

Списки содержания доступны в [ScienceDirect](#)

Экономика энергетики

домашняя страница журнала:



Что лидирует: Возобновляемые или коричневые энергетические активы?

Джамал Буоюр^a, Мари Готье^{a,*}, Эли Бури^b^a Университет По и дель Адур, E2S UPPA, CNRS, TREE, По, Франция^b Школа бизнеса, Ливанский американский университет, Ливан

А Р Т И К Л И Я В Ф О

Ключевые слова:

Зеленая и коричневая
энергия Вейвлет-
когерентность
Причинность по
Грейнджеру
VIX
EPU
Временно-частотная
область

А Б С Т Р А К Т

В данном исследовании рассматривается взаимосвязь между сырой нефтью, являющейся показателем "коричневой" энергии, и несколькими индексами сектора акций возобновляемых источников энергии (например, солнечная энергия, энергия ветра, биоэнергетика и геотермальная энергия) на различных инвестиционных горизонтах. Используя ежедневные данные с 15 октября 2010 года по 23 февраля 2022 года, мы применяем комбинацию методов коинтеграции, вейвлет-когерентности и вейвлет-причинности по Грейнджеру. Результаты показывают, что взаимосвязь между индексами сырой нефти и возобновляемых источников энергии нелинейна и в некоторой степени многогранна. Во-первых, существуют отраслевые различия в интенсивности взаимосвязей. В частности, интенсивность взаимосвязи между ветром и сырой нефтью ниже, чем между геотермальной энергией и биоэнергией. Во-вторых, взаимосвязь изменяется со временем. Например, вспышка COVID-19, по-видимому, усилила взаимосвязь между сырой нефтью и рынками возобновляемых источников энергии, особенно солнечной, биоэнергии и геотермальной энергии. В-третьих, взаимосвязь варьируется в разных масштабах. При контроле за VIX (индекс волатильности), который отражает настроения участников рынка, и EPU (индекс неопределенности экономической политики), связь кажется сильной в долгосрочной перспективе, но слабой в краткосрочной. Этот результат подтверждается с помощью теста на причинно-следственную связь по Грейнджеру для вейвлет-разложенного ряда. Эти результаты имеют важные последствия для долгосрочных инвесторов, краткосрочных спекулянтов и политиков в отношении совместного движения между рынками коричневой и возобновляемой энергии.

1. Введение

Ископаемые виды топлива, такие как сырая нефть, составляют основу современного общества. Используемые в различных отраслях, включая транспорт, промышленность, нефтехимическую промышленность, а также для отопления жилых помещений, ископаемые виды топлива составляют 85% от общего потребления энергии (BP, 2020). Такое доминирующее положение привело к тому, что сырая нефть со временем стала индикатором экономического здоровья и развития, что не только ограничивается реальной экономикой, но и оказывает влияние на финансовые рынки. Действительно, хорошо известно, что изменения цен на сырую нефть влияют на цены акций по различным каналам (Hamilton, 1983; Jones and Kaul, 1996). С одной стороны, цены на нефть могут влиять на производственные затраты и, таким образом, на прибыль компаний. С другой стороны, цены на нефть могут влиять на ожидаемые денежные потоки, особенно в компаниях, связанных с нефтедобычей, и тем самым на оценку и цены их акций. Хотя ископаемое топливо представляется крайне важным для мировой экономики (Cologni and Manera, 2008), глобальное признание того, что оно является движущей силой глобального потепления, пошатнуло его позиции и подтолкнуло экономических субъектов к рассмотрению экологически чистых заменителей (например, возобновляемых источников энергии).

Соответственно, сектор возобновляемых источников энергии привлекает внимание

политиков и экологически ответственных инвесторов, особенно в свете международных соглашений об изменении климата (Парижское соглашение, 2015; соглашение Глазго, 2021; "Зеленый курс" Европейского союза, 2022), благодаря которым инвестиции в этот сектор выросли с 50 млрд долларов в 2004 году до 300 млрд долларов в 2018 году, превзойдя инвестиции в ископаемое топливо (International Renewable Energy Agency, IRENA, 2020b). Такое увеличение инвестиций позволило обеспечить рост производства ветровой и солнечной энергии на 16% в год в период с 2008 по 2019 год (BP, 2020). В 2020 году доля новых мощностей по производству электроэнергии выросла

на 80%, тогда как невозобновляемая энергия увеличилась только на 20% (IRENA, 2021a). Более того, несмотря на пандемию COVID-19, "зеленое" финансирование переживает стремительный рост: рынок "зеленых" облигаций вырос с \$11 млрд в 2013 году до \$513 млрд в 2021 году (Mutua and Wade, 2022).

Однако развитие и прибыльность компаний возобновляемой энергетики не отделены от внешних факторов, главным образом от колебаний цен на сырую нефть (Antonakakis et al., 2014; Song et al., 2019; Dawar et al., 2021; Geng et al., 2021). Во-первых, риск рынка сырой нефти может легко распространяться на другие рынки, и рынок возобновляемых источников энергии не исключен из этого явления распространения (Henriques and Sadorsky, 2008; Managi and

* Корреспондирующий автор.

Адрес электронной почты: marie.gauthier@univ-pau.fr (M. Gauthier).

<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106339>

Получено 23 июня 2022 г.; Получено в исправленном виде 23 сентября 2022 г.; Принято 27 сентября 2022 г.

Доступно онлайн 12 октября 2022 года

0140-9883/© 2022 Elsevier B.V. Все права защищены.

Okimoto, 2013). Действительно, на рынок сырой нефти в значительной степени влияют геополитические риски (Brandt and Gao, 2019; Wang et al., 2022a; Bouri et al., 2022), экономические и финансовые факторы, а также глобальные медицинские события (Zhang et al., 2020), которые могут распространяться на другие рынки через решения инвесторов, тем самым влияя на рынок возобновляемой энергии. Во-вторых, согласно эффекту замещения, высокие цены на сырую нефть увеличивают использование альтернативных источников энергии (например, возобновляемой энергии) и приводят к росту доходности ВИЭ (Kumar et al., 2012).

Анализ и понимание взаимосвязи между фондовыми индексами сырой нефти и возобновляемых источников энергии

имеют решающее значение для правительств, чтобы сформулировать эффективную политику, благоприятствующую развитию зеленой энергетики, и инвесторов, которые могут принять инвестиционные стратегии для снижения рисков. Хотя существует большое количество литературы о взаимосвязи между фондовыми рынками "зеленой" энергетики и сырой нефти, результаты в целом неоднозначны. В то время как некоторые исследования утверждают, что между "зеленой" (т.е. возобновляемой энергией) и "коричневой" (т.е. ископаемым топливом) энергетикой существует значительная связь (Bondia et al., 2016; Reboredo et al., 2017), другие находят слабые (Bouri et al., 2019; Naeem et al., 2020) или даже отсутствуют доказательства значительной связи (Ferrer et al., 2018).²

Среди объяснений такого несоответствия результатов можно выделить две основные причины. Во-первых, применяемые методы имеют решающее значение для исследования взаимосвязи между фондовыми рынками сырой нефти и возобновляемых источников энергии, поскольку эти взаимосвязи могут меняться с течением времени и в разные периоды. Действительно, во время крупных экономических событий или финансового кризиса взаимосвязь между рынками усиливается, в то время как в периоды уверенности инвесторов она снижается (Naeem et al., 2020). Более того, взаимосвязь может меняться с течением времени из-за юридических факторов. Например, Ferrer et al. (2018) объясняют, что после Парижского соглашения взаимодействие между ВИЭ и нефтью исчезнет из-за потенциального процесса развязки. Взаимосвязь между двумя видами энергии также может меняться в зависимости от частоты. Действительно, финансовый рынок состоит из множества агентов, действующих на разных временных горизонтах, от нескольких секунд до нескольких лет (Müller et al., 1997), в зависимости от их целей и предпочтений в отношении риска (Niu, 2021). Более точно, участники рынка, такие как трейдеры, действующие в краткосрочной перспективе, часто ищут рискованные инвестиции, которые превзойдут рынок в краткосрочной перспективе. Они полагаются на убеждения других инвесторов (Ghosh and Bouri, 2022) и испытывают сильное влияние хороших и плохих новостей (Baker and Wurgler, 2006; Coreia, 2016; Reboredo and Ugolini, 2018; Tetlock, 2007). Напротив, инвесторы, действующие в среднесрочной и долгосрочной перспективе, часто ищут более стабильные инвестиции. Они, как правило, не склонны к риску и полагаются на свои знания и опыт, а также на регулирование рынка. Поскольку эти инвесторы различаются по целям своих инвестиций, они могут не симметрично реагировать на шоки, информацию или политику. Поэтому, чтобы отразить эти изменения в отношениях с течением времени и на разных частотах, мы используем метод вейвлет-когерентности, преимущество которого заключается в сохранении размерности временного ряда (т.е. временной области) при учете различных частот. Другими словами, этот метод объединяет частоту, период и интенсивность взаимосвязи между двумя временными рядами. Таким образом, он позволяет нам понять, как связь между рынками сырой нефти и возобновляемых

источников энергии изменяется во времени и частоте, причем последняя отражает разнообразие инвестиционных горизонтов.

Во-вторых, еще один вопрос, возникающий при анализе финансовых временных рядов, - это потенциальное наличие зашумленных отношений. Большинство предыдущих исследований с использованием вейвлет-методов не контролируют такое зашумленное движение (Reboredo et al., 2017; Reboredo et al., 2020; Ferrer et al., 2021), что может привести к ложным связям между сырой нефтью и возобновляемыми источниками энергии и, следовательно, неоптимальным выводам. Чтобы учесть это потенциальное шумное движение, можно контролировать ключевые переменные, а именно индекс волатильности (VIX), разработанный Чикагской биржей опционов (CBOE) и

² Кроме того, влияние геополитического риска также показано на экономические ак-

J. Bouayouf et al.
индекс неопределенности экономической политики (EPU), разработанный Baker et al. (2016). Это позволяет нам лучше отразить связь между рынками нефти и возобновляемых источников энергии, а не связь, вызванную фондовым рынком или экономической неопределенностью. Как отмечается в литературе, цены активов на финансовых рынках в значительной степени зависят от сентиментов игроков (Antonakakis et al., 2014; Reboredo and Ugolini, 2018; Dutta et al., 2020). Такие переменные, как VIX и EPU, позволяют нам распутать временной ряд и извлечь деструктивные элементы, которые могут привести к ложным связям.

Кроме того, в большинстве исследований для оценки взаимосвязи между возобновляемыми источниками энергии и рынками сырой нефти используются только агрегированные показатели, без учета неоднородности сектора возобновляемых источников энергии (Reboredo, 2015; Pham, 2019; Dawar et al., 2021). Хотя анализ взаимосвязи между двумя видами энергии на агрегированном уровне дает важные последствия для политиков и инвесторов, он скрывает потенциальную неоднородность взаимосвязи между нефтью и различными секторами ВИЭ, такими как солнечная энергия, энергия ветра, биоэнергетика и геотермальная энергия. На самом деле, взаимодействие между нефтью и возобновляемыми источниками энергии может меняться во времени, частотах и секторах чистой энергии. Например, биоэнергия является прямым заменителем нефти, в то время как ветровая и солнечная энергия не конкурируют на том же рынке, что и нефть. Поэтому показатели биоэнергетики и солнечной энергии могут не одинаково реагировать на нефтяные шоки. Более того, солнечная и ветровая энергетика значительно выигрывают от политических инструментов, которые могут защитить их от нефтяных шоков в краткосрочной перспективе и получить выгоду от процесса развязки (Ferrer et al., 2018). Поэтому актуально и важно устранить этот исследовательский пробел, проанализировав взаимосвязь между "коричневой" и "зеленой" энергетикой на дезагрегированном уровне. В нашей работе мы сосредоточились на индексах солнечной, ветровой, биоэнергетической и геотермальной энергии, поскольку эти четыре сектора являются основными возобновляемыми источниками энергии, используемыми во всем мире.

В данном исследовании мы изучаем взаимосвязь между сырой нефтью и различными фондовыми индексами возобновляемых источников энергии (например, солнечной деятельности (Mansour-Ichraikie and Zeaiter, 2019).

² Dawar et al. (2021) утверждают, что влияние цен на нефть на индексы ВИЭ зависит от рыночных условий.

энергии, энергии ветра, биоэнергии и геотермальной энергии) в области временных частот. При этом мы рассматриваем влияние VIX и EPU на эту взаимосвязь. Наша методология, основанная на вейвлетах, позволяет получить информацию о фазовом и внефазовом поведении, а также о том, какая энергия приводит к другой с течением времени. Мы используем вейвлет-разложение для исследования причинно-следственной связи между индексами акций нефтяных компаний и возобновляемых источников энергии на разных временных горизонтах. Кроме того, мы расширяем литературу, изучающую влияние периода COVID-19, исследуя взаимосвязь между сырой нефтью и возобновляемыми источниками энергии на дезагрегированном уровне до и во время пандемии COVID-19, ³, которую можно считать основным вызовом, с которым столкнулся сектор возобновляемых источников энергии (Naeem et al., 2021).

Используя данные с 15 октября 2010 года по 23 февраля 2022 года, наши результаты показывают изменяющуюся во времени взаимосвязь между сырой нефтью West Texas Intermediate (WTI) и фондовыми индексами возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Хотя анализ вейвлет-когерентности показывает слабую взаимосвязь в краткосрочной и долгосрочной перспективе, частичная вейвлет-когерентность приводит к увеличению долгосрочного динамического взаимодействия между нефтью и ВИЭ и уменьшению краткосрочного. Поэтому включение контрольных переменных, таких как VIX и EPU, представляется особенно актуальным при извлечении истинной взаимосвязи между исследуемыми переменными. Более того, мы обнаружили более сильную связь между биоэнергией и геотермальной энергией и WTI и более слабую связь между WTI и солнечной энергией, а также между WTI и ветром в краткосрочной перспективе. Этот результат подтверждается тестом на некаузальность Грейнджера, примененным на различных временных горизонтах (например, частота). Наши результаты также показывают, что кризис COVID-19 усилил причинно-следственные связи. До кризиса COVID-19 не существовало доказательств причинно-следственной связи для пар WTI-солнце и WTI-ветер в краткосрочном периоде, а для пар WTI-биоэнергетика и WTI-геотермальная энергия в краткосрочном периоде причинно-следственная связь была в основном односторонней. Этот результат важен для разработчиков политики и инвесторов. Последние могут использовать различные источники ВИЭ в качестве

³ Abosedra et al. (2021) приводят доказательства наличия так называемой неопределенности явления пандемии.

хеджем для WTI в краткосрочной перспективе, поскольку причинно-следственные связи различны. Однако это уже не так во времена потрясений, подобных тем, что наблюдались в период COVID-19, поскольку причинно-следственные связи увеличиваются для всех наших энергетических пар. В первом случае отсутствие причинно-следственной связи между WTI-Wind и WTI-Solar в краткосрочной перспективе может означать процесс разделения между этими двумя видами энергии, вызванный различными политиками, проводимыми мировым правительством (льготные тарифы, субсидии и т.д.). Однако между рынками "коричневой" и "зеленой" энергии существует долгосрочная взаимосвязь.

Остальная часть данной работы организована следующим образом: [Раздел 2](#) представляет собой краткий обзор литературы. В [разделе 3](#) описаны данные и методология. В [разделе 4](#) представлены и обсуждены основные выводы, а также приведены данные о надежности. В заключении [раздела 5](#) приводятся некоторые политические последствия.

2. Обзор литературы

После недавнего роста инвестиций в "зеленые" технологии и ВИЭ появилась обширная литература, анализирующая взаимосвязь между ценами на сырую нефть и фондовыми индексами ВИЭ. Было применено множество моделей, таких как векторная авторегрессия (VAR), VAR с изменяющимся во времени параметром (TVP-VAR), коинтеграция, кросскорреляция, копулы и обобщенные авторегрессионные модели условной гетероскедастичности (GARCH), и результаты, по-видимому, зависят от времени. Используя данные по различным "зеленым" акциям за 2001-2007 годы, [Henriques и Sadorsky \(2008\)](#) показали, что сырая нефть влияет на акции "чистой" энергетики. [Кумар и др. \(2012\)](#) демонстрируют, что цены на нефть положительно влияют на фондовый рынок чистой энергии, и объясняют эту взаимосвязь эффектом замещения. Они утверждают, что более высокие цены на сырую нефть способствуют расширению альтернативных источников энергии за счет снижения относительных затрат. [Kyritsis и Serletis \(2019\)](#) приводят доказательства симметрической реакции на шок между индексом чистой энергии и сырой нефтью, используя структурную VAR-модель на основе ежемесячных данных. Аналогично, [Dawar et al. \(2021\)](#) обнаружили, что цены на нефть влияют на индексы RE в периоды спада на рынке, в то время как в периоды уверенности эта связь больше не сохраняется. Когда настроения инвесторов положительные, цены на нефть не влияют на доходность RE. Однако, когда настроения инвесторов негативны, нефтяные доходы существенно влияют на доходы RE, значительно повышая их (как это было во время кризиса 2008 года). Используя расширенную среднюю VAR меру связанности по различным квантилям, [Саид и др. \(2020\)](#) обнаружили асимметричную связанность между верхним и нижним хвостами распределения шоков доходности и показали, что волатильность сырой нефти положительно влияет на левый хвост "зеленого" индекса, в то время как для правого хвоста справедливо обратное. Используя методы копулы, [Reboredo \(2015\)](#) сообщает о значительной структуре зависимости между "зелеными" индексами на глобальном и отраслевом уровне и сырой нефтью за 2005-2013 годы. В частности, он утверждает, что оба рынка взаимосвязаны. Таким образом, за ростом цен на сырую нефть следует рост доходности ВИЭ, за исключением индекса солнечной энергии. Используя многомерный подход, основанный на нелинейных коинтеграционных тестах, [Бондиа и др. \(2016\)](#) исследуют долгосрочную взаимосвязь между ценами на сырую нефть и акции ВИЭ с 2003 по 2015 год, используя еженедельные данные. Они подчеркивают долгосрочную связь между сырой нефтью и ВИЭ, которая объясняется однонаправленной причинно-следственной связью между нефтью и рынками акций

ВИЭ. Используя динамическую модель условной корреляции между ценами на чистую и грязную энергию, [Kocaarslan и Soytaş \(2019\)](#) показывают асимметричную связь между двумя энергетическими рынками. [Saeed et al. \(2021\)](#) приводят доказательства того, что корреляционная связь между "зелеными" и "коричневыми" энергетическими активами не является стабильной с течением времени и что акции "зеленых" энергетических компаний и "зеленые" облигации могут хеджировать "коричневую" энергию.

J. Vaynsyur et al.
активы, такие как сырая нефть.

Хотя в обширной литературе изучалась взаимосвязь между "зеленой" и "коричневой" энергией, очень мало работ посвящено анализу "зеленой" и "коричневой" энергии через различные частоты и/или временные шкалы, несмотря на их важность для понимания поведения инвесторов. Среди работ, посвященных частотному анализу, Xi et al. (2022) применяют расширенный частотный тест причинности Грейнджера, основанный на Breitung and Can- delon (2006), для выявления причинно-следственной связи между ВИЭ и сырой нефтью в экстремальном периоде. С 2012 по 2021 год они не обнаружили значимой причинно-следственной связи при нормальных потрясениях, но она сильно возрастает при экстремальных потрясениях. Они показывают сильную причинно-следственную связь в краткосрочных и долгосрочных циклах деловой активности, используя причинно-следственную связь по частотам. Ferrer et al. (2018) используют методику временной частотной связанности для данных с 2003 по 2017 год и обнаруживают, что связанность рынков сырой нефти и зеленых акций в основном обусловлена высокочастотным диапазоном. В отличие от предыдущих исследований, они утверждают, что цены на сырую нефть не являются основным драйвером "зеленого" фондового рынка. Напротив, они утверждают, что между двумя видами энергии происходит процесс развязки. Как и Ferrer et al. (2018), Maghyereh et al. (2019) обнаруживают слабую связь между "зеленой" и "коричневой" энергиями, используя метод вейвлетов.

Наиболее близкой к нашей работе является работа Reboredo et al. (2017), которые используют дискретные и непрерывные вейвлеты с 2006 по 2015 год для исследования причинно-следственной связи между ВИЭ и сырой нефтью. Они обнаружили, что причинно-следственная связь между ВИЭ и сырой нефтью изменяется со временем и в долгосрочной перспективе сильнее, чем в краткосрочной. Однако, в отличие от нашего исследования, они не контролируют экономическую неопределенность и волатильность фондового рынка. Действительно, растущий объем литературы демонстрирует влияние настроений инвесторов на объяснение поведения как

сырой нефти, так и фондового рынка. Если не контролировать над такими переменными могло привести к искажению результатов. Эта научная литература включает в себя EPU, волатильность фондового рынка, запросы Google, текстовый анализ и настроения в Twitter.⁵ Например, используя еженедельные данные с 1997 по 2013 год, Antonakakis et al. (2014) обнаружили, что EPU является основным передатчиком шоков цен на сырую нефть. Аналогичным образом, используя подход копулы, Aloui et al. (2016) показывают, что более высокая неопределенность, рассчитываемая по EPU, увеличивает доходность сырой нефти. Используя модель TVP-VAR с 2007 по 2020 год, Apostolakis et al. (2021) приводят доказательства того, что цены на сырую нефть (Brent) являются чистыми получателями шоков от EPU, а также финансового стресса в периоды турбулентности, такие как пандемия COVID-19. Используя соответствующую GARCH-модель за период с 1997 по 2016 год, Wei et al. (2017) пришли к выводу, что EPU можно использовать для прогнозирования цен на WTI. Phan et al. (2021) также приводят доказательства влияния EPU на финансовый рынок за период 1996-2016 годов.

Акции чистой энергетики не исключены из этой динамики, как отмечают Бродсток и Ченг (Broadstock and Cheng, 2019); на "зеленые" облигации может влиять волатильность финансового рынка (например, VIX) и EPU. Wang et al. (2022b) подтвердили эту связь, используя авторегрессионную модель за 2003-2020 годы. Они сообщают о значительной предсказательной силе EPU для прогнозов индекса чистой энергии. Аналогичным образом, Lundgren et al. (2018) приводят доказательства влияния индексов неопределенности как чистого передатчика волатильности для "зеленых" инвестиций в периоды кризисов, таких как мировой финансовый кризис. Поэтому важно учитывать экономическую неопределенность и подразумеваемую волатильность фондового рынка. Более того, в отличие от Reboredo et al. (2017), мы не ограничиваем наш анализ глобальным индексом или индексом ветровой и солнечной энергии, а исследуем совместное движение между сырой нефтью и различными индексами возобновляемых источников энергии (например, солнечной энергии, ветровой энергии, биоэнергии и геотермальной энергии). Мы также изучили совместное движение за период COVID- 19, расширив предыдущий анализ.

⁴ В некоторых исследованиях рассматривается влияние потрясений, связанных с сырой нефтью, на рынок труда (Herrera and Karaki, 2015; Herrera et al., 2017), экономический рост (Karaki, 2017) и взаимосвязь нефти и продовольствия (Bahel et al., 2013). Некоторые другие исследования рассматривают проблемы изменения климата (Djoundourian, 2021), цели экологической политики (Hilmi et al., 2021) и налоги на выбросы (Marrouch and Sinclair-Desgagn'e, 2012), учитывая, что на монетарную политику влияет меняющаяся финансовая среда (Shahin and El-Achkar, 2017).

⁵ Автоматизированный поиск текста по социальным платформам оказался очень полезным в различных научных областях (см. Abebe et al., 2020; Hamadeh et al., 2020), а некоторые исследования подчеркивают роль влиятельных лиц на этих платформах (например, Srour et al., 2022).

⁶ В других исследованиях подчеркивается влияние неопределенности климатической политики на динамику запасов "зеленой" и "коричневой" энергии (см., Bouri et al., 2022).

3. Методология и описание данных дочери:

3.1. Описание методологии

В экономической литературе все больше внимания уделяется объяснению связей между "коричневой" и "зеленой" энергетикой через финансовый рынок, что привело к применению различных подходов. Однако большинство исследований сосредоточено только на анализе временной области, несмотря на сосуществование различных инвесторов с различными инвестиционными горизонтами. Кроме того, традиционные эконометрические методы оценки причинности или коинтеграции между рядами, такие как некаузальность Грейнджера, основанная на векторном авторе...

грессивная модель (VAR) и авторегрессионная модель с распределенным лагом (ARDL).

тест, предполагают стабильность ряда во времени. Например, [Lütkepohl](#)

(1989) показал, что на традиционный тест причинности Грейнджера может повлиять наличие структурных разрывов. Следовательно, вспышка COVID-19 могла повлиять на наши результаты. В Приложении мы приводим доказательства неустойчивой взаимосвязи при применении теста на некаузальность Грейнджера или теста на связанность ARDL к нашему набору данных (см. Приложение 6.1). [Брейтунг и Канделон \(2006\)](#) определяют частотный тест причинности Грейнджера для выявления причинно-следственной связи в течение делового цикла. Хотя эта методология основана на частотной области, она сохраняет динамичность временного ряда и, основываясь на преобразовании Фурье, заставляет ряд следовать синусоидальной форме, что редко встречается в финансовых данных. Мы основываем наше исследование на вейвлет-анализе, поскольку он позволяет преодолеть эти проблемы. Во-первых, анализ временного ряда с помощью вейвлет-метода используется для характеристики поведения ряда в различных временных масштабах (например, частотах) при сохранении временного измерения. Во-вторых, анализ на основе вейвлетов не подвержен влиянию шоков или нестационарности. Более того, использование метода непрерывных вейвлетов помогает изобразить серию поведение с течением времени и частоты постоянно.

В частности, сначала мы используем анализ непрерывного вейвлет-преобразования для определения движения между сериями. Во-вторых, мы применяем частичный CWT для контроля ключевых применить тест на некаузальность Грейнджера к каждому вейвлет-разложению, чтобы получить доказательства причинно-следственной связи между WTI и RE в зависимости от временных горизонтов инвесторов.

3.1.1. Непрерывное вейвлет-

Вейвлет-анализ, через вейвлет-когерентность, используется для описания временного ряда по трем измерениям: время, частота и интенсивность корреляции. Вейвлет-когерентность использовалась для отображения интенсивности корреляции между двумя переменными во временной и частотной областях на одном графике с помощью вейвлет-преобразования и кросс-спектральных методов. Действительно, чтобы правильно определить взаимосвязь между фондовыми индексами нефти и возобновляемых источников энергии, необходимо использовать точный метод для отображения эволюции этой связи во времени и частотах. Исследования, изучающие связь между нефтью и возобновляемыми источниками энергии, демонстрируют не стабильную связь, а скорее колеблющуюся во времени. Более того, финансовый рынок хорошо известен как агент, связывающий рынки с различными временными горизонтами. Оба элемента требуют точного метода

(CWT) временного ряда - это просто бесконечная сумма вейвлетов

$$W_x(\tau, s) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (2)$$

Важно обеспечить правильный тип вейвлет-функции. Следуя [Aguar-Conraria и Soares \(2014\)](#), мы используем вейвлет Морлета, поскольку он лучше соответствует нашей цели - выделить фазовое взаимодействие и амплитуду связи во времени. Эта цель требует использования сложного вейвлета, который доступен только при использовании подхода вейвлета Морле.⁸

$$\omega_0 = 2\pi \quad (3)$$

$$\Psi(t) = \pi^{-1/2} e^{-i\omega_0 t^2/2}$$

Спектр вейвлет-мощности, кросс-вейвлет-мощности и кросс-вейвлет-преобразование используются для выявления связи между двумя временными рядами. Спектр вейвлет-мощности определяется как $WPS_x(\tau, s) = |W_x(\tau, s)|^2$. Это измеряет дисперсию временного ряда как по времени, так и по частоте

область. Затем можно определить кросс-вейвлет преобразование двух временных рядов $x(t)$ и $y(t)$.

$$W_{xy}(\tau, s) = W_x(\tau, s) \overline{W_y(\tau, s)} \quad (4)$$

Используя это преобразование, мы можем записать мощность кросс-вейвлета как $|W_{xy}(\tau, s)|$. В то время как спектр вейвлет-мощности измеряет дисперсию временного ряда, кросс-вейвлет-мощность измеряет ковариацию между двумя временными рядами как во временном, так и в частотном масштабе. Кросс-вейвлет мощность затем используется для расчета вейвлет-когерентности, которая имеет преимущество быть нормализованной по спектру мощности, что позволяет лучше измерить амплитуду связи, связывающей два временных ряда.

Комплексная вейвлет-когерентность задается:

$$\rho_{xy} = \frac{S(W_{xy})}{[S(W_x)]^{1/2} [S(W_y)]^{1/2}} \quad (5)$$

Вейвлет-когерентность, которая является абсолютным значением вышеуказанной функции, равна:

$$R_{xy}(\tau, s) = \frac{|S(W_{xy})|}{[S(W_x)]^{1/2} [S(W_y)]^{1/2}} \quad (6)$$

CS - оператор сглаживания.

Одним из основных преимуществ использования сложного вейвлета, такого как вейвлет Морлета, является возможность получения синфазной и противофазной информации. Таким образом, этот анализ дает информацию о задержках, которые возникают между двумя колебаниями нашей серии на каждом временном и масштабном (т.е. частотном) уровне. Он фиксирует, как циклы развиваются во времени. Циклы обеих серий могут быть синфазными (обратно противофазными), что означает, что циклы положительно (обратно отрицательно) коррелированы. Но также, если циклы $x(t)$ предварительно уступают циклам $y(t)$, и в обратном направлении. Эта последняя информация дает представление о том, какая серия опережает другую. Эта информация дается значением следующей формулы:

для захвата временных и частотных эффектов. Вейвлет-анализ представляется наиболее надежным методом для захвата этих элементов.

Непрерывное вейвлет-преобразование основано на материнской и дочерние вейвлеты (обозначаются ψ и $\psi_{\tau,s}$, соответственно). Последний определяется следующим образом:

$$\psi_{\tau,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \psi\left(\frac{t - \tau}{s}\right) \text{ при } s \in \mathbb{R} \setminus \{0\} \quad (1)$$

С s - коэффициент масштабирования или расширения, а τ - параметр перевода. Первый параметр управляет шириной вейвлета, а второй - расположением вейвлета. Непрерывное вейвлет-преобразование

⁷ Вейвлет-преобразование используется в нескольких областях (см. Катича и др., 2017, 2021).

$$\phi_{xy}(s, \tau) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}(W_{xy}(s, \tau))}{\text{Re}(W_{xy}(s, \tau))} \right), \phi_{xy}(s, \tau) \in [-\pi, \pi]. \quad (7)$$

Учитывая значение ϕ_{xy} , могут возникнуть четыре различные ситуации. Во-первых, оба временных ряда могут быть синфазными на данной частоте (положительно коррелированные), что означает, что $\phi_{xy} \in (0, \pi)$ или $\phi_{xy} \in (-\pi, 0)$. В первом случае,

Говорят, что x ведет за собой y , в то время как во втором случае все временные ряды могут быть описаны противофазной (Корреляция) означает, что $\phi_{xy} \in (\frac{\pi}{2}, \pi)$ или $\phi_{xy} \in (-\frac{\pi}{2}, -\pi)$. Как и ранее, первый случай указывает на то, что лидирует y , а второй - на то, что лидирует x . Рис. 1 обобщает эти результаты.

Как подчеркивается в научной литературе, коэффициент корреляции

⁸ Более подробную информацию по этому вопросу см. в Aguiar-Contraria and Soares (2014).

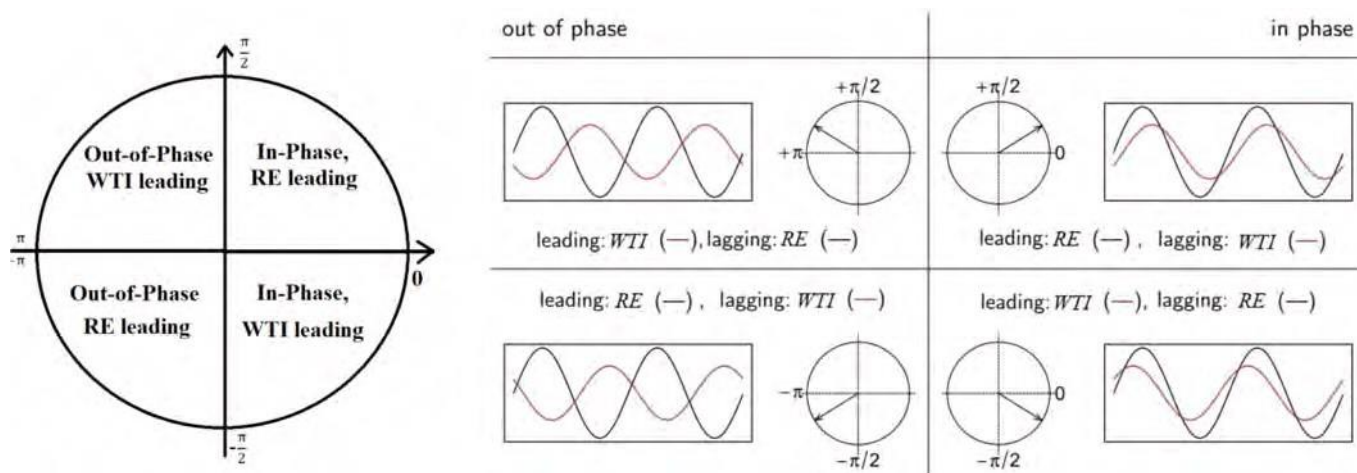


Рис. 1. Интерпретация разности фаз на основе Aguiar-Contraria и Soares (2014) и Schmidbauer и Roesch (2018).

может быть необъективным, так как на обе интересующие переменные могут влиять другие аналогичные переменные. Таким образом, использование частичной корреляции может помочь в следующем

преодолеть эту проблему, извлекая ложную корреляцию, вызванную этими переменными. Следующая формула, основанная на $R_{xy}(\tau, s)$, определяет частичную вейвлет-когерентность трех временных рядов: $x(t)$; $y(t)$ и $z(t)$, управляющей переменной.

$$R_{xy}(x, y, z) = \frac{|R(x, y) - R(x, z) \times R(y, z)|^2}{[1 - R(x, z)]^2 [1 - R(y, z)]^2} \quad (8)$$

Методы Монте-Карло используются для оценки вейвлет-когерентности и частичной вейвлет-когерентности, чтобы найти статистический уровень значимости и определить доверительный интервал разности фаз исследуемого временного ряда.

3.1.2. Вейвлет-разложение

Вейвлет-когерентность позволяет проводить комплексный анализ между двумя временными рядами в трехмерном и непрерывном виде, он может не выявить причинность.⁹ Для преодоления этой проблемы мы используем дискретное разложение наших переменных, чтобы использовать причинность по Грейнджеру в различных временных масштабах с помощью дискретного вейвлет-разложения. Мы использовали дискретное вейвлет-преобразование с максимальным перекрытием (MODWT), основанное на вейвлет-фильтре Даубечиса. Были предложены различные методы разложения. Однако метод MODWT имеет значительные преимущества по сравнению с другими, поскольку он менее чувствителен к начальной точке отсчета (Maghyreh et al., 2019), а длина ряда может быть разной по мощности. Он также позволяет сохранить длину декомпозиции равной длине исходного ряда, чего нельзя сказать о других методах. Последнее обстоятельство особенно важно при анализе финансовых временных рядов, поскольку позволяет сравнивать события, происходящие в точный момент времени, тогда как это было бы невозможно, если бы при разложении не сохранялась равная длина исходного ряда.

Вычисление вейвлет-разложения состоит из двух этапов. Во-первых, на каждом уровне создаются детальные коэффициенты. Во-вторых, производятся коэффициенты масштабирования для последнего уровня. Во-первых, пусть $h_{j,l}$, дискретное разложение. фильтр вейвлет-преобразования и $g_{j,l}$, масштабирующий фильтр, $l = 1, \dots, L$, длина фильтра и j -й уровень разложения. Вейвлет $h_{j,l}$ и

$$h = \frac{h_{j,l}}{g} \quad \text{и} \quad g = \frac{g_{j,l}}{h} \quad (9)$$

$$j, l = 2^{j/2} \cdot 2^{l/2}$$

Он следует за фильтрами MODWT:

$$W_{j,l} = \sum_{i=0}^{L_j-1} h_{j,l} X_{i \bmod N} \quad (10)$$

$$V_{j,l} = \sum_{i=0}^{L_j-1} g_{j,l} X_{i \bmod N} \quad (11)$$

Где $W_{j,l}$ - вейвлет-коэффициенты j -го уровня, а $V_{j,l}$ - масштабные коэффициенты возвратного ряда. Исследуемый ряд может быть переписан на основе этого разложения:

$$r = \sum_{t=0}^{L-1} \sum_{j=0}^J \sum_{l=1}^L W_{j,l} \hat{D} + \hat{S} \quad (12)$$

масштабирующий $g_{j,l}$ фильтр MODWT определяется как:

⁹ В обработке сигналов когерентность может быть использована для оценки причинности между двумя временными рядами только в том случае, если эти два временных ряда линейны и эргодичны, что в данном случае не так. Для получения более подробной информации по этому вопросу полезно обратиться к Granger (1969) и Krapavickaite (2022) для получения более подробной информации о взаимосвязи между когерентностью и причинностью.

С j_0 - это количество уровней вейвлет-разложения. Затем серии описываются суммой частотных компонентов (D_j) и

оператор вейвлет-сглаживания (S_j), представляющий долгосрочный тренд:

$$r_t = S_j(t) + D_j(t) + D_{j-1}(t) + \dots + D_1(t) \quad (13)$$

Следуя литературным данным, мы используем $j = 9$ уровней декомпозиции. Этот выбор приводит к девяти различным уровням декомпозиции. Первый,

обозначенный D_1 , отражает самую высокочастотную компоненту, представляющую двухдневную частоту ($2^1 = 2$), а последнее разложение D_9 обозначает 512-дневную частоту. Декомпозиция позволяет выделить короткие...

средне- и долгосрочные вариации продолжительностью от 2 до 512 дней. Ежедневные эффекты измеряются D_1 , а еженедельные эффекты измеряются D_2 (=4 дня) и D_3 (=8) и могут определять краткосрочные. Среднесрочный период может

И наконец, долгосрочный период может быть определен как период от нескольких месяцев до нескольких лет (D_7 , D_8 и D_9). В таблице 1 представлена связь между вейвлет-разложениями.

Таблица 1

Интерпретация частотно-временного разложения.

Компоненты	Масштабы вейвлета	Периоды
D1	2	2-4 дня
D2	4	4-8 дней
D3	8	8-16 дней
D4	16	16-32 дня
D5	32	32-64 дня
D6	64	64-128 дней
D7	128	128-256 дней
D8	256	256-512 дней
D9	512	512-1024 дней

и временной шкалы. В нашем анализе мы используем декомпозицию исходных рядов с тестом на некаузальность Грейнджера для исследования причинно-следственных связей, которые могут существовать на разных частотных шкалах.

3.2. Описание данных

В данном исследовании используются четыре индекса "зеленой" энергетики из семейства NASDAQ-OMX: Nasdaq-Solar (или солнечный), Nasdaq-Wind, Nasdaq-Bioenergy и Nasdaq-Geothermal. Эти четыре индекса доступны на сайте Quandl с 15 октября 2010 года по 23 февраля 2022 года.¹⁰ Мы также использовали сырую нефть в качестве эталона для коричневой энергии. Данные о ценах на сырую нефть (т.е. WTI) собираются с сайта Fred's ежедневно.¹¹ Графики уровней цен представлены в Приложении А.1, а их логарифмические доходности - на рис. А.2.

Использование конкретного индекса для сектора возобновляемых источников энергии не случайно (т.е. солнечная, ветровая, геотермальная и биоэнергетика). Эти виды энергии рассматриваются как ключевые технологии для поддержки энергетического перехода и привлекают более 75% мировых инвестиций в возобновляемую энергетику (IRENA, 2020a). Несмотря на то, что эти технологии привлекают наибольшее внимание, они остаются разными и могут действовать по-разному при колебаниях цен на нефть. С одной стороны, уровень зрелости рассматриваемых видов энергии различен. Ветровая и солнечная энергия менее зрелые, чем биоэнергетика, которая рассматривается Международным энергетическим агентством (IEA, 2019a) как наиболее развитая возобновляемая энергия, на которую приходится более двух третей мирового потребления возобновляемого тепла в 2018 году. С другой стороны, прогноз роста этих технологий различен. Ожидается, что к 2024 году потребление геотермальной энергии в Европейском союзе увеличится на 270% (IEA, 2019b). Более того, солнечная, ветровая и геотермальная энергия являются косвенными конкурентами нефти, поскольку нефть не используется преимущественно для производства электроэнергии, в то время как биоэнергетика является прямым конкурентом нефти.

Индекс Nasdaq OMX Bio/clean energy fuel состоит из компаний, работающих в сфере производства топлива, целью которых является замена топлива на основе нефти для транспорта. Индекс Nasdaq OMX Geothermal Index предназначен для отслеживания компаний, производящих энергию с помощью геотермальной энергии. Nasdaq OMX Solar Index состоит из компаний, производящих энергию с помощью солнечной энергии. Nasdaq OMX Wind предназначен для отслеживания компаний, которые производят энергию благодаря энергии ветра. Все эти индексы регулярно пересчитываются, чтобы следить за реальным развитием рынка (например, доля рынка, занимаемая каждой компанией на глобальном или региональном уровне, вход или выход компаний и т.д.).

Кроме того, для контроля экономической и фондовой неопределенности мы использовали индекс EPU Бейкера и др. (2016), а также СВОЕ VIX.¹² Первый индекс используется для измерения экономической неопределенности на основе газетных новостей. Он измеряет неопределенность в зависимости от частоты появления определенных слов в газете. Второй индекс используется для измерения волатильности фондового рынка и основан на волатильности индекса S&P 500 за 30 дней. Графики VIX и EPU приведены в Приложении А.3. Как и в Fahmy (2022), мы перевели VIX и EPU в темпы роста, взяв логарифм первой разности.

В таблице 2 представлена сводная статистика исследуемых переменных. Все наши переменные имеют отрицательный перекокс, за исключением геотермального индекса, а также EPU и

VIX. Значения эксцесса больше 3 свидетельствуют о наличии лептокуртического распределения по сравнению с нормальным распределением. Доходность нефти имеет большее стандартное отклонение и дисперсию. Тест Жарка-Бера позволяет установить, что переменные не соответствуют нормальному распределению. Кроме того, мы приводим результаты двух тестов на

¹⁰ Период анализа обусловлен доступностью данных. Во-первых, потому что индексы возобновляемых источников энергии NASDAQ-OMX были впервые выпущены в 2010 году. Во-вторых, потому что мы были вынуждены прекратить анализ до начала украинского кризиса, который начался 24 февраля 2022 года.

¹¹ Для надежности мы также используем фьючерсные цены на нефть марки WTI и нефть марки Brent.

J. Bouvier et al. стационарность: тест Филлипса-Перрона и тест Квятковского-Филлипса-Шмидта-Шина. Мы видим, что все ряды доходности стационарны.

Период COVID-19 был отмечен беспрецедентным падением стоимости рынков (см. графики в Приложении [рис. A.1](#)). Впервые в истории WTI (например, сырой нефти) ее цена стала отрицательной. Индекс цен на биоэнергию и геотермальную энергию, похоже, следует той же тенденции на протяжении всего периода. Таким образом, мы разделили наш анализ на весь период, период до COVID-19 и период COVID-19. Мы используем тест Зивота-Эндрюса и тест Клементе-Монтана-Рейса для определения оптимальной точки перелома. Эти начальные даты показаны в [Таблице 2](#). Во всех случаях мы видим, что период COVID-19 меняет поведение нашего ряда. Мы также можем отметить, что для всех наших серий точка перелома наступает около 14 марта 2020 года. В этот день Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) официально объявила, что COVID-19 является всемирной пандемией.

4. Эмпирические результаты

4.1. Результаты вейвлет-когерентности

CWT и частичное непрерывное вейвлет-преобразование (PCWT) между сырой нефтью и доходностью акций возобновляемых источников энергии показаны на [рис. 2 и 3](#), вместе с результатами фазового и дифазного преобразования. Рисунки организованы следующим образом впоследствии. Во-первых, горизонтальная ось отображает время (2010–2022).

Во-вторых, вертикальная ось представляет различные частоты, переведенные в единицы времени, от 2 дней до 900 дней, представляющие циклы от нескольких дней до 3,5 лет. В-третьих, черный круг внутри каждого рисунка обозначает оценку Монте-Карло на 5% уровне значимости.¹³ На данном этапе важно отметить, что оценка когерентности вейвлета рассчитывается непрерывно, что означает, что корреляция, рассчитанная в конкретной точке, требует информации в соседней.

индекса цен и получили аналогичные результаты. Результаты предоставляются по запросу. ____

¹² Источник EPU: <https://www.policyuncertainty.com>. Source VIX: https://www.cboe.com/tradable_products/vix.com.

Следовательно, результаты, представленные в [рис. 2](#), должны рассматриваться с пристрастием из-за недостатка информации. В-четвертых, цвет, от синего до красного, отражает интенсивность взаимосвязи. Чем теплее (холоднее) цвет, тем выше (ниже) корреляция между двумя временными рядами. Наконец, под каждым показателем вейвлет-когерентности отображаются графики, представляющие разность фаз, рассчитанную для определенных временных частот.

При рассмотрении CWT мы видим, что связь между доходностью акций WTI и RE эволюционирует с течением времени, варьируясь от периодов с высокой совместной динамикой (в красном цвете) до периодов без признаков совместной динамики (в синем цвете) и с избыточной частотой. Этот результат согласуется с данными литературы ([Reboredo et al., 2017](#)). Следовательно, использование этого метода представляется особенно подходящим для отражения вариаций зависимости между переменными. Во-первых, мы можем отметить, что совместное движение WTI и ВИЭ не является постоянным во времени, что соответствует процессу развязки между коричневой и зеленой энергией ([Ferrer et al., 2018](#)). Мы также можем отметить три общих периода высокого совместного движения: с 2010 по 2012 год, около 2015 года и в 2020 году. Этот результат схож с данными [Foglia et al. \(2022\)](#) и [Xia et al. \(2019\)](#). Первый период был связан с напряженностью на рынке нефти, в частности, из-за арабского восстания, начавшегося в декабре 2010 года. 2015 год связан с Парижским соглашением. После нескольких месяцев переговоров Парижское соглашение было принято в декабре 2015 года. Наконец, в 2020 году пандемия COVID-19 затронула весь мир. В отношении последнего события можно отметить, что пандемия приводит к устойчивой связи между WTI и биоэнергетикой, в то время как для другого индекса она кажется временной. Поэтому ветровая, геотермальная и солнечная энергия могут характеризоваться более высокой устойчивостью.

Более конкретно, результаты пары возвратов Solar-WTI, представленные на [рис. 2](#), показывают отсутствие совместного движения в общем периоде. Высокочастотная область (например, от 1 до 32 дней цикла) описывается островком совместного движения. Более интенсивная взаимосвязь проявляется

¹³ Для надежного анализа совместного движения, используя моделирование Монте-Карло, мы решили использовать 5000 итераций.

Таблица 2

Описательная статистика и тест на единичный корень.

	Средний	Станд. Dev.	Мин	Макс	Коэффициент перекоса	Куртосис	Испытан ие JB	Филлипс - Перрон	KPSS	Живот - Эндрюс	Клементе-Монтан-Рейес
											Оптимальный перерыв
WTI	3.02e-05	0.0774	-2.961	2.785	-3.295	1338	139.2***	-	0.0128	-26.801***	16/04/ 2020
NASDAQ- SOLAR	0.000398	0.0208	-0.193	0.121	-0.440	9.018	2772***	133.310***	0.0825	-	12/03/ 2020
NASDAQ- WIND	0.000320	0.0166	-0.133	0.0772	-0.498	7.542	627.8***	52.875***	0.131	-19.825***	10/03/ 2020
NASDAQ- БИО	4.15e-05	0.0182	-0.182	0.134	-1.039	16.14	1513***	50.275***	0.0342	-18.988***	10/03/ 2020
NASDAQ- GEO	7.69e-05	0.0167	-0.134	0.183	0.335	16.09	3811***	55.937***	0.0214	-20.005***	13/03/ 2020
EPU	-0.00153	-0.00015	-3.148	3.2156	0.0638	5.357	1.2e+04	-54.817***	0.00298	-30.199***	18/03/ 2020
VIX	-8.5e-06	0.079	-0.31	0.768	0.00628	9.32	2.5e+04	128.397***	0.0072	-22.235***	12/03/ 2020

Примечание: В данной таблице представлена описательная статистика всех переменных. Тест Жарка-Бера (JB) показывает результаты на нормальность данных. Тесты Филлипса-Перрона и Квятковского-Филлипса-Шмидта-Шина (KPSS) показывают тест на единичный корень. В то время как Zivot-Andrews и Clemente-Montan'es-Reyes предоставляют тест на единицу корня со структурным разрывом. *** указывает на значимость на уровне 1%.

на низких частотах (около 260-дневных циклов) с 2010 по 2013 год, а затем с 2015 по 2020 год. Можно отметить остров корреляции в 2019-2020 годах на периоде 62-128 дней, который может быть связан с COVID-19. Поскольку совместное движение более важно в диапазоне 128-520 дней, мы исследовали фазу (например, положительную корреляцию) и противофазу (например, отрицательную корреляцию) совместного движения Solar и WTI в этом диапазоне частот. В начале и в конце периода WTI опережает солнечную энергию, что означает, что потрясения распространяются от нефти к солнечной энергии. Этот результат согласуется с данными Foglia et al. (2022), которые обнаружили более высокий уровень взаимосвязи между ВИЭ и WTI во время арабского восстания и в период COVID-19. В период с 2013 по 2020 год солнечная энергия и WTI находятся в фазе, причем солнечная энергия лидирует (например, толчки идут от солнечной энергии к WTI). Согласно Ферреру и др. (2018), эффективность "зеленых" компаний частично объясняется технологическими инновациями и законодательством. Поэтому снижение стоимости солнечных электростанций в период с 2013 по 2020 год (IRENA, 2021b) может объяснить более высокий уровень корреляции между солнечной энергией и WTI. Снижая себестоимость, солнечная энергетика становится более конкурентоспособной по сравнению с нефтяной, сокращая использование нефти.

Результаты для пары "ветер-ВТИ" весьма схожи с результатами для пары "солнце-ВТИ". На высоких частотах существенной взаимосвязи не наблюдалось. Совместные движения распространяются на весь период. Однако на низких частотах связь сильнее в начале периода. Важными являются две частоты: 128-266 дней и 520-900 дней. Однако интенсивность взаимосвязи не была устойчивой и почти полностью исчезла после 2015 года. Фактически, с развитием ветровых технологий обе энергии перестали быть прямыми конкурентами и используются для удовлетворения разного глобального спроса на энергию (Ferrer et al., 2018). Анализ разности фаз для частотных диапазонов 128-260 дней показывает, что оба возвратных ряда были синфазны с WTI, лидирующим ветром в период с 2010 по 2013 год. Такой более высокий уровень корреляции можно объяснить напряженностью в странах Ближнего Востока, в частности, после гражданской войны в Ливии (Foglia et al., 2022). Однако ветер лидирует в

период с 2014 по 2017 год с коротким периодом антифазирования в 2017 году. Однако этот период противофазы происходит, когда совместное движение не очень велико, что означает, что результаты следует интерпретировать с осторожностью. Таким образом, совместное движение в основном описывается циклами, которые положительно коррелируют между собой, при этом доходность ветра опережает доходность сырой нефти в периоды высокой корреляции.

Когда мы переходим к анализу пары доходностей Bioenergy-WTI, результаты значительно отличаются от двух предыдущих. Несмотря на то, что мы находим область распространения корреляции на высоких частотах, совместное движение не становится сильнее по мере уменьшения частоты. Тем не менее, мы отмечаем два важных острова корреляции в диапазоне частот 128 дней. Первый находится около 2015 года, а второй - около 2020 года. Для обоих

периоды (2015 и 2020 годы) цены на сырую нефть резко снизились. Анализ фазы и противофазы оказался более неустойчивым, чем две предыдущие пары. В целом, доходность биоэнергетики и WTI находится в фазе без истинного лидера. Наконец, для пары "геотермальные технологии - WTI" результаты оказались ближе к тем, что были получены для пары "биоэнергетика - WTI". Высокие частоты были описаны распространяющимися областями совместного движения. На низких частотах не наблюдалось сильного периода совместного движения, за исключением частотного диапазона в 260 дней. Опять же, обе переменные были положительно коррелированы, как мы заметили по результатам синфазного анализа. Однако явного лидера нет.

Несмотря на то, что анализ CWT дает важные результаты, совместное движение между доходностью акций WTI и RE может быть нарушено движениями, связанными с беспокойством экономических агентов, как специфических для рынка, так и связанных с текущими событиями (экономическими и финансовыми неопределенностями). Многие исследования были заинтересованы в объяснении роли настроений на волатильность и цены фондового рынка. [Reboredo и Ugolini \(2018\)](#) обнаружили связь между расходящимися настроениями в Twitter и волатильностью доходности и объемов торгов индексами RE. Используя глобальный зеленый индекс из разных регионов (Азии, Европы и США), [Уром и др. \(2021\)](#) приводят доказательства влияния VIX на зеленый индекс. Поскольку мы хотим очистить связь между этими разрушительными элементами и сохранить ее суть, мы учитываем влияние VIX и EPU на связь между доходностью WTI и доходностью сектора акций ВИЭ. Если мы не включим эти колебания рыночного настроения, могут возникнуть совместные движения, даже если они не связаны с самими индексами, а скорее с периодами стресса. Этот эффект является хорошо известной проблемой, связанной с ошибкой опущенной переменной.

Для этого мы используем два известных индекса неопределенности: VIX (волатильность фондового рынка) и EPU. Первый часто называют "индексом страха" в финансовой литературе и широко используют для индикации неприятия риска инвесторами. Он строится на основе волатильности, присущей индексу S&P 500, и отражает нервность рынка. Таким образом, рост VIX указывает на большую неопределенность на фондовом рынке, в то время как падение, как правило, отражает более спокойный период на рынке с меньшей неопределенностью относительно текущей цены. Последний показатель, построенный [Бейкером и др. \(2016\)](#), также отражает неопределенность, но на этот раз присущую новостям интересующей нас страны (здесь - США). Таким образом, его структура отличается от VIX, поскольку он строится на основе встречаемости таких терминов, как "экономика", "политика" и "неопределенность" в основных газетах. Эти две переменные не являются тривиальными, поскольку каждая из них предоставляет дополнительную информацию. Первая более подходит для отражения беспокойства на фондовом рынке, чем вторая. Последняя отражает беспокойство, связанное с реальной экономикой. Этот подход был принят [Бейкером и др. \(2020a\)](#). Говоря об индексе EPU, они отмечают: "Газетные показатели неопределенности ориентированы на будущее в том смысле, что

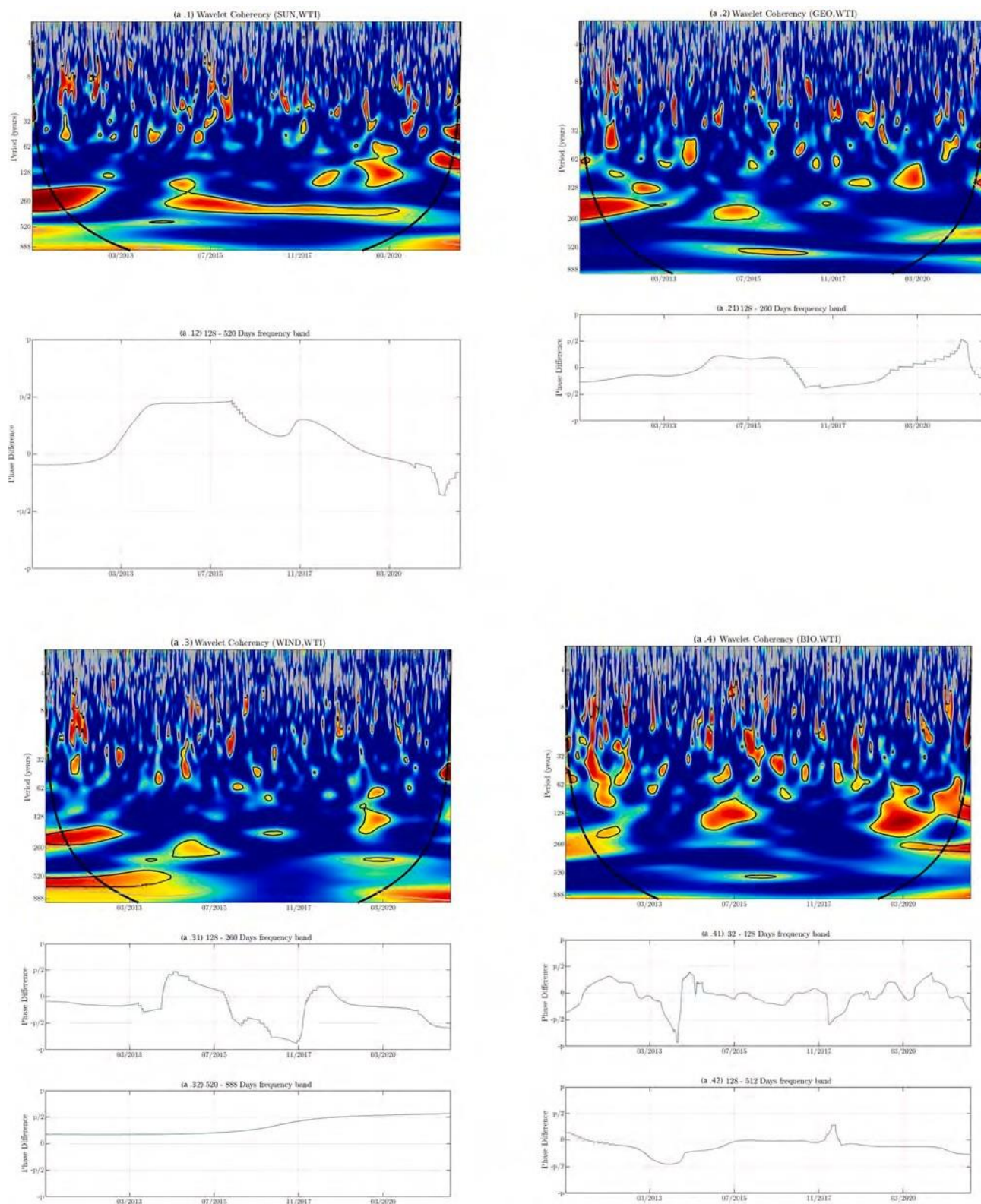
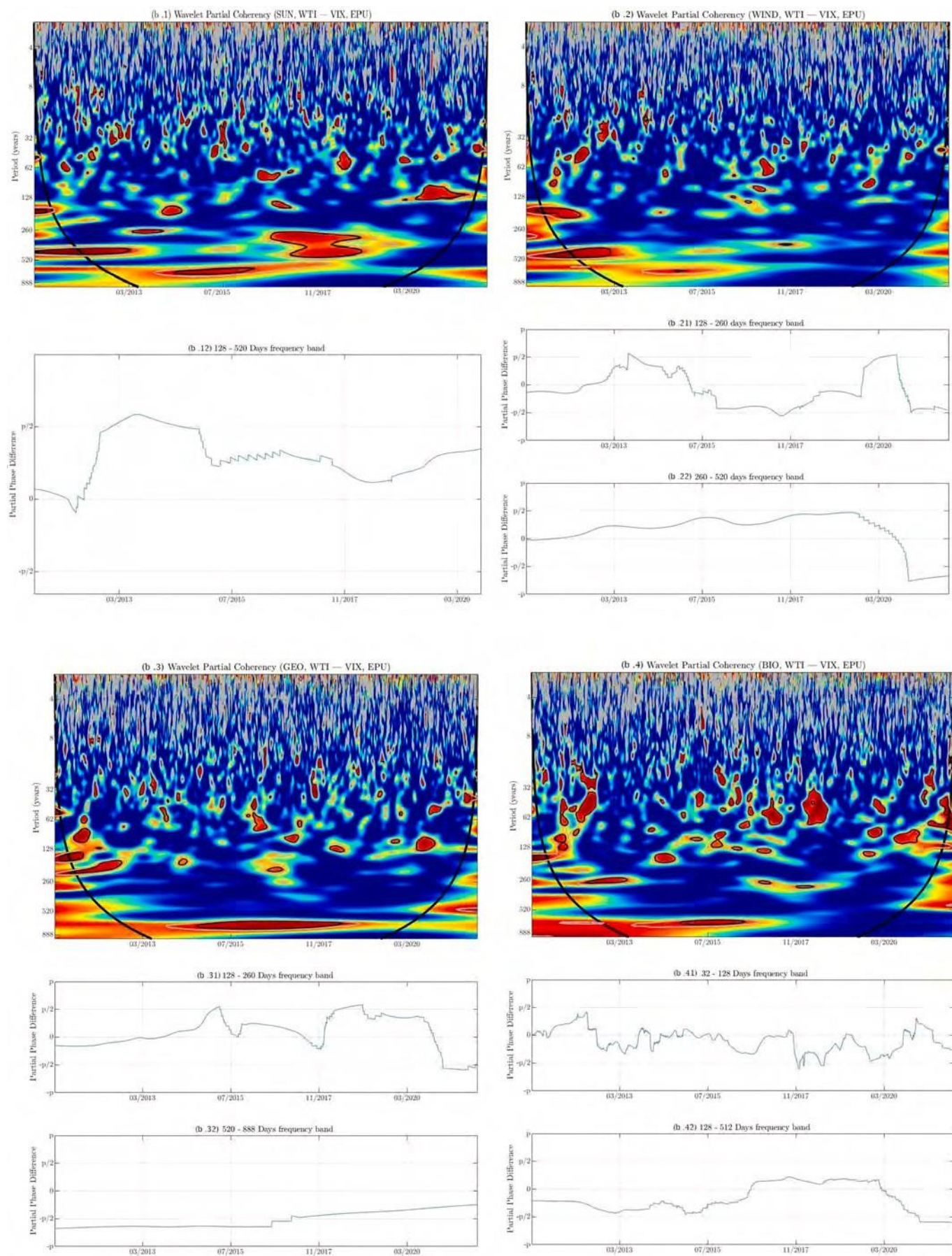


Рис. 2. Непрерывная вейвлет-когерентность. (Для интерпретации ссылок на цвет в легенде этого рисунка читатель отсылается к веб-версии этой статьи).
 Примечание: На этом рисунке представлена неограниченная вейвлет-когерентность WTI-Solar, WTI-Wind, WTI-Geothermal energy и WTI-Bioenergy с 15 октября 2010 года по 23 февраля 2022 года, используя ежедневные данные. Ось y показывает частоту, а ось x - период (с 2010 по 2022 год). Чем теплее (красный) цвет, тем выше интенсивность связи, а чем холоднее (синий), тем ниже интенсивность связи. Черные круги дают оценку Монте-Карло при 5% уровне значимости. Под каждым рисунком показана разность фаз во времени для конкретного частотного диапазона. Представление фазы и противофазы значимо только тогда, когда ко-движение между двумя переменными велико (красный цвет).



(подпись на следующей странице)

Рис. 3. Частичная непрерывная вейвлет-когерентность - VIX EPU. (Для интерпретации ссылок на цвет в легенде этого рисунка читатель отсылается к веб-версии этой статьи).

Примечание: На этом рисунке представлена частичная вейвлет-когерентность WTI-Solar, WTI-Wind, WTI-Geothermal energy и WTI-Bioenergy, обусловленная EPU и VIX с 15 октября 2010 года по 23 февраля 2022 года на основе ежедневных данных. Ось y показывает частоту, а ось x - период. Чем теплее (красный) цвет, тем выше интенсивность связи, а чем холоднее (синий), тем ниже интенсивность связи. Черные круги дают оценку Монте-Карло при 5% уровне значимости. Под каждым рисунком показана разность фаз во времени для конкретного частотного диапазона. Представление фазы и противофазы значимо только тогда, когда ко-движение между двумя переменными велико (красный цвет).

они отражают неопределенность реального времени, воспринимаемую и выражаемую журналистами". Использование этих переменных также имеет преимущество, поскольку позволяет контролировать аномальное поведение.

4.2. Результаты частичной вейвлет-когерентности

Поскольку наш предыдущий анализ может быть предвзятым из-за неконтролируемых переменных, которые могут влиять на связь между обеими интересующими нас переменными, мы добавили VIX и EPU в наш анализ, чтобы ослабить зависимость между нашими переменными и выявить истинные отношения, которые могут быть скрыты неопределенностью. Неопределенность и настроения агентов отражаются в VIX и EPU, что приводит к размыванию связи между нашими переменными. Таким образом, наше графическое представление меняется соответствующим образом (см. [рис. 3](#)).¹⁴

Использование контрольных переменных увеличивает интенсивность взаимосвязи в низкочастотном диапазоне. Таким образом, взаимосвязь между RE и WTI в значительной степени зависит от долгосрочной. Использование контрольных переменных также увеличивает область распространения корреляции на высоких частотах. Рассматривая взаимосвязь между доходами от солнечной энергии и WTI, мы обнаружили, что солнечная энергия по-прежнему опережает WTI на низких частотах с 2013 по 2020 год. Мы также обнаружили такую же взаимосвязь между парой ветра и WTI. Однако взаимосвязь между двумя сериями закончилась в 2015 году. Таким образом, взаимосвязь между ветром и WTI уменьшилась с течением времени. Этот вывод аналогичен выводу [Fahmy \(2022\)](#), который утверждает, что с 2015 года между "зеленой" и "коричневой" энергетикой начался процесс разделения, который в основном объясняется Парижским соглашением.

Взаимосвязи ко-движения с контрольными переменными для пар Геотермальный-WTI и Биоэнергетический-WTI весьма схожи. Для этих двух пар мы находим более высокую структуру совместного движения для низких частот с распределением областей совместного движения по высоким частотам. В период с 2011 по 2017 год геотермальная энергия и WTI лучше описываются противофазной зависимостью, причем геотермальная энергия опережает WTI. Однако с 2017 по 2022 год WTI лидирует, при этом обе переменные находятся в фазе. Это противоположно тому, что наблюдалось для биоэнергетики и WTI. В период с 2011 по 2016 год связь между двумя сериями была синфазной, при этом доходность WTI опережала доходность биоэнергетики, а в 2017 году совместное движение между двумя сериями прекратилось. Наконец, мы отмечаем, что контроль за настроениями инвесторов ослабляет взаимосвязь между WTI и биоэнергетикой в период COVID-19. Таким образом, на связь между RE-WTI в период COVID-19 в основном влияло движение беспокойства. Учет аномальных движений имеет решающее значение при исследовании взаимосвязи между сырой нефтью и ВИЭ.

4.3. Результаты причинно-следственной связи Грейнджера для разложенных рядов доходности

Использование контрольных переменных помогает нам лучше понять взаимосвязь между ВИЭ и WTI. Таким образом,

долгосрочная связь кажется сильной, за исключением ветра после 2015 года. Однако результаты, полученные в высокочастотных диапазонах, весьма неопределенны. Таким образом, необходимо расширить наше понимание этой взаимосвязи с помощью другого метода. Для этого мы применяем тест на некаузальность Грейнджера для различных частот.

Полюсов и с использованием MODWT на основе вейвлет-фильтра Даубеchиса. В [таблице 3](#) представлены результаты теста на некаузальность Грейнджера для всего периода, до COVID-19 и для периода COVID-19. Этот тест позволил нам подтвердить долгосрочную связь между RE и WTI для всех периодов.

Что касается всего периода, мы обнаружили обратную причинно-следственную связь между WTI и RE на каждом уровне декомпозиции, за исключением краткосрочной причинно-следственной связи между WTI и ветром. Для последней пары причинно-следственных связей мы обнаружили, что ветер вызывает WTI по Грассеру на уровнях декомпозиции D1, D2 и D4 (частота 2 дня, 4 дня и 16 дней соответственно), в то время как WTI не вызывает ветер. Таким образом, ветер вызывает WTI в краткосрочной перспективе, однако это не так для WTI.

Сравнивая период COVID-19 с периодом до COVID-19, мы обнаружили, что период COVID-19 усиливает причинно-следственную связь между WTI и ВИЭ. Действительно, мы приводим доказательства отсутствия причинно-следственной связи в краткосрочном периоде для пар WTI-солнце и WTI-ветер до периода COVID-19, в то время как эта связь появляется в период COVID-19. Мы также обнаружили, что WTI по Грейнджеру вызывает геотермальную энергию до D5, но не наоборот, в то время как биоэнергетика вызывает WTI до D4. В долгосрочной перспективе во всех случаях существует двусторонняя причинно-следственная связь. [Maghyereh et al. \(2019\)](#) и [Reboredo et al. \(2017\)](#) также показывают одностороннюю связь или отсутствие связи между "зеленым" индексом и ценой на сырую нефть в краткосрочном периоде.

В разделе 4.2 мы рассмотрели взаимосвязь между WTI и

¹⁵ В приложении С.1 мы приводим тот же тест, используя анализ мультиразрешения (MRA) дискретного вейвлет-преобразования с максимальным перекрытием (MODWT) вместо MODWT, как в [таблице 3](#). Наши результаты не изменились.

Таблица 3

Тест на некаузальность Грейнджера при различных вейвлет-разложениях.

Шкала времени	Вся выборка			До COVID-19			КОВИД-19		
	WTI → RE	RE → WTI	Результаты	WTI → RE	RE → WTI	Результаты	WTI → RE	RE → WTI	Результаты
WTI-солнечный D1	88.117***	373.24***	↔	21.346	21.127	/ =	51.322***	127.9***	↔
D2	88.875***	332.52***	↔	28.78	30.533	/ =	72.8***	160.27***	↔
D3	82.671***	411.08***	↔	26.161	28.464	/ =	68.436***	177.03***	↔
D4	84.386***	395.08***	↔	29.874	34.564	/ =	51.174***	194.51***	↔
D5	139.16***	328.62***	↔	63.277***	55.931***	↔	63.1995***	102.03***	↔
D6	223.84***	327.21***	↔	60.872***	56.756***	↔	57.115***	49.128***	↔
D7	171.89***	451.81***	↔	30.707**	18.372	↔			
D8	135.2***	377.68***	↔	39.139***	42.22***	↔			
D9	150.75***	166.22***	↔	52.69***	53.165***	↔			
WTI-ветер D1	29.135	161.71***	←	26.486	36.953*	←	19.183	94.812***	←
D2	30.148	170.71***	←	29.929	39.97	/ =	33.426	134.83***	←
D3	40.646*	175.24***	↔	34.423	37.598	/ =	41.32*	117.18***	↔
D4	36.492	159.9***	←	36.168	42.3**	←	31.556	125.73***	←
D5	88.781***	173.04***	↔	50.534**	55.017***	↔	54.158***	105.51***	↔
D6	127.37***	198.73***	↔	98.371***	78.483***	↔	46.32***	22.184***	↔
D7	30.108*	120.08***	↔	56.097***	51.614**	↔			
D8	92.684***	102.03***	↔	46.2***	37.9***	↔			
D9	68.898***	229.34***	↔	43.9***	49.09***	↔			
WTI-Geo D1	94.935***	343.5***	↔	36.918**	19.008	→	44.232***	102.7***	↔
D2	114.28***	340.6***	↔	50.893***	34.738	→	48.68***	179.3***	↔
D3	79.529***	331.43***	↔	61.37***	26.302	→	53.66***	140.79***	↔
D4	120.72***	352.46***	↔	72.542***	34.057	→	29.99*	107.31***	↔
D5	115.05***	299.63***	↔	80.158***	39.874	→	47.617***	94.913***	↔
D6	299.11***	361.84***	↔	70.767***	51.77***	↔	122.16***	165.28***	↔
D7	127.18***	311.84***	↔	53.399***	17.846	→			
D8	233***	431.36***	↔	48.392***	30.662**	↔			
D9	164.97***	279.13***	↔	72.926***	49.787***	↔			
WTI-Bio D1	94.72***	624.81***	↔	25.331	39.363**	←	55.776***	181.7***	↔
D2	89.43***	574.78***	↔	25.364	61.101***	←	59.067***	197.64***	↔
D3	106.35***	609.65***	↔	20.537	51.694***	←	196.19***	70.4***	↔
D4	129.23***	550.19***	↔	30.331	49.456***	←	81.732***	194.92***	↔
D5	219.5***	604.81***	↔	66.347***	56.024***	↔	89.252***	193.79***	↔
D6	315.03***	729.94***	↔	140.25***	123.2***	↔	79.548***	62.887***	↔
D7	182.57***	610.03***	↔	58.152***	52.628***	↔			
D8	179.38***	721.24***	↔	30.552**	45.307***	↔			
D9	217.23***	655.51***	↔	38.454***	71.883***	↔			

Примечание: В данной таблице представлен тест на некаузальность по Гранеру при каждом вейвлет-разложении. Разложение идет от 2 дней (D1) до 512 дней (D9). *, ** и *** означают значимость на уровне 10%, 5% и 1%. ↔ указывает на двустороннюю причинно-следственную связь, → указывает на значимую причинно-следственную связь, идущую от WTI к RE, в то время как ← указывает на обратную связь.

5. Заключение

В данном исследовании рассматривается взаимосвязь между зеленой и коричневой энергией на дезагрегированном уровне, с учетом различных инвестиционных горизонтов и влияния экономической и финансовой неопределенности. Используя ежедневные данные за период 2010-2022 годов, результаты вейвлет-анализа когерентности показывают, что "зеленая" и "коричневая" энергия совместно движутся в разных временных масштабах. Примечательно, что в долгосрочной перспективе (примерно 250 дней) когерентные движения сильнее, чем в краткосрочной. Этот результат был подтвержден применением частичного вейвлет-когерентного анализа. Однако мы можем отметить, что долгосрочная связь более интенсивна в течение 500 дней, в то время как в модели без ограничений она составляет около 260 дней. Более того, мы приводим доказательства отраслевых различий во взаимосвязях RE с WTI. Действительно, оказывается, что интенсивность совместного движения между ветром и WTI ниже, чем у геотермальной энергии и биоэнергии. Взаимосвязь между ВИЭ и WTI также изменяется во времени.

Соответственно, вспышка COVID-19, похоже, усилила взаимосвязь между ВИЭ и WTI, особенно для биоэнергетики-WTI, солнечной энергии-WTI и геознергетики-WTI. Однако при контроле за VIX и EPU совместное движение между сериями уменьшается. Этот результат

подтверждается с помощью других контрольных переменных. Используя тест Грейнджера на отсутствие причинности через вейвлет-разложение, мы показали, что между парами ветер-WTI и солнце-WTI нет причинно-следственной связи, в то время как для пар биоэнергетика-WTI и геотермальная-WTI причинно-следственная связь только однонаправленная за период менее месяца до периода COVID-19. Этот результат изменился, когда тот же тест был применен в период действия COVID-19.

Наши эмпирические данные показывают различную интенсивность взаимодействия между ВИЭ и ВТИ при рассмотрении различных секторов запасов ВИЭ и временных масштабов. Этот результат может быть полезен как для инвесторов, так и для политиков. Для первых, различные ВИЭ могут быть использованы для диверсификации рисков на разных инвестиционных горизонтах, особенно в краткосрочной перспективе, поскольку в спокойный период не существует причинно-следственной связи между WTI и ВИЭ. Это также имеет значение для управления портфелем и рисками в различных рыночных условиях. Более того, в долгосрочной перспективе инвесторы могут извлечь выгоду из способности WTI прогнозировать доходность возобновляемых источников энергии и наоборот. Что касается последних, то свидетельства слабых ко-движений и незначительной причинно-следственной связи между WTI- Solar и WTI-Wind менее чем за месяц до периода COVID-19 могут подчеркнуть влияние политики, проводимой для поддержки и защиты ВИЭ от шоков, связанных с WTI. Кроме того, разработчикам политики следует

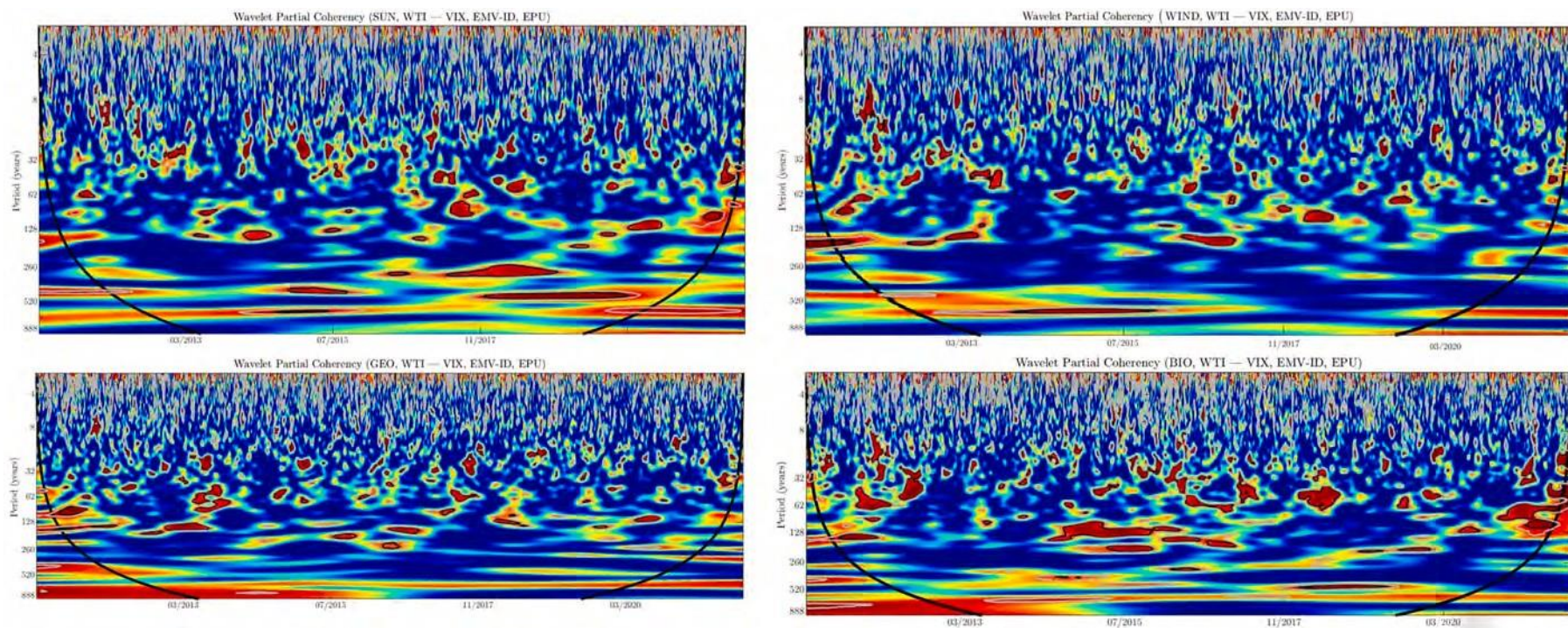


Рис. 4. Частичная непрерывная вейвлет-когерентность - VIX EPU EMV-ID. (Для интерпретации ссылок на цвет в легенде этого рисунка читатель отсылается к веб-версии этой статьи).

Примечание: На данном рисунке представлена частичная вейвлет-когерентность WTI-Solar, WTI-Wind, WTI-Geothermal energy и WTI-Bioenergy, обусловленная EPU, VIX и EMV-ID с 15 октября 2010 года по 23 февраля 2022 года на основе ежедневных данных. Ось y показывает частоту, а ось x - период. Чем теплее (красный) цвет, тем выше интенсивность связи, а чем холоднее (синий), тем ниже интенсивность связи. Черные круги дают оценку Монте-Карло при 5% уровне значимости.

осознавать, что периоды кризиса, такие как COVID-19, могут усилить взаимосвязь между ВИЭ и WTI. Поэтому в периоды экстремальных рыночных условий директивные органы должны активизировать свои усилия по защите ВИЭ от колебаний WTI и разработать точную политику по снижению экологического и финансового воздействия вспышки COVID-19 на ВИЭ.

Заявление об авторском вкладе CRediT

Джамал Буоййур: Концептуализация, методология, написание - первоначальный проект. **Мари Готье:** Курация данных, Программное обеспечение, Формальный анализ, Написание - первоначальный проект. **Эли Бури:** Наблюдение, Написание - первоначальный проект, Написание - рецензирование и редактирование.

Приложение А. Традиционные методы

A.1. Тест на некаузальность Грейнджера и тест ARDL на границу

Метод причинности Грейнджера - это известная методология, введенная Грейнджером (1969), позволяющая тестировать и выявлять причинно-следственные связи между переменными. В рамках линейной модели он направлен на выявление существования однонаправленной или двунаправленной причинности или отсутствия причинности, даже если была подчеркнута корреляция между переменными.

Исследование причинности Грейнджера во временной области является традиционным способом выявления линейной причинно-следственной связи между двумя переменными. Основная идея этого теста заключается в том, чтобы определить, может ли прогноз одной переменной быть улучшен с помощью второй переменной или нет. Более конкретно, исследуется, увеличивает или нет добавление истории X в регрессию Y прогноз этой последней переменной. Если да, то утверждается, что X вызывает Y. Это утверждение важно, поскольку оно позволяет указать, что информация, предоставляемая X, помогает лучше понять и предвидеть настоящее и будущее движение Y. В противном случае любое изменение X приведет к тому, что Y будет двигаться. Иначе говоря, любое изменение в X приведет к изменению в Y. Таким образом, это выходит за рамки корреляционного анализа, который просто устанавливает связь, не уточняя ее природу.

Первым шагом для применения теста на причинность является оценка VAR-модели между двумя интересующими переменными. Это делается после определения оптимальных лагов.

Тест на причинно-следственную связь по Грейнджеру оценивает две следующие регрессии:

$$Нефть_t = \sum_{i=1}^n \alpha_i Нефть_{t-i} + \sum_{j=1}^n \beta_j I_{t-j} + c_1 + u_{1t} \quad (14)$$

$$I_t = \sum_{i=1}^n \alpha_i I_{t-i} + \sum_{j=1}^n \beta_j Нефть_{t-j} + c_2 + u_{2t} \quad (15)$$

Нулевая гипотеза этого теста - $\beta = 0$, что означает, что X не является причиной по Грейнджеру для Y. Если уравнение (1) верно, это означает, что $\beta \neq 0$ и X является причиной по Грейнджеру для Y. Таким образом, это доказывает существование причинно-следственной связи от возобновляемых источников энергии к нефти. В противном случае, если $\beta = 0$, то считается, что X не является причиной Y. При использовании теста на некаузальность Грейнджера могут появиться три результата. Во-первых, причинно-следственная связь может быть установлена от X к Y, в то время как обратное утверждение неверно. Во-вторых, причинно-следственная связь может проследиваться от Y к X, в то время как обратное не доказано. В-третьих, может быть обнаружена бивариативная причинность, что означает, что причинно-следственная связь проследивается не только от X к Y, но и от Y к X. Другим традиционным способом исследования связи между рядами является использование процедуры ARDL. Эта методология особенно актуальна для рядов, которые интегрированы в разной степени, а также имеет то преимущество, что позволяет вводить в модель дополнительные переменные (контрольные переменные). Процедура ARDL в основном используется для выявления краткосрочной или долгосрочной взаимосвязи. Основная идея этой методики заключается в обнаружении коинтеграции между переменными в рамках безусловной или условной модели. Другими словами, она может обеспечить существование краткосрочной или долгосрочной связи безусловно и условно с VIX.

и EPU.

Поскольку нас интересует связь от нефти к возобновляемым источникам энергии, а также обратная связь, модель ARDL будет выглядеть следующим образом:

$$WTI_t = \phi_0 + \phi_1 t + \sum_{i=1}^p \phi_2 WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^q \phi_3 RE_{t-i} + u_{1t} \quad (16)$$

$$WTI_t = \omega_0 + \omega_1 t + \sum_{i=1}^p \omega_2 WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^q \omega_3 RE_{t-i} + \sum_{i=1}^r \omega_4 VIX_{t-i} + \sum_{i=1}^s \omega_5 EPU_{t-i} + u_{2t} \quad (17)$$

$$RE_t = \eta_0 + \eta_1 t + \sum_{i=1}^q \eta_2 RE_{t-i} + \sum_{i=1}^p \eta_3 WTI_{t-i} + u_{3t} \quad (18)$$

$$RE_t = \rho_0 + \rho_1 t + \sum_{\rho_2} RE_{t-i} + \sum_{\rho_3} WTI_{t-i} + \sum_{\rho_4} VIX_{t-i} + \sum_{\rho_5} EPU_{t-i} + u_{4t}$$

где u_t обозначает обычный белый шум остатков. Для оценки наличия коинтеграции, а значит, долгосрочной или краткосрочной связи, используется F - с т а т и с т и к а . Нулевая гипотеза утверждает, что коинтеграции не существует. Следовательно, нулевая гипотеза будет отвергнута, если F-статистика выше верхней границы критических границ, найденных в таблице [Pesaran et al. \(2001\)](#).

A.2. Результаты теста на некаузальность по Гранеру и теста на границы ARDL

Используя тест на некаузальность по Гранеру за весь период, до периода COVID-19 и в период COVID-19, мы можем отметить, что результаты не являются стабильными. Например, до вспышки COVID-19 наш тест не выявил причинно-следственной связи между WTI и Solar, в то время как за весь период и за период COVID-19 это так. Как объяснялось ранее, тест на некаузальность по Гранеру основан на среднем значении. Поэтому аномальный период может сильно повлиять на результаты. Используя тест ARDL на связанность, мы обнаружили, что в течение всего периода наши переменные связаны долгосрочной зависимостью. Эта связь стабильна при включении таких ограничителей, как VIX и EPU. Однако этот тест не дает никакой другой информации о поведении инвесторов с течением времени.

Таблица A.1

Тест на некаузальность по Грейнджеру.

Вся выборка	df	чи	Prob	Результат
WTI→солнечный	8	39.851	0.000	WTI грассер обуславливает Солнечную
Солнечная→WTI	8	23.294	0.002	Солнечная энергия вызывает WTI
WTI→WIND	5	3.6691	0.598	WTI не является гранулометрической причиной Wind
ВИНД→ВТИ	5	15.439	0.009	Ветер вызывает WTI
WTI→GEO	25	85.104	0.000	WTI по Грэнджеру вызывает геотермальные
GEO→ВТИ	25	232.34	0.000	Геотермальный гранулятор вызывает WTI
ВТИ→БИО	6	31.794	0.000	WTI по Гранеру Биоэнергетика
БИО→ВТИ	6	43.171	0.000	Биоэнергетика граунджер вызывает WTI
До COVID-19				
WTI→SOLAR	1	0.59	0.441	WTI не является гранулярной причиной солнечной
СОЛАР→ВТИ	1	1.75	0.186	Солнечная энергия не является гранулярной причиной WTI
WTI→WIND	4	16.332	0.003	WTI по Грассеру обуславливает Wind
ВИНД→ВТИ	4	10.717	0.03	Ветер вызывает WTI
WTI→GEO	3	13.114	0.004	WTI по Грэнджеру вызывает геотермальные
GEO→ВТИ	3	6.6355	0.084	Геотермальный гранулятор вызывает WTI
ВТИ→БИО	3	3.948	0.267	WTI не является гранулярной причиной Биоэнергетика
БИО→ВТИ	3	10.882	0.012	Биоэнергетика граунджер вызывает WTI
Во время COVID-19				
WTI→SOLAR	25	50.075	0.001	WTI Granger cause Solar
СОЛАР→ВТИ	25	134.41	0.000	Солнечная гранулометрическая причина WTI
WTI→WIND	6	2.5882	0.858	WTI не является гранулярной причиной Wind
ВИНД→ВТИ	6	7.5234	0.275	Ветер не является гранулярной причиной WTI
WTI→GEO	23	42.632	0.008	WTI не вызывает гранулярной связи с геотермальной экономикой
GEO→ВТИ	23	105.72	0.000	Геотермальный гранулятор вызывает WTI
ВТИ→БИО	13	56.611	0.000	WTI грассер вызывает WTI
БИО→ВТИ	13	205.95	0.00	Биоэнергетика граунджер вызывает WTI

Примечание: В данной таблице представлен тест на некаузальность по Грассеру для всего периода, до и во время действия COVID-19.

Таблица A.2

Модель ARDL.

	Солнце		Ветер		Геотермальная		Биоэнергетика		Испытание без ограничений					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	10%	5%	1%	10%	5%	1%
Оптимальный отставание		ARDL (14, 20)	ARDL (14, 19)	ARDL (7, 2)	ARDL (8, 4)	ARDL (11, 20)	ARDL (14, 20)	ARDL (14, 19)	ARDL	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)	I(0)I(1)
F-stat	192	124.6	189.5	194	359.5	115	216	92.57	4.05	4.9	4.9	5.75	6.87	7.85
t-stat	-19.588	-15.757	-19.46	-19.53	-26.7	-15	-20.7	-13.3	-2.56	-2.9	-2.86	-3.2	-3.4	-3.8
Оптимальный отставание	Солнечная - EPU (9)	VIXВетровая - EPU (10)	VIXГеотермальная - EPU (11)	VIXБиоэнергетика - EPU (12)	VIXТест с ограничениями (13)	VIXТест с ограничениями (14)	VIXТест с ограничениями (15)	VIXТест с ограничениями (16)	10%	5%	1%	10%	5%	1%
	ARDL (14, 15, 15, 14)	ARDL (10, 9, 9, 10)	ARDL (7, 4, 4, 6)	ARDL (7, 1, 7, 1)	ARDL (7, 4, 4, 6)	ARDL (1, 7, 10, 1)	ARDL (8, 10, 1, 6)	ARDL (1, 6, 10, 1)	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
	F-stat	102.96	70.8	226.369	101.779	230.942	687.887	184.385	2.724	3.74	3.221	4.321	4.291	5.534
	t-stat	-20.25	-16.73	-30.065	-20.152	-30.364	-52.426	-27.129	-2.566	-3.422	-2.862	-3.741	-3.433	-4.339

Примечание: В данной таблице приведены F-статистика и T-статистика каждой регрессии. Модели (1), (3), (5) и (7) дают ARDL-модель WTI-Solar, WTI-Wind, WTI-Geo и WTI-Bioenergy, а модели (9), (11), (13) и (15) добавляют ограничения к модели. Модели (2), (4), (6) и (8) дают обратную зависимость, а модели (10), (12), (14) и (16) - соответствующую модель с ограничениями.

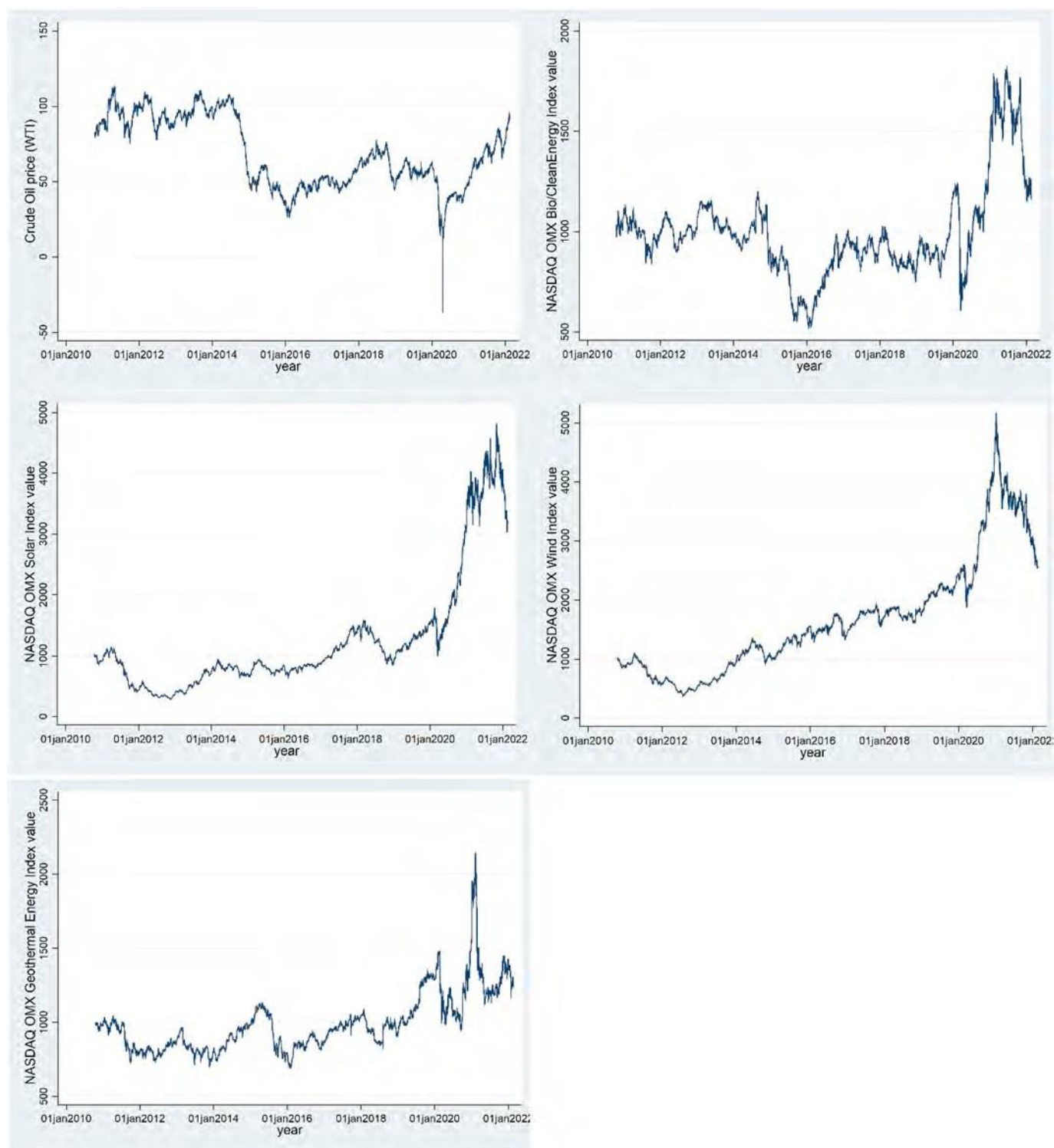


Рис. А.1. Графики уровней индексов чистой/зеленой и грязной энергии. (Для интерпретации ссылок на цвет в легенде этого рисунка читатель может обратиться к веб-версии этой статьи).

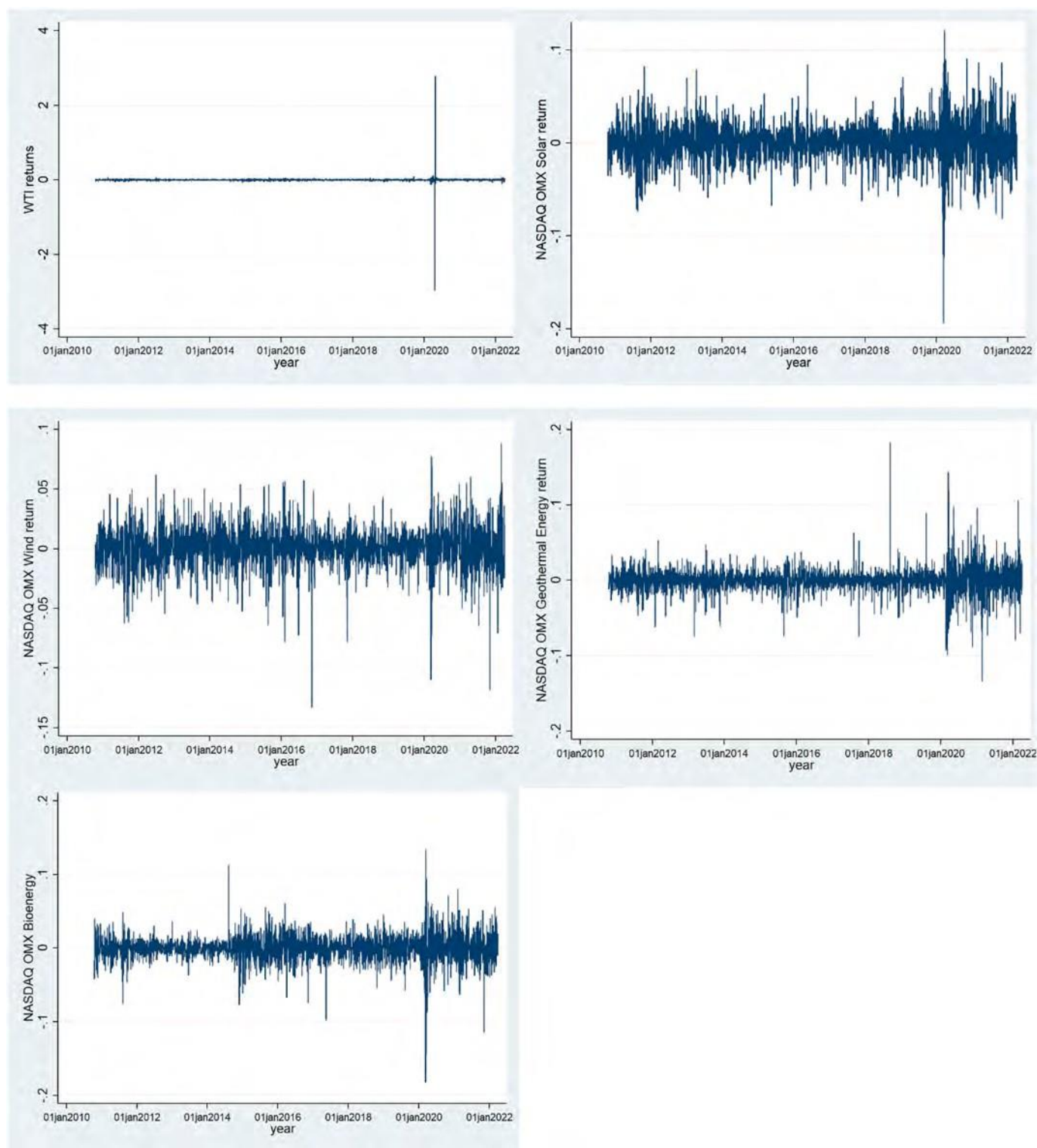


Рис. А.2. Графики доходности индексов чистой/зеленой и грязной энергии. (Для интерпретации ссылок на цвет в легенде этого рисунка читатель может обратиться к веб-версии этой статьи).

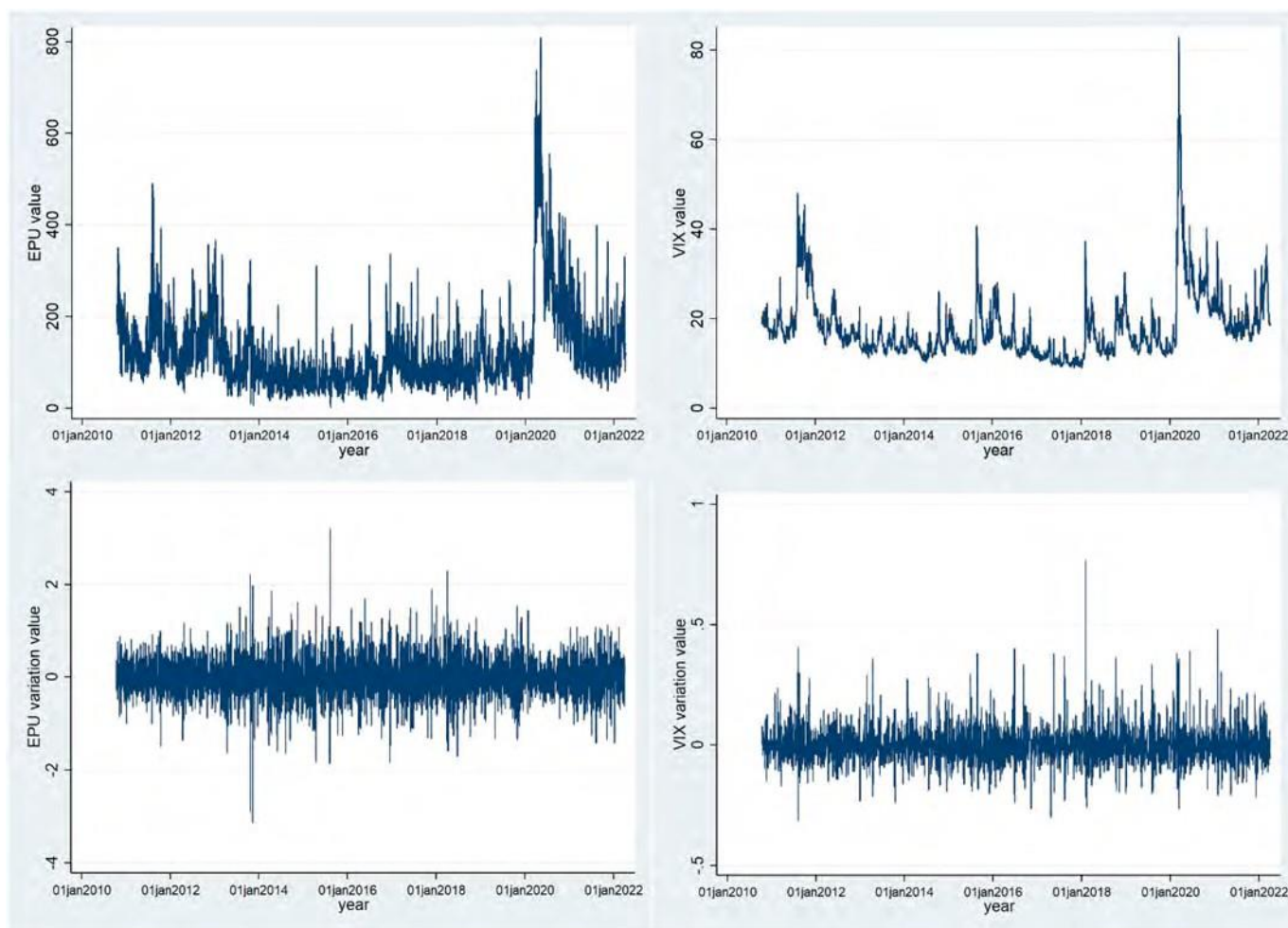


Рис. А.3. Графики VIX и EPU.

Приложение В. Вейвлет-разложение

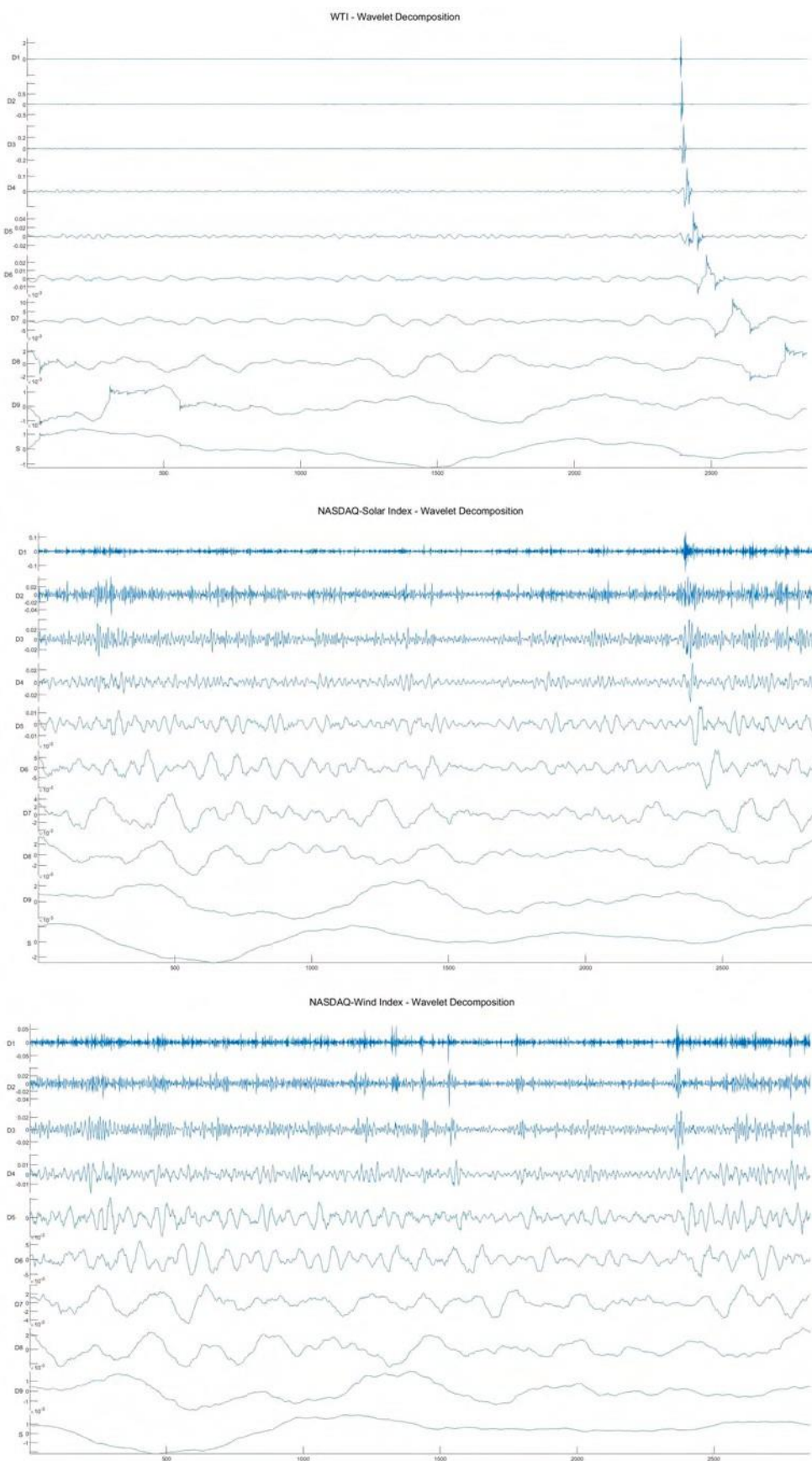


Рис. В.1. Вейвлет-разложение серии с использованием дискретного вейвлет-преобразования с максимальным перекрытием (MODWT) на основе вейвлет-фильтра Даубечиса.

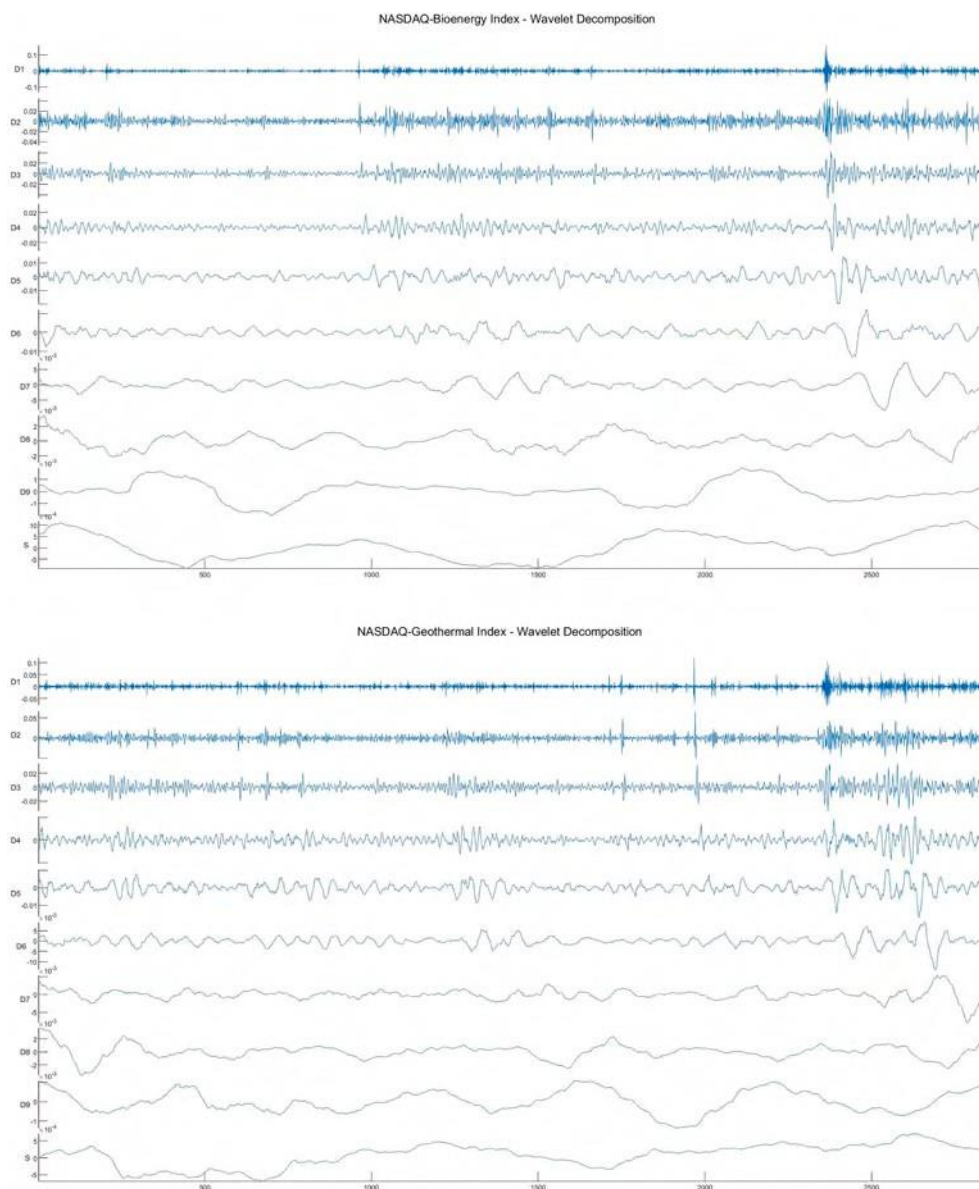


Рис. В.1. (продолжение).

Приложение С. Тест на некаузальность по Грейнджеру с использованием многоразрешающего анализа дискретного вейвлет-преобразования с максимальным перекрытием

Таблица С.1

Тест на некаузальность по Грейнджеру с использованием многоразрешающего анализа дискретного вейвлет-преобразования с максимальным перекрытием.

Шкала времени	Вся выборка			До COVID-19			COVID-19		
	WTI→PE	RE→WTI	Результаты	WTI→PE	RE→WTI	Результаты	WTI→PE	RE→WTI	Результаты
WTI-солнечный D1	92.21***	349.15***	↔	15.541	21.143	/ =	55.99***	137.99***	↔
D2	166.77***	332.18***	↔	25.067	32.465	/ =	99.568***	210.53***	↔
D3	123.05***	326.53***	↔	41.673*	43.784*	↔	66.6***	46.313**	↔
D4	105.6***	450.19***	↔	28.489	44.913**	←	57.759***	87.445***	↔
D5	175.82***	356.99***	↔	55.992***	51.83***	↔	107.29***	85.492***	↔
D6	216.52***	423.42***	↔	87.617***	73.076***	↔	45.895***	12.796	→
D7	216.52***	423.42***	↔	40.446***	62.543***	↔			
D8	279.88***	88.149***	↔	162.74***	80.854***	↔			
D9	163.3***	9.668*	↔	470.48***	15.929***	↔			

WTI-Wind

(продолжение на следующей странице)

Таблица С.1 (продолжение)

Шкала времени	Вся выборка			До COVID-19			КОВИД-19		
	ВТИ→РЕ	РЕ→ВТИ	Резуль таты	ВТИ→РЕ	РЕ→ВТИ	Резуль таты	ВТИ→РЕ	РЕ→ВТИ	Резуль таты
D1	28.631	147.46***	←	27.048	33.766	/ =	23.475	113.6***	←
D2	33.677	169.89***	←	36.841	40.552	/ =	34.716	126.77***	←
D3	62.443***	168.2***	↔	39.8	42.05*	←	51.954***	31.011	→
D4	55.387***	175.45***	↔	50.33***	48.782***	↔	67.016***	53.018***	↔
D5	92.224***	148.44***	↔	52.583***	61.54***	↔	53.356***	71.028***	↔
D6	168.72***	240.42***	↔	87.353***	93.947***	↔	26.23***	13.984	→
D7	64.928***	101.24***	↔	99.769***	79.462***	↔			
D8	131.65***	20.8*	↔	31.144***	83.763***	↔			
D9	96.3***	55.976***	↔	52.813***	13.138**	↔			
WTI-Geo									
D1	99.89***	325.03***	↔	34.837***	14.395	→	42.252***	121.13***	↔
D2	112.82***	325.91***	↔	40.739*	20.731	→	52.6***	164.25***	↔
D3	165.43***	351.64***	↔	50.062*	49.361*	↔	28.186	107.04***	←
D4	119.2***	342***	↔	83.487***	38.961*	↔	34.392*	90.103***	↔
D5	150.69***	291.69***	↔	92.542***	54.683***	→	51.029***	64.899***	↔
D6	447.15***	470.62***	↔	69.69***	90.144***	↔	99.283***	128.28***	↔
D7	202.24***	314.84***	↔	78.31***	52.428***	↔			
D8	492.64***	82.845***	↔	12.6	46.142***	←			
D9	224.37***	38.755***	↔	39.171***	235.28***	↔			
WTI-Bio									
D1	108.02***	591.15***	↔	28.29	48.472***	←	60.28***	220.61***	↔
D2	150.23***	108.02***	↔	36.217	75.227***	←	69.381***	307.81***	↔
D3	95.569***	615.78***	↔	32.461	81.359***	←	57.085***	61.314***	↔
D4	124.34***	510.84***	↔	41.218*	68.834***	↔	87.22	79.144***	←
D5	257.47***	630.37***	↔	67.166***	56.99***	↔	144.36***	187.03***	↔
D6	411.51***	730.19***	↔	114.49***	148.65***	↔	62.134***	23.412***	↔
D7	304.2***	482.7***	↔	67.128***	77.928***	↔			
D8	269.98***	324.52***	↔	87.246***	293***	↔			
D9	192.62***	148.63***	↔	26.496***	395.1***	↔			

Примечание: В данной таблице представлен тест на некаузальность по Гранеру при каждом вейвлет-разложении. Разложение идет от 2 дней (D1) до 512 дней (D9). *, ** и *** означают значимость на уровне 10%, 5% и 1%. ↔ указывает на двустороннюю причинно-следственную связь, → указывает на значимую причинно-следственную связь, идущую от ВТИ к РЕ, в то время как ← указывает на обратную связь.

Приложение D. График частичной вейвлет-когерентности с каждым ограничением

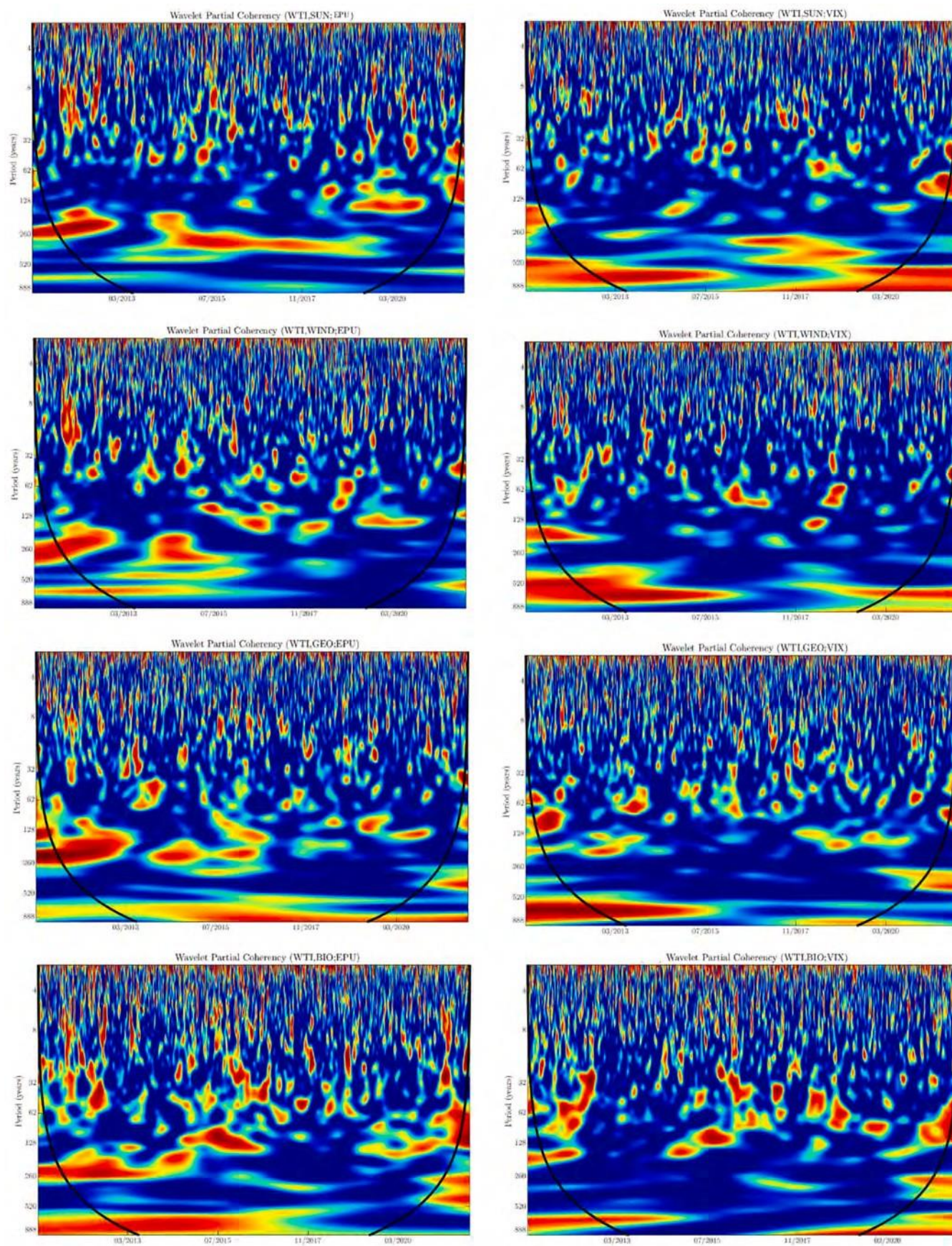


Рис. D.1. График частичной вейвлет-когерентности с каждым ограничением.

Приложение Е. Дополнительные данные

Дополнительные данные к этой статье можно найти в Интернете на сайте <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106339>.

Ссылки

- Абебе, Миннале А., Текли, Джо, Гетахун, Фекаде, Чбейр, Ричард, Текли, Гилберт, 2020. Общая структура представления метаданных для обнаружения, описания и связывания событий на основе социальных данных. *Knowl.-Based Syst.* 188, 104817 <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.06.025>.
- Абоседра, Салах, Лаоподис, Никифорос Т., Факих, Али, 2021. Динамика и асимметрия между потребительскими настроениями и потреблением в периоды до и в период действия COVID-19: данные из США. *J. Econ. Asymmet.* 24, e00227 <https://doi.org/10.1016/j.jeca.2021.e00227>.
- Агиар-Конрария, Луис, Соарес, Мария Джоана, 2014. Непрерывное вейвлет-преобразование: выход за рамки одно- и двумерного анализа. *J. Econ. Surv.* 28 (2), 344-375. <https://doi.org/10.1111/joes.12012>.
- Алуи, Риад, Гупта, Ранган, Миллер, Стивен М., 1 марта 2016 года. Неопределенность и доходность сырой нефти. *Energy Econ.* 55, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.01.012>.
- Антонакис, Николаос, Чатзиантониу, Иоаннис, Филис, Джордж, 1 июля 2014 г. Динамические побочные эффекты от шоков цен на нефть и неопределенности экономической политики. *Energy Econ.* 44, 433-447. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.05.007>.
- Апостолакис, Джордж Н., Флорос, Кристос, Гкиллас, Константинос, Вохар, Марк, 1 декабря 2021 года. Финансовый стресс, неопределенность экономической политики и неопределенность цен на нефть. *Energy Econ.* 104, 105686 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105686>.
- Бахель, Эрик, Марруш, Валид, Года, Жерар, 2013. Экономика нефти, биотоплива и продовольственные товары. *Ресурс. Energy Econ.* 35 (4), 599-617. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2013.02.005>.
- Бейкер, Малкольм, Вурглер, Джеффри, 2006. Настроение инвесторов и срез доходности акций. *J. Financ.* 61 (4), 1645-1680. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2006.00885.x>.
- Бейкер, Скотт Р., Блум, Николас, Дэвис, Стивен Дж., 1 ноября 2016 г. Измерение неопределенности экономической политики. *Q. J. Econ.* 131 (4), 1593-1636. <https://doi.org/10.1093/qje/qjw024>.
- Бейкер, Скотт Р., Блум, Николас, Дэвис, Стивен Дж., Кост, Кайл Дж., Саммон, Марко К., Виратесин, Тасаня, 2020а. Беспрецедентное воздействие COVID-19 на фондовый рынок, w26945. Национальное бюро экономических исследований, стр. w26945. <https://doi.org/10.3386/w26945>.
- Бейкер, Скотт Р., Блум, Николас, Дэвис, Стивен Дж., Терри, Стивен Дж., 2020b. Вызванная COVID экономическая неопределенность. In: Working Paper. Серия рабочих документов. Национальное бюро экономических исследований. <https://doi.org/10.3386/w26983>. Апрель.
- Бондиа, Рипси, Гхош, Саджал, Канджилал, Какали, 15 апреля 2016 г. Международные цены на сырую нефть и цены акций компаний, занимающихся чистой энергетикой и технологиями: данные нелинейных коинтеграционных тестов с неизвестными структурными разрывами. *Energy* 101, 558-565. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.031>.
- Бури, Эли, Икбал, Наджаф, Клейн, Тони, 2022. Неопределенность климатической политики и динамика цен на акции "зеленой" и "коричневой" энергетики. *Financ. Res. Lett.*, 102740 <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.102740>.
- Бури, Эли, Джальх, Наджи, Дутта, Анупам, Уддин, Гази Салах, 2019. Золото и сырая нефть как безопасные активы для фондовых индексов чистой энергии: подход смешанных копул. *Energy* 178, 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.155>.
- BP, 2020. Статистический обзор мировой энергетики. Получено с сайта <https://www.planete-energies.com/sites/default/files/atoms/files/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>.
- Брандт, Майкл В., Гао, Линь, 1 марта 2019 г. Макроэкономические основы или геополитические события? Текстовый анализ новостных событий по сырой нефти. *J. Empir. Financ.* 51, 64-94. <https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2019.01.007>.
- Брейтунг, Жозег, Канделон, Бертран, 1 июня 2006 г. Тестирование на краткосрочные и долгосрочные причинность: частотно-доменный подход. *J. Econ.* 132 (2), 363-378. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.02.004>.
- Бродеток, Дэвид К., Ченг, Луис Т.В., 1 июня 2019 г. Меняющаяся во времени связь между ценовыми ориентирами черных и зеленых облигаций: макроэкономические детерминанты за первое десятилетие. *Financ. Res. Lett.* 29, 17-22. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.02.006>.
- Кологни, Алессандро, Манера, Маттео, 1 мая 2008 года. Цены на нефть, инфляция и процентные ставки в структурной коинтегрированной VAR-модели для стран G-7. *Energy Econ.* 30 (3), 856-888. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.11.001>.
- Кореа, Франческо, 1 июня 2016 г. Может ли твиттер проксировать настроения инвесторов? На примере технологического сектора. *Big Data Res.* 4, 70-74. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2016.05.001>.
- Давар, Ишан, Дутта, Анупам, Бури, Эли, Саид, Тарек, 1 января 2021 года. Цены на сырую нефть и фондовые индексы чистой энергии: запаздывающие и асимметричные эффекты с помощью квантильной регрессии. *Renew. Energy* 163, 288-299. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.162>.
- Джундурян, Салпи С., 2021. Реакция арабского мира на вызовы изменения климата и Парижское соглашение. *Int. Environ. Agreem. Pol. Law Econ.* 21 (3), 469-491. <https://doi.org/10.1007/s10784-021-09524-9>.
- Дутта, Анупам, Бури, Эли, Саид, Тарек, Во, Суан Винь, 2020. Влияние волатильности энергетического сектора на активы чистой энергетики. *Energy* 212, 118657. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118657>.
- Фахми, Хани, 1 февраля 2022 года. Рост осведомленности инвесторов о климатических рисках после Парижского соглашения и цены на чистую энергию-нефть-технологии Нексус. *Energy Econ.* 106, 105738 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105738>.

- Ferrer, Rom'an, Shahzad, Syed Jawad Hussain, Lopez, Raquel, Jaren'o, Francisco, 1 октября 2018 г. Временная и частотная динамика взаимосвязи между запасами возобновляемых источников энергии и ценами на сырую нефть. *Energy Econ.* 76, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.09.022>.
- Ferrer, Rom'an, Shahzad, Syed Jawad Hussain, Soriano, Pilar, 10 April 2021. Являются ли "зеленые" облигации другим классом активов? Доказательства на основе анализа связанности временных частот. *J. Clean. Prod.* 292, 125988 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125988>.
- Фоглиа, М., Анджелини, Е., Хуинь, Т.Л.Д., 2022. Связь хвостового риска на финансовом рынке чистой энергии и нефти. *Ann. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04745-w>.
- Geng, Jiang-Bo, Liu, Changyu, Ji, Qiang, Zhang, Dayong, 1 октября 2021. Действительно ли изменения цен на нефть имеют значение для доходности чистой энергии? *Renew. Sust. Energ. Rev.* 150, 111429 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111429>.
- Гхош, Б., Бурн, Э., 2022. Длинная память и фрактальность во всемирной индексов волатильности. *Complexity*, e6728432. <https://doi.org/10.1155/2022/6728432>.
- Грейнджер, К.У.Дж., 1969. Исследование причинно-следственных связей с помощью эконометрических моделей и кросс-спектральных методов. *Econometrica* 37 (3), 424-438. <https://doi.org/10.2307/1912791>.
- Хамадех, Виссам, Бахус, Рима, Диаб, Рула, Набхани, Мона, 2020. Использование социальных сетей для повышения эффективности изучения второго языка. *Comp. Assisted Language Learn. Electron. J.* 21 (2), 132-149.
- Гамильтон, Джеймс Д., 1983. Нефть и макроэкономика после Второй мировой войны. *J. Polit. Econ.* 91 (2), 228-248.
- Энрикес, Ирен, Садорски, Перри, 1 мая 2008 года. Цены на нефть и котировки акций компаний альтернативной энергетики. *Energy Econ.* 30 (3), 998-1010. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.11.001>.
- Эррера, Ана Мария, Караки, Мохамед Б., 2015. Влияние шока цен на нефть на перераспределение рабочих мест. *J. Econ. Dyn. Control.* 61, 95-113. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2015.08.006>.
- Эррера, Ана Мария, Караки, Мохамед Б., Рангараджу, Сандип Кумар, 2017. Куда уходят рабочие места при падении цен на нефть? *Energy Econ.* 64, 469-482. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.02.006>.
- Хильми, Натали, Джундуриан, Сальви, Шахин, Вассим, Сафа, Ален, 2021. Влияет ли политика количественного смягчения ЕЦБ на цели экологической политики? *J. Econ. Pol. Reform* 1-13. <https://doi.org/10.1080/17487870.2020.1855176>.
- МЭА, 2019а. Глобальный энергетический обзор 2019. МЭА, Париж. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2019>.
- МЭА, 2019b. Возобновляемые источники энергии 2019. МЭА, Париж. <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>.
- IRENA, 2020a. Глобальный ландшафт финансирования возобновляемых источников энергии, 2020. Международное агентство по возобновляемой энергии, Абу-Даби. <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Global-Landscape-of-Renewable-Energy-Finance-2020>.
- IRENA, 2020b. Финансирование возобновляемой энергии: Зеленые облигации (Renewable Energy Finance Brief 03, January 2020). Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jan/IRENA_RE_finance_Green_bonds_2020.pdf.
- IRENA, 2021a. Статистика возобновляемых мощностей 2021. Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA), Абу-Даби. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2021.pdf.
- IRENA, 2021b. Затраты на производство электроэнергии из возобновляемых источников в 2020 году. Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020.pdf.
- Джонс, Чарльз М., Каул, Гаутам, 1996. Нефть и фондовые рынки. *J. Financ.* 51 (2), 463-491. <https://doi.org/10.2307/2329368>.
- Караки, Мохамед Б., 2017. Нелинейность в реакции реального ВВП на шок цен на нефть. *Экономика. Lett.* 161, 146-148. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2017.09.034>.
- Катича, Самер В., Лулизи, Амара, Эль Хури, Джон, Флинч, Герардо В., 2017. Адаптивный коэффициент ложного обнаружения для вейвлет-обезличивания непрерывных измерений прогиба дорожного покрытия. *J. Comput. Civ. Eng.* 31 (2), 04016049. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000603](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000603).
- Катича, Самер Вехбе, Хури, Джон, Флинч, Герардо, 2021. Метод пространственного анализа с многократным разрешением для выявления "горячих точек" ДТП и оценки риска ДТП. *J. Transp. Eng. Part A: Syst.* 147 (5) <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000516>.
- Косаарслан, Барис, Соьтас, Угур, 1 октября 2019 г. Динамические корреляции между ценами на нефть и ценами акций компаний, занимающихся чистой энергетикой и технологиями: роль резервной валюты (доллара США). *Energy Econ.* 84, 104502 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104502>.
- Крапавицкайтэ, Дануте, январь 2022 года. Коэффициент согласованности для официальной статистики. *Математика* 10 (7), 1159. <https://doi.org/10.3390/math10071159>.
- Кумар, Сурендер, Манаги, Шунсуке, Мацуда, Акими, 1 января 2012 г. Цены акций компаний, занимающихся чистой энергетикой, рынки нефти и углерода: векторный авторегрессионный анализ. *Energy Econ.* 34 (1), 215-226. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.03.002>.
- Кирицис, Евангелос, Серлетис, Апостолос, 1 сентября 2019 г. Цены на нефть и сектор возобновляемой энергетики. *Energy J.* 40 (01) <https://doi.org/10.5547/01956574.40.S11.ekyr>.
- Lundgren, Amanda Ivarsson, Milicevic, Adriana, Uddin, Gazi Salah, Kang, Sang Hoon, 1 May 2018. Механизм сети связей и структуры зависимости в "зеленых" инвестициях. *Energy Econ.* 72, 145-153. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.04.015>.
- Люткенполь, Х., 1 июня 1989 года. Предположение о стабильности в тестах причинно-следственной связи между деньгами и доходом. *Эмпири. Econ.* 14 (2), 139-150. <https://doi.org/10.1007/BF01980593>.

- Maghyereh, Aktham I., Awartani, Basel, Abdoh, Hussein, 15 февраля 2019 г. Совместное движение между акциями нефтяной и чистой энергетики: анализ ассоциаций горизонтов на основе вейвлетов. *Energy* 169, 895-913. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.039>.
- Манаги, Шунсукэ, Окимото, Тацүси, 1 августа 2013 г. Взаимодействует ли цена на нефть с ценами на чистую энергию на фондовом рынке? *Japan World Econ.* 27, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.japwor.2013.03.003>.
- Мансур-Ихракиех, Лайал, Зайтер, Хуссейн, 2019. Роль геополитических рисков на турецкую экономику возможность или угроза. *North Am. J. Econ. Finance* 50, 101000. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2019.101000>.
- Марруш, Валид, Синклер-Дестанье, Бернар, 2012. Налоги на выбросы, когда загрязнение зависит от местоположения. Окружающая среда. *Dev. Econ.* 17 (4), 433-443. <https://doi.org/10.1017/S1355770X12000101>.
- Müller, Ulrich A., Dacorogna, Michel M., Davé, Rakhal D., Olsen, Richard B., Пикте, Оливье В., фон Вайцеккер, Якоб Е., 1 июня 1997 года. Волатильность с различным временным разрешением - анализ динамики компонентов рынка. *J. Empiric. Finance High Frequ. Data Finance Part 1* 4 (2), 213-39. [https://doi.org/10.1016/S0927-5398\(97\)00007-8](https://doi.org/10.1016/S0927-5398(97)00007-8).
- Мутуа, Калед, Уэйд, Уилл, 9 марта 2022 года. New Jersey's Largest Utility Debuts \$500 Million Green Bonds - BNN Bloomberg. *BNN Bloomberg*. <https://www.bnnbloomberg.ca/new-jersey-s-largest-utility-debuts-500-million-green-bonds-1.1735094>.
- Наим, Мухаммад Абубакр, Пенг, Чже, Сулеман, Мухаммед Тахир, Непал, Рабиндра, Шахзад, Сайед Джавад Хуссейн, 1 сентября 2020 г. Временная и частотная связь между нефтяными шоками, рынками электроэнергии и чистой энергии. *Energy Econ.* 91, 104914 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104914>.
- Наим, Мухаммад Абубакр, Бури, Эли, Коста, Мабель Д., Найфар, Надер, Шахзад, Сайед Джавад Хуссейн, 2021. Энергетические рынки и "зеленые" облигации: анализ зависимости от хвоста с изменяющимися во времени оптимальными копулами и последствия для портфеля. *Res. Policy* 74, 102418. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102418>.
- Niu, H., 2021. Корреляции между ценами на сырую нефть и акциями компаний возобновляемой энергетики и технологий: многомасштабный анализ в зависимости от времени. *Энергия* 221, 119-800. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119800>.
- Pesaran, M.H., Shin, Y., Smith, R.J., 2001. Подходы к тестированию границ при анализе уровней взаимосвязей. *J. Appl. Econ.* 16 (3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>. Фам, Линь, 1 июня 2019 года. Все ли акции чистых источников энергии однородно реагируют на цену нефти? *Energy Econ.* 81, 355-379. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.04.010>.
- Фан, Динь Хоанг Бах, Айк, Бернард Нджиндан, Шарма, Сьюзан Сунила, Аффанди, Йога, 1 января 2021 г. Неопределенность экономической политики и финансовая стабильность - есть ли связь? *Экон. Model.* 94, 1018-1029. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.02.042>.
- Реборедо, Хуан К., 1 марта 2015 г. Существует ли зависимость и системный риск между ценами акций нефтяных компаний и компаний возобновляемой энергетики? *Energy Econ.* 48, 32-45. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.12.009>.
- Реборедо, Хуан К., Уголини, Андреа, 1 октября 2018 г. Влияние настроений в Твиттере на акции возобновляемых источников энергии. *Energy Econ.* 76, 153-169. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.10.014>.
- Реборедо, Хуан К., Ривера-Кастро, Мигель А., Уголини, Андреа, 1 января 2017 г. Тест на основе вейвлетов на совместное движение и причинно-следственную связь между ценами акций нефтяных компаний и возобновляемых источников энергии. *Energy Econ.* 61, 241-252. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.10.015>.
- Реборедо, Хуан К., Уголини, Андреа, Айубе, Фернандо Антонио Лусена, 1 февраля 2020 г. Сетевая связанность "зеленых" облигаций и классов активов. *Energy Econ.* 86, 104629 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104629>.
- Санд, Т., Бури, Е., Тран, Д.К., 2020. Стратегии хеджирования "зеленых" активов против "грязных" энергетических активов. *Energies* 13 (12), 3141. <https://doi.org/10.3390/en13123141>.
- Санд, Т., Бури, Е., Алсулами, Х., апрель 2021. Экстремальная связанность доходов и ее детерминанты между чистой/зеленой и грязной энергией. *Energy Econ.* 96, 105 017. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105017>.
- Шмидбауэр, Харальд, Роеш, Анги, 18 марта 2018 г. *WaveletComp 1.1: Путеводитель по пакету R*.
- Шахин, В., Эль-Ачкар, Е., 2017. Банковская и денежно-кредитная политика в меняющейся финансовой среде. Рутледж, Великобритания.
- Song, Yingjie, Ji, Qiang, Ya-Juan, Du, Geng, Jiang-Bo, 1 октября 2019 г. Динамическая зависимость ископаемой энергии, настроений инвесторов и фондовых рынков возобновляемых источников энергии. *Energy Econ.* 84, 104564 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104564>.
- Срур, Али, Ульд-Слиман, Хакима, Мурад, Аззам, Харманани, Хайдар, Дженайнати, Катия, 2022 год. Совместная модель рейтинга на основе тем и событий для выявления релевантных влиятельных лиц в Twitter: COVID-19 case study. *Online Soc. Networks Media* 31, 100226. <https://doi.org/10.1016/j.osnem.2022.100226>.
- Тетлок, Пол К., 2007. Придание содержания настроениям инвесторов: роль СМИ на фондовом рынке. *J. Financ.* 62 (3), 1139-1168. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2007.01232.x>.
- Уром, Кристиан, Мзофи, Хела, Абид, Ильес, Брахим, Марием, 1 июня 2021 г. Интеграция "зеленых" рынков в разных временных масштабах: региональный анализ. *Energy Econ.* 98, 105254 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105254>.
- Ван, Цзинянь, Ма, Фэн, Бури, Эли, Чжун, Хуандан, 2022а. Волатильность чистой энергии и природного газа, индексы неопределенности и глобальные экономические условия. *Energy Econ.* 108, 105904. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105904>, 1 апреля.
- Ван, Ихань, Бури, Эли, Фарид, Зишан, Дай, Юхуи, 2022б. Геополитический риск и системный риск на товарных рынках в условиях войны в Украине. *Financ. Res. Lett.* 49, 103066. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103066>.
- Вэй, Юй, Лю, Цзин, Лай, Сяодун, Ян, Ху, 1 октября 2017 г. Какой детерминант является наиболее информативным при прогнозировании волатильности рынка сырой нефти: фундаментальный, спекулятивный или неопределенность? *Energy Econ.* 68, 141-150. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.09.016>.
- Xi, Yue, Zeng, Qing, Xinjie, Lu, Huynh, Toan L.D., 1 May 2022. Фондовые рынки нефти и возобновляемых источников энергии: уникальная роль экстремальных потрясений. *Energy Econ.* 109, 105995 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105995>.
- Xia, T., Ji, Q., Zhang, D., Han, J., 2019. Асимметричное и экстремальное влияние изменений цен на энергию на показатели акций возобновляемых источников энергии. *J. Clean. Prod.* 241, 118338 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118338>.
- Чжан, Дайонг, Мин, Ху, Цзи, Цян, 1 октября 2020 года. Финансовые рынки в условиях глобальной пандемии COVID-19. *Financ. Res. Lett.* 36, 101528 <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101528>.