

МИРОВАЯ ЭКОНОМИКА И МЕЖДУНАРОДНЫЕ ФИНАНСЫ

УДК: 339.142; 339.9; 330.43; 330.46
JEL: C15; C31; F17

Анализ структур экспорта и импорта с использованием сетевых методов (на примере рынка агропромышленных товаров)

С. А. Лапинова¹, А. И. Аникина², А. М. Ошарин¹

¹ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Российская Федерация, 603155, Нижний Новгород, Большая Печерская ул., 25/12

² Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Российская Федерация, 109028, Москва, Покровский бул., 11

Для цитирования: Лапинова С. А., Аникина А. И., Ошарин А. М. (2020) Анализ структур экспорта и импорта с использованием сетевых методов (на примере рынка агропромышленных товаров). *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*. Т. 36. Вып. 3. С. 421–454. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2020.304>

Анализ торгового сотрудничества между государствами и выявление наиболее значимых участников рынка имеет большое значение как в теоретическом, так и в практическом плане. Мировое торговое сообщество образует сеть межгосударственных связей, определяемых торговыми контрактами в различных отраслях. Экспортно-импортные торговые потоки являются одним из ключевых индикаторов уровня сотрудничества между странами и состояния мировой экономики. Высокая интенсивность таких контактов между определенными группами стран свидетельствует о наличии кластеров в данном сегменте рынка, состоящих из центральных игроков — экспортеров и импортеров, которые часто определяют в нем правила для остальных участников. Понимание наличия и определение такого центра помогают в выработке оптимальной внешнеторговой стратегии. Цель статьи — определение факторов, влияющих на торговые потоки между государствами. Статистический анализ мировых торговых отношений не всегда позволяет выявить все существенные аспекты сотрудничества. В работе объединены методы теории графов и эконометрического анализа для исследования параметров торговых потоков между странами. Параметры, применяемые в сетевом анализе, позволяют получить дополнительные характеристики участников рынка, на основе которых удастся определить их значимость в мировой торговле. В исследовании

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2020

определены ключевые математические и экономические характеристики экспортно-импортных потоков между странами, предоставляющие возможность анализировать и отслеживать направления изменений в мировой торговле. В частности, установлены соответствия между метрическими характеристиками вершин графа и параметрами моделей мировой торговли, позволяющие выполнить сравнение показателей России с показателями ее крупнейших торговых агентов в категориях экспорта / импорта. Предложены методы установления ключевых посредников и импортёров на каждом из рассматриваемых рынков, проанализированы факторы, влияющие на импорт, на примере рынка сельскохозяйственной продукции среди крупнейших мировых экспортёров и импортёров продукта.

Ключевые слова: глобализация, модели международной торговли, эконометрические модели, модели экспорта и импорта, теория графов, сетевой анализ.

Введение

Мировое торговое сообщество представляет собой сеть связей между различными странами, реализующими торговые контракты относительно приобретения или продажи всевозможных товаров. Объем и интенсивность экспортно-импортных торговых потоков внутри указанной сети можно рассматривать в качестве показателя степени вовлеченности стран в международные торговые отношения. Поэтому значительный практический интерес представляют факторы, определяющие экономические параметры экспортно-импортных потоков.

Для эмпирического анализа влияния указанных факторов на параметры торговых потоков широко используется так называемая гравитационная модель торговли [Tinbergen, 1962]. В ее основе лежит предположение о том, что уровень взаимодействия между двумя странами, измеряемый стоимостью экспорта из одной страны в другую, пропорционален произведению показателей, характеризующих экономический размер этих стран и обратно пропорционален издержкам торговли между ними¹ [Anderson, 1979; Anderson, Wincoop, 2003; Combes, Mayer, Thisse, 2008]. Указанная модель получила заслуженное признание благодаря успеху в прогнозировании двухсторонних торговых потоков товаров в различных ситуациях [Deardorff, 1984; Leamer, Levinsohn, 1994].

Одним из недочетов традиционной гравитационной модели является то, что она описывает двухсторонние торговые потоки, не принимая во внимание возможного влияния на эти потоки других стран, с которыми рассматриваемые страны также могут быть связаны торговыми отношениями. Для преодоления указанного недостатка гравитационной модели предпринимались попытки учета влияния окружения на параметры торговых потоков, связывающих пары выделенных стран. С этой целью зависимость гравитационного типа выводилась теоретически, исходя из предпосылок наиболее известных моделей международной торговли — модели Рикардо [Eaton, Kortum, 2002], модели Хекшера-Олина [Deardorff, 1998], новой теории международной торговли Кругмана [Bergstrand, 1985; Helpman, 1987], модели Мелица [Melitz, 2003] с гетерогенными фирмами [Chaney, 2008], модели чистого обмена Армингтона [Anderson, 1979; Anderson, Wincoop, 2003].

¹ В качестве экономического размера стран, как правило, используется объем валового внутреннего продукта (ВВП), а в качестве торговых издержек — тем или иным способом измеренное расстояние между ними.

Это позволило сформулировать теоретически обоснованную гравитационную модель, модифицирующую ее исходный вариант в направлении корректного анализа влияния окружения на экономические показатели стран, связанных двухсторонними торговыми отношениями. Всесторонний обзор методик эмпирического оценивания различных гравитационных спецификаций, принимающих в расчет влияние окружения на двухсторонние торговые потоки, представлен в работах [Shumilov, 2016; Шумилов, 2017]. Отличительной особенностью всех таких спецификаций является то, что внешнее влияние учитывается путем обобщения традиционных моделей торговли для двух изолированных стран на случай торговли с произвольным числом участников. При этом подобного рода обобщение проводится безотносительно пространственного местоположения стран, вовлеченных в торговые отношения.

Процессы глобализации и политические факторы также внесли свой вклад в корректировку моделей мировой торговли. Согласно статистике, интенсивность товарооборота между странами часто определяется их местом в глобальном разделении труда. Появились страны-посредники, такие как Нидерланды, которые, имея незначительные производственные и человеческие ресурсы, стали выступать активным промежуточным звеном, международной торговой площадкой по ряду товарных позиций (например, в аграрном и нефтегазовом секторах). Страны, которые ранее играли роль мировых фабрик (Китай, Малайзия, Вьетнам, Южная Корея и др.) сегодня претендуют на роль экспортеров высокотехнологичных, капиталоемких товаров. Заинтересованные стороны в развивающихся странах стремятся к тому, чтобы их страны оказались встроенными в стоимостные цепочки и перешли к деятельности с более высокой добавленной стоимостью.

С целью углубленного исследования процессов современной мировой торговой сети в последнее время наряду с экономическими моделями применяют теорию графов (сетевой анализ). Интересный подход, интегрирующий гравитационную модель и сетевой анализ, предложен в [Hubler, 2016]. Его отличительной особенностью является то, что он позволяет в явном виде учесть пространственное расположение стран в торговой сети, направление торговых потоков между ними, а также торговые барьеры, препятствующие торговым отношениям.

В настоящее время использование сетевого подхода как самостоятельного инструмента анализа международных торговых отношений доказало свою состоятельность. Начиная с ранней работы [Smith, White, 1992] и заканчивая современными исследованиями [De Lombaerde et al., 2019], методы теории графов широко применяются для анализа экономических и социальных взаимодействий между странами. Так, исследование структуры и механизма распределения стоимости между странами привело к возникновению понятия «глобальные производственно-сбытовые процессы» [Gereffi, Humphrey, Sturgeon, 2005], а сетевой подход позволил выявить новые торговые центры и кластеры [Lee et al., 2013; Brin, Page, 1998]. Одновременно сетевой подход показал, что многие развивающиеся регионы практически не вовлечены в процессы глобализации (примером чего служит большинство африканских стран).

Кроме того, использование данных методов позволило проанализировать всемирную торговую сеть и выделить кластеры стран, отличающихся высокой интенсивностью внешнеторговых потоков. Зачастую эти кластеры состоят из «цен-

тральных» игроков, которые определяют правила игры для остальных ее участников [De Lombaerde et al., 2019]. В работах [Piccardi, Tajoli, 2015; Barigozzi, Fagiolo, Mangioni, 2011] идентифицируются кластеры стран, образующих тесно связанные торговые группы. Эти группы, как правило, оказываются выделенными по географическому признаку и в меньшей степени соответствуют торговым соглашениям между странами. Умение определять наличие «ведущих» игроков и выявлять ключевые факторы, влияющие на торговые потоки между государствами, помогает странам в выработке оптимальной внешнеторговой стратегии.

Представленный в нашей работе комбинированный подход, объединяющий эконометрику и теорию графов, менее распространен в литературе. В его рамках выполнены немногочисленные исследования. В работах [Chandrasekhar, Jackson, 2016; Chaney, 2016] рассматривается применение методов эконометрического анализа для оценки параметров формирования сетей, а в [Jackson, Rogers, Zenou, 2017] предлагаются инструменты для анализа влияния различных структур сети на благосостояние стран.

В данном исследовании предпринята попытка построения эконометрической модели, учитывающей положение заданной страны в локальной торговой сети и влияние ее окружения на объем торгового оборота со странами-партнерами. С этой целью эконометрическая модель торговых потоков дополнена параметрами, отражающими метрические характеристики сети, в которую встроены участники торговли. Предполагается, что объединение элементов сетевого и регрессионного анализа в рамках единого подхода позволяет расширить возможности традиционного анализа международных торговых взаимосвязей. Можно надеяться, что представленный подход послужит основой для более подробного анализа торгового взаимодействия в случае подтверждения гипотезы о том, что метрические характеристики сети оказывают существенное влияние на параметры торговли.

Доказательство значимого влияния метрических характеристик сети на импортные потоки торгующих стран является одной из основных целей данной статьи.

В работе использована нормативно-правовая база, содержащая федеральные законодательные акты о внешней торговле и таможенном регулировании продукции в области международной торговли², а также международные стандарты классификации продукции в рамках международного обмена³. В теоретической части

² Федеральный закон № 164-ФЗ от 08.12.2003 (ред. от 13.07.2015) «Об основах государственного регулирования внешнеторговой деятельности». URL: <http://www.consultant.ru>. (дата обращения: 16.01.2018); Новая версия таможенной номенклатуры ВТО. Федеральная таможенная служба. URL: http://ved.customs.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=236:2011-05-20-15-28-33&catid=14:2008-10-16-14-58-30&Itemid=1850 (дата обращения: 16.01.2018); Нормативная правовая база по вопросам ведения и формирования таможенной статистики внешней торговли и взаимной торговли. Федеральная таможенная служба. URL: http://customs.ru:8111/index.php?option=com_content&view=article&id=17000&Itemid=2353 (дата обращения: 16.01.2018); Текущие материалы таможенной статистики. Федеральная таможенная служба. URL: http://customs.ru:8111/index.php?option=com_content&view=article&id=13858&Itemid=2095 (дата обращения: 16.01.2018).

³ Glossary: Standard international trade classification (SITC). Eurostat statistics explained. URL: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:_Standard_international_trade_classification_\(SITC\)](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:_Standard_international_trade_classification_(SITC)) (дата обращения: 16.01.2018); Harmonized Commodity Description and Coding Systems (HS). UN TRADE STATISTICS. URL: <https://unstats.un.org/unsd/tradekb/Knowledgebase/50018/Harmonized-Commodity-Description-and-Coding-Systems-HS> (дата обращения: 16.01.2018); Metadata. World Integrated Trade Solution URL: <https://wits.worldbank.org/product-metadata.aspx> (дата обращения: 16.01.2018).

работы применяются методы теории графов и сетевого анализа, в эмпирической — используются статистические данные Всемирного банка, описывающие экспорт, импорт⁴, а также ряд макроэкономических показателей для 10 крупнейших мировых экспортеров и импортеров согласно рейтингу, представленному на сайтах World Integrated Trade Solution и UN Trade Statistics. Среди них — США, Германия, Италия, Франция, Великобритания, Канада, Нидерланды, Китай, Япония, Россия⁵. Для каждого из вышеперечисленных государств были отобраны 20 крупнейших торговых партнеров (выборка охватывает период с 1996 по 2016 г.).

Статья состоит из трех разделов. В первом разделе рассматриваются элементы теории графов, а также применение этой теории к построению торговой сети. Во втором проводится анализ динамики показателей торговых потоков с помощью теории графов. В третьем разделе выполнено построение эконометрической модели (на примере товаров агропромышленного комплекса) и представлен ее анализ. В заключении подводятся итоги исследования.

1. Теория графов и ее применение к построению торговой сети

Объем экспорта и импорта можно рассматривать в качестве одного из индикаторов состояния экономики страны, позволяющего определить ее место в глобальном разделении труда, а также понять, насколько сильно она зависит от внешних партнеров. С точки зрения теории экономических агентов экспорт и импорт товаров и услуг представляют собой один из способов экономического взаимодействия конкретной страны и иностранного сектора.

Перейдем к обсуждению составляющих экспорта и импорта на основе базы данных Всемирного банка⁶. Для этого воспользуемся методикой структурирования экспортируемых и импортируемых товаров, принятой в рамках Гармонизированной системы описания и кодирования товаров⁷. Данная методика была разработана Всемирной торговой организацией с целью стандартизации классификации полученной или проданной продукции таможенными органами стран-участниц. Структура экспорта и импорта России схожа с вышерассмотренными международными стандартами классификации товаров.

Для моделирования торговых потоков применяются элементы теории графов, которые дают возможность наглядно оценивать связи и интенсивность взаимодействия между странами. Для анализа параметров графа используются следующие характеристики:

- полустепень исхода и захода вершины — число дуг, соответственно, исходящих из вершины и входящих в вершину;
- степень вершины — общее число дуг, входящих в данную вершину и исходящих из данной вершины, или число ребер, инцидентных вершине;

⁴ DataBank. URL: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx> (дата обращения: 26.03.2018).

⁵ World Bank list of economies. URL: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups> (дата обращения: 01.04.2018).

⁶ World Integrated Trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/> (дата обращения: 01.02.2018); DataBank. URL: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx> (дата обращения: 26.03.2018).

⁷ Harmonized Commodity Description and Coding Systems (HS). UN TRADE STATISTICS. URL: <https://unstats.un.org/unsd/tradekb/Knowledgebase/50018/Harmonized-Commodity-Description-and-Coding-Systems-HS> (дата обращения: 16.01.2018).

- петля в графе — дуга, начало и конец которой находится в одной и той же вершине;
- важность вершины — ее ранжирование по некоторому критерию;
- плотность графа:

$$\Delta = \frac{2L}{g(g-1)},$$

где L — число связей в графе, g — число вершин в графе.

Данные характеристики позволяют количественно оценивать вершину графа с точки зрения важности ее положения и роли в сети в целом. Важность страны (как вершины графа) в рамках анализа мировой торговли указывает на ее вес, определяемый наличием обширных торговых связей, и на ее положение как незаменимого торгового посредника.

Другими параметрами вершины, показывающими ее важность в сети, являются центральность и престиж [Wasserman, Faust, 1994; Bonacich, 1972]. Центральность демонстрирует вовлеченность вершины в сетевые процессы, в то время как престиж дает оценку значимости вершины на основании входящих в нее связей. Таким образом, эти показатели позволяют определить важность вершины в цепи по разным критериям. Поскольку для анализа экспорта и импорта операций важно исследование связей, в целом имеющихся у данной вершины, в рамках настоящего исследования целесообразно ограничиться метриками центральности.

Пусть имеется граф $G=(V(G), E(G))$, где $V(G)$ — множество вершин, а $E(G)$ — множество ребер. Существует несколько факторов, определяющих центральность.

- Центральность по степени вершины (узла) u — показатель, определяющийся как степень узлов в сети, т. е. количество связей на данный узел [Wasserman, Faust, 1994; Bonacich, 1972]:

$$C_D(u) = \sum_v A_{u,v}, \quad (1)$$

где A — матрица смежности графа G .

- Нормированная центральность по степени, которая задает число прямых связей с другими вершинами графа и определяется как

$$C'_D(u) = \frac{C_D(u)}{N-1}, \quad (2)$$

где N — общее число вершин в графе; $(N - 1)$ — максимальная степень, которую может иметь вершина в данном графе.

- Центральность по близости, или плотность центральности (closeness centrality), которая показывает, насколько близок узел с другими вершинами, и вычисляется как обратная сумма кратчайшего пути между узлом и другими вершинами:

$$C_C(u) = \frac{1}{\sum_v d(u,v)}, \quad (3)$$

где $d(u,v)$ — это длина кратчайшего пути между вершинами u и v .

Нормированная центральность по близости вершины равна:

$$C'_C(u) = \frac{N-1}{\sum_v d(u,v)}, \quad (4)$$

где $(N - 1)$ — минимально возможная сумма расстояний между данной вершиной и оставшимися вершинами. Высокое значение показателя означает, что вершина близка к другим вершинам, т.е. сумма кратчайших путей до других вершин минимальна. Данная метрическая характеристика имеет положительную корреляцию с таким показателем, как степень вершины.

- Центральность по посредничеству (betweenness centrality) оценивает число кратчайших путей, проходящих через данную вершину:

$$C_B(u) = \sum_{v < w} \frac{g_{vw}(u)}{g_{vw}}, \quad (5)$$

где g_{vw} — число кратчайших путей между вершинами v и w ; $g_{vw}(u)$ — число кратчайших путей между v и w , которые проходят через вершину u .

Центральность по посредничеству нормализуется путем деления на число пар вершин, не считая v :

$$C'_B(u) = \frac{C_B(u)}{N^2 - 3N + 2} = \frac{C_B(u)}{(N-1)(N-2)}, \quad (6)$$

где $(N^2 - 3N + 2)$ — максимальное значение центральности по посредничеству, когда u — центральная вершина графа.

Высокое значение показателя указывает на то, что связи между вершинами проходят через данный узел, т.е. данные вершины могут иметь значительную степень влияния в сети (в силу того, что они поддерживают связи между вершинами). Для анализа и интерпретации полученных результатов важно учитывать, что исключение или удаление вершины с высокой центральностью по посредничеству приведет к нарушению большинства связей внутри графа.

- Центральность вершины по собственному вектору — это взвешенная сумма центральностей вершин, которые с ней связаны; таким образом, важность вершины зависит от важности ее соседей. Для измерения показателя присваиваются относительные баллы всем узлам сети в соответствии с принципом, согласно которому связи с вершинами, имеющими высокое значение центральности, вносят больший вклад в значимость рассматриваемой вершины в целом, чем аналогичные связи с узлами, имеющими низкие оценки коэффициента [Wasserman, Faust, 1994; Bonacich, 1972].

Для i -й вершины оценка центральности будет пропорциональна сумме баллов всех входящих в нее дуг, т.е. связанных вершин:

$$x_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in M(i)} x_j = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^N A_{ij} x_j, \quad (7)$$

где $M(i)$ — множество вершин, связанных с i -м узлом; N — общее число вершин; λ — константа. В матричной форме данная формула будет выглядеть следующим образом:

$$\vec{x} = \frac{1}{\lambda} A\vec{x} \text{ или } A\vec{x} = \lambda\vec{x}. \quad (8)$$

В оценке центральности по собственному вектору существует модификация алгоритма оценки, разработанная в статьях [Bonacich, 1972; Bonacich, 1987], в которой основное внимание уделяется оценке параметра β , определяющего, насколько важна центральность соседних вершин по отношению к рассматриваемой вершине:

$$c_i(\beta) = \sum_j (\alpha + \beta c_j) A_{ij},$$

$$c(\beta) = \alpha(I - \beta A)^{-1} A, \quad (9)$$

где α — постоянная нормировки, которая определяется так, что число параметров в сумме равно степени вершины; β — оцениваемый параметр; A — матрица смежности; I — единичная матрица.

В качестве алгоритма, оценивающего и ранжирующего вершины с точки зрения глобального подхода к анализу, можно использовать алгоритм *PageRank* [Brin, Page, 1998], который присваивает числовой вес каждому объекту сети для измерения его относительной важности. Для ориентированных графов вес вершины u итерационно определяется значениями весов смежных вершин, имеющих дуги в направлении данной вершины. Числовой вес вершины u в сети определяется весом дуги, исходящей из вершины v :

$$PR(u) = \frac{1 - \alpha}{N} + \alpha \sum_v A_{vu} \frac{PR(v)}{d_{out}(v)}, \quad (10)$$

где $\alpha \in (0, 1)$ — коэффициент затухания; N — общее число вершин в графе; $d_{out}(v) = \sum_w A_{vw}$ — полустепень исхода вершины v .

В отличие от глобального ранжирования, ранжирование по запросу производится на основании алгоритма HIPS (Hyperlink-introduced topic research) [Desikan et al., 2005], основанного на концепции «хабов и авторитетов», который характеризует важность так называемых узловых вершин (хабов) в зависимости от того, на какое количество авторитетных вершин они указывают, а «авторитетные вершины» зависят от того, сколько хабов указывают на них. Авторитетность (authority) измеряет значение содержания объекта, в то время как узел (hub) определяет меру его связности с другими объектами. Под хабом обычно понимают «пересадочный» узел, узел-посредник в сети. Авторитет и хаб рассчитываются с учетом следующих правил:

- объект имеет высокое значение авторитетности в случае, если он указывает на вершины с высоким значением концентрации:

$$Auth(u) = \sum_v A_{vu} Hub(v);$$

- объект имеет высокое значение как узел, если он указывает на вершины с высоким значением авторитетности:

$$Hub(u) = \sum_v A_{vu} Auth(v), \quad (11)$$

где A_{vu} — матрица смежности подграфа.

Записав данные соотношения в матричной форме, можно видеть, что центральность по авторитету и концентрации — это собственные векторы AA^T и $A^T A$, соответственно с одинаковыми собственными значениями⁸.

2. Анализ экспорта и импорта: международная торговля в 1996–2016 гг.

Проанализируем динамику показателей внешней торговли на основе теории графов. В качестве данных используем показатели торговых потоков между торговыми партнерами (государствами) за период с 1996 по 2016 г. Анализ структуры экспорта и импорта проведем на основе классификации товарных групп по Международной стандартной торговой классификации SITC (Revision 2) для 10 крупнейших мировых экспортеров и импортеров согласно рейтингу, представленному на сайте World Integrated Trade Solution⁹, к числу которых принадлежат США, Германия, Италия, Франция, Великобритания, Канада, Нидерланды, Китай, Япония, Россия. Для каждого из вышеперечисленных государств отберем 20 крупнейших торговых партнеров (за тот же период). Рассмотрим динамику изменения параметров вершин графа, который является прототипом международной торговли между указанными странами в течение данного периода. Динамика числа вершин по каждой отрасли экспорта/импорта представлена на рис. 1.

Как показано на рис. 1, наибольшее число крупных экономических агентов в рассматриваемый период были вовлечены в торговлю продуктами питания и топливом. Наименьшее число участников были задействованы в торговле химическими веществами, промышленными товарами, а также машинами и транспортным оборудованием. Наиболее стабильными (по числу участвующих в них стран) оказались рынки машин и транспортного оборудования и промышленных товаров. К данной категории можно отнести и торговлю агропромышленными товарами, а также (в целом чуть более изменчивый) рынок продуктов питания. Количество крупнейших участников рынка текстильной продукции колебалось вокруг среднего значения (75 участников), при этом в конце периода был замечен некоторый спад числа крупных игроков. Количество крупнейших агентов, торгующих рудами и металлами, менялось, достигнув пика в 1997 г. (84 страны), но в целом демонстрировало положительную динамику числа государств-участников.

В Приложении (табл. 1) представлена динамика количества петель в графах по каждой категории международной торговли за 1996–2016 гг. Эти данные показыва-

⁸ Centrality Metrics. URL: https://cs.hse.ru/data/2015/05/14/1098547089/4_Centrality_Metrics.pdf (дата обращения: 20.02.2018).

⁹ Harmonized Commodity Description and Coding Systems (HS). UN TRADE STATISTICS. URL: <https://unstats.un.org/unsd/tradekb/Knowledgebase/50018/Harmonized-Commodity-Description-and-Coding-Systems-HS> (дата обращения: 16.01.2018).

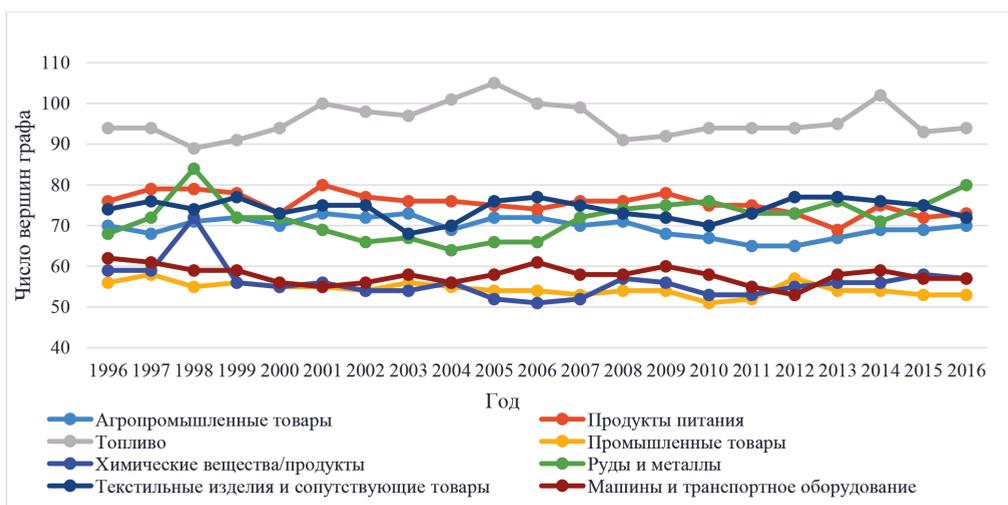


Рис. 1. Динамика изменения числа вершин графа по категориям товаров, 1996–2016 гг.

Составлено по: World Integrated Trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/> (дата обращения: 01.02.2018); DataBank. URL: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx> (дата обращения: 26.03.2018); World Bank list of economies. URL: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups> (дата обращения: 01.04.2018).

ют, что в период с 1996 по 1999 г. не было замечено крупных сделок по перепродаже товаров, произведенных внутри страны, своим же экономическим агентам. Однако количество петель растет, начиная с 2001 г. и заканчивая 2016 г. Скорее всего, наличие петель в графах объясняется тем, что та или иная страна имеет производства в других странах и вынуждена экспортировать свою продукцию (что можно связать с процессом глобализации). К числу государств, которые довольно часто использовали подобные схемы в международной торговле на протяжении рассматриваемого периода, относятся, например, Франция, Великобритания и Канада, в то время как Россия и США ни разу не были замечены в подобных сделках. Это можно объяснить тем, что Россия только вступает в глобальный рынок. Кроме того, часто крупные корпорации с российским капиталом и производством регистрируются за рубежом, а США создают производство на территории других государств (с целью приблизить его к потребителю и торговать произведенной продукцией внутри страны-производителя).

Динамика плотности графов для каждой категории экспорта/импорта показана на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что наименьшее количество связей разных направлений в отношениях экспорта и импорта выявлено в рамках торговли топливом. Это означает, что на данном рынке больше односторонних связей, чем взаимных. Наибольшее количество торговых контактов между государствами установлено в рамках торговли химическими веществами, машинами и оборудованием, а также промышленными товарами. Данный факт можно объяснить исторически сложившейся специализацией государств на производстве разного рода промышленных товаров, к которым можно отнести автомобили и иные виды транспортных средств, а также химические



Рис. 2. Плотность графа торговли в соответствии с категориями товаров, определяется как отношение числа ребер графа к числу ребер полного графа, 1996–2016 гг.

Составлено по: World Integrated Trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/> (дата обращения: 01.02.2018); DataBank. URL: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx> (дата обращения: 26.03.2018); World Bank list of economies. URL: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups> (дата обращения: 01.04.2018).

продукты. Торговля рудами и металлами, агропромышленными товарами, текстильными изделиями и продуктами питания составляет порядка 7–9% от общего числа возможных торговых связей между государствами. Наиболее изменчивыми в отношении количества связей между странами в рассматриваемый период выглядят рынки химических товаров, руд и металлов, что может быть связано с изменением валютных курсов, стоимости металлов и технологическими процессами.

Далее представлено количество интервалов (среднее расстояние) между вершинами (странами) в рамках модели графа для различных структур торговли (рис. 3).

В целом за анализируемый период расстояние от одной вершины к другой в рамках экспортно-импортных отраслей колебалось в пределах от 2 до 2,6. Наибольшее среднее расстояние между вершинами графа, характеризующее степень удаленности государств в сети торговых отношений, наблюдается на рынке топливных продуктов, что также можно объяснить наличием большого количества односторонних сделок. Кроме того, для 7 из 8 рассматриваемых рынков характерно значительное увеличение среднего расстояния между вершинами. Таким образом, анализ данного индикатора показывает, что нельзя исключать возможности перепродажи различных товаров между государствами, когда часть участников торговых отношений может выступать в качестве посредников сделки.

В рамках общих характеристик графов необходимо рассмотреть последнюю характеристику, а именно долю ребер обоих направлений между всеми смежными вершинами модели графа (рис. 4).



Рис. 3. Среднее расстояние между вершинами графа торговли, 1996–2016 гг.

Составлено по: World Integrated Trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/> (дата обращения: 01.02.2018); DataBank. URL: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx> (дата обращения: 26.03.2018); World Bank list of economies. URL: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups> (дата обращения: 01.04.2018).



Рис. 4. Доля ребер между вершинами графа торговли, 1996–2016 гг.

Составлено по: World Integrated Trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/> (дата обращения: 01.02.2018); DataBank. URL: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx> (дата обращения: 26.03.2018); World Bank list of economies. URL: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups> (дата обращения: 01.04.2018).

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее число взаимных связей между странами наблюдается в торговле промышленными товарами и химическими веществами/продуктами (от 0,7 до 0,75 в среднем за период). При этом наименьшее количество двухсторонних связей между экономическими агентами наблюдается в торговле топливом, свидетельствуя о том, что на топливном рынке в основном преобладают односторонние торговые операции. Это и понятно, поскольку большинство государств являются импортерами топлива, а не его экспортерами. В целом динамика в рамках данной отрасли торговли положительная, за исключением показателя 1997 г., когда наблюдалось резкое снижение количества взаимных торговых отношений между крупнейшими странами-экспортерами/импортерами. Можно отметить, что за период с 1996 по 2016 г. наибольшее количество крупных торговых партнеров наблюдалось в торговле топливом, при этом превалировали односторонние торговые отношения между государствами. Самые тесные взаимосвязи при наименьшем количестве крупных участников рынка выявлены на рынках промышленных товаров, химических продуктов, а также машин и оборудования. Относительно динамики развития торговых отношений на рынках агропромышленных товаров, продуктов питания, руд и металлов, а также текстильной продукции и сопутствующих товаров следует отметить, что в целом их развитие весьма стабильно и характеризуется относительным постоянством числа крупных игроков и взаимных связей.

Целесообразно провести анализ отраслей торговли с помощью метрических характеристик графа. За основу следует взять 2015 г. и описать общие метрические характеристики каждой отрасли торговли (табл. 1).

Согласно представленным данным, наибольшее количество стран, входящих в категорию крупнейших участников рыночных отношений в сфере торговли, наблюдается на рынке топлива. Практически равное число стран являются участниками торговли на рынке агропромышленных товаров и продуктов питания (69 и 72 соответственно), химических продуктов, машин и оборудования (58 и 57 соответственно). Эквивалентное число игроков наблюдается в отрасли текстильной продукции, руд и металлов (75 государств).

Как следует из табл. 1, наибольшее количество связей (от теоретически возможного уровня $(N-1)(N-2)$, где N — число агентов) установлено между государствами в рамках рынков промышленных товаров, химических продуктов, а также машин и транспортного оборудования, а наименьшее соответствует рынку топлива. Это свидетельствует об относительно небольшом количестве стран, действительно занимающихся производством высокотехнологичных товаров (остальные выступают посредниками на этом рынке). Среднее расстояние между вершинами находится на схожем уровне. Что касается торговых потоков, сосредоточенных на одной вершине, то чаще других такая картина встречается в Канаде (для рынков агропромышленных товаров, продуктов питания, промышленных товаров, руд и металлов, машин и транспортного оборудования). Китай и Франция также перепродают товары собственного производства своим внутренним экономическим агентам (химические продукты и текстиль, промышленные товары — обе страны, топливо — Франция). Великобритания (наряду с Японией) осуществляет подобные продажи промышленных товаров, машин и транспортного оборудования. Наличие замыкания торговых потоков в рамках одной вершины может быть связа-

Таблица 1. Основные метрические характеристики графов по структурам экспорта, 2015 г.

Показатель	Агропромышленные товары	Продукты питания	Топливо	Промышленные товары	Химические продукты	Руды и металлы	Текстиль	Машины и транспортное оборудование
Плотность графа, %	8,53	7,82	4,68	14,51	12,1	7,21	7,21	12,53
Число вершин	69	72	93	53	58	75	75	57
Среднее расстояние между вершинами	2,22	2,26	2,39	2,11	2,17	2,31	2,34	2,1
Число петель	1	1	1	4	2	1	2	3
Ребра противоположных направлений, %	59,65	57,64	49,12	68,18	72,36	55,64	59,8	69,02

Составлено по: World Integrated Trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/> (дата обращения: 01.02.2018); DataBank. URL: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx> (дата обращения: 26.03.2018); World Bank list of economies. URL: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups> (дата обращения: 01.04.2018).

но с наличием производства за пределами страны. Если вести речь о процентном соотношении взаимных торговых потоков между государствами, то наименьшее количество связей наблюдается в топливной отрасли, остальные сферы имеют значительно большее количество взаимодействий в обоих направлениях.

Необходимо отметить, что все государства, рассмотренные в рамках отдельных категорий торговли, имеют практически идентичные значения центральности по близости, так как в условиях современного глобального мира ничто не может препятствовать сотрудничеству между государствами. К сожалению, политические решения часто вносят коррекцию в сложившиеся торговые связи. Далее будут последовательно охарактеризованы наиболее значимые государства из представленной выборки с позиций теории графов.

Великобритания во всех отраслях торговли имеет практически одинаковое количество связей от 52 до 58, как видно из табл. 2 (Приложение). Причем наибольшее количество торговых потоков относится к категории торговли агропромышленными товарами. Что касается важности вершины относительно характера ее взаимодействий, то эта страна имеет значительные показатели в рамках каждой отрасли торговли, что означает высокую центральность партнеров по взаимодействию. Великобритания предпочитает связи со странами, которые взаимодействуют с большим количеством партнеров. Это касается рынков машин и транспортного оборудования, химических продуктов, а также текстильной продукции (в остальных случаях она предпочитает иметь менее значимых партнеров, так как выступает в роли посредника).

Германия проводит наибольшее количество посреднических операций в торговле продуктами питания, рудами и металлами, а также текстилем. Кроме этого,

она имеет самых крупных торговых партнеров, что подчеркивает ее значимость в мировой торговле, особенно на рынках промышленных товаров, машин и оборудования, химических продуктов и топлива. Наличие торговых партнеров с низкой центральностью приводит к увеличению значимости страны на международной арене во всех отраслях торговли, кроме рынка продуктов питания.

Что касается Италии, то число ее торговых связей в каждой отрасли практически совпадает с числом таковых в Великобритании. Следует подчеркнуть, что наибольшее количество ее торговых потоков приходится на торговлю текстильной продукцией, а также рудами и металлами. Это связано с развитием в стране легкой промышленности. Однако важность Италии в мировой торговле в целом несколько ниже по сравнению с Германией или Великобританией (для нее центральность по собственному вектору меньше). На степень ее значимости также положительно влияет соседство с государствами высокоцентрированными в сфере торговли продуктами питания. В остальных случаях она предпочитает менее важных партнеров.

Число торговых партнеров Канады находится в диапазоне от 43 до 50, что сравнительно ниже аналогичных показателей в рассмотренных государствах. Несмотря на крайне высокие показатели количества кратчайших путей между государствами в рамках рынков продуктов питания, руд, металлов и текстильной продукции, показатели значимости страны относительно значимости ее торговых партнеров достаточно низки (это означает, что государство сотрудничает в основном со сравнительно незначимыми экономическими агентами). В целом, центральность торговых связей Канады (т. е. увеличение степени важности Канады как торгового агента на 7 из 8 рынков) зависит от сотрудничества с государствами, обладающими небольшим количеством международных торговых связей.

Наибольшее количество торговых связей среди 10 крупнейших экспортеров/импортеров мира имеет Китай. Сравнивая интенсивности товарных потоков между государствами, можно утверждать, что Китай является основным экономическим посредником в мире. Страна имеет связи с крупнейшими мировыми партнерами, что подтверждается показателями центральности по собственному вектору в рамках всех рассматриваемых рынков. Для увеличения значимости в рамках мировой торговли Китаю необходимо расширение связей с менее развитыми государствами. Важно, что Китай оценивается другими странами как наиболее значимый партнер среди 10 рассматриваемых крупнейших торговых экономических агентов.

Нидерланды при большом количестве связей имеют кратчайшие пути между многими странами — участницами торговых отношений на рассматриваемых рынках. Необходимо отметить, что это высокосignificant государство в торговле как с «наиболее центральными», так и с остальными торговыми агентами.

Россия, по сравнению с наиболее крупными экспортерами/импортерами мира, имеет не самое большое количество масштабных торговых связей. Несмотря на высочайшие показатели центральности по близости к торговым партнерам, экономические связи России нельзя назвать торговыми отношениями с наиболее крупными партнерами, обладающими большим количеством международных связей, поскольку центральность по собственному вектору в нашей стране достаточно низка в рамках каждого рынка. Данный факт можно проинтерпретировать и как

наличие некоторого замкнутого рынка с центром в Российской Федерации. Для повышения значимости на международном торговом уровне стране необходимы экономические связи с более развитыми экономическими агентами по линии торговли топливом, рудами, металлами и промышленными товарами (соответствующими основной торговой специализации). В остальных случаях сотрудничество с партнерами с небольшим количеством связей укрепит положение государства на международной экономической арене.

Согласно табл. 2 (Приложение), количество торговых связей США в рамках каждой отрасли торговли практически совпадает (56–58), что свидетельствует о высоком уровне торговых взаимодействий данной страны. Причем наибольшее количество кратчайшего расстояния между вершинами проходит по линии торговли текстильной продукцией. Это указывает на то, что США, возможно, выступают в роли посредника на данном рынке между крупными и более слабыми по центральности партнерами. Показатели концентрации по собственному вектору являются высокими, что говорит о США как об уважаемом партнере в торговых отношениях. Следует отметить, что приобретение новых партнеров по торговле оказывает наиболее сильное влияние на данное государство в рамках рынков топлива, промышленных товаров, руд, металлов и текстильной промышленности.

Отличительной особенностью Франции в торговых отношениях по различным отраслям является стабильность показателей. На это указывает то, что все сферы торговых отношений практически одинаково развиты в данной стране.

Что касается Японии, то в рамках торговли агропромышленными товарами, рудами и металлами, а также текстилем, страна имеет наименьшее количество торговых связей, что находит отражение в сравнительно небольшой центральности по собственному вектору. Скорее всего, в этих отраслях торговли Япония выступает преимущественно импортером, потому что в ней наблюдается существенная нехватка полезных ископаемых и плодородных почв. Относительно посредничества важно отметить, что в целом показатели Японии по разным отраслям торговли довольно стабильны, причем наибольшее количество связей теоретически можно было бы ожидать на рынках руд, металлов и текстильной промышленности (в силу ее выгодного географического положения).

Наряду с перечисленными особенностями торговли, в нашей работе были выявлены наиболее крупные торговые посредники в каждой отрасли экспорта/импорта с помощью метрики концентрации вершины. К их числу, в частности, относятся Нидерланды и Великобритания. Подробные результаты анализа представлены в табл. 2 (Приложение). Также были выявлены наиболее крупные импортеры и экспортеры в каждой сфере торговли по разным странам. Соответствующие результаты также представлены в табл. 3 (Приложение). Согласно данным указанных таблиц, наиболее крупные экспортеры и импортеры обладают наибольшими показателями значимости в рамках прохождения торговых потоков между отдельными странами мира. В каждой категории торговли выделены и другие государства, обладающие высоким значением концентрации, обусловленной наличием в них производства (или же специализацией в рамках глобального разделения труда) того или иного вида продукции.

Анализ сетевых параметров, представленных в табл. 4 (Приложение), показал, что государства, чье значение авторитетности превышает 0,6, выступают не

только в роли конечных потребителей, но и являются крупнейшими посредниками на рынках, занимаясь перепродажей товаров. Показатели авторитетности основных конечных потребителей принимают данное значение в интервале от 0,2 до 0,6 (причем наиболее крупными из них являются ОАЭ, Бельгия, Гонконг, Швеция и Польша). Установлено, что наибольшей важностью в обеспечении торговых отношений между странами на большинстве рынков обладают Китай, Франция, Италия, Германия, Великобритания, США и Нидерланды. Исключение данных государств из торговых отношений может привести к полному коллапсу мировой торговли. Что касается Российской Федерации, то ее важность в рамках торговых отношений определяется сырьевой направленностью торговли (рынки руд, металлов и топлива).

3. Построение эконометрической модели импорта: рынок агропромышленных товаров в 2015 г.

Эконометрическое моделирование импортных потоков выполнялось на основе данных об агропромышленной продукции, являющейся важной составляющей международной торговли. Для исследования использовались статистические показатели, приведенные на сайте Всемирного банка, данные, представленные на сайте World Integrated Trade Solution, и данные из базы Всемирного банка, где собрана информация относительно экспорта/импорта продукции разных отраслей промышленности. Наряду с экономическими показателями, применен ряд показателей (метрик) графа, специально сформированного для наиболее крупных экспортеров/импортеров в агропромышленном секторе. Для анализа воспользуемся выборкой, состоящей из 10 наиболее крупных мировых экспортеров/импортеров сельскохозяйственной продукции (к числу которых принадлежат США, Великобритания, Франция, Италия, Япония, Китай, Российская Федерация, Германия, Нидерланды, Канада) и их 20 крупнейших партнеров по рынку агропромышленных товаров.

В теоретическую модель исследования входит ряд переменных регрессии:

- индекс потребительских цен (годовой %);
- отношение числа занятых к общему числу рабочей силы в возрасте 15 и старше, % (модельная оценка MOT);
- официальный обратный валютный курс (единица местной валюты к доллару США в среднем за период);
- конечные расходы на потребление в постоянных ценах (базовый год — 2010 г.);
- реальный ВВП на душу населения в долларах США (базовый год — 2010 г.);
- авторитетность (authority score) — метрика графа, которая показывает, насколько значима данная вершина для формирования общей сети взаимосвязей;
- степень вершины (degree) — метрика графа, которая определяет количество входящих в вершину ребер;
- центральность по собственному вектору (centralization evcent) — метрика графа, величина, показывающая значимость вершины в соответствии со значимостью ее соседей;

- уровень дохода стран в соответствии с классификацией Всемирного банка:
 - 1 — высокий;
 - 2 — выше среднего;
 - 3 — ниже среднего;
 - 4 — низкий.

В качестве зависимой переменной оцениваемой модели используются данные об импорте агропромышленных товаров (в долл. США).

Статистические показатели, которые характеризуют рассматриваемые переменные, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Описательная статистика по выборке

Показатель	Математическое ожидание	Медиана	Максимальное значение	Минимальное значение	Стандартное отклонение
Авторитетность	0,21	0,09	1,00	0,00	0,28
Центральность по собственному вектору	0,21	0,11	1,00	0,00	0,28
Потребление, млрд долл.	769	228	13800	2,53	1810
Степень вершины	11,59	4,00	58,00	1,00	17,78
Занятость, %	57,10	58,50	78,80	38,80	8,82
Валютный курс ден. ед. / долл.	1766,90	26,79	38640,49	0,65	6521,31
ВВП на душу населения, долл.	21661,29	13859,41	89619,49	487,29	21581,98
Уровень дохода	1,87	2,00	4,00	1,00	0,97
Импорт, тыс. долл.	3352300	1323402	56787639	22759,27	7461138
Инфляция, %	3,64	1,44	48,72	-1,14	6,83

Составлено по: World Integrated Trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/> (дата обращения: 01.02.2018); DataBank. URL: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx> (дата обращения: 26.03.2018); World Bank list of economies. URL: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups> (дата обращения: 01.04.2018).

В среднем показатели авторитетности и центральности по собственному вектору совпадают. Это свидетельствует о том, что в группе рассмотренных государств «средняя страна» предпочитает иметь дело с партнерами, большинство из которых занимает более высокое положение в мировой торговой сети. Кроме того, половина государств располагает значением авторитетности на уровне 11 %, а центральности — порядка 9 %. Это означает, что по данной группе товаров половина стран

предпочитают иметь узкий круг поставщиков (каждый десятый из списка) и сами поставляют продукцию примерно 10% рассмотренных стран. Указанное обстоятельство может свидетельствовать об устойчивых торговых связях или о том, что рынок агропромышленной продукции поделен. Медианным значением по показателю степени вершины является 4. Это означает, что половина государств выборки имеют менее четырех торговых партнеров и характеризуются неравномерным распределением по количеству торговых партнеров. Только незначительное число стран (в основном, это развитые государства) имеют обширные торговые связи.

По показателям потребления в выборке преобладают государства с низким уровнем импорта агропромышленных товаров (медианное значение потребления отличается от математического ожидания в меньшую сторону). По-видимому, это объясняется тем, что сами страны производят значительную долю продуктов для внутреннего потребления. Из описательной статистики, приведенной в табл. 2, следует также, что медианный и средний уровни дохода в выборке стран близки, т. е. выборка содержит практически равное количество стран с высоким (выше среднего) и низким (ниже среднего) уровнем дохода.

Что касается инфляции, то, принимая во внимание математическое ожидание, а также медианное значение, выборку образуют страны с уровнем инфляции от 1,4% до 3,6%, что соответствует нормальному показателю для большинства государств мира. Однако отклонение от среднего составляет около 7%, что характеризует большой разброс значений инфляции по странам. Аналогичная картина наблюдается для импорта, так как максимальное значение в выборке в несколько раз превышает среднее и медианное значения.

Далее рассматриваются спецификации модели импорта агропромышленных товаров по данным за 2015 г. Необходимо подчеркнуть, что с точки зрения экономической теории положительное воздействие на импорт должны оказывать такие показатели, как расходы на конечное потребление, уровень занятости населения и ВВП на душу населения. В то же время противоположное влияние на импорт оказывает рост инфляции и валютного курса, что также объясняется с позиции макроэкономической теории [Fisher, Dornbusch, Schmalenzi, 1993; Mankew, 1999; Tumanova, Shagas, 2004].

Каждая из метрических характеристик описывает важность вершины графа: чем выше значение метрической характеристики, тем более значимой становится вершина в рамках исследуемых взаимодействий. Отсюда следует, что данные категории должны оказывать положительное влияние на величину импорта.

Среди показателей, влияющих на импорт, наибольшие коэффициенты корреляции с импортом наблюдаются у метрических показателей, а также у расходов на конечное потребление (Приложение, табл. 4). Имеет место высокий коэффициент парной корреляции между показателями ВВП на душу населения и дискретной переменной, задающей уровень дохода (-0,74), что близко к критическому значению по подозрению на мультиколлинеарность. Кроме того, все метрические характеристики имеют высокий коэффициент парной корреляции между собой и с расходами на потребление.

Во избежание мультиколлинеарности, при построении регрессии был отобран единственный показатель, описывающий метрическую характеристику графа, а именно тот, который демонстрирует наиболее тесную парную корреляцию

с импортом и одновременно характеризуется наиболее низким коэффициентом парной корреляции с остальными регрессорами. Наиболее удачно перечисленным критериям отвечает центральность между вершинами графа. Для полноты картины в рамках построения модели тестировались и иные спецификации с использованием оставшихся метрических характеристик.

Анализ наличия мультиколлинеарности между регрессорами проводился с помощью *VIF*-фактора. Для вычисления данного показателя был выбран наибольший коэффициент детерминации, полученный в ходе построения регрессий между объясняющими переменными, равный 0,63. Используя определение *VIF*-фактора, находим:

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2} = \frac{1}{1 - 0,63} = 2,7,$$

где R — коэффициент детерминации, демонстрирующий, насколько тесной является связь между факторами регрессии.

Это значение коэффициента не является критическим для исключения из модели данной переменной и указывает на то, что признаков частичной мультиколлинеарности в уравнении регрессии нет.

Анализ диаграмм расщепления показал, что замена спецификации расходов на конечное потребление на логарифм расходов на конечное потребление дает лучшие оценки, так как в ходе логарифмирования уменьшаются ошибки регрессии. Аналогичная ситуация наблюдается с переменной ВВП на душу населения, однако применение логарифмирования в этом случае помогает лишь незначительно уменьшить ошибки. Она также может указывать на гетероскедастичность остатков.

Учитывая вышесказанное, в рамках регрессионного анализа рассмотрим две модели, различие которых заключается в спецификации дискретной переменной, описывающей уровень дохода стран.

Первая модель выглядит следующим образом:

$$\ln(import)_i = \beta_1 + \beta_2 \cdot ex_rate_i + \beta_3 \cdot centralization_evcent_i + \beta_4 \cdot \ln(gdpc)_i + \beta_5 \cdot \ln(consumco)_i + \beta_6 \cdot emplmnt_i + \beta_7 \cdot inflation_i + \beta_8 \cdot imcgr_i + \varepsilon_i,$$

где β_j — коэффициенты при переменных регрессии; $j = 1, \dots, 8$; ε_i — шум в i -м наблюдении; *imcgr* — дискретная переменная для уровня дохода, которая принимает значения согласно классификации Всемирного банка.

Во второй спецификации для качественных переменных, отражающих уровни дохода (высокий, выше среднего, ниже среднего, низкий), используются бинарные переменные. Во избежание мультиколлинеарности, в модель были включены три из четырех бинарных переменных, соответствующие высокому (i_1), выше среднего (i_2) и ниже среднего (i_3) уровням дохода. Бинарная переменная $i_k=1$, если страна имеет k -й уровень дохода, $i_k=0$ в противоположном случае, $k=1,2,3$. Выбор указанных уровней дохода связан с тем, что странам с низким уровнем дохода принадлежит наименьшее количество наблюдений. Отметим, что решение для стран с низким уровнем дохода получается при $i_1=i_2=i_3=0$. С учетом сказанного выше вторая спецификация уравнения регрессии выглядит следующим образом:

$$\ln(import)_i = \beta_1 + \beta_2.ex_rate_i + \beta_3.centralization_evcent_i + \beta_4.\ln(gdpco)_i + \beta_5.\ln(consumo)_i + \beta_6.emplmnt_i + \beta_7.inflation_i + \beta_8.i_1 + \beta_9.i_2 + \beta_{10}.i_3 + \varepsilon_i,$$

где β_j — коэффициенты при переменных регрессии; $j = 1, \dots, 10$; ε_i — шум в i -м наблюдении.

Перейдем к построению регрессии, объясняющей величину импорта агропромышленных товаров. Выявленная в ней гетероскедастичность была устранена с помощью поправок Уайта и двухшагового метода. Оценка регрессии производилась OLS-методом. Результаты оценки коэффициентов регрессии представлены в табл. 3.

Таблица 3. Оценка коэффициентов регрессии

Переменная	Обозначение переменной	Модель с дискретной переменной уровня дохода	Модель с бинарными переменными уровня дохода
<i>ex_rate</i>	Валютный курс	-0,001	-0,0004
<i>centralization_evcent</i>	Центральность вершины по собственному вектору	1,662***	1,782***
<i>gdpco</i>	ВВП на душу населения	-0,36	-0,174
<i>consumo</i>	Потребление	0,46***	0,436***
<i>emplmnt</i>	Занятость	-0,021*	-0,01
<i>inflation</i>	Инфляция	-0,027	-0,046
<i>i</i>	Уровень дохода	-0,81*	
<i>i</i> ₁	Уровень дохода 1		2,417*
<i>i</i> ₂	Уровень дохода 2		2,086*
<i>i</i> ₃	Уровень дохода 3		1,748**
<i>F</i> -стат.		4,485	6,321
<i>P</i> -стат.		0,0004	0,0001

Примечание. ***, **, * — на 1 %-м, 5 %-м и 10 %-м уровнях значимости соответственно.

Составлено по: World Integrated Trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/> (дата обращения: 01.02.2018); DataBank. URL: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx> (дата обращения: 26.03.2018); World Bank list of economies. URL: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups> (дата обращения: 01.04.2018).

Анализ двух моделей демонстрирует прежде всего наличие существенного положительного влияния центральности по собственному вектору на импорт. Положительный эффект на импорт оказывает и потребление. В то же время обнаружилось отрицательное влияние занятости на импорт. Данный результат можно объяснить тем, что увеличение занятости ведет к росту выпуска и разнообразия

продукции, при котором страна может обеспечить себя самостоятельно, а если это так, тогда ей не требуется большого объема импорта.

Прокомментируем знаки коэффициентов при бинарных переменных, отвечающих за уровень дохода во второй модели. Поскольку в данную спецификацию включены высокий и средние уровни дохода, то положительный коэффициент при переменной дохода может свидетельствовать о достаточности уровня дохода населения страны для закупки иностранных товаров. В первой спецификации модели отрицательный коэффициент перед дискретной переменной также указывает на наличие положительной зависимости импорта от уровня дохода, поскольку в этом случае наименьшему уровню дохода отвечает наибольшее значение дискретной переменной.

Значение скорректированного коэффициента детерминации в регрессии для модели с бинарными переменными уровня дохода показывает, что изменение импорта агропромышленных товаров на 66,7 % объясняется изменением выбранных регрессоров. В спецификации с дискретной переменной оно составляет 65,7 %.

Подходя к вопросу о выборе наилучшей модели из двух рассмотренных, предпочтительнее остановиться на модели с бинарными переменными, хотя следует признать, что качественная разница между ними незначительна. Несмотря на то что в модели с бинарными переменными большее количество регрессоров значимы на более высоком уровне значимости, в целом значимость коэффициентов модели с дискретной переменной также существенна.

В рамках дальнейшего анализа остановимся на модели с бинарными переменными для обеспечения более простой интерпретации результатов и проведения тестов. Следуя выбранной спецификации модели, можно увидеть, что увеличение центральности по собственному вектору и потребления на 1 % ведет к увеличению импорта агропромышленных товаров в среднем на 0,374 % и 0,436 % соответственно (при прочих равных условиях).

Характеризуя влияние бинарных переменных дохода на импорт, необходимо отметить, что для стран, имеющих высокий доход (значения бинарных переменных $i_1=1, i_2=i_3=0$), в отличие от государств с низкими доходами ($i_1=i_2=i_3=0$), разница в импорте агропромышленных товаров в среднем составляет 1120 % (при прочих равных условиях). Это связано с тем, что значения национального дохода на душу населения в этих странах различаются на порядок и более, а также объясняется положением государств в глобальном разделении труда.

Из проведенного анализа влияния значимых переменных на показатели импорта следует, что более богатые страны приобретают большее агропромышленных товаров за рубежом. Кроме того, положение государства на мировой арене существенно отражается на объеме его импорта. Важно, что значительное влияние на рост импорта оказывает величина потребительских расходов домашних хозяйств, так как рост потребности населения в товарах приводит к увеличению их предложения, в том числе и со стороны других государств, не обязательно приграничных.

В рамках анализа влияния на импорт уровней доходов государств возникает вероятность наличия структурных изменений в выборке, указывающих на необходимость использовать разные модели для оценки стран с разным уровнем дохода (высоким, средним, выше среднего, ниже среднего и низким). Для определения наличия или отсутствия структурных изменений был проведен тест Чоу, результаты которого представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты теста Чоу

Показатель	Результат
Контрольные точки	50
F-стат.	8,127
p (F-стат.)	0,0000

Составлено по: World Integrated Trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/> (дата обращения: 01.02.2018); DataBank. URL: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx> (дата обращения: 26.03.2018); World Bank list of economies. URL: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups> (дата обращения: 01.04.2018).

Из результатов, приведенных в табл. 4, следует, что на любом разумном уровне значимости нулевая гипотеза об отсутствии структурных изменений отвергается. Следовательно, необходимо использовать разные модели оценки формирования импорта для стран с высоким и низким уровнями доходов. В рамках данного исследования построение таких моделей невозможно ввиду недостаточного количества наблюдений для получения корректных оценок параметров, однако можно отметить, что вторая модель отчасти выполняет это разделение.

Заключение

На основе анализа общей динамики торговли в период с 1996 по 2016 г. удалось выявить наиболее стабильные в своем развитии отрасли. К их числу принадлежат агропромышленный комплекс и производство продуктов питания, а также отрасли, специализирующие на добыче руды и металлов. Кроме того, были выявлены отрасли с наибольшей вовлеченностью участников в торговлю — они затрагивают производство промышленных товаров, машин и транспортного оборудования, химическую промышленность, а также рынок топлива, наиболее обширный по количеству участников и односторонних контактов между ними.

На основе анализа структуры торговли крупнейших торговых держав определены основные направления их взаимодействия и особенности положения в рамках международного торгового сотрудничества. В рассматриваемой группе были выявлены основные торговые посредники и импортеры, что позволило выяснить, какие государства занимают доминирующее положение на том или ином рынке. Кроме того, установлено, что для стран с разным уровнем дохода должны быть использованы разные модели импорта продукции агропромышленного комплекса. Это можно объяснить структурными различиями в потреблении таких стран и разным отношением к потреблению импортной продукции.

В результате исследования были выявлены расхождения в структуре моделей для богатых и бедных стран, которые обусловлены различием их предпосылок (стимулов) для импорта агропромышленных товаров. На основе данных о международной торговле товарами агропромышленного сектора были построены эконометрические модели, отражающие показатели, оказывающие влияние на величину импорта агропромышленных товаров. Модели включали как экономические показатели стран, так и сетевой показатель — центральность вершины по собствен-

ному вектору. Модели отличались наличием бинарной переменной, отражающей экономическое положение страны. Оценки моделей подтвердили гипотезу о значимости сетевых показателей, в данном случае — показателя центральности по собственному вектору, демонстрирующего положение страны в мировой торговой сети. В результате оценивания обе рассмотренные спецификации оказались значимыми, однако по критериям качества регрессии лучшей стала модель с включением в нее бинарных переменных, описывающих экономическое положение страны, такие как потребление и уровень дохода населения страны. В работе доказаны значимость и существенное влияние метрических характеристик.

Мировая торговля является сложной динамической системой, все компоненты которой не только связаны между собой, но и подвержены сильному влиянию со стороны климатических, политических и иных факторов. Модель, представленная в данной статье, является только первым шагом для построения и учета более сложных взаимодействий. В дальнейшем авторы предполагают построить отдельные модели для рынка энергетики, металлов, а также финансовых потоков.

Литература/References

- Anderson J.E. (1979) A Theoretical Foundation for the Gravity Equation. *American Economic Review*, vol. 69, iss. 1, pp. 106–116.
- Anderson J.E., Van Wincoop (2003) Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle. *American Economic Review*, vol. 63, pp. 881–892.
- Barigozzi M., Fagiolo G., Mangioni G. (2011) Identifying the community structure of the international-trade multi-network. *Physica A: Statistical mechanics and its applications*, vol. 390, iss. 11, pp. 2051–2066.
- Bonacich P. (1972) Factoring and Weighting Approaches to Status Scores and Clique Identification. *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 2, pp. 113–120.
- Bonacich P. (1987) Power and Centrality: A Family of Measures. *American Journal of Sociology*, vol. 92, pp. 1170–1182.
- Brin S., Page L. (1998) The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine. *Computer Networks and ISDN Systems*, vol. 30, pp. 107–117.
- Chandrasekhar A., Jackson M. (2016) A network formation model based on subgraphs. arXiv:1611.07658 [physics.soc-ph]. Available: <https://arxiv.org/abs/1611.07658>.
- Chaney T. (2016) Networks in International Trade. *The Oxford Handbook of the Economics of Networks, Oxford*. Available: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199948277.013.19>.
- Combes P.P., Mayer T., Thisse J.-F. (2008) *Economic Geography. The Integration of Regions and Nations*. Princeton, Princeton University Press. 416 p.
- Deardorff A. V. (1998) *Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in a Neoclassical World?* In: *The Regionalization of the World Economy*. J. A. Frankel (ed.). Chicago, University of Chicago Press, pp. 7–32.
- De Lombaerde P., Iapadre L., Mccranie A., Tajoli L. (2019) Using network analysis to study globalization, regionalization, and multi-polarity-Introduction to special section. *Network Science*, vol. 6, iss. 4, pp. 494–516.
- Desikan P., Srivastava J., Kumar V., Tan P.-N. (2005) *Hyperlink Analysis: Techniques and Applications* Department of Computer Science. Minnesota, Minneapolis: University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA. 42 p.
- Fisher S., Dornbusch R., Schmalenzi R. (1993) *Economics*. Moscow, Delo LTD Publ. 864 p.
- Eaton, J., Kortum S. (2002) Technology, Geography, and Trade. *Econometrica*, vol. 70, iss. 5, pp. 1741–1779.
- Gereffi G., Humphrey J., Sturgeon T. (2005) The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, vol. 12, iss. 1, pp. 78–104.
- Helpman E., Krugman P. (1985) *Market Structure and International Trade*. MIT Press. 283 p.
- Hubler M. (2016) A new trade network theory: What economists can learn from engineers. *Economic modelling*, vol. 55, pp. 115–126.

- Jackson M., Rogers B., Zenou Y. (2017) The Economic Consequences of Social-Network Structure. *Journal of Economic Literature*, vol. 55, no. 1, pp. 49–95.
- Krugman P.R. (1980) Scale economies, product differentiation, and pattern of trade. *The American Economic Review*, vol. 70, no. 5, pp. 950–959.
- Leamer and Levinsohn (1994) International trade theory: the evidence. *NBER Working paper*, no. 4940.
- Mankew N. G. (1999) *Principles of economics: textbook*. St. Petersburg, Peter Kom Publ. 784 p.
- Lee J. W., Maeng S. E., Ha G.-G., Lee M. H., Cho E. S. (2013) Applications of Complex Networks on Analysis of World Trade Network. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 410, pp. 1–4.
- Piccardi C., Tajoli L. (2015) Are preferential agreements significant for the world trade structure? A network community analysis. *Kyklos*, vol. 68, iss. 2, pp. 220–239.
- Shumilov A. (2016) Estimating Gravity Models of International Trade: A Survey, *MPRA Paper*, no. 75371, posted 1 December 2016 20:15 UTC, pp. 224–250.
- Smith D. A., White D. R. (1992) Structure and Dynamics of the Global Economy: Network Analysis of International Trade 1965–1980. *Social Forces*, vol. 70, no. 4, pp. 857–893.
- Tumanova E. A., Shagas N. L. (2004) *Macroeconomics. Elements of an advanced approach: Textbook*. Moscow, INFRA-M Publ. 400 p. (In Russian)
- Tinbergen J. (1962) *Shaping the World Economy: Suggestions for an International Economic Policy*. New York, Twentieth Century Fund, pp. 271–273.
- Wasserman S., Faust K. (1994) *Social Network Analysis. Methods and Applications*. Cambridge, Cambridge University Press. 461 p.

Статья поступила в редакцию: 20.01.2019

Статья рекомендована в печать: 01.06.2020

Контактная информация:

Лапинова Светлана Александровна — канд. физ.-мат. наук, доц.; slapinova@yandex.ru

Аникина Алёна Игоревна — магистр; aianikina@edu.hse.ru

Ошарин Александр Матвеевич — канд. физ.-мат. наук, доц.; aosharin@hse.ru

Analysis of export and import structures using network methods (on the example of the agricultural market)

S. A. Lapinova¹, A. I. Anikina², A. M. Osharin¹

¹ National Research University Higher School of Economics — Nizhny Novgorod, 25/12, Bolshaya Pecherskaya ul., Nizhny Novgorod, 603155, Russian Federation

² National Research University Higher School of Economics, 11, Pokrovsky bul., Moscow, 109028, Russian Federation

For citation: Lapinova S. A., Anikina A. I., Osharin A. M. (2020) Analysis of export and import structures using network methods (on the example of the agricultural market). *St Petersburg University Journal of Economic Studies*, vol. 36, iss. 3, pp. 421–454. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2020.304> (In Russian)

Analysis of trade cooperation between countries and identification of the most significant market participants is of great importance, both theoretically and empirically. The global trading community forms a network of international relations defined by trade contracts in various industries. Export-import trade flows are one of the key indicators of the level of cooperation among countries and the state of the global economy. The high intensity of such contacts across groups of countries suggests the existence of clusters in this market segment, consisting of central players — exporters and importers, who often define rules for other participants. Understanding the existence and identification of such a center helps to develop an optimal international trade strategy. The purpose of this contribution is to identify factors

affecting trade flows among different countries. Statistical analysis of the international trade relations does not always reveal all the essential aspects of cooperation. This paper combines the methods of graph theory and econometric analysis to study the parameters of trade flows among countries. The parameters used in the network analysis make it possible to obtain additional characteristics of market participants, which help to evaluate their significance in the world trade. The paper also identifies some key mathematical and economic characteristics of export-import flows connecting destination countries. We have analyzed the directions of changes in world trade and established correspondences between metric characteristics of graph vertices and parameters of world trade models. The Russian indicators in export/import categories and its largest sales agents are estimated. The identification of the key intermediaries and importers (centers and authorities) on each of the markets in question has been carried out. As an example for this identification the market of agricultural products among the world's largest exporters and importers of the product were used.

Keywords: globalization, international trade models, econometric models, export and import models, graph theory, network analysis.

Received: 20.01.2019

Accepted: 01.06.2020

Authors' information:

Svetlana A. Lapinova — PhD in Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor; slapinova@yandex.ru

Alena I. Anikina — Master; aianikina@edu.hse.ru

Alexander M. Osharin — PhD in Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor; aosharin@hse.ru