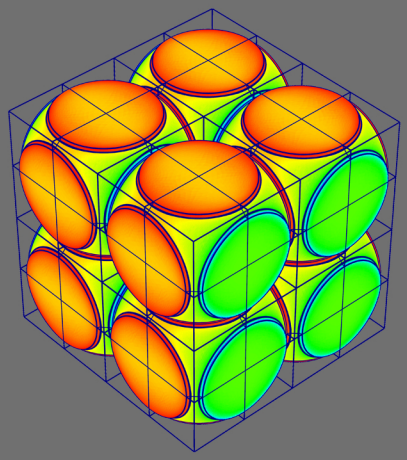
ISSN 2309-3684



Математическое моделирование и численные методы

Малинецкий Г.Г., Махов С.А. Динамика макроэкономических показателей и взаимной торговли стран БРИКС и США. Математическое моделирование и численные методы, 2023, No 1, с. 112–123.

Источник: https://mmcm.bmstu.ru/articles/305/

Параметры загрузки:
IP: 216.73.216.68
25.11.2026 04:03:28

УДК 330.43, 519.23 DOI: 10.18698/2309-3684-2023-1-112123

Динамика макроэкономических показателей и взаимной торговли стран БРИКС и США

© Г.Г. Малинецкий, С.А. Махов

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, 125047, Россия

Целью исследования является прогнозирование основных тенденций и построение сценариев экономического развития стран БРИКС (Бразилии, Индии, Китая, России, ЮАР) и США. Построены автономные регрессионные макромодели, а также модель торговли между ними. В автономных подмоделях в качестве основных показателей используются численность населения, основной капитал, валовой внутренний продукт и вложения в основные фонды. Для описания динамики этих переменных были составлены авторегрессионные уравнения. Полученная система уравнений позволила описать историческую динамику демографических и макроэкономических индикаторов с 1990 по 2019 гг. и построить прогноз до 2030 г. Подмодель торговли позволила связать двусторонние торговые потоки с валовыми внутренними продуктами исследуемых экономик. Связь описывается степенной зависимостью экспортного потока от валового внутреннего продукта обоих торговых партнеров. В отличие от моделей гравитационного типа, параметры регрессионных уравнений считаются постоянными для каждой пары торговых партнеров в течение всего прогнозируемого временного промежутка. Проведенные расчеты показали, что модели удовлетворительно описывают динамику монотонно меняющихся показателей и могут использоваться в качестве простого инструментария для прогнозирования национальной и региональной экономики.

Ключевые слова: *математическое моделирование, макроэкономика, однопродуктовое приближение, внешняя торговля, авторегрессия, динамические уравнения*

Введение. В последнее десятилетие уделяется пристальное внимание взгляду на устройство мировой экономики и политики, заключающемуся в преимуществе регионально-блоковой системы по сравнению с глобальной системой. Регионализация декларирует суверенность национальных экономик, важность их интересов, что ведет к упрочению статуса государства как экономического агента. В этом случае локальные связи важнее глобальных, а межгосударственные договоренности надежнее общепринятых международных. Появляются новые блоки и группировки стран, при этом они часто носят пространственный характер, объединяя географических соседей, но также возможны сближения стран разных континентов, то есть не по чисто географическому признаку. Одним из таких объединений является группировка БРИКС, состоящая из пяти государств: Бразилия, Россия, Индия, Китай, Южно-Африканская республика (ЮАР). Само сокращение «БРИКС» является транскрипцией английской аббревиатуры «BRICS», образованной по первым буквам названий стран (Brazil, Russia, India, China, South Africa). Внимание к

этому объединению обусловлено, во-первых, наличием в нем России, во-вторых, составом «участников», сосредоточивших в себе значительные демографические и экономические ресурсы, а это, как и всякий ресурс, представляет собой политическую силу. Последнее обстоятельство дополнительно подогревает интерес широкой общественности и научных кругов [1, 2].

При моделировании демографических и социально-экономических процессов можно выделить несколько стратифицированных уровней описания объекта исследования:

- мировая динамика — динамика мира в целом;
- региональная динамика — динамика группы стран, объединенных по какому-либо признаку;
- динамика отдельных стран.

Существуют различные методологические подходы к моделированию, возможно построение системы моделей как сверху вниз, от глобального к региональному и национальному, так и «снизу вверх», от государственного к мировому [3, 4, 5].

Настоящая работа рассматривается нами как шаг к построению модели глобального развития. Целью является прогнозирование основных тенденций и построение сценариев глобального экономического развития с учетом взаимодействия между моделируемыми объектами. Ближайшей задачей является апробация методов прогнозирования на примере исследования совместной динамики стран БРИКС и США. Одним из результатов такого исследования должно стать определение неизменных или слабо меняющихся со временем характеристик — «параметров порядка» изучаемых процессов.

Ранее в этом направлении были проведены исследования, посвященные макромоделированию отдельных стран БРИКС и их совместной торговли [6, 7]. Методика моделирования аналогична той, что использовалась в [8], и опирается на работы [9, 10].

Постановка задачи. В качестве основных методов и подходов использовались:

- аппроксимация временных рядов статистическими методами;
- построение и анализ динамических моделей регрессионного типа.

Исследование проводилось поэтапно.

1) Выбор макропоказателей. В предлагаемой имитационной модели в качестве основных переменных, характеризующих внутреннее состояние национальной экономики, используются численность населения N, основной капитал K, валовой внутренний продукт Y, валовое накопление (вложения в основные фонды) I. В качестве переменной, характеризующей внешнюю торговлю, используется двусторонний товарный экспорт T.

2) Подготовка эмпирических данных: приведение экономических показателей к стоимостным единицам измерения с поправкой на инфляцию. При подготовке к расчетам принято, что макроэкономические агрегаты измеряются в постоянных долларах 2010 года. Были использованы базы данных ООН, Всемирного банка, Конференции ООН по торговле и развитию (ЮНТКАД), а также статистические отчеты БРИКС [11, 12, 13, 14].

Расчет показателей, отсутствующих в статистических базах. В частности, индикатор «стоимость основных фондов» (основной капитал) был восстановлен по методике, апробированной в работе [8].

3) Составление уравнений, описывающих внутреннее состояние и внешнюю торговлю шести государств: группы стран БРИКС и США осуществлено в рамках двух моделей: модели автономного развития и модели внешней торговли.

4) Выполнение расчетов согласно уравнениям с разделением по шагам:

- расчет ВВП и иных внутренних показателей по автономной модели;
- расчет всех двусторонних торговых потоков, используя значения ВВП, посчитанные на предыдущем шаге.

Модель автономного развития. Основное предположение автономной модели — демография определяет экономику, обратное влияние не учитывается. Это, с одной стороны, соответствует тому факту, что кардинальные изменения в экономике происходят быстрее, чем в демографии; с другой стороны, говорит об использовании модели экономического развития, основанной на дешевой рабочей силе и низком внутреннем спросе. Применяемый подход позволяет «расщепить» демографические и экономические процессы и неоднократно использовался в глобальных моделях. При этом для прогнозирования социально-экономических величин нередко используется «номенклатурный» метод, в котором заранее задаются душевые потребности в том или ином виде ресурсов [15]. Явно «прикидочный» характер расчетов позволяет оценить пределы возможностей текущей экономической системы и построить грубый прогноз основных тенденций на несколько десятков лет вперед.

Уравнения базовой модели автономного развития имеют следующий вид:

$$N(t) = N(t-1)\cdot\left(1+d_1-d_2\cdot N(t-1)\right), \quad (1)$$

$$K(t) = I(t)+(1-b)\cdot K(t-1), \quad (2)$$

$$Y(t) = a_1\cdot K(t)+a_2\cdot N(t)+a_3, \quad (3)$$

$$I(t) = c_1\cdot Y(t-1)+c_2\cdot K(t-1)+c_3. \quad (4)$$

Здесь $N(t)$, $K(t)$, $Y(t)$, $I(t)$ — среднегодовые значения соответственно численности населения, основного капитала, валового продукта и валового накопления в году t; $N(t-1)$, $K(t-1)$, $Y(t-1)$ — те же переменные в году $t-1$. Строчные латинские буквы с нижними индексами — постоянные параметры. Частные модели для каждой страны отличаются параметрами, прежде всего, нулевыми значениями, т.е. отсутствием тех или иных коэффициентов в системе уравнений. Второе отличие — момент начала моделирования, что обусловлено наличием данных в статистических базах. Чаще всего статистика используемых агрегатов известна с 1969/70 г., но в ряде случаев только с 1989/90 г. (это касается Китая и России).

Верификация модели показала, что система разностных уравнений (1)–(4) удовлетворительно описывает макродинамику Бразилии, ЮАР, Индии и США с 1970 по 2017 гг., Китая и России с 1990 по 2017 гг. Результаты расчетов для ВВП вместе со статистическими данными приведены на рис. 1, рис. 2.

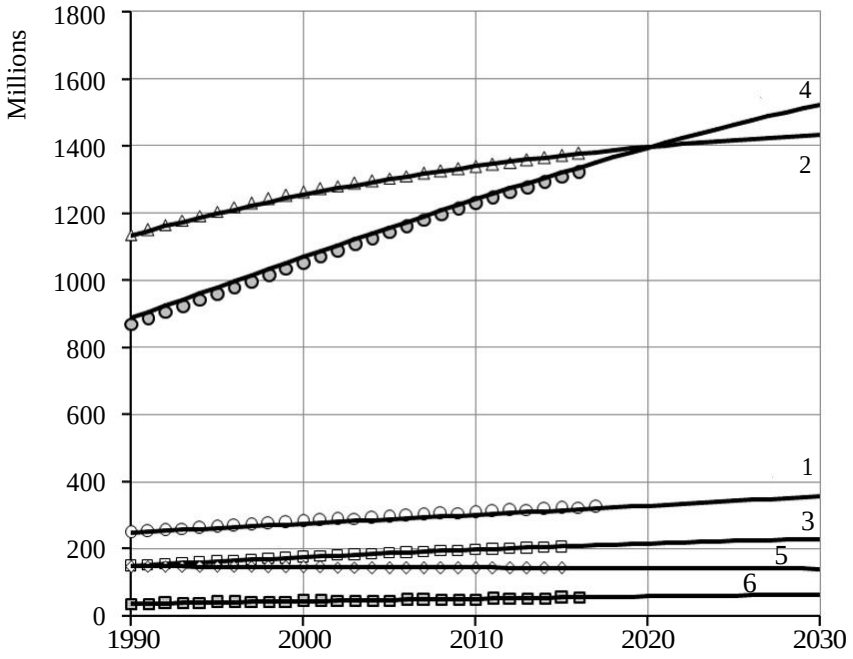


Рис. 1. Численность населения США, Китая, Бразилии, Индии, России и ЮАР с 1990 по 2030 гг.; источники: [12] и авторский расчет по модели (1)–(4); маркерами обозначены фактические данные с 1990 по 2017 годы; US-stat (○), C-stat(Δ), B-stat(□), I-stat (●), RF-stat (◊), SA-stat (■) — соответственно численность населения США, Китая, Бразилии, Индии, России, ЮАР; сплошными линиями представлены временные ряды, рассчитанные по автономным моделям:
1 — США, 2 — Китай, 3– Бразилия, 4 — Индия, 5 — Россия, 6 — ЮАР

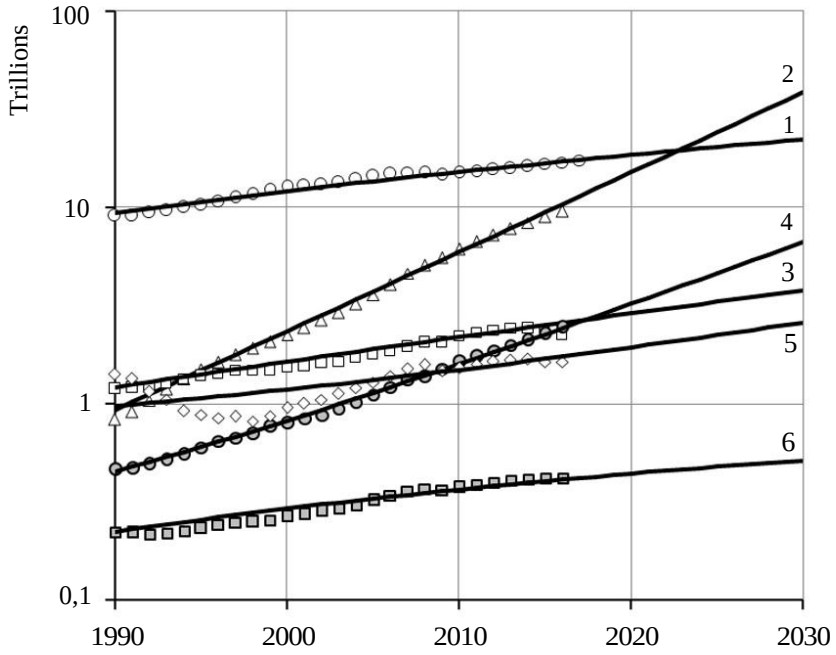


Рис. 2. Валовой внутренний продукт США, Китая, Бразилии, Индии, России и ЮАР с 1990 по 2030 гг. в долларах 2010 г.; источники: [12] и авторский расчет по модели (1)–(4); данные представлены в логарифмическом масштабе; маркерами обозначены фактические данные с 1990 по 2017 годы; US-stat (○), C-stat(Δ), B-stat(□), I-stat (●), RF-stat (◊), SA-stat (■) — соответственно ВВП США, Китая, Бразилии, Индии, России, ЮАР; сплошными линиями представлены временные ряды ВВП, рассчитанные по автономным моделям: 1 — США, 2 — Китай, 3– Бразилия, 4 — Индия, 5 — Россия, 6 — ЮАР

Модель внешней торговли. Исходным уравнением, описывающим двустороннюю торговлю, является уравнение регрессии:

$$\ln T_{kj} = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \ln Y_k + \alpha_2 \cdot \ln Y_j. \qquad (5)$$

Здесь T_{kj} — экспорт страны k в страну j; Y_k, Y_j — ВВП стран k и j соответственно; α_0, α_1, α_2 — параметры регрессии, ln — натуральный логарифм. Важно подчеркнуть, что при расчетах торговых потоков по уравнению (5) значения ВВП берутся из автономных моделей.

Уравнение (5) отражает степенную зависимость между торговым потоком и объемами ВВП, что очень похоже на зависимость, используемую в гравитационных моделях внешней торговли [16, 17, 18]. В моделях гравитационного типа, помимо ВВП, часто фигурирует «расстояние между странами» в качестве характеристики торговых издержек, что отражает, например, затраты на транспортировку.

Главная особенность гравитационных моделей заключается в том, что они статические, в них все коэффициенты вычисляются для каждого момента времени заново, при этом одинаковы для всего ансамбля торговых партнеров. Иначе говоря, гравитационные модели хорошо описывают одномоментное взаимодействие между торговыми партнерами, но плохо приспособлены к описанию торговой динамики. Поскольку цель настоящей работы — построить динамическую модель торговли, то коэффициенты в уравнении (5) должны быть постоянными во времени, иначе невозможно спрогнозировать торговые потоки. Поэтому наша модель, при внешней схожести с гравитационной моделью, от нее отличается, она ближе к модели, описанной в работе [9], в которой торговые обмены также задавались эндогенным способом.

Результаты расчетов. После исследования уравнения (5) на соответствие эмпирическим данным оказалось, что многие коэффициенты незначимы, ввиду мультиколлинеарности регрессоров [6]. Также некоторые степенные коэффициенты оказались отрицательными, что противоречит гипотезе о положительной корреляции между объемом торговли и объемом внутреннего производства.

Модель была скорректирована, в модифицированной модели обе степени одинаковы: $\alpha_1 = \alpha_2$, что можно трактовать как симметричность влияния объема ВВП обеих стран на двустороннюю торговлю [7]:

$$\ln T_{kj} = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \ln\left(Y_k \cdot Y_j\right). \qquad (6)$$

Эта модификация позволила лучше описать эмпирические данные, чем исходная модель. При этом низкое качество регрессии (коэффициент детерминации от 0,1 до 0,6) оказалось в десяти моделях из тридцати, описывающих следующие потоки: B-RF, B-SA, I-RF, RF-I, RF-SA, SA-B, SA-I, B-US, RF-US, SA-US (табл. 1).

Таким образом, говорить о существенном росте торговли между США и БРИКС в ближайшее время не приходится. Величина и объем взаимной торговли настолько велики, что, скорее, речь может идти о выходе на насыщение как экспорта, так и импорта США.

Таблица 1

Параметры модифицированного уравнения регрессии (6) для двустороннего товарного экспорта стран БРИКС и США (1995–2017)

№	Экспортер	Партнер	Поток	α_0	α_1	*sigma*	R^2
1	Бразилия	Китай	B-C	–22,306 (1,303)	1,559 (0,082)	0,287	0,949
2		Индия	B-I	–20,741 (2,018)	1,437 (0,138)	0,382	0,850

Продолжение таблицы 1

3		Россия	B-RF	–13,990 (2,741)	1,017 (0,187)	0,386	0,608
4		ЮАР	B-SA	–14,874 (2,899)	1,127 (0,218)	0,383	0,584
5		США	B-US	–2,309 (3,009)	0,323 (0,176)	0,270	0,143
6	Китай	Бразилия	C-B	–25,912 (0,856)	1,767 (0,055)	0,179	0,983
7		Индия	C-I	–21,482 (1,072)	1,553 (0,070)	0,294	0,964
8		Россия	C-RF	–19,623 (0,868)	1,441 (0,057)	0,203	0,973
9		ЮАР	C-SA	–18,578 (0,585)	1,432 (0,042)	0,137	0,985
10		США	C-US	–11,993 (0,827)	0,962 (0,046)	0,158	0,955
11	Индия	Бразилия	I-B	–32,871 (1,215)	2,265 (0,084)	0,216	0,976
12		Китай	I-C	–17,608 (1,506)	1,256 (0,099)	0,413	0,900
13		Россия	I-RF	–2,124 (1,358)	0,174 (0,096)	0,277	0,154
14		ЮАР	I-SA	–19,596 (1,125)	1,562 (0,088)	0,227	0,946
15		США	I-US	–12,624 (0,663)	0,946 (0,040)	0,107	0,966
16	Россия	Бразилия	RF-B	–23,634 (1,784)	1,602 (0,122)	0,251	0,901
17		Китай	RF-C	–6,064 (0,664)	0,577 (0,043)	0,163	0,903
18		Индия	RF-I	–8,579 (1,822)	0,688 (0,128)	0,392	0,602
19		ЮАР	RF-SA	–12,405 (6,704)	0,748 (0,519)	1,020	0,103
20		США	RF-US	–0,602 (1,795)	0,174 (0,108)	0,203	0,116
21	ЮАР	Бразилия	SA-B	–6,186 (1,382)	0,421 (0,104)	0,183	0,462
22		Китай	SA-C	–13,782 (1,468)	1,069 (0,105)	0,365	0,845
23		Индия	SA-I	–6,905 (1,952)	0,586 (0,152)	0,420	0,439
24		Россия	SA-RF	–16,043 (1,656)	1,108 (0,129)	0,266	0,796
25		США	SA-US	0,573 (2,268)	0,085 (0,135)	0,152	0,026
26	США	Бразилия	US-B	–14,140 (2,223)	1,013 (0,130)	0,200	0,751
27		Китай	US-C	–14,943 (0,638)	1,054 (0,036)	0,122	0,977

Продолжение таблицы 1

28		Индия	US-I	–16,820 (1,331)	1,149 (0,080)	0,215	0,911
29		Россия	US-RF	–13,615 (2,611)	0,914 (0,157)	0,295	0,630
30		ЮАР	US-SA	–11,914 (2,201)	0,802 (0,131)	0,148	0,715

Примечание. Параметры α_0, α_1 — коэффициенты модифицированного уравнения регрессии, указаны сами значения и стандартные ошибки в скобках; *sigma* — стандартная ошибка величины экспорта; R^2 — коэффициент детерминации. Источник: рассчитано авторами по данным [12, 13].

Анализ данных и результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы о торговле внутри БРИКС.

Внутри стран БРИКС бразильский экспорт растет только в Китай; в остальные страны экспорт стагнирует либо с 2005 г. (Россия, ЮАР), либо с 2010 г. (Индия).

Наблюдается устойчивый рост объемов товарного экспорта Китая во все страны БРИКС (а также во все страны мира в целом).

Экспорт Индии в Китай носит скачкообразный характер в 2005–2015 гг.; экспорт в Россию до 2005 г. падает, после — растет; в целом тренд не прослеживается; экспорт в Бразилию и ЮАР устойчиво растет.

Внутри стран БРИКС имеет место положительный тренд экспорта России в Китай и Бразилию; российский экспорт в Индию стагнирует с 2005 г., экспорт в ЮАР в целом тренда не имеет. Торговые потоки России носят ярко выраженный волнообразный характер.

Экспорт ЮАР имеет слабо выраженный положительный тренд, после 2008 г. заметного роста не происходит.

Для импорта Китая, Индии, России наблюдается провал около 2000 г., после — положительный тренд, заканчивающийся в 2012–13 гг., импорт Бразилии не имеет сильно выраженного тренда, наблюдаются волны.

Выводы.

1. Построены автономные и внешнеторговые регрессионные макромодели стран БРИКС и США.
2. Уравнения для макроэкономических агрегатов квазилинейны.
3. Проведенные расчеты показывают, что модели удовлетворительно описывают динамику монотонно меняющихся показателей.
4. Результаты компьютерного исследования торговой модели убеждают в корректности регрессионного подхода для описания большинства двусторонних торговых потоков.
5. Разработанные модели могут использоваться в качестве простого инструмента прогноза трендов демографических и макроэкономических индикаторов.

В данной работе для описания мировой социоэкономической системы с учетом взаимной торговли между крупнейшими игроками учтены достаточно очевидные причинно-следственные связи. И их оказывается достаточно, чтобы удовлетворительно описать пройденную в последние десятилетия траекторию и дать инерционный прогноз на несколько десятилетий. В соответствии с ним в ближайшие 15-20 лет в отсутствие катастроф и глобальных дестабилизирующих воздействий экономики рассмотренных стран могут развиваться в экспоненциальном режиме, хотя и с разными показателями экспоненты. Другими словами, на этом интервале рассматриваемая система оказывается достаточно далека от точки бифуркации.

Исходя из этого, можно сказать, что нынешнее обострение межгосударственных и региональных противоречий, кризисных явлений, является не результатом эндогенных процессов в Мир-системе, следствием исчерпания невосполнимых природных ресурсов или климатических изменений. Скорее, это результат усилий ряда игроков, рассчитывающих сместить баланс сил и по-новому разделить сферы влияния в перспективе ближайших десятилетий. Иными словами, это не результат внутренней динамики социально-экономической системы, а следствие «внешнего управления» и неустойчивостей в других сферах. Однако последние при наличии соответствующего целеполагания могут быть стабилизированы, а «внешнее управление» изменено.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Глазьев С.Ю. и др. *Перспективы и стратегические приоритеты восхождения БРИКС: научный доклад к VII саммиту БРИКС* (под ред. В.А. Садовничего, Ю.В. Яковца, А.А. Акаева). Москва, МИСК, 2014, 390 с.

[2] Шарова Е.А. Взаимная торговля стран БРИКС на современном этапе. *Проблемы национальной стратегии*, 2016, № 2 (35), с. 150–174.

[3] Гвишиани Д.М. *Методологические проблемы моделирования глобального развития*. Москва, ВНИИ системных исследований, 1977, препринт №1, 28 с.

[4] Акаев А.А. и др. *Моделирование и прогнозирование глобального, регионального и национального развития*. Москва: URSS, 2011, 486 с.

[5] Садовничий В.А. и др. *Анализ и моделирование мировой и страновой динамики: методология и базовые модели*. Москва, Учитель, Московская ред., 2015, 272 с.

[6] Махов С.А. Динамическая модель внешней торговли стран БРИКС. *Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша*, 2016, № 128, 16 с.

[7] Махов С.А. Динамическая модель стран БРИКС с учетом торговли. *Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша*, 2017, № 139, 20 с.

[8] Махов С.А. Долгосрочная макромодель мировой динамики на основе эмпирических данных. *Компьютерные исследования и моделирование*, 2013, т. 5, № 5, с. 883–891.

[9] Пирогов Г.Г., Богородицкий В.К., Бороздин И.И., Татарникова М.В., Федоровский Ю.П. *Моделирование международных внешнеэкономических связей в моделях глобального развития*. Москва, ВНИИ системных исследований, 1980, препринт, 54 с.

[10] Дубовский С.В. Прогнозирование российского экономического роста и финансовой динамики в условиях глобализации и нестабильности. *Общественные науки и современность*, 2005, № 3, с. 129–136.

[11] *National Accounts — Analysis of Main Aggregates (AMA)* [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://unstats.un.org/unsd/snaama (дата обращения: 30.10.2022).

[12] *The World Bank. World development indicators online. 2020* [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://databank.worldbank.org/data/download/WDI_excel.zip (дата обращения: 30.10.2022).

[13] *UNCTADstat. Data Center online. 2020* [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx?sCS_ChosenLang=en (дата обращения: 30.10.2022).

[14] Федеральная служба государственной статистики. *БРИКС. Совместная статистическая публикация. 2015; Бразилия, Россия, Индия, Китай, ЮАР*. Москва, ИИЦ «Статистика России», 2015, 235 с.

[15] Акимов А.В. *2300 год: глобальные проблемы и Россия*. Москва, Восточный университет, 2008, 251 с.

[16] Tinbergen J. *Shaping the world economy: suggestions for an international economic policy*. New York, Twentieth Century Fund, 1962, 330 p.

[17] Anderson J. A Theoretical Foundation for the Gravity Equation. *The American Economic Review*, 1979, vol. 69, no. 1, pp. 106–116.

[18] Троекурова И.С., Пелевина К.А. Гравитационные модели внешней торговли стран БРИКС. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право*, 2014, т. 14, вып. 1, с. 133–142.

Статья поступила в редакцию 02.11.2022

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Малинецкий Г.Г., Махов С.А. Динамика макроэкономических показателей и взаимной торговли стран БРИКС и США. *Математическое моделирование и численные методы*, 2023, № 1, с. 112–123.

Малинецкий Георгий Геннадьевич — д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий отделом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. e-mail: gmalin@keldysh.ru

Махов Сергей Анатольевич — канд. физ.-мат. наук, младший научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. e-mail: s_makhov@mail.ru

Dynamics of macroeconomic and bilateral trade's indicators of the BRICS countries and the USA

© G.G. Malietskii, S.A. Makhov

Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences,
Moscow, 125047, Russia

The study's aim is to predict main trends and create scenarios for the economic development of BRICS countries (Brazil, India, China, Russia, South Africa) and the USA. Regression autonomous macro models were built, as well as a model of trade between them. The autonomous submodels use Population, Fixed Capital, Gross Domestic Product and Gross Capital Formation as key indicators. Autoregressive equations describe the dynamics of these variables. The resulting system of equations allowed us to

de-scribe the historical dynamics of demographic and macroeconomic indicators from 1990 to 2015 and to do a forecast until 2030. In the trade submodel bilateral trade flows link with gross domestic products of the economies. The relationship is described by the power dependence of the export flow on the gross domestic product of both trading partners. Unlike gravity-type models, the regression equation parameters are assumed to be constant for each pair of trading partners over the entire predicted time interval. The calculations showed that the models satisfactorily describe the dynamics of monotonically changing indicators and therefore can be used as a simple tool for forecasting the national and regional economy.

Keywords: *mathematical modeling, macroeconomics, single product approach, extra-trade, auto regression, dynamic equations*

REFERENCES

[1] Glazyev S.Yu. et al. *Perspectives and strategic priorities for BRICS ascention: a scientific report for the VII BRICS Summit* (edited by V.A. Sadovnichy, Yu.V. Yakovets, A.A. Akaev). Moscow, MISK Publ., 2014, 390 p.

[2] Sharova E.A. Mutual trade between BRICS countries today. *National Strategy Issues*, 2016, no. 2 (35), pp. 150–174.

[3] Gvishiani D.M. *Metodologicheskie problemy modelirovaniya global'nogo razvitiya* [Methodological problems of modeling global development]. Moscow, Institute of Systems Research, 1977, preprint no. 1, 28 p.

[4] Akaev A.A. et al. *Modelirovanie i prognozirovanie global'nogo, regional'nogo i nacional'nogo razvitiya* [Modeling and forecasting of global, regional and national development]. Moscow: URSS, 2011, 486 p.

[5] Sadovnichy V.A. et al. *Analiz i modelirovanie mirovoj i stranovoj dinamiki: metodologiya i bazovye modeli* [Analysis and modeling of global and country dynamics: methodology and basic models]. Moscow, Uchitel', Moscow ed., 2015, 272 p.

[6] Makhov S.A. BRICS trade dynamic model. *Keldysh institute preprints*, 2016, no. 128, 16 p.

[7] Makhov S.A. A dynamic macromodel of the BRICS countries taking into account trade. *Keldysh institute preprints*, 2017, no. 139, 20 p.

[8] Makhov S.A. The long-term empirical macro model of world dynamics. *Computer Research and Modeling*, 2013, vol. 5, no. 5, pp. 883–891.

[9] Pirogov G.G., Bogoroditsky V.K., Borozdin I.I., Tatarnikova M.V., Fedorovsky Yu.P. *Modelirovanie mezhdunarodnyh vneshneekonomicheskih svyazej v modelyah global'nogo razvitiya* [Modeling of international foreign economic relations in models of global development]. Moscow, Institute of Systems Research, 1980, preprint, 54 p.

[10] Dubovsky S.V. Prognozirovanie rossijskogo ekonomicheskogo rosta i finansovoj dinamiki v usloviyah globalizacii i nestabil'nosti [Forecasting Russian economic growth and financial dynamics in the context of globalization and instability]. *Social Sciences and Contemporary World*, 2005, no. 3, pp. 129–136.

[11] *National Accounts — Analysis of Main Aggregates (AMA)* [Electronic resource]. Access mode: https://unstats.un.org/unsd/snaama (accessed: 30.10.2022)

[12] *The World Bank. World development indicators online. 2020* [Electronic resource]. Access mode: https://databank.worldbank.org/data/download/WDI_excel.zip (accessed: 30.10.2022).

[13] *UNCTADstat. Data Center online. 2020* [Electronic resource]. Access mode: http://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx?sCS_ChosenLang=en (accessed: 30.10.2022).

[14] Rosstat. *BRICS Joint Statistical Publication: 2015; Brazil, Russia, India, China, South Africa*. Moscow, «Statistics of Russia», 2015, 235 p.
[15] Akimov A.V. *2300 god: global'nye problemy i Rossiya* [2300: Global problems and Russia]. Moscow, Eastern University, 2008, 251 p.
[16] Tinbergen J. *Shaping the world economy: suggestions for an international economic policy*. New York, Twentieth Century Fund, 1962, 330 p.
[17] Anderson J. A Theoretical Foundation for the Gravity Equation. *The American Economic Review*, 1979, vol. 69, no. 1, pp. 106–116.
[18] Troekurova I.S., Pelevina K.A. Gravity models of foreign trade of BRICS countries. *Izvestiya of Saratov University. Economics. Management. Law*, 2014, vol. 14, iss. 1, pp. 133–142.

Malietskii G.G., Dr. Sci. (Phys. — Math.), Professor, head of the department, Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences. e-mail: gmalin@keldysh.ru

Makhov S.A., Cand. Sc. (Phys. — Math.), junior scientific researcher, Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences. e-mail: s_makhov@mail.ru