

Региональная экономика

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ СЕТЕЙ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ РЕЙТИНГОВ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИК

Иван ЛЮБИМОВ, Мария ЛЫСЮК, Маргарита ГВОЗДЕВА

Иван Львович Любимов —
PhD (Econ.), старший научный сотрудник,
РАНХиГС (119571, РФ, Москва,
пр. Вернадского, 82, стр. 1).
E-mail: Lubimov@ranepa.ru

Маргарита Александровна Гвоздева —
научный сотрудник, РАНХиГС
(119571, РФ, Москва, пр. Вернадского, 82, стр. 1).
E-mail: Gvozdeva@ranepa.ru

Мария Владимировна Лысюк —
научный сотрудник, РАНХиГС
(119571, РФ, Москва, пр. Вернадского, 82, стр. 1).
E-mail: lysyuk-mv@ranepa.ru

Аннотация

В работе делается описание метода вычисления нового рейтинга, измеряющего экспортную сложность российских регионов. Хотя этот рейтинг непосредственно измеряет сложность региональных экспортных корзин, косвенно он отражает состояние региональных экономик с разных точек зрения, так как возможность экспортировать товары на международный рынок является результатом наличия в регионе необходимых ноу-хау, оборудования, инфраструктуры и т. д. При этом для расчета рейтинга не требуются многочисленные данные и показатели, характеризующие различные стороны регионального развития, — достаточно лишь данных об экспорте товаров, доступ к которым является открытым. По мнению авторов, метод расчета рейтинга регионов имеет несколько важных преимуществ перед рядом альтернативных рейтингов, отражающих те или иные результаты регионального развития. В частности, при вычислении таких рейтингов нередко используется предположение о взаимозаменяемости различных факторов, которые учитываются при их расчете. Однако зачастую это предположение оказывается слишком сильным: в действительности такие факторы нередко скорее дополняют, чем заменяют друг друга. Кроме того, метод расчета таких рейтингов часто не основан на теоретических механизмах, и выбор тех или иных факторов делается если не произвольно, то во всяком случае без явного указания используемых механизмов отбора показателей. В отличие от методов, применяемых для расчета подобных рейтингов, предлагаемый подход имеет строгую экономическую интерпретацию и не базируется на предположении о взаимозаменяемости включаемых при расчете факторов, а использует для составления региональных оценок только данные об экспорте. При этом представленный рейтинг довольно сильно коррелирует с другими региональными рейтингами, что указывает на то, что он содержит в себе значительную часть отраженной в них информации. Этот результат вновь подчеркивает, уже эмпирически, способность нового рейтинга учитывать разные сферы регионального развития.

Ключевые слова: региональное развитие, экспортная сложность, теория сетей, центральность.

JEL: O100, O140, O180, F10, F14.

Введение

Существующие в России рейтинги регионального развития, как правило, рассчитываются путем усреднения значений различных показателей, при помощи которых измеряются те или иные аспекты развития регионов. В частности, при составлении индекса научно-технического развития РИА-рейтинг¹, показатели, используемые для его расчета, такие как «удельный вес численности высококвалифицированных работников в общей численности квалифицированных работников» или «число компьютеров в организациях на 100 работников», учитываются аддитивно в конечном интегральном индексе, отражающем уровень научно-технологического развития регионов.

Одним из недостатков такого подхода является явное или неявное предположение о взаимозаменяемости составляющих такого интегрального показателя. Например, в случае увеличения числа компьютеров, приходящихся на 100 работников, предполагается, что ими можно заменить работу высококвалифицированных специалистов, в результате увеличив общее значение индекса научно-технического развития. Однако компьютеры и высококвалифицированные работники скорее дополняют, чем заменяют друг друга в процессе выполнения сложных профессиональных задач.

Другим серьезным недостатком таких рейтингов является практически полное отсутствие строгого описания социально-экономического механизма, связывающего составляющие индекса с тем явлением, измерению которого этот индекс служит. В частности, в интегральном показателе могут усредняться как составляющие, относящиеся, скорее, к факторам, за счет влияния которых обеспечивается получение конечных результатов, так и сами конечные результаты. Например, человеческий капитал, благодаря применению которого достигаются результаты научно-технического развития, может аддитивно учитываться при расчете интегрального индекса вместе с размером производимой научно-технической продукции, хотя второй показатель является отражением использования человеческого капитала и одним из основных следствий научно-технического развития. В то же время некоторые важные результаты последнего, такие как публикации научных исследований, могут вообще не использоваться при расчете интегрального индекса. Таким образом, при применении таких методов расчета многие важные методологические вопросы остаются без ответа. Почему при расчете рейтинга учитываются именно такие показатели? Не влияют ли разные составляющие агрегированного показателя друг на друга?

¹ http://riarating.ru/regions_rankings/20161020/630044723.html.

В данной работе мы делаем попытку исправить эти методологические недостатки, предлагая использовать альтернативный метод расчета региональных индексов. Мы используем подход, указанный в серии работ [Hausmann, Klinger, 2006; Hausmann et al., 2007; Hausmann et al., 2011; Hausmann et al., 2014; Hidalgo, 2015; Hidalgo et al., 2007], и измеряем при помощи него сложность экспортных корзин российских регионов. Выбор сложности экспорта как отражения развития региональных экономик не случаен. Сложность экспорта некоторого региона определяется наличием в нем самых разных факторов, включая те из них, которые относятся к сфере научно-технического развития, инвестиционной привлекательности, инфраструктуре и пр. В частности, более высокий уровень инвестиционной привлекательности региона может ускорить накопление физического капитала, а рост уровня научно-технического развития — привести к появлению дополняющих капитал производственных технологий, в результате чего регион может получить и реализовать дополнительные возможности для экспорта технологичных товаров и услуг на международный рынок. Не случайно индекс экономической сложности российских регионов (Economic Complexity Index, далее — ECI), который мы получаем в результате использования данного метода, коррелирует с индексами, которые были выбраны в качестве примеров для сравнения: индексом инновационного развития регионов РФ (ВШЭ), индексом научно-технического развития регионов (РИА-рейтинг), а также индексом инвестиционной привлекательности регионов России («Эксперт РА»)². Уровень корреляции Спирмена между ECI и этими индексами находится в пределах от 0,494 до 0,5984 (см. Приложение 1). Таким образом, ECI можно рассматривать как индекс, дающий интегральную оценку уровню развития региона. Метод, о котором пойдет речь ниже, не использует сильных предположений о взаимозаменяемости разных показателей, в частности потому, что использует лишь данные об экспорте, а также имеет принципиально иное теоретическое устройство, чем другие индексы. Кроме того, метод также имеет хорошо структурированную экономическую интерпретацию.

В следующем разделе представлен контекст, в рамках которого конструируется метод, позволяющий рассчитывать ECI. Затем приводится описание самого метода. После этого рассматриваются ограничения, связанные с данными, используемыми для расчета ECI, а также предлагаются способы преодоления некоторых из этих проблем. В завершение приводятся результаты оценок на основе нового рейтинга, которые и сравниваются с результатами расчетов ряда других региональных индексов.

² Мы выбрали для этой работы те индексы, которые в большей мере, чем другие, потенциально могут быть связаны с научно-техническим развитием (краткое описание рейтингов см. в Приложении 3).

1. Экспортная сложность как отражение развития

Утверждение «Мы есть то, что мы экспортируем»³, разумеется, не отражает всего разнообразия экономического развития — крайне сложного и продолжительного процесса, состоящего не только из технологической модернизации, но и других ее видов, включая институциональную и социальную. Например, Китай является одним из главных мировых экспортеров промышленных товаров, что отражает сравнительно высокий уровень его технологической модернизации, однако доступ к современным медицинским услугам в этой стране ограничен по сравнению с медицинским обслуживанием, доступным жителям Бельгии или Дании. Экспортером технологически сложных товаров может быть страна с высоким уровнем неравенства или недопустимо частым нарушением прав человека. Однако если говорить не об отдельных примерах, а о статистической ассоциативной связи между уровнем экономического развития и сложностью экспорта некоторой страны, то такая связь, безусловно, обнаруживается [Hausmann et al., 2011]. Более развитые страны при прочих равных условиях экспортируют, во-первых, большее количество разных товаров и услуг, а во-вторых, значительная часть этого экспорта состоит из технологически сложных товаров и услуг [Bustos et al., 2012]⁴.

Способность производить более сложные товары является отражением производственных и экспортных факторов, которые более развитые страны смогли создать за длительные периоды времени.

³ Формулировка принадлежит Центру экономического развития Школы Кеннеди Гарвардского университета (CID Kennedy School, Harvard University).

⁴ Стоит подчеркнуть, что в этих рассуждениях требуется соблюдать осторожность, так как в современном мире всё больше товаров создается не внутри одной экономики, а в результате кооперации компаний, расположенных в разных странах мира (см.: [Timmer et al., 2014]). Например, одна страна добывает сырье и создает из него материалы, необходимые для выпуска некоторого товара, другая обладает ноу-хау в выпуске ключевых блоков и механизмов, являющихся важнейшей частью этого товара, третья экономика производит периферийные блоки для этого товара, а четвертая, наделенная недорогой и не слишком образованной рабочей силой и проходящая через один из начальных этапов индустриализации, занимается финальной сборкой товара из блоков и механизмов, импортированных в нее из второй и третьей стран, после чего готовый товар отправляется на мировой рынок к покупателям. Конечно, этот пример упрощает реальность, в которой в производстве и экспорте товаров часто участвуют гораздо больше стран, чем четыре.

Таким образом, экономики занимаются не только производством товаров целиком, но всё в большей степени — выпуском отдельных блоков или выполнением отдельных технологических операций, составляющих звенья в международных цепочках добавленной стоимости. Как правило, более развитые страны фокусируются на более сложных звеньях в цепочках добавленной стоимости, в то время как менее развитые экономики часто отвечают за периферийные этапы создания товаров, в частности занимаются добычей сырья и его переработкой, а также сборкой конечных товаров из импортированных блоков и деталей. Иными словами, в современном мире страны не только соперничают друг с другом на международных рынках товаров и услуг, но и, кооперируясь, дополняют друг друга, занимаясь производством деталей, блоков и выполнением технологических операций, без которых гражданские самолеты ведущих авиастроителей не могут подняться в небо, компьютеры — быстро выполнять сложные вычисления, а кассовые аппараты в магазинах — считывать штрих-коды.

Для выпуска и экспорта сложных товаров необходим капитал и технологии, инвестиции в которые, скорее, будут сделаны в экономике с более надежной защитой прав собственности, эффективной промышленной политикой, достаточным человеческим капиталом, инфраструктурой, доступным банковским финансированием, эффективными маркетинговыми технологиями и прочими производственными и экспортными ингредиентами. Эти ингредиенты позволяют конвертировать знания о том, как производить товар, то есть производственное ноу-хау, в сам товар. Создание этих ингредиентов — длительный, дорогостоящий и сложный процесс, продолжающийся десятилетия и составляющий значительную часть процесса экономического развития и модернизации.

Однако обладание продвинутыми экспортными ингредиентами — современными институтами, инфраструктурой, человеческим капиталом и пр. — означает, что некоторая экономика также имеет возможность производить и экспортировать не только сложные, но и простые товары. Например, если страна может экспортировать целиком атомную электростанцию, включая не только корпус и реакторы, но и системы управления и безопасности, электронику и прочие блоки и системы, то такая экономика сможет также экспортировать и другие сложные товары, например компьютеры, мониторы, системы пожаротушения и т. п., а также простые товары, в частности текстиль, пластиковые изделия, калькуляторы и пр. Однако обратное вряд ли верно: умея изготавливать и экспортировать текстиль или пластиковые изделия, имея лишь то ноу-хау, которое необходимо для выпуска и экспорта этих и других простых товаров, экономика не сможет экспортировать компьютеры, современные системы безопасности и атомные электростанции.

Таким образом, способность производить одни сложные товары часто подразумевает способность производить и другие более или менее сложные товары. Иными словами, сложные товары имеют большее число технологических связей с другими товарами. В то же время простые товары, использующие простые ингредиенты вроде умений рабочих текстильных предприятий, простого полуавтоматического оборудования, простых систем контроля качества, в гораздо меньшей мере связаны с другими товарами, в особенности со сложными. Простые товары главным образом связаны с простыми же товарами из тех же товарных групп. Например, выпуск поло, вероятно, в значительной мере использует те же ингредиенты, что и выпуск футболок.

Итак, используя терминологию теории сетей, можно сказать, что сложные товары обладают свойством более высокой центральности [Barabási, 2016]. Чтобы сделать это утверждение более интуитивно понятным, сравним товарное пространство, образуемое связанными друг с другом товарами, с миром шоу-бизнеса.

Представим себе, что на рынок шоу-бизнеса выходит новый артист. С кем ему выгоднее устанавливать связи: с таким же новичком, как и он сам, или со звездой, имеющей национальную, а возможно, и мировую известность? Хотя установление карьерных связей может показаться не слишком приятным занятием, прагматизм подсказывает, что выбор второго варианта более выгоден: количество связей, которыми располагает звезда, велико, и карьерные возможности, которые открываются в случае присоединения к ближнему кругу знакомств знаменитости, несравнимы с теми, которые может дать установление связи с малоизвестным новичком. Даже если устанавливается не прямое, а косвенное или даже отдаленное знакомство — через третьих или четвертых лиц, знакомых знакомых, — это всё равно более выгодно, так как увеличивает собственную сеть новичка и делает его на шаг ближе к центральной части сети, в которой располагаются звезды с их связями и возможностями [Barabási, 2016]. Самое важное в этой метафоре то, что звезды шоу-бизнеса имеют центральное расположение в соответствующей сети, что обеспечивает им максимальное количество связей.

В товарном пространстве роль одной из таких «звезд» играет атомная электростанция: за счет очень большого ноу-хау, которым обладают ее экспортеры, она связана с большим числом других товаров, как простых, так и сложных. Экономическое развитие, на начальном этапе которого находится простая, малотехнологичная экономика, в значительной мере заключается в процессе установлении связей с более сложными товарами, приближенными к «звездам», — производству электроники, автомобилестроению, атомному машиностроению и т. п.

Как и в случае со звездой шоу-бизнеса, установление таких связей, вероятно, будет представлять собой постепенный и долгий процесс. Ведь и прямое знакомство со звездой шоу-бизнеса — это, скорее всего, очень редкая удача, результат невероятного везения. Представляется более правдоподобным, что сначала новичку удастся познакомиться с намного менее известным артистом, войти в круг знакомых последнего, после чего, потратив некоторое время на получение опыта, приобретение новых компетенций и связей, он может попробовать заинтересовать более известного актера, войти уже в его круг, снова получить новые опыт, знания и связи и т. д.

Так же и с экспортным развитием. В истории, бывало, происходили такие маловероятные события, как сравнительно быстрое освоение сложнейших технологий. В частности, из одной страны в другую могут быть перемещены целые научные и конструкторские кластеры, более развитая страна может построить атомную электростанцию для другой, менее развитой, и передать последней значительную часть соответствующих технологий. Однако такие события скорее составляют

исключения, становящиеся результатом геополитических событий или промышленного шпионажа [Glitz, Meyersson, 2016]. Как правило, накопление ноу-хау представляет собой постепенный процесс, заключающийся в том, что страны осваивают производства, смежные с теми, что были освоены ими ранее. Имея ноу-хау в производстве текстиля, страна имеет высокие шансы начать также производить обувь. Затем, получив опыт простой индустриализации за счет текстильной и обувной отраслей, в которых главным образом требуются дешевый труд и простое оборудование, развивающиеся экономики получают возможность начать сборку электроники, отвечая лишь за этот несложный технологический этап в международной цепочке добавленной стоимости. После чего постепенно, в течение многих лет, по мере накопления в экономике более развитого человеческого капитала и других производственных ингредиентов страна может освоить более сложные блоки в выпуске электроники, постепенно добравшись до одной из «звезд», таких как изготовление ключевых блоков компьютеров. Добавить же сразу к экспорту текстиля выпуск компьютеров, минуя несколько этапов процесса экспортного развития, вряд ли удастся: для этого у экономики нет нужных производственных ингредиентов, которые, как уже отмечалось, накапливаются постепенно и тяжело, в течение многих лет и даже десятилетий.

Сетевая картина, в которой экспортируемые на международном рынке товары могут быть представлены в виде сети, состоящей из центральной части с большим числом связей, включающей сложные товары, и периферийной — с меньшим числом связей, включающей простые товары, может быть охарактеризована не только путем словесного описания, но и при помощи данных об экспорте. Знание о том, какие товары и в каком стоимостном размере экспортируются странами и регионами, позволяет получить сразу несколько важных результатов. Мы можем определить, какие товары являются более центральными, относятся к экспортным «звездам», посчитав число прямых и косвенных связей, которые существуют у этих товаров с другими товарами, как сложными, так и простыми. Таким образом, по числу связей дается оценка сложности товаров. Зная, какие товары экспортирует некоторая экономика, а также оценку сложности этих товаров, можно оценить и сложность экспорта экономики в целом. Благодаря этому появляется возможность составить рейтинг экспортной сложности экономик мира или регионов — в зависимости от того, что требуется оценить и какие данные имеются в наличии⁵. Таким образом, применительно к российским регионам

⁵ Методологическое и содержательное представление об экспортируемых товарах и связях между товарами, описанное выше, было отражено в Атласе экономической сложности, разработанном Центром международного развития Школы Кеннеди Гарвардского университета (<http://atlas.cid.harvard.edu/>). Атлас экономической сложности содержит визуализацию про-

можно построить индекс их сложности, отражающий их развитие с самых разных точек зрения, включая уровень инвестиционной привлекательности и научно-технического развития.

2. Метод

Метод, о котором подробнее говорится далее, связан с понятием центральности по собственному вектору из теории сетей. Прежде чем перейти непосредственно к изложению метода, мы дадим интуитивное объяснение измерению центральности по собственному вектору⁶.

Допустим, узел v в некоторой сети, например в сети звезд шоу-бизнеса, о которой говорилось ранее, имеет прямые связи с узлами большей или меньшей величины, которые можно отразить при помощи

дуктового пространства (<http://atlas.cid.harvard.edu/explore/network/?country=77&partner=undefined&product=undefined&productClass=HS&startYear=undefined&target=Product&year=2016>), в котором экспортируемые в мире товары отражены при помощи узлов, а их технологическая близость — при помощи связей. Кроме того, авторы из Школы Кеннеди в Гарварде оценивают экономическую сложность стран мира. Экспорт каждой из стран, включенных в Атлас экономической сложности, отражен в продуктовом пространстве при помощи маркировки тех товаров, которые рассматриваемая страна продает на международном рынке на уровне выявленных сравнительных преимуществ, определенных при помощи формулы (3), приведенной ниже. Наконец, атлас дает представление о том, за счет каких экспортных групп товаров та или иная экономика может диверсифицировать свой экспорт. Главное ограничение данного метода заключается в том, что данных, позволяющих разделить стоимость товара на стоимостные звенья в цепочке добавленной стоимости, не существует для высокого уровня товарной детализации. Поэтому оценки сложности экономик получаются в определенной мере смещенными. Однако такая оценка будет становиться все точнее при появлении более детальных данных о стоимости звеньев в цепочке добавленной стоимости.

Мы решили применить метод, используемый для составления Атласа экономической сложности, к экономикам российских регионов, оценив сложность их внешнеэкономического экспорта, а также возможность его диверсификации. Для этого был разработан Атлас экспортной сложности российских регионов (далее — Атлас) (<https://www.mosgrowthlab.com/atlas>), в котором оценен уровень сложности экспортных корзин региональных экономик и отражена структура экспорта российских регионов. Мы также включили в Атлас визуализацию экспорта российских регионов при помощи маркировки в мировом продуктовом пространстве, состоящем из экспортируемых в мире товаров и технологических связей между ними, тех товаров, которые экспортируются каждым регионом на уровне выявленных сравнительных преимуществ. Наконец, была проведена оценка того, за счет каких товарных групп наиболее вероятна экспортная диверсификация каждого региона. Хотя в Атласе указаны все эти результаты, в этой работе мы фокусируемся на индексе экономической сложности российских регионов ЕСИ и его сравнении с другими индексами.

⁶ В работе [Bonacich, 2007] показываются преимущества меры центральности по собственному вектору относительно других простых мер, таких как центральность по степени (degree centrality) и центральность по посредничеству (betweenness centrality): если в сети существуют вершины с большим числом связей, связанные с большим числом вершин с маленьким числом связей, или, наоборот, существует несколько вершин с маленьким числом связей, связанных с вершинами с большим числом связей, то центральность по собственному вектору лучше определяет центр сети, тогда как в случаях других мер центральности результаты получаются более смещенными. В то же время существуют более сложные показатели, такие как центральность Каца (Katz centrality), которая применяется для направленных ациклических графов, где не применима центральность по собственному вектору [Newman, 2010], или диффузионная центральность (diffusion centrality), которая моделирует распространение сплетен и важна в случае нескольких периодов распространения информации [Banerjee et al., 2014]. С полным перечнем видов центральностей и их характеристиками можно ознакомиться в работе [Bloch et al., 2016].

вектора, элемент $a_{i,v}$, которого принимает значение 1, если связь между узлом v и узлом i существует, и 0 в обратном случае. Соответственно, для каждого из узлов, с которыми узел v имеет прямую связь, можно идентифицировать и посчитать количество связей, установившихся между таким узлом и другими узлами, «друзьями друзей» узла v . Таким образом, меру центральности узла v , обозначенную при помощи x_v , можно определить следующим образом:

$$x_v = \frac{1}{\lambda} \sum_i a_{i,v} x_i, \quad (1)$$

где λ — положительный скаляр. Переопределяя выражение (1) в векторных и матричных обозначениях, мы получаем определение собственного вектора:

$$Ax = \lambda x. \quad (2)$$

Если матрица A из левой части выражения (2), отражающая структуру рассматриваемой сети, может быть преобразована таким образом, что будет удовлетворять условиям теоремы Фробениуса — Перрона, о которой подробнее будет говориться дальше, то наибольшему по модулю собственному числу этой матрицы соответствует единственный (с точностью до константы) собственный вектор, имеющий строго положительные координаты. Этот вектор используется в качестве меры центральности сети⁷. Преимущество этой меры центральности над некоторыми альтернативными мерами центральности, в частности центральности по степени, состоит в том, что последняя учитывает лишь прямые связи, то есть непосредственных «друзей» некоторого узла, в то время как центральность по собственному вектору также учитывает и косвенные связи, то есть не только прямых «друзей», но и «друзей друзей» и т. д.

Для определения центральности товаров и регионов в этой работе используется итерационный метод, описание которого содержится в статье [Hausmann et al., 2011], а также в работе [Kemp-Benedict, 2014]. Метод позволяет оценить как сложность и потенциал усложнения экспортных корзин, так и технологическую сложность отдельных товаров. Первым шагом в этом методе является построение регио-

⁷ Такая мера центральности может быть применена к содержательно близким, но отличающимся друг от друга сетям с целью сопоставления центральности в таких сетях. В частности, сеть, отражающая экспортные возможности стран, меняется год от года: некоторые страны выходят на новые экспортные рынки, другие, напротив, утрачивают на них свои позиции. Успешные страны через два-три десятилетия могут существенно улучшить свое присутствие на экспортных рынках и таким образом увеличить уровень экспортной центральности. Это найдет свое отражение в координатах соответствующего собственного вектора, которые можно будет сопоставить с координатами более раннего собственного вектора.

нально-продуктовой матрицы M_{cp} , в которой индекс c обозначает наименование страны или региона, а второй индекс p соответствует наименованию продукта. Элемент этой матрицы равен 1, если некоторая страна имеет выявленные сравнительные преимущества в производстве данного продукта, и 0 в противном случае. Для ответа на вопрос, существуют ли у той или иной страны выявленные сравнительные преимущества в экспорте некоторого товара, используется следующее выражение, указанное в [Balassa, 1965]:

$$RCA = \frac{\frac{x_{c,i}}{\sum_i x_{c,i}}}{\frac{\sum_c x_{c,i}}{\sum_{c,i} x_{c,i}}}, \quad (3)$$

где $x_{c,i}$ обозначает стоимость экспорта товара i , экспортированного страной c . В выражении (3) числитель равен доле экспорта товара i страной c в общем экспорте страны c ; знаменатель же равен доле товара i в суммарном мировом экспорте. Иными словами, выражение (3) отражает отношение доли некоторого товара в экспорте данной страны к доле этого товара в общем мировом экспорте. Если значение данного показателя превышает 1, то говорят, что страна c имеет выявленные сравнительные преимущества в производстве товара i или, иными словами, экспортирует его на уровне выявленных сравнительных преимуществ.

В частности, матрица M_{cp} может выглядеть так, как показано в табл. 1 (пример взят из [Hausmann, Hidalgo, 2009]).

Т а б л и ц а 1

Пример регионально-продуктовой матрицы

Страны/ продукты	p1	p2	p3	p4
c1	1	1	1	1
c2	0	1	0	0
c3	0	0	1	1
c4	0	0	0	1

В этом примере страна c1 имеет выявленные сравнительные преимущества в производстве всех четырех товаров, тогда как страна c4 — только в производстве товара p4.

Исходными данными для итерационного метода⁸ являются два простых показателя. Во-первых, это показатель диверсификации

⁸ Этот метод также получил название Method of Reflections [Kemp-Benedict, 2014].

экономики, который отражает то, какое количество товаров может производить данная страна или регион. Он рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{c,0} = \sum_p M_{cp}. \quad (4)$$

Во-вторых, это показатель частоты, с которой некоторый товар встречается в экспортных корзинах, причем на уровне выявленных сравнительных преимуществ. Этот показатель рассчитывается следующим образом:

$$k_{p,0} = \sum_c M_{cp}. \quad (5)$$

Стоит обратить внимание на то, что $k_{p,0}$ является вектором-строкой, так как в выражении (5) суммируются строки матрицы M_{cp} .

Показатели последующих итераций рассчитываются по следующим формулам⁹:

$$k_{c,N} = \frac{1}{k_{c,0}} \circ M_{cp} k_{p,N-1}^T, \quad (6)$$

$$k_{p,N}^T = \frac{1}{k_{p,0}^T} \circ M_{cp}^T k_{c,N-1}. \quad (7)$$

Символ $\circ$ указывает на поэлементное умножение вектора и матрицы или вектора и вектора. В последнем случае такое произведение соответствует произведению Адамара.

Зачем нужны последующие итерации? Почему нельзя ограничиться такими простыми показателями, как $k_{c,0}$ и $k_{p,0}$?

Дело в том, что простые показатели, такие как уровень диверсификации, определенный при помощи выражения (4), являются несовершенными мерами экономической сложности. Две экономики могут экспортировать одинаковое число товаров, однако при этом сложность экспортных корзин двух экономик может существенно различаться. На сложность экспорта может до некоторой степени указывать показатель (5): если одна экономика экспортирует товар, который также экспортируют многие другие экономики, то, скорее всего, такой товар является простым — ведь его могут производить почти все страны или регионы, а значит, соответствующее ноу-хау воспроизвести легко. Напротив, если некая экономика экспортирует товар, который не экспортирует никакая другая, то этот товар может быть сложным. Комбинируя показатели (4) и (5), можно определить, насколько распространенные или, наоборот, редкие товары экспор-

⁹ Стоит отметить, что в формулах (6) и (7) используется поэлементное произведение: при перемножении матрицы на столбец/строку каждый столбец/строка матрицы умножается на соответствующий(ую) столбец/строку поэлементно.

тирует та или иная экономика. Но и на этом уровне сложности показателя не достигается желаемого уровня точности: ведь редкий товар может быть как технологически сложным благом, так и всего лишь редким природным ресурсом. Чтобы разделять такие случаи, итерационный процесс продолжается¹⁰. Общая идея заключается в следующем: если данный товар, который экспортирует малое число экономик, входит в экспортную корзину страны, куда помимо него входит значительное число сложных товаров, то такой товар, скорее всего, будет являться сложным. Напротив, если данная экспортная корзина включает в себя в основном простые товары, то данный товар, скорее, является редким и простым. Если на основе экспортной корзины данной страны сложно сделать какой-то определенный вывод, то стоит посмотреть на экспортную корзину другой, похожей, страны, которая включает в себя товары, экспортируемые первой страной, и воспользоваться сформулированным выше критерием. Наглядным примером могут служить алмазы и атомные электростанции: алмазы экспортирует малое число экономик, однако с помощью них нельзя произвести другие товары, а значит, данный товар является простым; в противоположность этому, атомная электростанция позволяет экспортировать ряд более простых товаров (например, ингредиентов, из которых она состоит), а значит, она является сложным товаром.

Подводя промежуточные итоги, можно сказать, что итерационный метод заключается во взаимной подстановке все более усложняющихся показателей экономической и продуктовой сложности, которые на самом начальном этапе определяются простыми показателями (4) и (5).

С помощью подстановки (7) в формулу (6) получаем, что диверсификация экономики c на N -м итерационном шаге характеризуется следующим образом:

$$k_{c,N} = \frac{1}{k_{c,0}} \circ M_{cp} \frac{1}{k_{p,0}^T} \circ M_{cp}^T k_{c,N-2}. \quad (8)$$

Выражение (8) можно записать в матричном виде следующим образом:

$$k_N = W k_{N-2}, \quad (9)$$

где

$$W_{cc}' = \frac{1}{k_{c,0}} \circ M_{cp} \frac{1}{k_{p,0}^T} \circ M_{cp}^T. \quad (10)$$

Каждая ячейка матрицы W_{cc}' отражает уровни «похожести» экономик с точки зрения их экспортных корзин; при этом каждый товар

¹⁰ На сайте лаборатории исследований проблем экономического роста ИПЭИ РАНХиГС приводится вариант численных расчетов, рассматривающий первые три итерации для примера, приведенного выше: https://docs.wixstatic.com/ugd/9db2e8_eb616f89360047fdaff667d77fefe84c.pdf.

взвешивается при помощи величины, обратной $k_{p,0}$, отражающей до определенной степени сложность этого товара. Мера «похожести» экономик нормализуется на величину, обратную уровню диверсификации экономики, $k_{c,0}$, до определенной степени отражающую сложность экономик (см. [Kemp-Benedict, 2014]).

Эмпирически доказано [Hausmann et al., 2011], что последовательность (9) сходится, что позволяет перейти в уравнении (9) к пределу. В результате получается следующее выражение:

$$k = Wk, \quad (11)$$

где k — предел последовательности $k_{c,N}$. Он является собственным вектором матрицы W , которому по построению соответствует собственное значение 1.

По построению матрица W обладает свойством неприводимости¹¹. По теореме Фробениуса — Перрона для такого класса матриц существует единственный собственный вектор с положительными значениями (с точностью до коэффициента) и его собственное число, равное 1 в рассматриваемом случае, является наибольшим из его собственных чисел. Однако собственный вектор, соответствующий собственному числу, равному 1, не информативен, так как он состоит из одинаковых значений. Такой результат получается из-за нормировки, используемой в выражении (10)¹². Поэтому в данной работе используется собственный вектор, соответствующий второму по величине собственному значению, так как этот вектор несет в себе наибольшее количество информации¹³.

Итоговым показателем уровня экономической сложности является центрированный и нормированный собственный вектор, соответствующий второму по величине собственному значению, который рассчитывается при помощи следующего выражения:

$$ECI = \frac{\bar{K} - \langle \bar{K} \rangle}{stdev(\bar{K})}, \quad (12)$$

где $\bar{K}$ — собственный вектор матрицы (10), соответствующий второму по величине собственному значению, $\langle \rangle$ обозначает среднее значение, а $stdev$ — стандартное отклонение $\bar{K}$.

¹¹ В терминах теории сетей это свойство может быть проинтерпретировано следующим образом. Если номера строк и столбцов соответствуют отдельным странам, то любая квадратная матрица может характеризовать сеть, где ненулевое значение элемента матрицы означает, что две страны связаны друг с другом. Матрица W называется неприводимой, если существует путь между двумя странами в соответствующей сети. Если бы она не была неприводимой, то существовали бы страны, которые бы экспортировали ряд товаров строго внутри своей коалиции. Хотя такая ситуация теоретически возможна, она не была обнаружена в данных.

¹² Доказательство результата приведено в Приложении 2.

¹³ Доказательство результата приведено в Приложении 2.

Для того чтобы в свою очередь рассчитать индекс продуктовой сложности, необходимо подставить выражение (6) в (7), после чего взять собственный вектор матрицы, аналогичной матрице W'_{cc} , соответствующий второму по величине собственному значению:

$$W'_{pp} = \frac{1}{k_{p,0}^T} \circ M_{cp}^T \frac{1}{k_{c,0}} \circ M_{cp}. \quad (13)$$

Итоговым показателем уровня продуктовой сложности является центрированный и нормированный собственный вектор, соответствующий второму по величине собственному значению:

$$PCI = \frac{\bar{Q} - \langle \bar{Q} \rangle}{stdev(\bar{Q})}, \quad (14)$$

где $\bar{Q}$ — собственный вектор матрицы (14), соответствующий второму по величине собственному значению, $\langle \rangle$ обозначает среднее значение, а $stdev$ — стандартное отклонение $\bar{Q}$.

3. Данные

Одной из проблем, с которыми мы столкнулись при расчете ЕСІ для российских регионов по методу, изложенному выше, является нехватка данных как в количественном, так и в качественном отношении.

Прежде всего данных о внешнеэкономическом экспорте российских регионов недостаточно для того, чтобы делать точные оценки экономической сложности регионов с помощью выражения (12) и продуктовой сложности — с помощью выражения (14). В случае ограниченных данных подобные оценки являются чрезмерно смещенными и содержат не так уж много полезной информации. Эту ситуацию можно сравнить с нехваткой данных в случае использования эконометрического анализа. В том случае, если для эконометрической оценки используется лишь сравнительно небольшая часть данных, такие оценки позволяют сделать заключения лишь относительно этой самой части данных. Такие оценки оказываются смещенными, потому что отражают не более полную дисперсию, содержащуюся в репрезентативной выборке, а лишь ее часть, определяемую доступной подвыборкой. Похожие результаты складываются и при оценке экономической сложности регионов, если используются только региональные данные. В частности, некоторые сравнительно простые товары, такие как фрукты, оказываются слишком переоцененными, так как из-за климатических особенностей могут редко встречаться в экспортных корзинах большинства регионов, чем будут отчасти похожи на сложные товары, которые также встречаются сравнительно редко, но по технологическим, а не климатическим причинам.

Проблема недостаточности данных в работе решается следующим образом. К данным Федеральной таможенной службы (ФТС) России за 2015 год добавляются данные о международном экспорте стран мира, предоставленные центром BACI–CEPII за этот же год [Любимов и др., 2017]. База BACI была выбрана потому, что центр CEPII актуализирует данные об экспорте стран, содержащихся в базе COMTRADE, используя страновые отчеты об экспорте и импорте товаров. Последнее позволяет, во-первых, расширить информацию о внешнеэкономической деятельности каждой страны, а во-вторых, до некоторой степени решить проблему учета реэкспорта.

Добавление данных о международном экспорте позволяет компенсировать исходную нехватку данных. В частности, теперь товары, по географическим причинам редко встречающиеся в экспортных корзинах российских регионов, отражены также и в экспортных корзинах стран, благодаря чему удастся существенно скорректировать оценку сложности таких товаров. В результате оценки экономической и продуктовой сложности на основе формул (12) и (14) получаются намного более точными¹⁴. В частности, при расчете индекса продуктовой сложности, отражающего рейтинг товаров по уровню их технологической сложности, в случае использования одних лишь данных о внешнеэкономическом экспорте российских регионов в верхней части рейтинга среди товаров из таких групп, как «Машиностроение» и «Капиталозатратные товары», можно обнаружить простые товары, относящиеся к экспортным группам: «Зерновые», «Сельскохозяйственные товары»¹⁵ и «Трудозатратные товары». В том же случае, когда индекс продуктовой сложности рассчитывается на основании как данных о внешнеэкономической торговле регионов, так и данных об экспорте стран мира, получающийся рейтинг не содержит таких неточностей. То же самое можно сказать и об индексе ЕСИ¹⁶, отражающем технологическую сложность экспортных корзин регионов. Если для расчета этого индекса используются лишь данные об экспорте регионов, то в верхней части рейтинга, где указаны наиболее сложные региональные экономики, располагаются регионы, которые скорее являются средними с точки зрения сложности, а в нижней части рейтинга среди действительно отстающих регионов вновь располагаются средние по уровню экономической сложности регионы. ЕСИ, рассчитанный на основе комби-

¹⁴ PCI товаров, рассчитанных по данным только российских регионов и по совместным данным регионов и стран, можно посмотреть на сайте лаборатории исследований проблем экономического роста ИПЭИ РАНХиГС: https://docs.wixstatic.com/ugd/9db2e8_818683b7d9464203ae4035d10b934ee3.pdf.

¹⁵ В эту группу не входят зерновые.

¹⁶ ЕСИ, а также индексы и рейтинги регионов, которые анализировались в статье, можно посмотреть на сайте лаборатории исследований проблем экономического роста ИПЭИ РАНХиГС: https://docs.wixstatic.com/ugd/9db2e8_25a52223bc82443c9be9b67b70c55b92.pdf.

нированных — региональных и мировых — данных, дает более точные результаты. Кроме того, ЕСІ, рассчитанный на основе комбинированных данных, гораздо лучше коррелирует с альтернативными индексами, чем ЕСІ, использующий лишь региональные данные (см. Приложение 1).

Еще одним недостатком имеющегося массива данных является отсутствие статистики об экспорте услуг, хотя услуги, как более, так и менее технологичные, занимают важное место в экспорте многих экономик. В некоторых работах делаются попытки преодолеть это ограничение, но они требуют отдельного описания, и пока данные по экспорту услуг всё равно недостаточны для того, чтобы быть встроенными в используемый метод [Coscia et al., 2016].

Кроме того, данные о межрегиональной торговле остаются недоступными, что может приводить к занижению оценки уровня сложности общего регионального экспорта, включающего как международный экспорт, так и межрегиональный¹⁷. Однако эта проблема сложнее, чем может показаться на первый взгляд. Дело в том, что возможность продавать товар на внешних рынках в той или иной мере является показателем его качества. В случае товаров, поступающих на внутренний рынок, оснований для уверенности в их качестве значительно меньше в условиях усиливающегося протекционизма. В то же время на внутреннем рынке могут продаваться и вполне качественные товары, которые не экспортируются не из-за недостаточного качества, а из-за высоких транспортных издержек. К сожалению, даже если бы данные о межрегиональном экспорте были доступны, отделить недостаточно качественные товары от качественных было бы крайне сложно. Если же измерять экономическую сложность региона без удаления данных о недостаточно качественных товарах, то оцениваться будет уже не экспортная, а общая промышленная сложность региона. Но в таком случае косвенно оцениваться будут уже не только производственные ингредиенты некоторой экономики,

¹⁷ С точки зрения оценки общей промышленной сложности регионов (возможности региона производить промышленные товары) отсутствие данных о межрегиональной торговле является серьезной проблемой. Ее, конечно, можно смягчить при помощи международных данных, но только с точки зрения точности измерения экспортной сложности российских регионов. Однако общую промышленную сложность регионов на одних лишь экспортных данных оценить невозможно. Из-за отсутствия данных по межрегиональной торговле надежных способов оценки общей промышленной сложности не существует. Однако приблизительные оценки могут быть получены, если использовать данные о фактическом расположении производств российских компаний. Тогда матрица M_{cp} , пример которой приведен в табл. 1, может содержать данные о выявленных сравнительных преимуществах, оцененных путем подсчета числа предприятий, расположенных в регионе и относящихся к той или иной отрасли [Gao, Zhou, 2017]. Однако такие данные вновь будут искажены проблемой несоответствия между регионом-экспортером и регионом-производителем с той лишь разницей, что экспортом теперь будет считаться продажа товара на внутреннем рынке за пределами экспортирующего региона. Однако исправление этого недостатка данных требует значительных дополнительных усилий, результаты которых будут отражены в последующих исследованиях.

но и другие явления и результаты, в частности переговорные возможности лоббистов, благодаря которым, возможно, ограничивается конкуренция, а не создаются производственные факторы. Поэтому в целом включение данных о межрегиональной торговле в оценку экономической сложности региона не является очевидно необходимым шагом и требует более тщательного рассмотрения. Однако для расчета промышленного ЕСІ, который может быть рассчитан при помощи этих данных, и сопоставления его с другими индексами, упоминаемыми в настоящей работе, эти данные важны. В заключении мы укажем, каким образом такие данные могут быть получены.

Еще одной проблемой, связанной с данными, являются расхождения в статистике Федеральной таможенной службы между сведениями о местоположении компании с точки зрения экспорта ее продукции и местоположении с точки зрения производства этой продукции. В частности, многие компании зарегистрированы в Москве, и именно Москва отображается в данных ФТС в качестве региона-экспортера, в то время как производство соответствующих товаров фактически расположено в других регионах. Для решения этой проблемы мы попытались выявить соответствие между регионом-производителем и регионом-экспортером с помощью базы таможенных деклараций infomozaika.ru. В случае если товар был произведен в регионе, отличном от региона-экспортера, стоимость поставляемой за рубеж продукции экспортера уменьшалась и на эту же сумму увеличивался экспорт региона — фактического производителя. В некоторых случаях, когда было точно известно, что регион не производит экспортируемый товар, но не удавалось выявить производителя, сумма экспорта данного товара вычиталась из общей суммы экспорта региона. Например, согласно данным ФТС Москва является экспортером нефти, а Брянская область — природного газа, однако данные товары в этих регионах не производятся, а определить истинного производителя не представляется возможным. В итоге из экспорта Москвы была исключена сумма экспорта нефти, а из экспорта Брянской области — газа. Стоит, однако, подчеркнуть, что полностью избавиться от проблемы несоответствия региона-экспортера региону-производителю не удалось ввиду несовершенства данных.

Наконец, как и в случае с данными, используемыми в работе [Hausmann et al., 2011], остается нерешенной проблема разделения стоимости товаров на отдельные стоимостные звенья в цепочке добавленной стоимости. На детальном уровне таких данных не существует ни для российских регионов, ни для стран мира. В случае если деталь производится в одном регионе, а конечный товар, включающий в себя эту деталь, собирается в другом регионе, откуда отправляется на международный рынок, вся стоимость экспорта этого товара учитывается только для второго региона.

Таким образом, в работе удалось решить проблему нехватки данных, а также частично решить проблему несоответствия между регионами-экспортерами и регионами-производителями. В то же время проблемы разделения цен товаров на звенья цепочки добавленной стоимости, а также учета торговли услугами остаются нерешенными, что может приводить к некоторому смещению оценок.

4. Результаты

Результаты оценки экономической сложности российских регионов при помощи индекса ЕСІ представлены на рис. 1. Можно увидеть, что более сложными являются экономики западных и центральных регионов, менее — южных. Северные и восточные регионы имеют невысокий уровень экономической сложности. Максимальные значения ЕСІ — у Московской области, Москвы, Свердловской и Нижегородской областей, Санкт-Петербурга, минимальные — у Приморского края и Мурманской области, Еврейского автономного округа, Республики Алтай и Забайкальского края.



Примечание. Более плотный цвет соответствует большему значению ЕСІ.

Рис. 1. Индекс ЕСІ российских регионов

Хотя метод, использованный для оценки экономической сложности регионов, кардинально отличается от методов, при помощи которых оценивались индекс инновационного развития субъектов РФ (НИУ ВШЭ), индекс научно-технического развития регионов (РИА-рейтинг), индекс инвестиционной привлекательности регио-

нов России («Эксперт РА»), результаты оценок этих индексов получились сравнительно близкими. Такой вывод можно сделать, в частности, на основании табл. 1, где приведены корреляции Спирмена между ЕСІ и другими индексами, отражающими научно-техническое развитие и инвестиционную привлекательность российских регионов.

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициента ранговой корреляции Спирмена между рейтингами

ЕСІ Индекс НИУ ВШЭ	ЕСІ Индекс РИА-рейтинг	ЕСІ Индекс «Эксперт РА»
0,5204	0,5984	0,4939

Примечание. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между рейтингами рассчитан без учета Республики Крым, Чукотского автономного округа и Еврейской автономной области.

Распределение значений индексов для российских регионов показано на рис. 2–4.



Примечание. Более плотный цвет соответствует более высокому месту в рейтинге. Республика Крым в рейтинге не указана.

Рис. 2. Рейтинг инновационного развития субъектов РФ (НИУ ВШЭ)

Как уже отмечалось выше, существование корреляции между ЕСІ и другими индексами не случайно: ЕСІ является интегральным индексом, отражающим наличие в российских регионах различных



Примечание. Более плотный цвет соответствует более высокому месту в рейтинге. Чукотский автономный округ и Еврейская автономная область в рейтинге не указаны.

Рис. 3. Рейтинг научно-технологического развития регионов РФ (РИА-рейтинг)

факторов, влияющих на региональное экономическое развитие. Инновационность регионов, их инвестиционная привлекательность и некоторые другие характеристики в совокупности определяют уровень сложности региональных экспортных корзин, измеряемый при помощи ЕСІ. Стоит подчеркнуть, что корреляция



Примечание. Более плотный цвет соответствует более высокому месту в рейтинге.

Рис. 4. Рейтинг инвестиционной привлекательности регионов России («Эксперт РА»)

между ЕСІ и другими индексами могла бы быть выше, если бы при расчете ЕСІ были доступны данные о межрегиональной торговле. Рейтинги РИА-рейтинг, НИУ ВШЭ и «Эксперт РА» главным образом измеряют внутриэкономические процессы, которые могут коррелировать с показателями межрегиональной торговли. К сожалению, такие данные в настоящее время не являются доступными.

Наконец, стоит подчеркнуть, что в отличие от многих других индексов ЕСІ базируется на строгом содержательном представлении о процессе экономического развития, а также инновационном методе, в то время как другие индексы, упомянутые в настоящей работе, используют несколько менее строгие подходы.

Заключение

В проведенном исследовании использован метод оценки экономической сложности российских регионов, ранее примененный в работе [Hausmann et al., 2011] для оценки сложности экономик стран мира.

Мы сравниваем полученный при помощи оценки индекса экономической сложности (ЕСІ) рейтинг регионов России с рейтингами инновационного развития субъектов РФ (НИУ ВШЭ), научно-технологического развития регионов (РИА-рейтинг), инвестиционной привлекательности регионов России («Эксперт РА») и приходим к заключению, что они довольно заметно коррелируют с рейтингом, полученным на основе индекса ЕСІ. Этот результат соответствует предположению о том, что сложность региональных экспортных корзин определяется совместным воздействием различных факторов, среди которых и уровень научно-технического развития региона, и его инвестиционный потенциал, и другие факторы. Однако в отличие от этих индексов расчет индекса ЕСІ основывается на более строгих теоретических механизмах.

Актуальность рейтинга регионов на основе индекса ЕСІ связана с тем, что перед российской экономикой стоит задача увеличения несырьевого экспорта до 250 млрд долл. в течение следующих шести лет. Это сложная задача, потому что речь идет о почти удвоении текущего несырьевого экспорта, составившего в 2017 году 130 млрд долл.¹⁸

Выполнение этой задачи требует оценки экспортного потенциала регионов, который в значительной мере отражен в региональном индексе ЕСІ. На основе этого индекса можно оценить, из каких

¹⁸ <http://tass.ru/ekonomika/4998573>.

регионов более вероятен экспорт новых сложных товаров, а из каких — простых. Выполнение задачи увеличения объема несырьевого экспорта будет отражаться в изменении значений индекса ЕСІ для соответствующих регионов, таким образом, расширение и усложнение региональных экспортных корзин можно отслеживать в динамике.

Стоит подчеркнуть, что метод позволяет сделать относительно оценки возможности диверсификации гораздо больше, чем дать одну только оценку экспортной сложности регионов. Метод также позволяет идентифицировать товарные группы по классификации HS4¹⁹, добавление (или интенсификация экспорта) которых наиболее выгодно региону с точки зрения шансов на успешную диверсификацию и создания более высокой добавленной стоимости. Поиск таких товарных групп, однако, является предметом для отдельной работы.

П р и л о ж е н и е 1

Т а б л и ц а 1

Значения коэффициента ранговой корреляции Спирмена между рейтингами

	ECI	ECIreg	HSE	RIA	RAEX
ECI	1,0000				
ECIreg	0,6529	1,0000			
HSE	0,5204	0,3364	1,0000		
RIA	0,5984	0,3441	0,8376	1,0000	
RAEX	0,4939	0,2297	0,6644	0,7009	1,0000

Примечание. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между рейтингами рассчитан без учета Республики Крым, Чукотского автономного округа и Еврейской автономной области.

П р и л о ж е н и е 2

1. Доказательство неинформативности вектора, соответствующего наибольшему собственному значению (см. [Kemp-Benedict, 2014])

Пусть n_c — это единичный вектор — строка длины, равной числу стран. Тогда

$$M_{cp}^T n_c^T = \sum_c M_{cp}^T = k_{p,0}^T \quad (\text{П1})$$

Это равенство верно в силу того, что матрица M_{cp} состоит из нулей и единиц и умножение ее на единичный вектор-столбец определяет сумму содержащихся в строках элементов. Используя матрицу (10), а также равенство (П1), получаем:

$$W_{cc}' n_c^T = \frac{1}{k_{c,0}^T} \circ M_{cp} \frac{1}{k_{p,0}^T} \circ M_{cp}^T n_c^T = \frac{1}{k_{c,0}^T} \circ M_{cp} n_p^T = n_c^T, \quad (\text{П2})$$

¹⁹ <https://www.foreign-trade.com/reference/hscodet.htm>.

где $\circ$ — поэлементное произведение. Следовательно,

$$W_{cc}' n_c^T = n_c^T. \quad (\text{П3})$$

Таким образом, единичный вектор является собственным вектором матрицы W_{cc}' . Так как любой пропорциональный ему вектор также будет собственным, любой вектор с одинаковыми компонентами будет собственным.

Поскольку согласно теореме Фробениуса — Перрона вектор, все компоненты которого положительны, для матрицы вида W_{cc}' единственный, то собственный вектор такого вида неинформативен: одинаковые значения для регионов не позволяют их проранжировать.

2. Доказательство необходимости выбора второго наибольшего собственного вектора (см. [Kemp-Benedict, 2014])

Как было доказано выше, последовательность векторов $k_{c,n}$ сходится к вектору с одинаковыми компонентами, который не подходит для решения поставленной задачи. Нужная нам информация содержится в векторе, который равен разности между значением $k_{c,n}$ и предельным значением k :

$$w_{c,n} = k_{c,n} - k. \quad (\text{П4})$$

Ввиду того, что вектор $w_{c,n}$ отличается от вектора $k_{c,n}$ на константу, а матрица W_{cc}' имеет собственное значение 1, равенство, аналогичное (9), выполняется и для отклонений:

$$w_n = W w_{n-2}. \quad (\text{П5})$$

Предположим, что вектор отклонений с увеличением n уменьшается с постоянной скоростью u . Тогда:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} w_n = a_n u. \quad (\text{П6})$$

Из (П5) и (П6) получаем:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_n}{a_{n-2}} u = W u. \quad (\text{П7})$$

Следовательно, u — это собственный вектор со следующим по величине собственным значением:

$$\lambda = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_n}{a_{n-2}}. \quad (\text{П8})$$

Согласно теореме Фробениуса — Перрона все собственные значения, кроме того, которое соответствует вектору со всеми положительными координатами, меньше его по модулю. В случае матрицы W величина λ будет по модулю меньше 1. То есть согласно формуле (П8) отклонения уменьшаются с ростом n , причем более значимыми будут собственные вектора, соответствующие наибольшим собственным значениям, так как другие коэффициенты будут убывать с большей скоростью. Следовательно, так как выше была показана непригодность для решения поставленной задачи собственного вектора с наибольшим собственным значением, выбирается собственный вектор со вторым по величине собственным значением.

П р и л о ж е н и е 3

*Рейтинг инновационного развития субъектов РФ (НИУ ВШЭ)*²⁰

Рейтинг рассчитан на основе 37 показателей, соответствующих четырём тематическим категориям: «Социально-экономические условия инновационной деятельности», «Научно-технический потенциал», «Инновационная деятельность», «Качество инновационной политики». Все данные в работе собраны большей частью в Росстате, ЦСБД, ЕМИСС, Роспатенте, Минобрнауки РФ.

На первом этапе в рамках каждой тематической категории выбираются показатели, которые должны отражать позитивные (с ростом показателя растёт соответствующий индекс) явления, причем если какие-то из них сильно коррелируют между собой, то оставляется только один из них. Если какой-нибудь из показателей x_i имеет асимметричное распределение (коэффициент асимметрии $>0,5$), то его сглаживают следующим образом: $\tilde{x}_i = \sqrt[s]{x_i}$, где s — степень трансформации от 2 до 4. Итоговый российский региональный инновационный индекс рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{РРИИ}^r = \sum_{i=1}^4 \frac{n_i}{37} I_r,$$

где n_i — это число показателей в одной из четырех тематических категорий,

37 — суммарное число показателей,

$I_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\tilde{x}_i^r - \tilde{x}_i^{\min}}{\tilde{x}_i^{\max} - \tilde{x}_i^{\min}}$ — региональный индекс. В последней формуле n — число показателей в тематической категории, $\tilde{x}_i^r$ — i -й показатель региона r в данной тематической категории, $\tilde{x}_i^{\min} / \tilde{x}_i^{\max}$ — минимальное/максимальное значение i -го показателя в тематической категории.

*Индекс научно-технологического развития субъектов РФ (РИА-рейтинг)*²¹

Итоговый рейтинг определяется на основании интегрального показателя, рассчитанного путем агрегирования баллов, присвоенных регионам на основе 19 показателей, объединенных в следующие группы: «Человеческие ресурсы», «Материально-техническая база», «Эффективность научно-технологической деятельности» и «Масштаб научно-технологической деятельности».

Рейтинг рассчитывается на основе данных Росстата, однако конкретная методология расчета интегрального показателя на сайте не приводится.

*Рейтинг инвестиционной привлекательности регионов России («Эксперт РА»)*²²

Цель данного рейтинга — предоставить независимую социально-экономическую оценку региона Российской Федерации с точки зрения его привлекательности для реализации инвестиционных вложений. Ранжирование регионов осуществляется с помощью двух основных групп факторов: инвестиционного потенциала и инвестиционного риска. В данной работе выбран первый показатель, так как он, по мнению авторов, больше связан с понятием экономической сложности.

²⁰ <https://www.hse.ru/primarydata/rir2015>.

²¹ http://riarating.ru/regions_rankings/20161020/630044723.html.

²² <https://raexpert.ru/docbank/109/d31/3e8/5564b5d35605a92af9b47c6.pdf>; <https://raexpert.ru/ratings/regions>.

Инвестиционный потенциал региона включает в себя девять частных потенциалов, каждый из которых, в свою очередь, характеризуется группой показателей: природно-ресурсный потенциал, трудовой потенциал (размер рынка трудовых ресурсов и образовательный уровень населения), производственный потенциал, потребительский потенциал (совокупная покупательная способность населения региона), инфраструктурный потенциал, инновационный потенциал, институциональный потенциал, финансовый потенциал (условный объем денежной массы), туристический потенциал.

Величина инвестиционного потенциала каждого региона рассчитывается по следующей формуле:

$$R_i = \sum_{k=1}^9 \frac{\sum_j \Delta_{ijk}}{N_k} M_k,$$

где Δ_{ijk} — доля i -го региона в России по j -му показателю, относящемуся к k -му виду потенциала; N_k — число используемых индикативных показателей для оценки k -го вида потенциала; M_k — средняя величина экспертного веса k -го вида потенциала²³.

Основными источниками данных являются федеральные ведомства (которые были выбраны для наибольшей объективности): Госкомстат, ЕМИСС, Минфин РФ, Казначейство РФ, ЦБ РФ, МВД РФ, Минприроды РФ и Минкомсвязь РФ, — а также правовая база данных «Консультант Плюс», сайты российских и международных рейтинговых агентств.

Литература

1. Любимов И., Гвоздева М., Казакова М., Нестерова К. Сложность экономики и возможность диверсификации экспорта в российских регионах // Журнал Новой экономической ассоциации. 2017. № 2. С. 94–122.
2. Balassa B. Trade Liberalization and “Revealed” Comparative Advantage // The Manchester School. 1965. Vol. 33. P. 99–123.
3. Banerjee A., Chandrasekhar A., Duflo E., Jackson M. Gossip: Identifying Central Individuals in a Social Network. National Bureau of Economic Research Working Papers. No w20422. 2014.
4. Barabási A.-L. Network Science. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2016.
5. Bloch F., Jackson M., Tebaldi P. Centrality Measures in Networks. Physics and Society. 2016. <https://arxiv.org/abs/1608.05845>.
6. Bonacich P. Some Unique Properties of Eigenvector Centrality // Social Networks. 2007. Vol. 29. No 4. P. 555–564.
7. Bustos S., Gomez C., Hausmann R., Hidalgo C. The Dynamics of Nestedness Predicts the Evolution of Industrial Ecosystems // Nestedness of Industrial Ecosystems. 2012. Vol. 7. P. 1–8.
8. Coscia M., Hausmann R., Neffke F. Exploring the Uncharted Export: An Analysis of Tourism-Related Foreign Expenditure with International Spend Data. CID Faculty Working Paper. No 328. 2016.
9. Gao J., Zhou T. Quantifying China’s Regional Economic Complexity. 2017. <https://arxiv.org/abs/1703.01292>.

²³ Значение экспертных весов частных видов потенциалов рассчитывается по результатам ежегодного анкетирования российских и иностранных экспертов и инвесторов, проводимого в трехмесячный период, предшествующий дате выхода рейтинга.

10. Glitz A., Meyersson E. Industrial Espionage and Productivity. IZA Discussion Papers. Vol. 10816. 2016.
11. Hausmann R., Hidalgo C., Bustos S., Coscia M., Simoes A., Yildirim M. The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity. Cambridge, MA: Center for International Development, Harvard University. MIT. 2011.
12. Hausmann R., Hidalgo C., Stock D., Yildirim M. Implied Comparative Advantage. John F. Kennedy School of Government, Harvard University. Working Paper Series rwp14–003. 2014.
13. Hausmann R., Hwang J., Rodrik D. What You Export Matters // Journal of Economic Growth. 2007. Vol. 12. No 1. P. 1–25.
14. Hausmann R., Klinger B. Structural Transformation and Patterns of Comparative Advantage in the Product Space. CID Working Paper. No 128. 2006.
15. Hidalgo C. Why Information Grows: The Evolution of Order, from Atoms to Economies. L.: Allen Lane, 2015.
16. Hidalgo C., Hausmann R. The Building Blocks of Economic Complexity // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2009. Vol. 106. No 26. P. 10570–10575.
17. Hidalgo C., Klinger B., Barabási A.-L., Hausmann R. The Product Space Conditions the Development of Nations // Science. 2007. Vol. 317. No 5837. P. 482–487.
18. Kemp-Benedict E. An Interpretation and Critique of the Method of Reflections. MPRA Papers. No 60705. 2014.
19. Newman M. Networks: An Introduction. Oxford: Oxford University Press, 2010.
20. Timmer M., Erumban A., Los B., Stehrer R., de Vries G. Slicing up Global Value Chains // Journal of Economic Perspectives. 2014. Vol. 28. No 2. P. 99–118.

Ekonomicheskaya Politika, 2018, vol. 13, no. 3, pp. 206-233

Ivan L. LYUBIMOV, PhD (Econ.). Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (82, str. 1, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation).
E-mail: lubimov@ranepa.ru

Margarita V. GVOZDEVA. Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (82, str. 1, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation).
E-mail: gvozdeva@ranepa.ru

Maria A. LYSYUK. Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (82, str. 1, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation).
Email: lysyuk-mv@ranepa.ru

Measuring Regional Development with the Network Theory Approach

Abstract

In this paper, we make a detailed description of a network method which we then use to calculate a new ranking that measures the export complexity of Russian regions. Even though this ranking directly measures the complexity of regional export baskets, indirectly it also reflects other features of regional economies, as the ability to supply goods to international markets results from the availability of different capabilities

in a particular region, such as know-how, equipment, infrastructure etc. At the same time, the calculation of the ranking does not require a lot of various data, as well as constructing numerous variables characterizing different aspects of regional development. The method which is discussed in this paper has several important advantages over a number of alternative regional rankings. In particular, the latter employ the assumption of substitutability among various factors that are taken into account when these rankings are calculated. However, this assumption is often too strong. Moreover, these rankings are not based on any well-defined theoretical structure, and the choice of variables which are used to calculate these rankings is not explicitly explained. In contrast, the method which is discussed in this paper has a well-defined theoretical structure and uses no strong assumptions. At the same time, the resulting ranking is strongly correlated with other regional rankings, which indicates that the former also contains a significant share of information present in the latter, which emphasizes again the ability of the new ranking to capture different important features of regional development.

Keywords: regional development, export complexity, network theory, centrality.

JEL: O100, O140, O180, F10, F14.

References

1. Lyubimov I., Gvozdeva M., Kazakova M., Nesterova K. Slozhnost' ekonomiki i vozmozhnost' diversifikatsii eksporta v rossiyskikh regionakh [Economic Complexity of Russian Regions and Their Potential to Diversify]. *Journal of the New Economic Association*, 2017, vol. 2, pp. 94-122.
2. Balassa B. Trade Liberalization and "Revealed" Comparative Advantage. *The Manchester School*, 1965, vol. 33, pp. 99-123.
3. Banerjee A., Chandrasekhar A., Duflo E., Jackson M. Gossip: Identifying Central Individuals in a Social Network. *National Bureau of Economic Research Working Paper*, no. w20422, 2014.
4. Barabási A.-L. *Network Science*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2016.
5. Bloch F., Jackson M., Tebaldi P. Centrality Measures in Networks. *Physics and Society*. 2016. <https://arxiv.org/abs/1608.05845>.
6. Bonacich P. Some Unique Properties of Eigenvector Centrality. *Social Networks*, 2007, vol. 29, no. 4, pp. 555-564.
7. Bustos S., Gomez C., Hausmann R., Hidalgo C. The Dynamics of Nestedness Predicts the Evolution of Industrial Ecosystems. *Nestedness of Industrial Ecosystems*, 2012, vol. 7, pp. 1-8.
8. Coscia M., Hausmann R., Neffke F. Exploring the Uncharted Export: An Analysis of Tourism-Related Foreign Expenditure with International Spend Data. *CID Faculty Working Paper*, no. 328, 2016.
9. Gao J., Zhou T. Quantifying China's Regional Economic Complexity. 2017. <https://arxiv.org/abs/1703.01292>.
10. Glitz A., Meyersson E. Industrial Espionage and Productivity. *IZA Discussion Papers*, vol. 10816, 2016.
11. Hausmann R., Hidalgo C., Bustos S., Coscia M., Simoes A., Yildirim M. *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*. Cambridge, MA, Center for International Development, Harvard University, MIT, 2011.
12. Hausmann R., Hidalgo C., Stock D., Yildirim M. Implied Comparative Advantage. *John F. Kennedy School of Government, Harvard University*. Working Paper Series rwp14-003, 2014.
13. Hausmann R., Hwang J., Rodrik D. What You Export Matters. *Journal of Economic Growth*, 2007, vol. 12, no. 1, pp. 1-25.

14. Hausmann R., Klinger B. Structural Transformation and Patterns of Comparative Advantage in the Product Space. *CID Working Paper* no. RWP06-041, 2006.
15. Hidalgo C. *Why Information Grows: The Evolution of Order, from Atoms to Economies*. L., Allen Lane, 2015.
16. Hidalgo C., Hausmann R. The Building Blocks of Economic Complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, vol. 106, no. 26, pp. 10570-10575.
17. Hidalgo C., Klinger B., Barabási A.-L., Hausmann R. The Product Space Conditions the Development of Nations. *Science*, 2007, vol. 317, no. 5837, pp. 482-487.
18. Kemp-Benedict E. An Interpretation and Critique of the Method of Reflections. *MPRA Papers* no. 60705, 2014.
19. Newman M. *Networks: An Introduction*. Oxford, Oxford University Press, 2010.
20. Timmer M., Erumban A., Los B., Stehrer R., de Vries G. Slicing up Global Value Chains. *Journal of Economic Perspectives*, 2014, vol. 28, no. 2, pp. 99-118.