И.Л. Любимов

РАНХиГС, Москва

И.В. Якубовский

РАНХиГС, Москва

Структурная трансформация и отраслевая производительность: учет направлений экспорта в индексе экономической сложности¹

Аннотация. В работе модифицируется метод расчета индекса экономической сложности, изложенный в работе (Hausmann et al., 2011), который используется для оценки прогресса в структурной трансформации экономик различных стран мира. Учитывается не только сложность структур двух случайных экономик, которая отражается в составе их экспортных корзин, но и насколько производительны эти структуры, что находит отражение также и в географии экспорта этих стран. Страны с более сложной структурой экономики экспортируют более сложные товары, однако при этом более производительные экономики экспортируют свои товары в значительно большее число стран, включая богатые экономики. В результате использования нового подхода к оценке экономической сложности получено, что некоторые страны, которые традиционный подход, игнорируя тот факт, что большая часть их экспорта отправляется покупателям из небогатых стран — географических соседей, оценивает как сложные, перемещаются на более низкие места в рейтинге сложности. Полученный в статье результат в большей мере согласуется с темпами роста этих стран в последние годы.

Ключевые слова: сложность экономики, трансформация структуры, производительность, география экспорта.

Классификация JEL: O14, O25, O47.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-47-3-1

1. Введение

Теория экономической сложности (economic complexity), основные предположения, механизмы и результаты которой описаны в работах (Hausmann, Klinger, 2006, 2007; Hausmann, Hwang, Rodrik, 2007; Hidalgo, Hausmann, 2009; Hausmann et al., 2011; Hidalgo, 2015), является современной версией идеи о *трансформации структуры секторов*, которая содержится в работе Льюиса (Lewis, 1954). В ней экономический рост описан как результат появления новых, более производительных, отраслей, в которые перемещается часть рабочей силы.

Сегодня, в эпоху глобализации, более производительные отрасли поставляют заметную часть своего выпуска на мировой рынок. Это находит отражение в экспортной статистике, благодаря которой появляется возможность оценить достижения различных экономик в трансформации структуры секторов. В том числе и на этой задаче фокусируется теория экономической сложности. В частности, одним из ее основных результатов является вычисление *индекса экономической сложности* (economic complexity index, ECI), благодаря которому изме-

¹ Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы государственного задания РАНХиГС.

ряется уровень сложности некоторой страны относительно других государств, а также ее прогресс в усложнении экономической структуры. ЕСИ дополняет показатель подушевого реального ВВП, который используется в качестве меры благосостояния, но не отражает различий в структуре экономик. Например, по данным Всемирного банка, в 2017 г. реальный подушевой ВВП Катар по паритету покупательной способности (ППС) составил 116 932 долл., этот же показатель для России оказался заметно ниже – 24 766 долл. По уровню подушевого реального ВВП Катар значительно превосходит и Германию, где этот показатель в 2017 г. составил 45 229 долл.² Однако, в соответствии с индексом ЕСИ, Германия располагается среди стран-лидеров по уровню технологической сложности, Россия занимает 49 место, а Катар – 82 из 133 стран³. Таким образом, ЕСИ обращает внимание на важное содержательное различие между экономиками. Если подушевой реальный ВВП указывает на средний размер реальных доходов в некоторой стране, то ЕСИ информирует нас о том, за счет чего именно – сложных или простых секторов – формируются эти доходы.

Измерение прогресса в трансформации структуры секторов создало дополнительную возможность для прогнозирования темпов экономического роста. В работе (Hausmann et al., 2007) используется показатель, позволяющий учитывать новые товары, которые начинает экспортировать некоторая экономика. Это достигается за счет того, что экспортную структуру некоторой экономики связывают с подушевым ВВП стран, которые экспортируют схожие с ней товары. Таким образом авторам удается продемонстрировать, что экспорт новых, более сложных, товаров через некоторое время конвертируется в рост подушевого ВВП и повышение уровня благосостояния. В работе (Cherif, Hasanov, Chami, 2018) утверждается, что показатель, при помощи которого устанавливается связь между экспортом новых товаров и подушевым ВВП (EXPY), – является единственным надежным предиктором темпов экономического роста из большого арсенала переменных.

Стоит отметить, что измерение сложности экономики связано с рядом серьезных проблем. Прежде всего более точным отражением современной мировой торговли является не только обмен готовыми товарами, но и обмен звеньями в глобальных цепочках добавленной стоимости (Timmer, 2014). Экономики в значительной мере фокусируются на отдельных конструкторских, сервисных или производственных операциях, экспортируя именно их, а не товар целиком. Однако существующие данные пока не позволяют разделить товары по звеньям в производственных цепочках и определить изготовителей каждого звена. Это приводит к искажению оценок сложности экономик стран мира.

Другой проблемой является недостаточность данных по экспорту услуг. При этом экспорт услуг становится все более важной частью мировой торговли (Coscia, Hausmann, Neffke, 2016), по неко-

² <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.KD>

³ <http://atlas.cid.harvard.edu/rankings>

торым данным, достигая 13,4 трлн долл. в 2017 г. (McKinsey&Company, 2019). Однако данные об экспорте услуг фрагментарны, поэтому с их помощью пока сложно интегрировать услуги в анализ и измерять сложность экономики с их учетом⁴.

Наконец, теория экономической сложности не учитывает географической составляющей странового экспорта. При оценке сложности экономики не делается различий между тем, в какие страны экспортируются те или иные товары. Вместе с тем перечень стран, где некоторая экономика продает свои товары, может дать важную информацию об уровне сложности экспортируемых благ. В частности, значение ЕСИ для Республики Беларусь, одного из основных партнеров России, достаточно велико. В соответствии с результатами «Атласа экономической сложности» (Atlas of economic complexity⁵) по этому показателю в 2017 г. Беларусь занимала 29 место среди 133 стран⁶, опережая в том числе Испанию, Канаду, Турцию, Россию и Бразилию. Однако взглянув на направления экспорта из Республики Беларусь, нетрудно заметить, что большая часть ее товаров поставляется на рынки стран СНГ, в то время как в страны Европейского союза эта экономика экспортирует товары заметно меньшей номенклатуры.

Почему экспорт белорусских товаров и услуг не сбалансирован с точки зрения географических направлений? Являются ли главной причиной этого торговые ограничения, с которыми сталкивается экономика Беларуси за пределами рынка ЕАЭС – организации преимущественно региональной экономической интеграции, в которую входят Армения, Беларусь, Казахстан, Кыргызстан и Россия? Или дело также и в том, что часть белорусских товаров не имеет конкурентных преимуществ на более богатых рынках, где потребители способны платить за более высокую функциональность и надежность товаров?

По данным Международного торгового центра (International trade center (ITC)⁷ и Market access map⁸, Республика Беларусь участвует в мировой торговле примерно в той же тарифной среде, что и близкие ей страны по уровню сложности экономики (Таиланд, Малайзия, Филиппины, Турция и др.). Маловероятно, что тарифы могут быть ключевой причиной столь несбалансированной географической структуры экспорта Беларуси.

Республика Беларусь является не единственным примером географической несбалансированности экспорта. На рис. 1 отражена доля номенклатуры товаров, которые экспортируют экономики стран БРИКС – Бразилии, России, Индии, Китая и Южной Африки, в 133 страны мира. Более светлый оттенок указывает на большую долю номенклатуры товаров, которую соответствующая экономика БРИКС экспортирует в ту или иную страну. И если Китай (и в заметно мень-

⁴ <http://atlas.cid.harvard.edu/data#services-data>

⁵ <http://atlas.cid.harvard.edu>.

⁶ <http://atlas.cid.harvard.edu/rankings>

⁷ <http://www.intracen.org/>

⁸ <https://macmap.org/>

шей мере Индия) поставляет значительную часть номенклатуры экспорта не только своим ближайшим географическим соседям, но также и многим богатым экономикам, то Бразилия, Россия и Южная Африка продают более диверсифицированную корзину своих товаров именно соседним странам⁹.

Можно предположить, что географические направления экспорта некоторой страны содержат дополнительную информацию об уровне сложности ее товаров. Данные о совокупном размере экспорта того или иного товара некоторой экономикой, на основе которых рассчитывается традиционный индекс экономической сложности (ЕСИ), скорее позволяют судить об условной сложности экономики, зависящей от различных факторов, включая получение приоритетного доступа на рынок того или иного торгового партнера. Например, экономика Финляндии, продолжительное время имевшая во многом эксклюзивный доступ на рынок СССР и использовавшая его как основное направление экспорта своих товаров, в 1991–1993 гг. попала в глубокий экономический кризис в результате значительного сокращения торговли с экономиками бывших республик СССР. В эти годы реальный ВВП этой страны сократился на 11%, а безработица выросла до 18,5% (Gorodnichenko, Mendoza, Tesar, 2009). Неслучайно этот эпизод получил название «финская Великая депрессия», так как масштабы этого кризиса для Финляндии были сопоставимы с экономическими потерями развитых стран от Великой депрессии 1930-х годов. По оценкам (Kajaste, 1992), причиной коллапса экспорта стала более низкая конкурентоспособность финских товаров, ранее продававшихся в СССР, на глобальном рынке, где они могли бы конкурировать только при условии снижения цен на 10–36%.

Таким образом, сложность товаров, которые экспортирует некоторая экономика, может оказаться условной — с учетом уровня богатства стран, в которые направляются соответствующие товары. Шансы выхода этой экономики на более насыщенные и сложные рынки богатых стран как с уже экспортируемыми, так и с новыми товарами, может оказаться затруднительным. Такой результат может быть следствием как относительно более низкой функциональности этих товаров, так и относительно более низкой производительности их изготовителей. Этот взгляд дополняет историю о трансформации структуры секторов, соответствующую традиции модели Льюиса, трансформацией географической структуры экспорта, соответствующей выходу на более слож-

Рис. 1

Доля номенклатуры экспорта, которую экономики БРИКС поставляют на тот или иной страновой рынок

⁹ Такой результат согласуется с гравитационными моделями торговли (Combes, Mayer, Thisse, 2008; Anderson, Yotov, 2016), которые указывают на более интенсивную торговлю между странами, расположенными сравнительно недалеко друг от друга, а также между большими экономиками.

ные рынки. Такая трансформация структуры в большей мере отражает рост производительности внутри секторов, соответствующий модели Солоу (Solow, 1956).

В этой работе мы предлагаем скорректировать индекс экономической сложности при помощи учета данных о географических направлениях экспорта той или иной экономики. Для этого модифицируем показатель выявленных сравнительных преимуществ (revealed comparative advantage (RCA)) таким образом, чтобы он отражал не только то, на какие товарные рынки некоторая страна интенсивно экспортирует свои товары, но также и на рынках каких стран эта экономика закрепились. При помощи модифицированного показателя RCA мы рассчитываем новый индекс экономической сложности, учитывающий данные о географических направлениях экспорта стран мира. Модифицированный индекс, на наш взгляд, позволяет лучше охарактеризовать уровень сложности некоторой экономики. В частности, в результате переоценки значения индекса экономической сложности экономика Беларуси переместилась на значительно более низкую позицию в рейтинге стран по сравнению с рейтингом, рассчитанным классическим способом (Hausmann et al., 2011).

Стоит отметить, что объяснение образцов географического распределения экспорта некоторой экономики не ограничивается одними лишь технологическими несовершенствами поставляемых ею на глобальный рынок товаров. Помимо уже упомянутых тарифных ограничений, связанных с тарифной средой, в которой действует та или иная экономика, многолетний фокус на одних и тех же партнерах может указывать на то, что экспортеру сложно преодолеть политические ограничения или освоить альтернативные технологии выпуска товаров, чтобы серьезно расширить круг потребителей своего экспорта. В случае альтернативных технологий выпуска товаров дело может быть не столько в том, что экспорт некоторой страны уступает конкурентам и потому ее товары редко продаются на тех рынках, где у потребителей больше возможностей выбирать поставщиков товаров и услуг. Дело может быть в несовместимости технологии, которую использует страна-экспортер, с технологией, которая была ранее установлена в стране-импортере. Например, даже более четверти века спустя после распада Организации Варшавского договора, многие армии стран Восточной Европы до сих пор располагают парком военной авиатехники и бронетехники, поставленной им еще советским военно-промышленным комплексом (ВПК). Быстрое замещение военного оборудования альтернативной техникой является слишком дорогостоящим шагом для военных бюджетов этих государств. Сформированный таким образом запас военного оборудования автоматически создал рынок поставок запчастей и ремонта для предприятий уже российского ВПК, являющегося наследником советских производителей военной техники. Таким образом, сделанные некогда крупные затраты на приобретение определенной технологии,

содержащейся в капитальном оборудовании, могут стать долгосрочным барьером для проникновения на рынок товаров конкурирующих производителей. Таким образом, данные о выявленных устойчивых географических направлениях экспорта позволят дать более точные оценки развития экспорта некоторой экономики.

В этой работе мы не делаем различий между этими причинами, переоценивая ЕСІ в соответствии с выявленной географической диверсификацией экспорта некоторой страны. Мы предполагаем, что ограничивающая тарифная среда коррелирует с относительно низкой сложностью товаров. В противном случае, если товары, которые экспортирует некоторая экономика, сложны и конкурентоспособны, то в интересах этой страны избавиться от тарифных ограничений. Таким образом, мы связываем отсутствие широкой экспортной диверсификации в первую очередь с низким уровнем сложности товаров, которые экспортирует некоторая экономика.

2. Экспортная вложенность

Понятие «вложенность», или угнездование (nestedness), широко используется в биогеографии при изучении распределения биологических видов между различными местами их расположения. Идеальная вложенная структура, описанная в матричной форме, соответствует массиву положительных значений, расположенных выше побочной диагонали матрицы и нулевых значений, располагающихся ниже побочной диагонали. Таким образом, форма расположения ненулевых значений в матрице напоминает гнездо: его наиболее широкая часть соответствует верхней строке матрицы, а самая узкая часть – нижней. Такое структурирование данных дало основание англоязычному термину nestedness и соответствующему ему в русском языке термину «угнездование». Содержательно вложенная структура соответствует такому распределению видов, при котором набор видов в некоторой местности с небольшим разнообразием видов является подмножеством набора видов в месте с большим разнообразием видов (Cantor, Pires, Marquitti, 2017).

Аналитический аппарат, широко используемый в биогео-

Рис. 2

Вложенная структура для 130 стран из «Атласа экономической сложности»¹⁰ и всех торгуемых товаров на уровне ТН ВЭД 4 знака классификации HS92

Примечание. Товары расположены слева направо по возрастанию их распространенности в мировой торговле; страны расположены по убыванию в зависимости от уровня диверсификации их товарной структуры.

¹⁰ Выборка стран из «Атласа экономической сложности» состоит из стран с суммарным экспортом более 1 млрд долл. и населением более 1 млн человек.

графии, нашел применение и в экономике. В работе (Bustos, Gomez, Hausmann, Hidalgo, 2012) указывается, что свойством вложенности также обладает и совокупность экспортных корзин стран мира. Менее разнообразные экспортные корзины, включающие простые товары, являются подмножествами более разнообразных экспортных корзин, включающих как простые, так и сложные товары. Делая описание экспортных корзин стран мира в виде матрицы, состоящей из нулей и единиц, где 1 соответствует высокой интенсивности экспорта определенного товара некоторой экономикой, а 0 – невысокой интенсивности экспорта товара, авторы получают вложенную структуру. Такая структура соответствует двум свойствам. Во-первых, верхние строки матрицы, отражающие экспортные корзины технологически развитых экономик, в основном состоят из единиц, в то время как строки, расположенные ниже, содержат меньше единиц и больше нулей. Во-вторых, столбцы, отражающие экспортные товары, заполнены единицами больше в левой части матрицы, где располагаются более простые товары, чем в правой, где располагаются технологически более сложные товары, которые умеют экспортировать лишь небольшое число экономик (рис. 2).

Такая структура экспортных корзин отражает предположение о том, что в странах с диверсифицированным экспортом действует соответствующая «экосистема», включающая надежную защиту прав собственности, доступный человеческий капитал, развитую транспортную и энергетическую инфраструктуру, широкий доступ к финансовому рынку и т.д. Там, где «экосистема» содержит все эти ингредиенты, появляется возможность формировать не только простые, но и сложные отрасли – такие как производство электроники и автомобилестроение. В то же время в менее благоприятной для экономического развития среде более вероятно существование преимущественно простых секторов, например добычи природных ресурсов, текстильной промышленности, простых услуг и пр.

Таким образом, вложенная структура экспортных корзин показывает, что в одних экономиках создана лучшая среда для функционирования более сложной структуры отраслей, чем в других. Иными словами, в одних экономиках созданы лучшие условия для перехода к более сложной отраслевой структуре, чем в других.

Однако, на наш взгляд, вложенная структура данных отчасти является результатом излишнего агрегирования, не позволяющего увидеть важные детали и различия в экспорте товаров из разных стран. Поэтому мы добавляем третье измерение, показывающее, в какие страны экспортируется некоторый товар, и предполагаем, что качественный и функциональный товар экспортируется в разные страны мира, в то время как менее качественный и функциональный товар из той же товарной группы экспортируется в основном в сравнительно менее богатые экономики, преимущественно из числа географиче-

ских соседей страны-экспортера. Чтобы показать это, мы рассчитываем число товаров, которые некоторая экономика экспортирует в определенную страну (рис. 3). Как можно заметить, представленная таким образом структура экспорта хотя и отличается от идеально вложенной, но все же устойчиво сохраняет свойство вложенности. В отличие от вложенной структуры, отраженной на рис. 2, на рис. 3 наблюдается более пологая нижняя часть «гнезда». Это связано с тем, что неуспешным экспортерам в меньшей мере удастся продавать свои товары на рынках сложных экономик. Таким образом, такая вложенность соответствует не только истории про отраслевую трансформацию структуры отраслей, как в модели Льюиса (Lewis, 1954), но и истории о внутрисекторальном развитии, в которой речь идет о повышении производительности существующей отраслевой структуры, как в модели Солоу (Solow, 1956).

В этой работе мы делаем попытку измерить сложность экономики таким образом, чтобы учесть как прогресс в трансформации структуры, так и рост производительности внутри секторов. Мы рассматриваем не только товары, которые экспортеры продают на международном рынке, что позволяет оценить и сравнить сложность структуры экономики различных стран мира, но и то, на какие географические рынки эти страны продают свои товары, что позволяет сравнивать производительность экспортеров. Таким образом, мы пытаемся дать более точную оценку сложности экономик стран мира. Для этого мы модифицируем оригинальный метод (Hausmann et al., 2011), начиная с определения тех товаров, которые можно считать экспортной специализацией той или иной экономики.

3. Метод

Уровень интенсивности экспорта некоторого товара определенной экономикой рассчитывается в литературе при помощи показателя выявленных сравнительных преимуществ – *RCA* (Balassa, 1965), который вычисляется следующим образом:

$$RCA_{c,p} = \left(x_{c,p} / \sum_c x_{c,p} \right) / \left(\sum_p x_{c,p} / \sum_p \sum_c x_{c,p} \right). \quad (1)$$

Рис. 3

Вложенная структура экспорта 130 экономик мира из атласа экономической сложности в страны-торговые партнеры

Примечание. Более темный цвет иллюстрирует количество товарных рынков (ТН ВЭД 4 знака), на которых страна-экспортер имеет сравнительное преимущество; страны расположены по убыванию их уровня диверсификации.

Знаменатель выражения (1) измеряет долю экспорта экономики c в суммарном мировом экспорте. Числитель этого выражения измеряет долю страны c в мировом рынке товара p . Показатель (1), таким образом, соотносит долю экономики c в глобальном рынке товара p с долей этой страны в мировой экономике. Представим себе крупную и идеально диверсифицированную, т.е. экспортирующую все поставляемые на мировой рынок товары, экономику. Мы вправе ожидать от этой экономики присутствия на всех мировых товарных рынках, соразмерного ее доле в мировом экспорте. Теперь рассмотрим некоторый более реалистичный случай – крупную экономику c , не обладающую идеальной диверсификацией. Если на мировом товарном рынке товара p ее присутствие менее заметно, чем в целом на мировом рынке, то делается утверждение о том, что у этой страны нет выявленных сравнительных преимуществ в экспорте товара p .

Далее, рассчитанный показатель $RCA_{c,p}$ преобразуется в бинарную величину. Если $RCA_{c,p} \geq 1$, утверждается, что у экономики существуют выявленные сравнительные преимущества, и $RCA_{c,p}$ присваивается значение 1. Если же $RCA_{c,p} < 1$, то считается, что выявленных сравнительных преимуществ у некоторой экономики нет, и соответствующему $RCA_{c,p}$ присваивается значение 0¹¹. Выбор бинарного представления результатов создает некоторые аналитические преимущества. Например, благодаря использованию бинарной переменной упрощается сравнение экспортных корзин двух случайных экономик, каждая из которых может быть представлена в виде вектора из нулей и единиц. Затем эти два вектора могут быть перемножены. Полученное численное значение отражает число совпадающих в двух экономиках отраслей, в которых рассматриваемые страны имеют выявленные сравнительные преимущества. Это численное значение соотносится с суммарным числом непересекающихся отраслей в этих двух экономиках. В результате этого соотнесения получается доля совпадающих отраслей в двух экономиках, отражающая «отраслевую схожесть» этих стран.

Стоит отметить, что выбор единицы в качестве порогового значения для выявления сравнительных преимуществ не является результатом решения оптимизационной задачи. Такой выбор всего лишь отражает предположения о равномерном присутствии рассматриваемой экономики на различных рынках в случае ее идеальной диверсификации. Если некоторая экономика сравнительно крупная, то предполагается, что в случае высокого уровня экспортной диверсификации она будет широко присутствовать и на любом товарном рынке. Суть этого порогового значения дает возможность игнорировать относительно небольшие экспортные потоки, которые нельзя считать отражением сравнительных преимуществ некоторой страны. Однако это пороговое значение в литературе нередко занижается, в том числе и для того, чтобы отслеживать, под влиянием каких именно факторов у некоторой

¹¹ Далее в этой работе, тестируя результат на устойчивость, мы выбираем разные пороговые значения RCA и показываем, что этот выбор не оказывает существенного влияния на конечный результат.

экономики со временем формируются выявленные сравнительные преимущества (Pinheiro et al., 2018).

Показатель $RCA_{c,p}$, который рассчитывается при помощи выражения (1), используется для получения более сложного показателя, характеризующего сложность экономики стран мира. Этот показатель, модификация которого является одной из целей этой работы, получил название индекса экономической сложности (economic complexity index, ECI). В этом показателе учитывается, в какой мере диверсифицирована некоторая экономика, а также показано, насколько сложными являются товары, которые она производит. Мы не будем приводить подробного изложения методики расчета ECI в этой работе, так как ее подробное описание в литературе уже содержится (Любимов, Гвоздева, Лысюк, 2018а, 2018б). Упомянем лишь, что ECI представляет собой центрированную и нормированную версию собственного вектора, соответствующего второму максимальному собственному значению следующей матрицы:

$$Wc = \frac{1}{k_{c,0}} M_{p,c}^T \frac{1}{k_{p,0}} M_{p,c}, \quad (2)$$

где $M_{p,c}$ представляет собой матрицу, в строках которой указаны товары, которые экспортеры поставляют на мировой рынок, в столбцах – соответствующие страны-экспортеры; в ячейках ставится 1, если некоторая страна обладает выявленными сравнительными преимуществами в экспорте определенного товара, и 0 – в обратном случае; $M_{p,c}^T$ – транспонированная версия матрицы $M_{p,c}$; $k_{c,0}$ отражает уровень экспортной диверсификации стран мира, который рассчитывается при помощи суммирования строк матрицы $M_{p,c}$, а $k_{p,0}$ измеряет распространение товаров среди экономик-экспортеров и рассчитывается путем суммирования матрицы $M_{p,c}$ по столбцам.

Итак, при помощи показателя $RCA_{c,p}$ мы маркируем те товары, в экспорте которых у некоторой экономики существуют выявленные сравнительные преимущества.

Далее, нам нужно узнать, на рынках каких стран экономика c реализует эти сравнительные преимущества. Например, если экономика c является крупным экспортером морских пассажирских паромов, на рынках каких стран она главным образом продает свои паромы? Для ответа на этот вопрос используем следующий показатель:

$$RCA_{c,p}^z = (x_{c,p}^z / \sum_c x_{c,p}^z) / (x_{c,p} / \sum_c x_{c,p}). \quad (3)$$

Показатель $RCA_{c,p}^z$ имеет такую же алгебраическую структуру, как и $RCA_{c,p}$. Однако в случае $RCA_{c,p}^z$ измеряется соразмерность экспорта товара p страной c в страну z общей доле страны c на мировом рынке товара p . Если экономика c является крупным глобальным экспортером товара p , то в случае идеальной географической диверсификации ее экспорта мы ожидаем, что эта страна является крупным поставщиком товара p на рынках всех стран, являющихся импортером

этого товара. Если же доля экспортера на рынке некоторой страны меньше доли этого экспортера на соответствующем глобальном товарном рынке, то мы делаем вывод о том, что у страны c нет выявленных сравнительных преимуществ в экспорте товара p в страну z . После расчета показателя $RCA_{c,p}^z$ мы также переводим его в бинарную величину, присваивая $RCA_{c,p}^z$ единицу в том случае, если $RCA_{c,p}^z \geq 1$, и ноль, если $RCA_{c,p}^z < 1$. Таким образом, мы маркируем страновые рынки, на которых экономика c реализует свои сравнительные преимущества в экспорте товара p .

При помощи показателя $RCA_{c,p}$ мы определяем, какие товары некоторая экономика экспортирует на уровне выявленных сравнительных преимуществ. Иными словами, мы определяем, какие товары данная страна экспортирует больше всего. Показатель $RCA_{c,p}^z$ детализирует $RCA_{c,p}$, демонстрируя, на каких именно страновых рынках рассматриваемый экспортер реализует свои сравнительные преимущества. Иными словами, при помощи показателя $RCA_{c,p}^z$ мы разделяем определенное выявленное сравнительное преимущество экономики-экспортера на некотором товарном рынке на страновые составляющие ее экспорта.

Информацию, содержащуюся в этих двух показателях, можно уместить в одном индикаторе, перемножая показатели $RCA_{c,p}$ и $RCA_{c,p}^z$. Вернемся к значениям $RCA_{c,p}$ и $RCA_{c,p}^z$, полученным до трансформации этих переменных в бинарные. Если у экономики c выявленные преимущества в экспорте товара p малы, соответствующая детализация в виде географических выявленных сравнительных преимуществ $RCA_{c,p}^z$ умножается на значение, уступающее единице, что уменьшает шансы на выявление сравнительных преимуществ для страны-экспортера на некотором страновом рынке. В противном случае $RCA_{c,p}^z$, т.е. географическая детализация экспорта определенного товара, умножается на величину, превосходящую единицу. Сделав это перемножение в общем виде, мы получим следующий показатель выявленных сравнительных преимуществ:

$$RCA_{c,z} = (x_{c,p}^z / \sum_c x_{c,p}^z) / (\sum_p x_{c,p} / \sum_p \sum_c x_{c,p}). \quad (4)$$

Показатель $RCA_{c,z}$ отражает предположение, заключающееся в том, что если некоторая страна является крупным мировым экспортером и при этом отличается идеальной товарной и географической диверсификацией, то мы ожидаем, что она является крупным экспортером любого товара в каждой стране.

В числителе выражения (4) располагается доля экспортера c товара p в суммарном импорте этого товара страной z . Если доля экономики c в экспорте товара p в страну z ниже доли страны c в мировом экспорте, то делается вывод о том, что у экономики c нет выявленных сравнительных преимуществ в экспорте товара p в экономику z . Возможно, это утверждение является результатом того, что экономика c не имеет выявленных сравнительных преимуществ в экспорте

товара p в экономику z . Возможно, однако, что у страны c в целом нет выявленных сравнительных преимуществ в экспорте товара p . Преимущество показателя $RCA_{c,z}$ состоит в том, что он позволяет отразить обе ситуации.

Мы будем использовать показатель $RCA_{c,z}$ для выявления сравнительных преимуществ экспортера в торговле некоторым товаром на рынке определенного импортера. $RCA_{c,z}$ также является бинарной переменной, которая равна единице в том случае, когда у экспортера обнаруживаются выявленные сравнительные преимущества на рынке некоторого товара в определенной стране, и ноль – если таких преимуществ не существует.

Какие аналитические преимущества дает показатель выявленных сравнительных преимуществ $RCA_{c,z}$, учитывающий интенсивно экспортируемые экономикой c товары, а также направления экспорта этих товаров, по сравнению с классическим показателем выявленных сравнительных преимуществ $RCA_{c,p}$, рассчитанным при помощи выражения (1), который учитывает только интенсивно экспортируемые товары?

Одно из преимуществ этого показателя заключается в том, что использование $RCA_{c,z}$ дает возможность получить более полную информацию об экспорте экономики c . Для каждой из включенных в выборку экономик этот показатель позволяет получить матрицу размерностью $p \times z$, показывающую, на рынках каких товаров и государств интересующая нас страна c заняла достаточно прочное положение в мировой экономике с точки зрения доли своего экспорта¹².

Составленные из значений показателя $RCA_{c,z}$ матрицы размерностью $p \times z$ могут формировать трехмерный массив данных, при помощи которого появляется возможность отслеживать конкурентные преимущества рассматриваемой экономики на том или ином товарно-страновом рынке.

Обозначим трехмерный массив, который получается из совместного рассмотрения всех матриц, составленных из значений показателя $RCA_{c,z}$, при помощи $M_{p,z,c}$, где индекс p соответствует товарам, z – странам-импортерам, c – странам-экспортерам. Каждый элемент трехмерного массива $M_{p,z,c}$ указывает на существование (или отсутствие) выявленного сравнительного преимущества у страны-экспортера c на рынке товара p в экономике-импортере z .

Суммирование трехмерного массива $M_{p,z,c}$ по оси c дает матрицу, каждый элемент которой указывает на то, какое число стран-экспортеров обладают выявленными сравнительными преимуществами на товарном рынке p в стране z . Иными словами, этот показатель отражает то, насколько легко достигнуть уровня выявленных сравнительных преимуществ на некотором товарном рынке, распо-

¹² Кроме того, подобные матрицы можно использовать для сравнения экспортной структуры различных экономик. Такое сравнение позволяет определить главных конкурентов рассматриваемой экономики. В частности, результатом перемножения по Адамару двух матриц одинаковой размерности, соответствующих экспортным структурам двух разных стран-экспортеров, становится матрица той же размерности, в которой при помощи единиц маркированы те товарные и страновые рынки, на которых обе экономики обладают выявленными сравнительными преимуществами. Матрица, в которой набирается наибольшее число совпадений, указывает на главных конкурентов интересующей нас страны на мировом рынке.

ложенном в стране-импортере. Если стран, которые обладают выявленными сравнительными преимуществами на некотором товарном рынке некоторой экономики, много, то, вероятно, достижение уровня выявленных сравнительных преимуществ на этом товарном рынке в этой стране — простая задача. Соответствующее выражение для этого показателя выглядит следующим образом:

$$\sum_c M_{p,z,c} = M_{p,z}. \quad (5)$$

Суммирование по оси p отражает меру товарной диверсификации страны-экспортера на рынке страны-импортера. Иными словами, в результате суммирования можно получить ответ на вопрос о том, на каком числе товарных рынков в некоторой экономике z у экспортера c выявляются сравнительные преимущества. Этот результат определяется при помощи следующего выражения:

$$\sum_p M_{c,z,p} = M_{c,z}. \quad (6)$$

Трехмерный массив $M_{c,z,p}$ представляет собой транспонированную версию массива $M_{p,z,c}$. Вместо использования верхнего индекса T , который, как правило, применяется для обозначения операции транспонирования (в случае двумерных матриц, а в случае трехмерного массива он не будет достаточно информативным), мы соответствующим образом меняем последовательность индексов трехмерного массива $M_{p,z,c}$, а также матриц $M_{c,p}$, $M_{p,z}$ и $M_{c,z}$.

Наконец, суммирование по оси z указывает на то, в каком числе стран экспортер c продает товар p на уровне выявленных сравнительных преимуществ. Этот результат находится при помощи следующего выражения:

$$\sum_z M_{c,p,z} = M_{c,p}. \quad (7)$$

Рис. 4

Трехмерный массив $M_{p,z,c}$ и матрицы $M_{p,c}$, $M_{p,z}$ и $M_{c,z}$

Трехмерный массив $M_{p,z,c}$, а также матрицы, соответствующие выражениям (4), (5) и (6), показаны на рис. 4. Расположение матриц на рисунке отражает грань¹³, в сторону которой осуществлялась операция суммирования трехмерного массива для получения этих матриц. Например, для получения матрицы $M_{c,z}$ мы суммируем трехмерный массив по вертикали.

Назовем $M_{p,c}$, $M_{p,z}$ и $M_{c,z}$ матрицами показателей нулевого уровня, ввиду того что с их помощью рассчитываются самые простые характеристики глобального рынка товаров, отраженного при помощи трехмерного массива $M_{p,z,c}$.

При помощи алгебраических операций над матрицами показателей нулевого уровня $M_{p,z}$, $M_{c,z}$, $M_{p,c}$ и трехмерным массивом $M_{p,z,c}$ можно получать более сложные показатели, характеризующие экспортеров и импортеров. Например, поэлементно перемножая матрицу показателей $M_{p,c}$ на трехмерный массив $M_{p,z,c}$ (рис. 5), мы получаем в каждой ячейке нового трехмерного массива характеристику товара p , который экономика c экспортирует на соответствующий товарный рынок страны z . Трехмерный массив $M_{p,z,c}$ может быть поэлементно умножен на матрицу $M_{p,c}$, так как правая и левая грани трехмерного массива имеют ту же размерность, что и матрица $M_{p,c}$: $p \times c$. Эта характеристика товара p показывает, на какое число страновых рынков экономика c экспортирует товар p на уровне выявленных сравнительных преимуществ. Такой показатель отражает экспортную силу некоторой экономики в торговле определенным товаром.

Выше мы упомянули операцию умножения трехмерного массива $M_{p,z,c}$ на матрицу $M_{p,c}$, ввиду того что далее нам придется фокусироваться на модификации метода отражений (method of reflections (Kemp-

Рис. 5

Перемножение трехмерного массива $M_{p,z,c}$ и матрицы $M_{p,c}$

¹³ Ведь массив напоминает объемную фигуру.

Benedict, 2014)), используя его для трехмерного случая. Используем метод отражений для вычисления индекса экономической сложности (ЕСИ), учитывая, однако, выявленные направления экспорта той или иной страны. Оригинальный метод отражений (Kemp-Benedict, 2014) представляет собой итерационный процесс усложнения двух показателей, характеризующих сложность той или иной экономики, а также сложность того или иного товара. На начальном уровне первый из этих показателей измеряет уровень диверсификации некоторой экономики, суммируя число товаров, которые рассматриваемая экономика экспортирует на уровне выявленных сравнительных преимуществ. Второй показатель измеряет распространенность товара, отражающую число стран, которые обладают ноу-хау, необходимым для экспорта интересующего нас товара. Эти показатели затем комбинируют друг с другом, чтобы учесть всю информацию об экспортерах и товарах. Например, показатель диверсификации экспорта некоторой страны, который отражает число товаров, экспортируемых рассматриваемой экономикой на уровне выявленных сравнительных преимуществ, комбинируют с показателем распространенности товаров, входящих в экспортную корзину этой страны. Новый, более сложный, показатель комбинируют с показателем распространенности товара, повышая таким образом уровень усложнения показателя и учитывая в нем еще больше информации.

Процесс усложнения приводит к тому, что значения усложняемого показателя демонстрируют сходимость, т.е. каждая последующая итерация все меньше изменяет значение показателя. Содержание сходимости становится результатом того, что каждая новая итерация все меньше добавляет новой информации к той, что уже накоплена в усложненном на предшествующих этапах показателе.

Итак, мы хотим проверить, действует ли метод отражений в случае трехмерного массива. Для этого мы попробуем воспроизвести итерационный процесс, постепенно усложняя простые показатели, которые получаются при помощи суммирования массива $M_{p,z,c}$. Мы начинаем итерационный процесс с матрицы $M_{p,c} = \sum_z M_{p,z,c}$, характеризующей число стран, в которые экономики-экспортеры продают свои товары. Например, экономика-экспортер c' может продавать один товар из своей экспортной корзины в 10 стран, другой товар – в 12 стран и т.д. Таким образом, матрица $M_{p,c}$, в которой каждый вектор отражает число стран, куда страна-экспортер поставляет свои товары, характеризует товары соответствующих стран-экспортеров с точки зрения их способности находить спрос на тех или иных страновых рынках. Информация, которую содержит матрица $M_{p,c}$, может также отражать качество и уровень функциональности экспортируемых товаров. Если стране-экспортеру удастся продавать свой товар на рынках большого числа стран, то это, при прочих равных условиях, может указывать на высокое качество, более высокую функциональность или меньшую

цену это товара. Иными словами, если один экспортер продает свой товар лишь в небольшое число стран, в то время как другой экспортер продает такой же товар по всему миру, есть основания предполагать, что товар второй страны-экспортера превосходит товар первой страны более низкой ценой или неценовыми свойствами.

Теперь перемножим, по Адамару, матрицу $M_{p,c}$ со всеми матрицами соответствующей размерности, составляющими массив $M_{p,z,c}$. Матрица $M_{p,c}$ расположена строго в определенной плоскости в пространстве, а трехмерный массив транспонирован таким образом, что соответствующая грань массива располагается в той же плоскости, что и матрица $M_{p,c}$, и это та грань трехмерного массива, размерность которой в точности соответствует размерности матрицы $M_{p,c}$. В его грани, с которой начнется умножение, по строкам располагаются товары, а по столбцам — страны-экспортеры.

Грань массива $M_{p,z,c}$, с которой начинается перемножение, состоит из нулей и единиц, обозначающих существование или отсутствие выявленных сравнительных преимуществ на определенном товарном рынке некоторой страны-импортера у некоторой экспортирующей экономики. Матрица $M_{p,c}$ отражает число стран, куда экспортируется товар, которым торгует на мировом рынке соответствующая экономика.

Умножим поэлементно матрицу $M_{p,c}$ на каждую из соразмерных матриц, составляющих трехмерный массив, начав умножение с первой из них, т.е. с соответствующей грани трехмерного массива. В результате умножения вместо единиц в трехмерном массиве теперь появятся значения, отражающие число страновых рынков, на которых некоторая страна-экспортер продает свой товар. В результате подобное произведение позволяет охарактеризовать каждый товар каждого экспортера на каждом страновом рынке.

Теперь суммируем полученные в результате умножения численные характеристики по странам-экспортерам, т.е. ответим на вопрос о том, какова средняя характеристика некоторого товара, продающегося на рынке определенной страны. Если в Нидерландах продаются ноутбуки, то чему равно общее число экономик, в которые страны, поставляющие на нидерландский рынок ноутбуки, экспортируют этот товар?

Итак, сначала мы характеризуем каждого экспортера, вычисляя, во скольких странах мира продаются его компьютеры. Ведь из показателя $M_{p,c}$ мы узнаем, во скольких странах продаются японские, корейские, китайские и американские ноутбуки. Комбинируя этот показатель с массивом $M_{p,z,c}$, мы можем получить более сложную характеристику рынка, отражающую, насколько трудно попасть на этот рынок тому или иному экспортеру. Данная характеристика определяется тем, какой проникающей силой обладает каждый экспортер, попавший на рынок.

После суммирования мы поэлементно делим получившуюся в результате суммирования матрицу размерности $p \times z$ на матрицу $M_{p,z}$. Таким образом, мы делим сумму характеристик экспортеров некоторого товара на соответствующем рынке страны-импортера на число активных экспортеров на соответствующем страновом рынке. В результате мы получаем среднюю характеристику экспортеров на соответствующем рынке определенной страны-импортера. В итоге мы получаем характеристику, которая отражает свойство рынка страны-импортера. Этот показатель дает понять, насколько сложно продавать некоторый товар на определенном страновом рынке.

Алгебраически наши рассуждения отображаются при помощи следующего выражения:

$$M_{p,z}^1 = \sum_c \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,z}} \times M_{p,c}, \quad (8)$$

где знак « $\times$ » отражает поэлементное умножение матрицы $M_{p,c}$ на каждую из соразмерных матриц, составляющих трехмерный массив $M_{p,z,c} / M_{p,z}$. С точки зрения умножения матрицы $M_{p,c}$ на матрицы, входящие в массив $M_{p,z,c} / M_{p,z}$, соответствующее произведение соответствует произведению по Адамару.

Получив характеристику $M_{p,z}^1$, мы можем использовать ее для того, чтобы далее охарактеризовать экспортную корзину некоторой экономики, которая поставляется в определенную страну. Для этого мы поэлементно умножаем полученную матрицу $M_{p,z}^1$ на каждую из соразмерных матриц, составляющих трехмерный массив $M_{p,z,c}$. Грань массива $M_{p,z,c}$, с которой начинается процедура умножения, имеет ту же размерность, что и матрица $M_{p,z}^1$. Эта грань состоит из нулей и единиц, отражающих, на каких товарно-страновых рынках у некоторой экономики-экспортера существуют выявленные сравнительные преимущества. Показатель $M_{p,z}^1$ позволяет охарактеризовать соответствующий товарно-страновой рынок с точки зрения свойств этих экспортеров. Допустим, Финляндия экспортирует паромы в США на уровне выявленных сравнительных преимуществ, что находит отражение в единице, размещенной в соответствующей ячейке массива $M_{p,z,c}$. Эта единица умножается на характеристику рынка паромов в США, также учитывающего то, какие страны — в большей или меньшей мере завоевавшие мировой рынок — экспортируют на американский рынок свои паромы. Иными словами, характеристика $M_{p,z}^1$ включает сведения о том, в какое число стран средний экспортер паромов на американском рынке продает этот тип судов. Эта характеристика затем суммируется с аналогичными характеристиками для других товаров, которые продаются на американском рынке, и суммарное значение делится на число товаров, которые некоторая экономика экспортирует на уровне выявленных сравнительных преимуществ на американский рынок. В результате вычисляется усложненный показатель диверсификации экспорта некоторой страны на рынке определенной экономики-импортера. Этот

показатель определяется по формуле

$$M_{z,c}^1 = \sum_p \frac{M_{p,z,c}}{M_{z,c}} \times M_{p,z}^1. \quad (9)$$

Полученная характеристика содержит информацию о том, насколько сложен с точки зрения конкуренции экспорт некоторой экономики на рынке определенной страны-импортера.

Теперь, по аналогии с предыдущими шагами, поэлементно перемножим матрицу $M_{z,c}^1$ на каждую из соразмерных матриц трехмерного массива $M_{p,z,c}$. В результате этого перемножения и следующего за ним вычисления среднего значения удастся охарактеризовать средний уровень конкуренции, с которым сталкивается некоторый экспортер на рынках всех экономик, в которых он продает свои товары.

Соответствующая матрица показателей выглядит следующим образом:

$$M_{p,c}^1 = \sum_z \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,c}} \times M_{z,c}^1. \quad (10)$$

Обратим внимание на то, что мы прошли полный цикл итераций, начав итерационный процесс с матрицы $M_{p,c}$ простых показателей, или показателей нулевого уровня, отражающих характеристики товаров, поставляемых странами-экспортерами на мировой рынок, и получили в результате матрицу $M_{p,c}^1$ усложненных характеристик этих же товаров. Мы начали итерационный процесс с матрицы показателей $M_{p,c}$, отражающей число страновых рынков, на которые некоторая экономика экспортирует определенный товар, и закончили итерацию матрицей показателей $M_{p,c}^1$, отражающей средний уровень конкуренции, с которым придется столкнуться некоторой стране при экспорте определенного товара на отдельный страновой рынок.

Продолжение итерационного процесса заключается в повторении шагов, отраженных при помощи выражений (8)–(10), и переходе ко все более усложненным показателям.

Подставим выражения (8)–(10), чтобы в одном выражении отразить итерацию целиком:

$$M_{p,c}^1 = \sum_z \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,c}} \times \sum_p \frac{M_{p,z,c}}{M_{z,c}} \times \sum_c \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,z}} \times M_{p,c}. \quad (11)$$

Произведение в выражении (11) не обладает свойством коммутативности. Оно должно быть выполнено строго в последовательности, указанной в (11).

Запишем выражение (11) в общем виде:

$$M_{p,c}^t = \sum_z \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,c}} \times \sum_p \frac{M_{p,z,c}}{M_{z,c}} \times \sum_c \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,z}} \times M_{p,c}^{t-1}, \quad (12)$$

где t – номер итерации.

Введем обозначение:

$$W = \sum_z \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,c}} \times \sum_p \frac{M_{p,z,c}}{M_{z,c}} \times \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,z}}. \quad (13)$$

Массив $\tilde{W}$ является трехмерной версией матрицы W_c , определенной при помощи выражения (2). Матрица W_c представляет собой Марковскую матрицу переходных вероятностей, отражающую шансы одной случайной страны быть похожей на другую с точки зрения содержания их экспортных корзин. Однако массив $\tilde{W}$ имеет более сложную интерпретацию в терминах переходных вероятностей.

Вполне вероятно, что показатель $M_{p,c}^t$ сходится. Если это так, то, начиная с определенной итерации, $M_{p,c}^t = M_{p,c}^{t-1}$. В Приложении, п. II приводится доказательство сходимости итерационного процесса. Там же показано, что результатом поэлементного умножения

$$A = \sum_z \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,c}} \times \sum_p \frac{M_{p,z,c}}{M_{z,c}} \times \sum_c \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,z}}$$

на матрицу $E_{p,c}$, состоящую из единиц, вновь становится матрица $E_{p,c}$, т.е. $A \times E_{p,c} = E_{p,c}$. Стоит обратить внимание на то, что выражение

$$A \times E_{p,c} = E_{p,c} \quad (14)$$

напоминает определение собственного вектора – только для трехмерного случая. Матрица $E_{p,c}$ не является, однако, информативной, так как полностью состоит из единиц. К сожалению, вычисление аналога собственных векторов для трехмерного случая является достаточно сложной процедурой. Поэтому в эмпирической части работы мы ограничиваемся реализацией итерационного процесса и получаем при помощи него новые оценки индекса экономической сложности (ЕСИ).

Стоит обратить внимание на то, что похожие результаты можно получить и для матриц $M_{p,z}$ и $M_{z,c}$, если начать с них итерационный процесс и в итоге вычислить соответствующие усложненные показатели. Таким образом, для конечного результата не играет роли, с какой из матриц начинается итерационный процесс, так как в результате этого процесса происходит сбор информации в рамках одного и того же трехмерного массива $M_{p,z,c}$, а отличие заключается лишь в последовательности сбора этой информации.

4. Данные и результаты

Для получения модифицированного индекса экономической сложности (ЕСИ) мы используем данные «Атласа экономической сложности»¹⁴, содержащие сведения об экспорте и импорте 1243 товаров по классификации Harmonized System (HS) 4-digit¹⁵, которыми торговали 250 стран в период 2012–2017 гг. Далее, исключая страны с высокой межвременной дисперсией выявленных сравнительных преимуществ $RCA_{c,z}$, в том числе связанным с реэкспортом товаров, а также исключая товары, природу которых не удастся определить, мы оставляем данные для 128 стран и 1241 товара, что составляет сведения о более 90% всей мировой торговли. Чтобы получить представление о размере трехмерного массива данных, отметим, что полная сумма всех $RCA_{c,p,z}$, вычисленных по данным 2017 г., составляет 2 134 955. Модифицированный

¹⁴ <https://intl-atlas-downloads.s3.amazonaws.com/index.html>

¹⁵ <http://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/overview/what-is-the-harmonized-system.aspx>

метод вычисления индекса ЕСІ применяется для каждого года, вошедшего в выборку, а затем происходит усреднение показателей за исследуемый период времени.

Теперь перейдем к описанию результатов итерационной процедуры, изложенной в предыдущем разделе. Вновь обратимся к итерационному процессу, отраженному в выражении (12):

$$M_{p,c}^t = \sum_z \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,c}} \times \sum_p \frac{M_{p,z,c}}{M_{z,c}} \times \sum_c \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,z}} \times M_{p,c}^{t-1}.$$

В результате выполнения процедуры итерации, указанной в выражении (12), обнаруживаются два свойства итерации. Во-первых, процесс демонстрирует сходимость: после шести-семи итераций значения, полученные в результате выполнения двух соседних итераций, лишь незначительно отличаются друг от друга. Во-вторых, дисперсия значений, полученных в результате выполнения некоторой итерации, снижается с ростом числа итераций. Таким образом, результат итерационного процесса сходится к матрице $E_{p,c}$, составленной из единиц, как в выражении (14): $A \times E_{p,c} = E_{p,c}$.

Эти два результата идентичны тем, что характеризуют итерационный процесс, соответствующий классическому подходу (Hausmann et al., 2011). Эмпирическая проверка устойчивости свойства сходимости итерационной процедуры дала положительный результат: сходимость проявляется устойчиво. Мы проверили это свойство, используя данные по разным годам, наборам стран, а также пороговым значениям показателя выявленных сравнительных преимуществ $RCA_{c,z}$, уменьшая пороговые значения. Итерационная процедура продемонстрировала высокий уровень устойчивости, в том числе и в случае пороговых значений для RCA , меньших 1 (см. Приложение, п. III¹⁶). При различных пороговых значениях RCA (от 0,9 до 0,1) большинство стран сохраняет свои позиции в рейтинге сложности экономик. Заметим, что в случае если положение страны в рейтинге меняется, максимальная разница в занимаемом месте не превышает трех позиций.

Так как мы отказываемся от вычисления собственного вектора из-за сложности соответствующей процедуры в случае трехмерного массива, возникает вопрос о том, на какой итерации нужно остановить процесс, чтобы получить рейтинг стран с точки зрения их экономической сложности. Однако ввиду того что итерационный процесс демонстрирует сходимость, а дисперсия внутри итераций уменьшается медленно, рейтинг стран формируется достаточно быстро и демонстрирует стабильность. Для получения рейтинга мы используем матрицу $M_{p,z}$, усложненную в результате нескольких итераций.

В целом полученный рейтинг выглядит интуитивным. Его лидерами из года в год являются Япония, США, страны Западной Европы и Южная Корея, а аутсайдерами — страны африканского континента. Недостатком рейтинга является присутствие в его верхней части Филиппин и Таиланда, чья экономическая структура едва ли имеет

¹⁶ В приложении представлены первые 73 страны из рейтинга, так как среди стран, располагающихся ниже, никаких изменений в уровне сложности при различных пороговых значениях RCA не произошло.

такой же уровень сложности, как у Нидерландов или Швеции. Такой результат, однако, становится следствием другого недостатка классического метода оценки сложности экономик, который не удалось устранить в его модификации. Речь идет о невозможности отразить международную торговлю в виде обмена звеньями в цепочках добавленной стоимости из-за отсутствия необходимых данных. В результате складывается впечатление, что Филиппины, большая доля экспорта которых приходится на такие экономики, как Китай, США, Япония, Сингапур и т.д., экспортируют не отдельные, причем достаточно простые, звенья в глобальных цепочках добавленной стоимости, благодаря которым, например, создаются товары электроники и машиностроения, а все звенья, принадлежащие соответствующим цепочкам. Из-за этого мы исключаем эти две страны из рейтинга, при этом соглашаясь с тем, что их появление в верхней части рейтинга сигнализирует о недостатках нового метода.

Финальный рейтинг сложности экономик мира отражен в Приложении, п. I. Стоит обратить внимание на то, что рейтинг изменяется от года к году, однако изменения, причем порой достаточно заметные, в основном происходят в пределах соответствующего десятка стран, хотя иногда страны перемещаются из одного десятка в рейтинге в другой – из соседних десятков. Однако в среднем за указанные годы десятки стран сравнительно стабильны, поэтому мы приводим средний результат за все рассмотренные годы. На наш взгляд, этот рейтинг является более интуитивным, если сравнивать его с классическим подходом¹⁷. В частности, Финляндия, располагающаяся в первом десятке в традиционном рейтинге, в новом рейтинге попадает в третий десяток стран, а Республика Беларусь перемещается с конца третьего – начала четвертого десятков в шестой десяток.

5. Заключение

В этой работе мы дополняем идею о связи трансформации структуры секторов экономики с экономическим усложнением некоторой страны предположением о том, что экономическое усложнение может также быть связано и с трансформацией географической структуры экспорта. Трансформация структуры секторов экономики заключается в появлении в некоторой стране более производительных отраслей, в которые перемещается часть рабочей силы. В результате трансформация структуры секторов, если она направлена на масштабирование выпуска при помощи экспорта, способствует увеличению темпов экономического роста. Трансформация географической структуры экспорта заключается в способности страны экспортировать товары на самые разные рынки, включая те, на которых массово торгуются более совершенные из существующих в мире товаров. Если трансформация структуры секторов экономики указывает на процесс экономического развития в некоторой стране, то трансформация географической

¹⁷ <http://atlas.cid.harvard.edu/rankings>

структуры экспорта указывает уже на то, как растет экономика в рамках установившейся структуры секторов. Способность страны-экспортера выйти на требовательные и сложные рынки богатых стран указывает на значительный рост производительности отраслей этой экономики. Страна, в которой произошла лишь трансформация структуры секторов экономики без роста производительности в новых секторах, скорее всего сможет экспортировать товары на рынки своих сравнительно небогатых соседей, на которых существует масштабный спрос на недорогие товары с ограниченной функциональностью. Экономика, которая, напротив, также добилась роста внутри сектора, с большей вероятностью сможет продавать более высоко функциональные товары и на рынках богатых стран.

Риски ориентации на одни только рынки небогатых экономик схожи с рисками ограниченной трансформации структуры секторов. Эти риски следуют из свойства вложенности (*nestedness*), которое обсуждалось ранее. Последнее, заимствованное из биогеографии, отражает тот факт, что более редкие виды обитают в окружении, отличающемся высоким разнообразием, в то время как более распространенные виды обитают как в более, так и в менее разнообразном окружении. Результатом ограниченной трансформации структуры секторов экономики становится необходимость высокой конкуренции на рынках простых товаров с небольшой добавленной стоимостью, ноу-хау для экспорта которых есть у большого числа стран. В то же время более успешная структурная трансформация позволяет производить более сложные товары с большей добавленной стоимостью. Следствием недостаточной трансформации географической структуры экспорта также становится выход на небогатые рынки, куда свои товары способны экспортировать многие страны, в результате продавая на них товары с не самой большой добавленной стоимостью. В то же время более успешная трансформация географической структуры экспорта дает возможность выходить на богатые рынки, где существует массовый спрос на более высоко функциональные и качественные товары с большей добавленной стоимостью. Если оценивать состав богатых рынков более точно, включая в него не только страны ОЭСР, но и нефтедобывающие страны Персидского залива, а также наиболее состоятельные регионы Китая, Индии, России и т.д., то на эти экономики будет приходиться львиная доля мирового ВВП¹⁸. Поэтому успешная трансформация структуры отраслей экономики, дополненная трансформацией географической структуры экспорта, позволяет рассчитывать на устойчивую долю в крупнейшей части мирового рынка.

Используя экспортные данные, мы применяем итерационную процедуру, в которой усложняются показатели товарной и географической диверсификации экспорта, а также насыщенности рынков импортеров. Итерационная процедура, известная в литературе как метод отражений (Kemp-Benedict, 2014), демонстрирует свойство сходимости

¹⁸ <https://www.oecd.org/sdd/prices-ppp/oecdnowaccountsforlightlylessthan50ofworldgdplargeemergingeconomiesforabout30.htm>

сти, что дает основания сделать утверждение о некоторой аналогии модифицированного и классического подходов к оценке экономической сложности. В классическом методе для оценки сложности экономики используется один из собственных векторов матрицы переходных вероятностей. Поскольку вычисление собственных векторов для трехмерного случая является задачей высокой сложности, в качестве альтернативы мы используем результат одной из итераций, выполненной в рамках метода отражений. Мы выбираем в качестве рейтинга стран результаты той итерации, при которой итерационный процесс уже демонстрирует сходимость результатов. В итоге мы получаем обновленный рейтинг стран по уровню сложности экономики, который учитывает не только результаты трансформации структуры секторов экономики, но и то, насколько новая структура экономики может повышать производительность.

Рейтинг указывает на то, что для устойчивого экономического роста одной трансформации структуры секторов экономики может быть недостаточно. В частности, устойчивое место Республики Беларусь в начале четвертого десятка стран по уровню сложности экономики, оцененной в соответствии с классическим подходом, плохо согласуется со стагнацией экономики, которая длится в этой стране уже семь лет. Белорусская экономика должна была бы расти быстро и вскоре переместиться в группу богатых экономик. Однако в модифицированном рейтинге экономика Беларуси устойчиво располагается в конце шестого десятка, и этот результат в большей мере соответствует экономической стагнации, которую переживает в настоящее время эта страна.

Результаты этой работы имеют определенное прикладное значение.

Во-первых, трехмерный массив может быть использован для оценки шансов у рассматриваемой страны выйти и закрепиться на рынке некоторого товара в определенной экономике. Если этот рынок насыщен конкурентами, которые к тому же способны продавать свои товары по всему миру, то стоит ожидать, что новому производителю будет сложно сохранить на нем свое присутствие. Трехмерный массив также может дать информацию о том, что на некотором рынке распространяют свое влияние компании из страны-конкурента. Один из небезынтересных результатов, который удалось получить при работе с массивом, состоит в том, что основными странами-конкурентами России и Беларуси на глобальном рынке главным образом являются их географические соседи. Последний результат отражает не только общее технологическое прошлое этих стран, но и более универсальную закономерность, состоящую в том, что технологии в значительной мере циркулируют между соседними экономиками (Bahar, Hausmann, Hidalgo, 2014). Вся эта информация может оказаться полезной при принятии решений о поддержке компаний, обращающихся за помощью к ведомствам, специализирующимся на содействии экспортерам.

Во-вторых, в отличие от классического метода, предполагающего, что страна, экспортирующая определенный товар, также имеет шансы экспортировать технологически близкий товар, наша работа может дать основания для определенного уточнения этого предположения. Если рассматриваемая экономика экспортирует некоторый товар главным образом в определенные страны, например не слишком богатым географическим соседям, то ей прежде всего стоит рассчитывать на экспорт технологически близких товаров в те же страны. Иными словами, страна может попробовать провести умеренную трансформацию структуры секторов экономики и научиться экспортировать технологически смежные товары, но ввиду того что ей и раньше плохо удавался рост производительности внутри своих секторов, этой экономике вряд ли стоит рассчитывать на быстрый рост производительности и в новых секторах. Если некоторая экономика устойчиво экспортирует определенный товар в страны, относящиеся главным образом к определенной группе по уровню подушевого ВВП, то ей скорее всего удастся распространить свой экспорт также и в экономики со схожим уровнем доходов.

В последующих работах можно разработать модифицированный подход к расчету показателя технологической близости (proximity), измеряющего меру технологической схожести товаров с учетом диверсификации географии экспорта стран мира. Трактор с ограниченной функциональностью, поставляющийся только в несколько небогатых стран, вполне может быть ближе к грузовому автомобилю с невысокой функциональностью, чем к трактору с высокой функциональностью, который экспортируется по всему миру. Кроме того, в последующих работах необходимо сделать оценку эмпирической связи между трансформацией географической структуры экспорта и темпами экономического роста.

ПРИЛОЖЕНИЕ

I. Рейтинг сложности экономик мира за 2012–2017 гг.

Место	Список стран, iso-3 код
1–10	Япония, США, ФРГ, КНР, Франция, Великобритания, Южная Корея, Нидерланды, Испания, Гонконг
11–20	Италия, Бельгия, Швеция, Австрия, Чехия, Польша, Сингапур, Канада, Малайзия
21–30	Румыния, Австралия, Мексика, Ирландия, ЮАР, Индонезия, Финляндия, Россия, Португалия, Вьетнам
31–40	Дания, Норвегия, Словакия, Турция, Индия, Греция, Венгрия, Болгария, Литва, Словения
41–50	Чили, Бразилия, Латвия, Новая Зеландия, Израиль, Саудовская Аравия, Казахстан, Марокко, Хорватия, Эстония
51–60	Колумбия, Украина, Пакистан, Египет, Республика Беларусь, Украина, Нигерия, Перу, Катар, Намибия, Аргентина

Место	Список стран, iso-3 код
61–70	Кувейт, Шри-Ланка, Доминиканская Республика, Оман, Ботсвана, Коста-Рика, Гватемала, Тунис, Бахрейн
71–80	Ливан, Иран, Ангола, Эквадор, Бангладеш, Босния и Герцеговина, Алжир, Мозамбик, Иордания, Танзания
81–90	Зимбабве, Замбия, Уругвай, Сальвадор, Гана, Кения, Маврикий, Азербайджан, Грузия, Боливия
91–100	Панама, Венесуэла, Македония, Гондурас, Мьянма, Уганда, Сенегал, Свазиленд, Эфиопия, Тринидад и Тобаго
101–128	Молдавия, Камерун, Никарагуа, Ямайка, Албания, Парагвай, Мадагаскар, Камбоджа, Судан, Демократическая Республика Конго, Кыргызстан, Монголия, Конго, Куба, Папуа–Новая Гвинея, Ливия, Туркменистан, Йемен, Лаос, Сирия, Бенин, Габон, Буркина-Фасо, КНДР, Гвинея, Мавритания, Того, Либерия

II. Сходимость итерационного процесса

Рассмотрим выражение (12):

$$M_{p,c}^t = \sum_z \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,c}} \times \sum_p \frac{M_{p,z,c}}{M_{z,c}} \times \sum_c \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,z}} \times M_{p,c}^{t-1}.$$

Чтобы установить сходимость, нужно показать, что различие между соседними итерациями сокращается при $t \rightarrow \infty$.

Возьмем результат $M_{p,c}^t$ некоторой итерации t . Результат предыдущей итерации обозначается как $M_{p,c}^{t-1}$, а следующей – $M_{p,c}^{t+1}$. Сходимость соответствует следующему неравенству:

$$M_{p,c}^{t+1} - M_{p,c}^t \leq M_{p,c}^t - M_{p,c}^{t-1}, \quad (\text{A1})$$

или

$$M_{p,c}^{t+1} + M_{p,c}^{t-1} \leq 2M_{p,c}^t. \quad (\text{A2})$$

Неравенство (A1) означает, что элементы матрицы $M_{p,c}^{t+1} - M_{p,c}^t$ не превосходят соответствующие элементы матрицы $M_{p,c}^t - M_{p,c}^{t-1}$.

Используем обозначение

$$A = \sum_z \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,c}} \times \sum_p \frac{M_{p,z,c}}{M_{z,c}} \times \sum_c \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,z}}.$$

Теперь выражение (A2) может быть записано одним из способов:

$$A^2 \times M_{p,c}^{t-1} + M_{p,c}^{t-1} \leq 2A \times M_{p,c}^{t-1}, \quad (\text{A3})$$

$$A^2 \times M_{p,c}^{t-1} - 2A \times M_{p,c}^{t-1} + M_{p,c}^{t-1} \leq 0, \quad (\text{A4})$$

$$M_{p,c}^{t-1} \times (A^2 \times E_{p,c} - 2A \times E_{p,c} + E_{p,c}) \leq 0, \quad (\text{A5})$$

где матрица $E_{p,c}$ состоит из единиц, O – из нулей.

Матрица $M_{p,c}^{t-1}$ состоит из нулевых и положительных значений, поэтому для удовлетворения неравенства (A5) необходимо выполнение условия

$$(A \times E_{p,c} - E_{p,c})^2 \leq O. \quad (\text{A6})$$

Очевидно, что (A6) выполняется только если

$$A \times E_{p,c} = E_{p,c}. \quad (\text{A7})$$

Подставим значение A в (A7), тогда

$$\begin{aligned} \sum_z \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,c}} \times \sum_p \frac{M_{p,z,c}}{M_{z,c}} \times \sum_c \frac{M_{p,z,c}}{M_{p,z}} \times E_{p,c} &= \frac{\sum_z M_{p,z,c}}{M_{p,c}} \times \frac{\sum_p M_{p,z,c}}{M_{z,c}} \times E_{p,z} = \\ &= \frac{\sum_z M_{p,z,c}}{M_{p,c}} \times E_{z,c} = E_{p,c}. \end{aligned}$$

Умножение трехмерного массива $M_{p,z,c}$ на матрицу $E_{p,c}$ приводит к простому воспроизведению массива $M_{p,z,c}$. Результатом его суммирования по c становится матрица $M_{p,z}$. Отношение $M_{p,z} / M_{p,z}$ дает матрицу $E_{p,z}$, которая затем умножается на трехмерный массив $M_{p,z,c}$, и за счет этого умножения массив воспроизводится вновь. Далее последовательность действий повторяется. Таким образом, мы получаем, что $A \times E_{p,c} = E_{p,c}$. Сходимость итерационного процесса доказана.

III. Проверка результата на устойчивость при различных значения показателя RCA

На рисунке столбцы соответствуют различным значениям показателя RCA , строки – странам. Интенсивность цвета ячеек отражает для страны разницу в занимаемой позиции в двух рейтингах (первый рейтинг – с базовым пороговым значением $RCA=1$, второй – с уменьшенным пороговым значением RCA). Положительное значение указывает на рост места экономики в рейтинге, отрицательное – на его снижение.

Рисунок

Устойчивость результата при уменьшении порогового значения RCA

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Любимов И., Гвоздева М., Лысюк М.** (2018a). Атлас экономической сложности российских регионов // *Вопросы экономики*. № 6. С. 71–91. [**Lyubimov I., Gvozdeva M., Lysyuk M.** (2018a). Atlas of economic complexity, Russian regional pages. *Voprosy Ekonomiki*. 6, 71–91 (in Russian).]
- Любимов И., Гвоздева М., Лысюк М.** (2018b). Использование сетей при составлении рейтинга развития региональных экономик // *Экономическая политика*. № 3. С. 206–233. [**Lyubimov I., Gvozdeva M., Lysyuk M.** (2018b). Measuring regional development with the network theory approach. *Economic Policy*, 3, 206–233 (in Russian).]
- Anderson J., Yotov Y.** (2016). Terms of trade and global efficiency effects of free trade agreements, 1990–2002. *Journal of International Economics*, 99, 279–298.
- Bahar D., Hausmann R., Hidalgo C.A.** (2014). Neighbors and the evolution of the comparative advantage of nations: Evidence of international knowledge diffusion? *Journal of International Economics*, 92 (1), 111–123.
- Balassa B.** (1965). Trade liberalisation and “revealed” comparative advantage. *The Manchester School*, 33 (2), 99–123.
- Bustos S., Gomez C., Hausmann R., Hidalgo C.A.** (2012). The dynamics of nestedness predicts the evolution of industrial ecosystems. *PLoS One*, 7 (11), e49393. DOI: 10.1371/journal.pone.0049393
- Cantor M., Pires M., Marquitti F.** (2017). Nestedness across biological scales. *PLoS One*, 12 (2), e0171691. DOI: 10.1371/journal.pone.0171691
- Cherif B., Hasanov F., Chami R.** (2018). Sharp instrument: A stab at identifying the causes of economic growth. *IMF Working Paper*, No. 18/117.
- Combes P., Mayer T., Thisse J.** (2008). *Economic geography, the integration of regions and nations*. Princeton: Princeton University Press.
- Coscia M., Hausmann R., Neffke F.** (2016). Exploring the uncharted export: An analysis of tourism-related foreign expenditure with international spend data. *CID Faculty Working Paper*. No. 328.
- Gorodnichenko Y., Mendoza E., Tesar L.** (2012). The Finnish Great Depression: From Russia with love. *American Economic Review*, 102 (4), 1619–1644.
- Hausmann R., Hidalgo C.A., Bustos S., Coscia M., Chung S., Jimenez J., Simoes A., Yildirim M.A.** (2011). *The atlas of economic complexity: Mapping paths to prosperity*. Cambridge: Center for International Development, Harvard University and MIT.
- Hausmann R., Hwang J., Rodrik D.** (2007). What you export matters. *Journal of Economic Growth*, 12 (1), 1–25.
- Hausmann R., Klinger B.** (2006). Structural transformation and patterns of comparative advantage in the product space. *CID Working Paper*, No. 128.
- Hausmann R., Klinger B.** (2007). The structure of the product space and the evolution of comparative advantage. *CID Working Paper*, No. 146.
- Hidalgo C.** (2015). *Why information growth, the evolution of order, from atoms to economies*. New York: Basic Books.
- Hidalgo C.A., Hausmann R.** (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106 (26), 10570–10575.

- Kajaste I.** (1992). Soviet Trade and the Finnish Economy. Ministry of Finance of Finland, *Discussion paper No. 33*.
- Kemp-Benedict E.** (2014). *An interpretation and critique of the method of reflections*. Mimeo.
- Lewis A.** (1954). Economic development with unlimited supplies of labor. *The Manchester School*, 22 (2), 139–191.
- McKinsey&Company (2019). *Globalization in transition: The future of trade and value chains*. McKinsey Global Institute.
- Pinheiro F., Alshamsi A., Hartmann D., Boschma R., Hidalgo C.** (2018). Shooting high or low: Do countries benefit from entering unrelated activities? *Papers* 1801.05352.
- Solow R.** (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70 (1), 65–94.
- Timmer M., Erumban A., Los B., Stehrer R., Vries G. de** (2014). Slicing up global value chains. *Journal of Economic Perspectives, American Economic Association*, 28 (2), 99–118.

Поступила в редакцию 15.07.2019

Received 15.07.2019

I.L. Lyubimov

Russian Presidential Academy of National Economy
and Public Administration, Moscow, Russia

I.G. Iakubovskii

Russian Presidential Academy of National Economy
and Public Administration, Moscow, Russia

How to make economic complexity index more complex: Taking export geography into account

Abstract. In this study, we develop a new approach to redefine the economic complexity index (see (Hausmann et al., 2011) for the original method). ECI is a relative measure, which evaluates the progress in the structural transformation of a particular economy. While constructing the new index, we not only take into account how complex two economic structures are, which is reflected in the composition of their export baskets, but also how productive are these structures, which is mirrored in the geographical structures of their exports. Countries with more complex economic structures, still export more complex products, while more productive economies export their products to a large variety of markets, including rich economies. We find that some economies, which the traditional approach, by ignoring the fact that most of their exports go to the not-so-rich markets of their geographical neighbors, overestimates by providing a too high position in the ranking, take significantly lower position after the new approach is applied. This result is more consistent with these economies' recent years' growth rates.

Keywords: *economic complexity, structural transformation, productivity, export geography.*

JEL Classification: O14, O25, O47.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-47-3-1