

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ, КОИНТЕГРАЦИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ*

Клив Грэйнджер**

Резюме

Важной целью эмпирических исследований в области макроэкономики являются проверка гипотез и оценка выявленных на основе экономической теории взаимосвязей между совокупными показателями. Статистическая теория, применявшаяся в 1980-е гг. для построения и проверки больших систем одновременных уравнений, базировалась на предпосылке, что используемые переменные являются стационарными. Однако проблема заключалась в том, что статистические выводы, полученные для стационарных процессов, становятся неверными, если временные ряды характеризуют ход нестационарных процессов. Три десятилетия назад экономисты, занимавшиеся построением моделей, не принимали во внимание данную проблему. В настоящее время ситуация изменилась, и заслуга в этом принадлежит Кливу Грэйнджеру, который показал, что макроэкономические модели, содержащие нестационарные стохастические переменные, могут быть построены таким образом, что результаты будут статистически обоснованными и экономически значимыми. Грэйнджер разработал концепцию коинтеграции, которая привела к радикальному изменению способа формулировки эмпирических моделей макроэкономических взаимосвязей и заложила основы моделирования динамики взаимосвязанных экономических переменных.

Классификация JEL: C22, C32, C5

Ключевые слова: эконометрика, временные ряды, коинтеграция, модель корректировки ошибок, ложная регрессия, каузальность

Два лауреата Нобелевской премии в области экономических наук этого года могли бы представить себя как «эконометристов», поэтому я полагаю, что вначале мне следует объяснить значение этого термина.

Можно начать с предмета древней науки математики, связанного, главным образом, с обнаружением взаимосвязей между детерминированными переменными с использованием строгих доказательств. (Детерминированной называется переменная, значение которой достоверно известно.) Однако к середине прошлого тысячелетия стало очевидно, что некоторые объекты не являются детерминированными, и их

* Granger, C.W.J. (2004) Time Series Analysis, Cointegration, and Applications, *Les Prix Nobel 2003*, 360–366.

© Nobel Foundation, 2003

** Профессор Калифорнийского университета (г. Сан-Диего, США), e-mail: cgranger@ucsd.edu. Данная статья представляет собой лекцию, прочитанную Кливом Грэйнджером при вручении ему Нобелевской премии в области экономических наук (за разработку методов анализа экономических временных рядов с общим трендом (концепции коинтеграции)) 8 декабря 2003 г.

необходимо описывать посредством вероятностей. Поэтому в математике появился большой подраздел, известный как «статистика». Данный подраздел имеет дело с анализом данных. Был разработан ряд методов анализа данных, которые обладают так называемыми «стандартными свойствами». В то же время обнаружено, что в некоторых областях применения сгенерированные данные не являются стандартными. Как следствие, появилась необходимость в развитии особых подразделов. Например, на основе биологии возникла биометрика, психологии – психометрика, а экономики – эконометрика.

Существует множество типов экономических данных. Мы с Робом Энглем анализировали данные, известные как временные ряды. Рассмотрим измерение уровня безработицы, являющегося важным показателем здоровья экономики. Соответствующий государственный орган собирает данные и каждый месяц объявляет новую цифру. В следующем месяце значение показателя будет иным и т.д. Изобразив эти значения на простом графике, вы получаете «временные ряды».

Вместо того чтобы показывать диаграмму, я воспользуюсь вашим воображением (полагаю, что тем самым вы сможете лучше понять суть идеи). Предположим, что у вас есть нитка жемчуга, жемчужины на которой расположены в произвольном порядке. Вы осторожно бросаете ее на твердую поверхность стола, и она растягивается по ней случайным образом. В результате вы создали временной ряд, где время представлено расстоянием вдоль стола, величина переменной – расстоянием от нижнего края стола до соответствующей точки, а точки данного ряда – набором жемчужин. Поскольку расположение одной жемчужины влияет на расположение следующей, так как они соединены друг с другом, то данный ряд, по всей видимости, будет достаточно сглаженным, и существенных колебаний значений одного члена по сравнению с другим не будет.

Временные ряды различаются во многих отношениях. Некоторые данные собираются довольно часто, другие – гораздо реже. Если происходят какие-либо изменения, значения многих важных финансовых показателей становятся известными даже не в течение дня, а в считанные секунды, как это имеет место в случае ценных бумаг, пользующихся повышенным спросом, или обменных курсов. Подобные данные, которые послужили основой исследований Роба Энгла, называются «данными с высокой частотой появления».

С другой стороны, во многих странах некоторые показатели, характеризующие экономику в целом, или «макроэкономическую», такие как национальный доход, потребление и инвестиции, становятся известными лишь ежеквартально, а в иных – ежегодно. Доступ к демографическим данным также предоставляется только один раз в год или еще реже. Многие из этих рядов являются достаточно сглаженными и изменяются в соответствии с локальными трендами или испытывают значительные колебания, но эти колебания носят нерегулярный характер. Именно относительная сглаженность делает их непригодными для анализа на основе стандарт-

ных статистических процедур, которые предполагают, что данные обладают таким свойством, как «стационарность». Многие ряды экономических, в частности финансовых и макроэкономических, данных не обладают указанным свойством. Их можно назвать «интегрированными», или, иногда не очень точно, «нестационарными». Однако в том случае, когда они выражены в категориях изменений или норм доходности, производные ряды будут все в большей степени соответствовать стационарным. Нитка жемчуга будет «интегрированной», поскольку она представляет собой сглаженный ряд.

Методы анализа одиночного интегрированного ряда были ранее предложены Боксом и Дженкинсом (Box, Jenkins (1970)) и другими эконометристами, однако для совместного анализа двух или более подобных рядов недоставало одного важного элемента. Оказывается, что разность между двумя интегрированными рядами может быть стационарной. Данное свойство известно как «коинтеграция». С более формальной точки зрения, два сглаженных, адекватно масштабированных ряда могут медленно изменяться по-разному, но не идентичным образом, но расстояние между ними может быть стационарным.

Предположим, что у вас есть две похожие нитки жемчуга. Вы бросаете каждую из них на стол по отдельности, но, чтобы легче себе представить, будем считать, что они не пересекут друг друга. Каждая нитка представляет собой сглаженный ряд, но имеет разную форму. При этом между ними нет никакой связи. Расстояние между двумя наборами жемчужин, если изобразить его графически, также представляет собой сглаженный ряд. Но если жемчужины положить в небольшие, но сильные магниты, то, возможно, две нитки будут притягиваться друг к другу, и они будут иметь похожий, но не идентичный сглаженный вид. В этом случае расстояние между двумя наборами жемчужин представляет собой стационарный ряд, и это будет примером коинтеграции.

Для коинтеграции необходимо, чтобы два интегрированных, или сглаженных, ряда характеризовались тем, что их линейная комбинация носит стационарный характер. В большинстве случаев два интегрированных ряда не обладают данным свойством, поэтому наличие коинтеграции следует воспринимать как неожиданность. Как утверждает экономическая теория, на практике данным свойством, по-видимому, обладают многие пары макроэкономических рядов.

Если мы знаем, что две переменные обладают свойством коинтеграции, то из этого следует, что они обладают рядом других интересных и полезных свойств. Например, обе эти переменные должны быть коинтегрированы с одинаковым скрытым общим множителем. Кроме того, они могут рассматриваться как переменные, сгенерированные на основе модели, известной как «модель корректировки ошибок», в рамках которой изменение одного из рядов объясняется с точки зрения лаговой разности между рядами, возникшей после масштабирования, и лаговых разностей обоих рядов. Другие ряды будут представлены анало-

гичным динамическим уравнением. Безусловно, данные, сгенерированные на основе подобной модели, будут коинтегрированными. Модель корректировки ошибок имела особенно важное значение в придании концепции коинтеграции практической направленности. Она была разработана знаменитым эконометристом Деннисом Сарганом, который позаимствовал несколько известных уравнений из теории экономического роста и сделал их стохастическими.

На раннем этапе развития концепции коинтеграции мне значительно помогли коллеги и друзья из скандинавских стран, в том числе Сорен Йохансен и Катерина Хуселиус из Копенгагена, которые разработали и применили сложные методики проверки, Свен Гиллеберг из Орхуса, который расширил теорию с учетом сезонных данных, а также Эйлев Янсен и его коллеги из Банка Норвегии, которые успешно применили теорию при построении большой эконометрической модели норвежской экономики. Данный список был бы неполным без Тимо Теравирта, который родом из Финляндии, но в настоящее время проживает в Стокгольме. Он помог разработать модели, оказавшиеся полезными при нелинейном выражении концепции коинтеграции. Я рад видеть их здесь в качестве своих гостей.

Современная макроэкономика является большой и неорганизованной. Ее трудно охарактеризовать, измерить и проконтролировать. Экономисты пытаются строить модели, приближенные к реальной макроэкономике, которые обладают аналогичными основными свойствами, с тем, чтобы на их основе можно было проводить простые эксперименты, такие как эксперименты по выявлению последствий альтернативной экономической политики или долгосрочных последствий создания некоторого нового института. Экономисты-теоретики делают это, вводя подразумеваемые теорией ограничения, тогда как эконометристы строят эмпирические модели с использованием, надо полагать, подходящих данных, – модели, которые отражают основные характеристики функционирования экономики в прошлом. И те, и другие предполагают, что их модель является верной, и просто ее экстраполируют, при этом, будем надеяться, указывая на неопределенность будущих оценок.

В последнее время популярную форму макромоделей представляют собой модели корректировки ошибок, общим элементом которых является коинтеграция. При их практическом применении используются почти все основные показатели, в том числе инвестиции, налоги, потребление, уровень занятости, процентные ставки, государственные расходы и т.д. Центральные банки, Федеральный резервный банк и разные экономисты, занимающиеся построением моделей, считают данные типы уравнений полезными при имитационном моделировании экономической политики и решении других вопросов.

Потенциально полезным свойством прогнозов, сделанных на основе коинтеграции, является то, что в случае распространения на более отдаленное будущее прогнозы двух рядов имеют постоянное соотношение, как этого следует ожидать исходя из некоторой асимптотической экономичес-

кой теории. Именно этот асимптотический результат делает данный класс моделей в некоторой степени интересным для экономистов-теоретиков, которые занимаются проблемой «равновесия». Однако остается неясным, связана ли форма равновесия, предполагаемая моделями, с той формой, которую анализируют теоретики.

Указанные идеи и модели достаточно легко дополняются многими переменными. После провозглашения идеи коинтеграции (это название, кстати, придумано мной), она была подхвачена многими другими эконометристами и экономистами, занимающимися прикладными исследованиями и использующими ее в своих работах. В настоящее время существует множество упоминаний и сфер применения данной идеи. Мы с Робом Энглом быстро осознали, что концепция коинтеграции и ее расширение могут использоваться для объяснения и устранения проблем, присутствующих в наших собственных исследованиях и исследованиях других экономистов. По всей видимости, недостающим элементом нашего подхода было моделирование групп рядов.

Примером является проблема, известная как «ложная регрессия». При помощи небольшой имитационной модели из работы, опубликованной в 1974 г., мы с Полом Ньюболдом обнаружили, что если в регрессии используются два независимых интегрированных ряда: один – как «зависимая переменная», а другой – как «объясняющая переменная», то стандартное программное обеспечение для регрессионного анализа весьма часто «обнаруживает» наличие взаимосвязи, хотя на самом деле ее нет. То есть стандартные статистические методы указывают на «ложную регрессию». Данное наблюдение потребовало существенного пересмотра эмпирических работ, в особенности в области макроэкономики, с целью выяснения, являются ли верными очевидные взаимосвязи. Многие редакторы журналов вынуждены были пересмотреть списки работ, принятых к публикации. Проведение анализа в форме построения модели корректировки ошибок позволяет устранять трудности, связанные с ложной регрессией.

Меня часто спрашивают, как возникла идея о коинтеграции, явилась ли она результатом логической дедукции или появилась благодаря порыву вдохновения? В действительности все выглядит гораздо более прозаично. Мой коллега Дэвид Хендри заявил, что разность между двумя интегрированными рядами может быть стационарной. Я отреагировал, сказав, что можно доказать его неправоту. Однако, пытаясь сделать это, я пришел к выводу, что он был прав, обобщил его идею до концепции коинтеграции и продемонстрировал результаты ее использования, такие как модель корректировки ошибок. Я не во всем согласен с философом Карлом Поппером, но, как утверждает Хакохен (Hacohen (2000), 244), в своей книге «Логика научного исследования» он рассматривал «открытие не как результат логического анализа», а скорее как результат использования соответствующей методологии, что как раз и имело место при возникновении идеи о коинтеграции. Подобное мнение заинтриговало меня отчасти потому, что книга Поппера вышла в свет почти тогда же, когда я

родился, в сентябре 1934 г. Как раз в это время Поппер дискутировал с Гейзенбергом относительно возможностей применения теории вероятностей в физике. Оказывается, отголоски данной дискуссии по-прежнему имеют место, но применительно к экономической теории. Моя позиция заключается в том, что мы со всей очевидностью способны наилучшим образом описать изменения многих экономических показателей и результирующие данные с использованием вероятностных концепций. Необходимо также отметить, что именно в 1934 г. Дж.М. Кейнс закончил работу над первым вариантом книги «Общая теория занятости, процента и денег», хотя прошло очень много лет, прежде чем я узнал о ней. Кстати, я написал данную лекцию во время посещения экономического факультета Кентерберийского университета в Новой Зеландии, где Карл Поппер провел несколько лет после Второй мировой войны.

Прежде чем рассмотреть возможности новых методов анализа, я хотел бы несколько отклониться от темы, чтобы сказать пару слов о себе. Данная премия явилась кульминацией года, в начале которого мне было присвоено звание почетного члена Американской экономической ассоциации. Ранее в процессе своей карьеры я возглавлял два экономических факультета, несмотря на то что мое формальное обучение экономической теории было весьма недолгим. Третью моего первого года обучения в Ноттингемском университете я посвятил изучению экономической теории, прослушав вводные курсы по микроэкономике и системе национальных счетов, и это все. Какими бы другими знаниями я ни обладал, они обусловлены жизнью среди экономистов в течение почти сорока лет, посещением по мере возможностей семинаров, участием в дискуссиях с экономистами и обычным чтением. Мой вопрос состоит в следующем: говорят ли эти факты что-либо обо мне или об экономической теории? Я полагаю, что вполне можно сказать, что я не первый лауреат Нобелевской премии в области экономических наук, не имеющий достаточно серьезной формальной подготовки в области экономической теории. Я удивлюсь, если в основе экономической теории лежит меньший объем информации по сравнению с такими науками, как математика, физика или, скажем, химия. Экономическая теория действительно характеризуется множеством различных аспектов, практических примеров и точек зрения, которые имеют свою собственную основу, по крайней мере в виде практики. Экономическая теория имеет общие концепции и характеристики, однако они могут быть достаточно упрощенными и необязательно реалистичными. Возможно потому, что экономическая теория не стеснена слишком большим количеством основных концепций, и, безусловно, потому, что она затрагивает несметное количество как теоретических, так и практических проблем, она представляет собой «рассадник» новых идей, концепций, подходов и моделей. Наличие все более мощных и недорогих компьютеров способствует еще большему расширению экономических исследований.

В процессе чтения литературы я натолкнулся на утверждение (к сожалению, я забыл, кто является его автором), что «экономическая теория

является наукой принятия решений, которую интересуют такие индивиды, как потребители, работодатели, инвесторы и политики, принимающие решения в государственных учреждениях, институтах и корпорациях различных типов». Я полностью согласен с данной точкой зрения, поскольку из нее следует, что «целью экономической теории является помощь индивидам, принимающим решения, в принятии лучших решений». Данное утверждение полезно, поскольку оно дает нам отправную точку, с которой мы можем сопоставлять отдельные части экономического анализа и давать им оценку. Мы можем спросить: насколько полезным будет данный результат для индивида, принимающего решение?

Как было упомянуто выше, основной целью экономических методов, которые я помог разработать, таких как коинтеграция, является построение статистических моделей, увязывающих основные экономические показатели, которые одновременно и лучше соответствуют имеющимся данным, и согласуются с представлениями экономистов, занимающихся построением моделей, о том, как должен происходить процесс подобного «строительства». Основной целью этих моделей является разработка кратко- и среднесрочных прогнозов важных макроэкономических показателей, таких как потребление, доход, инвестиции и уровень безработицы, которые являются интегрированными рядами. Было обнаружено, что производные темпы экономического роста можно в определенной степени спрогнозировать. Гораздо более сложными для прогнозирования являются темпы инфляции и прибыль от спекулятивных рыночных операций, таких как операции с акциями, облигациями и обменными курсами.

Существует ряд этапов процесса прогнозирования: формулировка основного прогноза и последующий учет фактора неопределенности с тем, чтобы можно было выдвинуть некоторую идею относительно рисков, связанных с использованием данного прогноза. И, наконец, необходимо собрать и оценить данные о предыдущих прогнозах. Будем надеяться, что можно обнаружить любые тенденции в масштабе ошибок, так что любой экономист может усвоить эту информацию и сделать в будущем более точные прогнозы. Процесс оценки прогноза, а также использование комбинаций прогнозов, сделанных на основе разных рядов, являются темой незавершенного исследовательского проекта, осуществляемого в Калифорнийском университете (г. Сан-Диего). Прогнозы разрабатываются на основе не только временных рядов, но и панельных данных, которые могут быть рассмотрены как группа рядов аналогичного характера, полученных из разных источников. Примером являются месячные темпы инфляции для каждой из скандинавских стран. После уточнения цели анализа определяются и подходящие методы.

В настоящее время я принимаю участие в реализации подобного проекта, целью которого является изучение будущего тропических лесов вдоль реки Амазонки в Бразилии. Данные леса занимают площадь, превышающую площадь всех стран Европейского Союза вместе взятых, однако она сокращается весьма быстрыми темпами. Я был одним из пяти авторов

отчета (Anderson et al. (2003)), содержащего модель, на основе которой можно прогнозировать уменьшение площади леса при различных сценариях экономической политики. Лес вырубается не для того, чтобы получить древесину, а с тем, чтобы высвободить землю, занимаемую лесом, для производства продуктов питания. К сожалению, в отличие от земли в странах Европы, которую ранее занимали леса, в данном случае период ее полезного использования зачастую является весьма коротким. Нередко земля переходит под «пар» спустя пять лет после вырубки леса.

Преимущество ученого-эконометриста заключается в возможности работать с данными из многих областей. Я проводил эксперименты с ценами в реальных супермаркетах, анализировал данные рынков ценных бумаг, цены на товары, в частности на золото и серебро, процентные ставки, рассматривал спрос на электроэнергию в небольших регионах, удельный вес работающих женщин, разливы рек и даже пятна на Солнце. Все данные отражают уникальные проблемы, и я по-прежнему считаю увлекательным анализ эмпирических данных, в особенности в экономической теории.

Существует множество проблем, когда статистик работает с экономическими данными, не обладая соответствующей подготовкой в данной области. Однако иногда это позволяет ему взглянуть на проблему с другой точки зрения по сравнению с большинством экономистов. Как статистика меня интересуют подлинные размеры экономики некоторых ведущих стран, несмотря на то что экономисты уделяют мало внимания данному аспекту реальной жизни. Например, в Соединенных Штатах имеется около ста миллионов домашних хозяйств, и, следовательно, совокупное потребление представляет собой сумму их объемов потребления. Сумма, рассчитанная для столь большого количества семей, должна обладать весьма специфическими статистическими свойствами, учитывая различные знаменитые предельные теоремы. Если эти свойства не наблюдаются, то это тоже имеет важное значение. Я считаю, что эти и многие другие, связанные с агрегированием, вопросы заслуживают дальнейших исследований.

Ранее меня интересовала концепция каузальности. Занимаясь научными исследованиями после защиты докторской диссертации в Принстонском университете в 1959–1960 гг. и работая с профессорами Джоном Тьюки и Оскаром Моргенштерном, я принимал участие в изучении так называемого «перекрестного спектра», значение которого я не стану объяснять. По сути, мы располагаем двумя взаимосвязанными временными рядами и хотим узнать, существуют ли две простые взаимосвязи, когда вначале переменная X объясняет Y , а затем переменная Y объясняет X . Я испытывал определенные затруднения относительно того, как подойти к рассмотрению данного вопроса, пока не познакомился с Деннисом Габором, которому впоследствии в 1971 г. была присуждена Нобелевская премия по физике. Он посоветовал мне прочитать работу выдающегося математика Норберта Винера, где содержалось определение, которое могло меня заинтересовать. Это было именно то определение, которое в не-

сколько усовершенствованном и расширенном виде я рассматривал наряду с предлагаемыми критериями в середине 1960-х гг. Утверждение о каузальности состоит лишь из двух частей: 1) причина предшествует следствию, и 2) причина содержит информацию о следствии, состоящую в том, что оно является уникальным, и данная информация не содержится ни в какой другой переменной. Из этого утверждения *следует*, что каузальная переменная может помочь спрогнозировать результирующую переменную после использования других данных. К сожалению, многие экономисты сосредоточили внимание на данном выводе, касающемся прогнозирования, а не на исходном определении.

В то время я имел слабое представление о том, как много людей придерживалось навязчивых идей относительно каузальности и при этом полагало, что мое определение является определением не «реальной каузальности», а лишь «каузальности по Грэйнджеру». Я мог бы попросить дать определение реальной каузальности, однако никто не ответил бы. В то же время мое определение было прагматичным, и любой ученый, занимающийся прикладными исследованиями двух или более временных рядов, мог им воспользоваться. Поэтому появилось множество цитат. Конечно же, появилось и много нелепых работ.

Спустя десятилетие после разработки концепции коинтеграции стало понятно, что если два ряда коинтегрированы, то по меньшей мере один из них должен являться причиной изменения другого. По всей видимости, нет никаких особых причин полагать, что эти две различные концепции должны быть взаимосвязаны. Просто так оказалось с математической точки зрения.

В качестве краткого отступления для тех из вас, кто обладает более серьезной технической подготовкой, хотелось бы отметить, что то, о чем я рассказывал до сих пор, относилось, главным образом, к концепциям с использованием линейных моделей. Все это можно распространить на нелинейную ситуацию. В последнее время предпринимаются попытки использования аналогичных концепций применительно к условным распределениям, которые представляют собой весьма обобщенную форму. Концепция каузальности, видимо, будет играть основную роль в обобщении модели корректировки ошибок, однако данная работа еще не завершена.

Я не уверен, оказались ли столь же полезными эмпирические исследования каузальности, хотя дискуссии относительно влияния денежного предложения на цены были интересными. Тем не менее концепция каузальности помогает при формулировке динамических моделей прикладной направленности.

Я начал данную лекцию с разговора об эконометрике. Мы, эконометристы, любим цифры, поэтому позвольте мне в завершение привести некоторые из них. Первые два лауреата Нобелевской премии в области экономических наук Рагнар Фриш и Ян Тинберген были эконометристами, и мы ими очень гордимся. В целом в настоящее время восемь эконометристов являются лауреатами Нобелевской премии в области экономи-

ческих наук, что составляет 15% от их общего числа. В то же время в нынешнем тысячелетии мы представляем около 44% всех лауреатов, что можно рассматривать как обнадеживающий локальный тренд.

За всю свою карьеру и вплоть до сегодняшнего дня мне довелось встретиться с двадцатью одним лауреатом Нобелевской премии: одним в области физики (Деннисом Габором, лауреатом 1970 г.), одним – премии мира (Филипом Ноэль-Бейкером, лауреатом 1959 г.), одним – в области химии (Гарольдом Юри, лауреатом 1934 г.) и восемнадцатью лауреатами в области экономических наук. Я считаю всех их, без исключения, превосходными учеными, а также прекрасными людьми, готовыми помочь более молодому неискушенному исследователю, когда он ищет совета или хочет завести неофициальное знакомство. Я надеюсь, что также смогу соответствовать этому очень высокому стандарту.

ЛИТЕРАТУРА

Andersen, L., Granger, C.W.J., Reis, E., Weinhold, D., and Wunder, S. (2003) *The Dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon*, Cambridge, Cambridge University Press.

Box, G., Jenkins, G. (1970) *Time Series Analysis, Forecasting, and Control*, San Francisco, Holden Day.

Насолен, М.Н. (2000) *Karl Popper: The Formative Years, 1902–1945*, Cambridge, Cambridge University Press.

Popper, K. (1959) *The Logic of Scientific Discovery*, London, Hutchinson. (Рус. перев. – Поппер К. (2004) *Логика научного исследования*, Москва, Республика. – Прим. перев.)

Перевод Юрия Валевича