton University Press. DOI: 10.2307/jj.28274141
- Tesfatsion L.** (2006). Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. In: “*Handbook of Computational Economics*”, vol. 2, chap. 16, 831–880.
- Timmer H.R.** (1998). WorldScan: A world model for long-term scenario analysis. *CPB Report* 98/3.
- Tongeren F. van, Koopman R.B., Karingi S., Reilly J.** (2017). Back to the future: A 25-year retrospective on GTAP and the shaping of a new agenda. *Journal of Global Economic Analysis*, 2 (2), 1–42. DOI:10.21642/JGEA.020201AF
- Yang X., Zhou P.** (2022). Wealth inequality and social mobility: A simulation-based modelling approach. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 196, 307–329.

Поступила в редакцию 08.08.2024

Received 08.08.2024

A.L. Mashkova

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

A.R. Bakhtizin

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Agent based modeling of resilience of key economies to sanctions pressure⁸

Abstract. Introduction of sanctions against Russia by Western countries makes an urgent task to assess prospects of the global economy and international trade taking into account possibility of incomplete substitution of resources. To solve this problem, an agent-based approach was chosen. The computer model of trade wars based on it reflects dynamics of international commodity flows between Russia, the USA, the EU countries, China and the rest of the world taking into account trade restrictions, exchange rates, inflation and final demand. The purpose of calculations was to assess sensitivity of economic systems of various countries to restructuring trade relations. Calculations included parameter of resource substitution in the range from 0 to 1, where 1 corresponds to the possibility of complete resource substitution (baseline scenario). Three levels of substitution were selected for the experiments on the model: 1; 0.9 and 0.8. Results showed that sensitivity of Russian economy to the degree of resource substitution is relatively low: deviation of GDP in the first year of sanctions to the baseline scenario does not exceed 1.7%. Economy of the EU countries suffer most from the imposed sanctions, and its sensitivity to the level of resource substitution is the greatest. Comparison of the obtained forecasts with retrospective data for 2022–2023 showed that for most countries involved in the trade confrontation, resource substitution was full, and only in Russia and the EU did substitution drop to 90–95% at some points.

Keywords: *agent-based model, trade wars, trade restrictions, import, export, input-output balance.*

JEL Classification: F47.

For reference: **Mashkova A.L., Bakhtizin A.R.** (2025). Agent based modeling of resilience of key economies to sanctions pressure. *Journal of the New Economic Association*, 2 (67), 12–24 (in Russian).

DOI: 10.31737/22212264_2025_2_12-24

EDN: NECAPI

⁸ The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 075-15-2024-525 dated 23.04.2024).