

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Вейвлет-анализ взаимосвязи между ценами на энергоресурсы и индексами акций компаний с высокими ESG-рейтингами: возможности диверсификации инвестиций

© 2025 г. Т.В. Соколова, С.В. Гуров, В.А. Медведев, В.В. Лысенко

Т.В. Соколова,

НИУ «Высшая школа экономики», Москва; e-mail: tv.sokolova@hse.ru

С.В. Гуров,

НИУ «Высшая школа экономики», Москва; e-mail: sgurov@hse.ru

В.А. Медведев,

НИУ «Высшая школа экономики», Москва; e-mail: medvedev.v@hse.ru

В.В. Лысенко,

НИУ «Высшая школа экономики», Москва; e-mail: vlysenko@hse.ru

Поступила в редакцию 25.04.2024

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-28-00740, <https://rscf.ru/project/23-28-00740/>).

Аннотация. Мы впервые выявляем взаимосвязи между ценами на нефть «Brent» и природный газ и индексами акций компаний с высокими ESG-рейтингами во временной и частотной областях. Мы применяем такие методы вейвлет-анализа, как анализ квадратичной вейвлет-когерентности и разности фаз между рядами данных. Исследование строится на ежедневных данных с 2018 по начало 2024 г., что позволяет охватить периоды относительной макроэкономической стабильности (до 2020 г.), пандемии коронавируса COVID-19 (2020–2021 г.) и роста геополитической напряженности в мире (с 2022 г.). Мы рассматриваем ESG-индексы глобального рынка, рынков США и ЕС. В нашем исследовании показаны области низкой и высокой согласованности цен на энергоресурсы и ESG-ориентированных индексов для трех рассматриваемых периодов, выявлены соотношения запаздывания и опережения между рассматриваемыми классами активов. Выявление областей низкой согласованности позволяет разработать стратегии диверсификации инвестиций, в том числе для хеджирования от падений цен на нефть и газ в условиях глобальных кризисов. Мы пришли к выводу, что индексы акций компаний–лидеров ESG глобального рынка и рынка США предоставляют возможности для диверсификации инвестиций во фьючерсы на природный газ.

Ключевые слова: энергоресурсы; акции компаний с высокими ESG-рейтингами; диверсификация инвестиций; вейвлет-анализ; вейвлет-когерентность.

Классификация JEL: C61, G11, G15.

УДК: 336.76.

Для цитирования: Соколова Т.В., Гуров С.В., Медведев В.А., Лысенко В.В. (2025). Вейвлет-анализ взаимосвязи между ценами на энергоресурсы и индексами акций компаний с высокими ESG-рейтингами: возможности диверсификации инвестиций // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 2. С. 128–142. DOI: 10.31857/S0424738825020108

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 2010 г. общественные движения и государственная политика сначала в развитых, а затем и в развивающихся странах создают вектор ESG-трансформации. Парадигма «экология, социальная политика и корпоративное управление» (Environmental, Social, Governance, ESG) подразумевает ответственное отношение компаний к окружающей среде, учет ими социальных вопросов в своей деятельности, следование стандартам качества корпоративного управления. Происходит переход от концепции наращивания рыночной стоимости компании к решению многокритериальной задачи устойчивого развития через консенсус интересов финансовых стейкхолдеров, социума, контрагентов и работников компании (Teplova, Sokolova, Kissa, 2023).

В последние десятилетия нарастала тенденция интеграции глобальных финансовых рынков и усиления переливов шоков между различными классами активов, что привело к снижению возможностей диверсификации рисков (Gubareva et al., 2023). Такие экзогенные шоки, как вспышка пандемии COVID-19 и российско-украинский геополитический конфликт, беспрецедентные антироссийские санкции со стороны США и ЕС способствуют росту экономической неопределенности, ухудшению макропоказателей (например, росту инфляции во многих странах), нарушению и переформатированию цепочек поставок, что влияет на взаимосвязи различных классов финансовых активов (Bossman, Gubareva, Teplova, 2023). Как следствие — актуальной проблемой становится выявление активов, предоставляющих инвесторам возможности диверсифицировать бизнес в различных условиях.

Цель нашей работы — исследовать взаимосвязи между доходностью энергоресурсов и ESG-ориентированных индексов акций в частотно-временной перспективе в условиях макроэкономической стабильности и финансовых кризисов. Мы предпринимаем попытку ответить на открытые исследовательские вопросы: 1) как изменились взаимосвязи между ценами на энергоресурсы и ESG-индексами в условиях распространения пандемии и нарастания геополитической напряженности; 2) может ли глобальный инвестор, вкладывающий средства во фьючерсы на энергоресурсы, снизить риски за счет диверсификации путем инвестиций в ESG-фонды глобального рынка и развитых стран.

Сектор энергетики является движущей силой мирового экономического развития: энергия используется для промышленного производства, отопления и транспорта, при этом доля нефти в глобальном потреблении энергии достигает 75% (Marín-Rodríguez, González-Ruiz, Botero, 2022). Деривативы являются основным инструментом для инвесторов, желающих получить экспозицию на сырьевые товары: они ликвидны и не налагают на участников рынка дополнительных налоговых обязательств и затрат на транспортировку, страхование и хранение физического актива. Основные виды деривативов, которые используются хеджерами на рынке нефти, природного газа и других сырьевых товаров: фиксированные и базисные своп-контракты, “ванильные” опционы, а также форвардные и фьючерсные контракты. Экспозиция на данные рынки может быть достигнута и с помощью других инструментов: взаимные и трастовые фонды, инвестирующие в конкретные сырьевые отрасли; Commodity Trading Advisor (CTA) — управляемые фонды, которые осуществляют направленные инвестиции преимущественно в товарные фьючерсы; биржевые фонды и биржевые ноты. Авторы (Li et al., 2020) приводят следующую классификацию факторов, влияющих на ценообразование товарных фьючерсов: макроэкономические (например, инфляция, валютные курсы, рост ВВП), рыночные (например, динамика спроса и предложения, рыночный сентимент) и факторы, связанные с производством (добычей) базовых активов (например, сезонность, изменение климата, технологии производства).

Рынки углеводородного сырья в последние десятилетия переживают инвестиционный бум, растут притоки капитала во фьючерсы на нефть и природный газ. Эти процессы усиливают взаимную связь рынка углеводородного сырья с другими финансовыми рынками, включая рынки акций (Jiang et al., 2021). С одной стороны, поскольку источники возобновляемой энергии являются заменителями для углеводородного сырья (Omri, Daly, Nguyen, 2015), можно ожидать, что с ростом цен на нефть и газ компании будут сокращать их потребление и переключаться на возобновляемые источники энергии и цены акций ESG-ориентированных компаний будут расти. С другой стороны, рост цен на нефть и газ может усиливать инфляционное давление, что уменьшает величину спроса на товары и услуги и может приводить к снижению цен акций различных компаний (Melek, 2018). В (Marín-Rodríguez, González-Ruiz, Botero, 2022) на основе обзора эмпирических работ авторы пришли к выводу, что взаимосвязи между рынками нефти и акций меняются во времени и существует переток волатильности с рынка нефти на рынки акций. В (Jiang et al., 2021) авторы выявили, что рынок газа демонстрирует независимость от акций компаний возобновляемой энергетики. Авторы ряда эмпирических исследований демонстрируют, что инвесторы со среднесрочным или долгосрочным горизонтом инвестирования могут хеджировать свои позиции в товарных фьючерсах посредством покупки акций с высокими рейтингами ESG (например, (Andersson et al., 2022)). Выводы предыдущих работ позволяют предполагать, во-первых, лидирующую роль рынка нефти по сравнению с рынками акций ESG-ориентированных компаний; во-вторых, большие возможности для диверсификации инвестиций во фьючерсы на газ акциями компаний с высокими ESG-рейтингами; в-третьих, повышение возможности хеджирования рыночного риска фьючерсов на нефть и природный газ с использованием ESG-индексов в периоды кризисов.

Наше исследование вносит вклад и расширяет растущий объем литературы, касающейся вопросов устойчивого развития, по трем направлениям. Во-первых, мы расширяем существующую литературу, изучая взаимосвязь между доходностью энергоресурсов и ESG-индексов с применением методологии вейвлет-анализа. В качестве энергоресурсов мы рассматриваем нефть «Brent» и природный газ «Henry Hub». В предыдущих исследованиях было показано, что цены на нефть и природный газ значительно влияют на глобальные финансовые рынки, включая рынки акций и облигаций, рынки других сырьевых товаров (Balcilar, Gabauer, Umar, 2020; Mensi et al., 2021; Magazzino, Shahbaz, Adamo, 2023). Традиционно для выявления взаимосвязей между временными рядами финансовых активов, включая ESG-индексы и сырьевые товары, используются такие подходы, как тест Грейнджера на наличие причинно-следственной связи, модели класса ARCH, тест Йохансена на коинтеграцию и модели коррекции ошибок (ECM) (Jain, Gagan, Srivastava, 2019). Вышеуказанные подходы не позволяют выявить динамически изменяющихся взаимосвязей, что критично при рассмотрении длительных периодов времени, охватывающих финансовые кризисы. В ряде современных работ для преодоления этого недостатка применяется подход TVP–VAR (time-varying parameter vector autoregressions, модели векторной авторегрессии с изменяющимися во времени параметрами). Так, (Cagli, Mandaci, Taşkın, 2023), используя подход TVP–VAR, выявляют, что ESG-индексы развитых и развивающихся рынков являются чистыми передатчиками шоков волатильности, тогда как сырьевые товары (за исключением нефти и меди) являются чистыми получателями этих шоков в период 2011–2021 гг. В других работах применяется квантильный анализ или синтез различных методов для учета особенностей динамики цен финансовых активов в различных рыночных условиях. Так, (Jiang et al., 2021) с применением квантиль-квантильных регрессий (quantile-on-quantile, QQ) и анализа причинности в квантилях выявляют положительные взаимосвязи между ценовой динамикой на рынке нефти и акциями компаний сектора возобновляемой энергетики. Авторы (Yahya et al., 2023) используют двухрежимные пороговые векторные модели коррекции ошибок (*threshold vector error correction mode*, TVECM) в комбинации с DCC–GARCH (dynamic conditional correlation — generalized autoregressive conditional heteroscedasticity) для выявления нелинейной и зависимой от рыночных условий долгосрочной взаимосвязи между ценами нефти и акций компаний чистой энергетики. В отличие от большей части предыдущих работ мы выявляем взаимосвязи между доходностями нефти и фьючерсов на природный газ и ESG-ориентированными индексами акций не только во временной, но и в частотной области, т.е. учитываем инвестиционный горизонт.

Во-вторых, мы рассматриваем и сопоставляем взаимосвязи между доходностью энергоресурсов и ESG-индексов по трем периодам: относительной макроэкономической стабильности (2018–2019 гг.), пандемии коронавируса COVID-19 (2020–2021 гг.) и геополитического конфликта между Россией и Украиной (с 2022 г. по начало 2024 г.). Во многих работах период роста геополитической напряженности не рассматривался (Andersson et al., 2022; Cagli, Mandaci, Taşkın, 2023). Неопределенность в отношении перспектив мировой экономики и изменение глобальных цепочек поставок влияют на спрос и предложение энергоресурсов и, таким образом, на предпочтения инвесторов в отношении сырьевых товаров и акций компаний, ориентированных на устойчивое развитие. Выводы предыдущих работ относительно устойчивости ESG-ориентированных инвестиций в периоды кризисов неоднозначны. В ряде исследований подчеркивается меньшая волатильность доходности ESG-ориентированных индексов в кризисные периоды по сравнению с традиционными фондовыми индексами, нефтью и криптовалютами (Piserà, Chiappini, 2024). В других работах выявляются перепады риска между ESG-индексами и традиционными фондовыми индексами (Ameur et al., 2020).

В-третьих, применяя вейвлет-анализ, мы выявляем области высокой и низкой согласованности динамики доходности энергоресурсов и ESG-индексов и соотношения опережения и/или запаздывания между двумя рассматриваемыми классами активов. Области низкой согласованности во временно-частотном пространстве представляют инвесторам возможности диверсификации и могут использоваться в качестве основы для стратегий хеджирования как в условиях макроэкономической стабильности, так и в условиях финансовых кризисов.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Вейвлет-анализ является одним из популярных методов изучения совместных изменений различных временных рядов финансовых переменных. С помощью данной методологии возможно получить более детальные представления о таких процессах на финансовых рынках, как перепады волатильности и эффекты заражения в частотно-временной перспективе (Zaremba, Umar, Mikutowski, 2019). Особый интерес для академических исследователей, регуляторов и участников

фондового рынка представляет совместная динамика доходностей активов в кризисные периоды (Umar et al., 2022).

В работе (Ferrer, Benítez, Bolós, 2021) анализируется взаимосвязанность между индексами зеленых акций и зеленых облигаций и другими классами активов (суверенные облигации США, корпоративные облигации, сырая нефть, золото и др.) на различных инвестиционных горизонтах. Авторы статьи показывают, что не существует значимой взаимосвязи между индексами зеленых акций и зеленых облигаций. Зеленые активы имеют слабую взаимосвязь с высокодоходными облигациями и сырой нефтью, что может обеспечивать диверсификационный потенциал для инвесторов. Во время рыночной турбулентности, вызванной, например, кризисом суверенного долга в Еврозоне или пандемией COVID-19, взаимосвязи между традиционными (конвенциональными) и зелеными активами становятся более сильными. В отличие от работы (Ferrer, Benítez, Bolós, 2021) мы делаем акцент не только на зеленых активах, но на ESG-ориентированные индексы в целом.

Е. Андерсон с соавторами (Andersson et al., 2022) используют метод многоуровневого вейвлет-разложения для анализа соотношений между доходностями ESG-индексов акций и доходностями различных активов (включая сырьевые товары). Авторы исследования приходят к выводу, что в средне- и долгосрочной перспективе сырьевые товары могут быть использованы ESG-инвесторами в качестве хеджирующего инструмента. В работе (Andersson et al., 2022) не учитывается период геополитической напряженности в мире в 2022–2024 гг. Поэтому в своей работе мы добавляем анализ периода, характеризующегося геополитической напряженностью; но не анализ самой геополитической напряженности.

Е. Кагли, П. Мандачи и Д. Ташкин (Cagli, Mandaci, Taşkın, 2023) изучают перемены волатильности между дневными доходностями ESG-индексов рынков акций развивающихся и развитых стран (и в отдельности США) и различных индексов сырьевых товаров (сырая нефть, природный газ, золото, цинк, алюминий и др.) на интервале с января 2011 г. по май 2021 г. Исследователи демонстрируют, что все товарные индексы, за исключением меди и сырой нефти, являются чистыми приемниками волатильности, а ESG-индексы — чистыми передатчиками волатильности. Шоки, создающие неопределенность на краткосрочном интервале, являются основной причиной того, что общий индекс связанности находится на умеренном уровне. В отличие от работы (Cagli, Mandaci, Taşkın, 2023) мы делаем акцент на соотношении между доходностями ESG-индексов и нефти.

Согласно работе (Liu et al., 2023), на интервалах 2014–2016 гг. и 2018–2020 гг. высокие цены на нефть стимулировали рост углеродной эффективности экономики Китая, однако в 2022 г. цены на природный газ имели слабое влияние на данный показатель. Важным результатом применения вейвлет-анализа является доказательство существования значимой связи между ценами сырьевых товаров и углеродной эффективностью экономики страны в долгосрочной перспективе. В то же время в данной работе не рассматривались непосредственно взаимосвязи между ценами на энергоресурсы и акциями ESG-ориентированных компаний, являющиеся предметом нашего исследования.

Применяя вейвлет-анализ, авторы (Frikha et al., 2024) исследуют динамическую взаимосвязанность между различными сырьевыми товарами и крупнейшими индексами акций стран из групп G7, БРИКС и государств Персидского залива. Выборка охватывает периоды трех крупных кризисов: пандемии COVID-19, усиления геополитической напряженности, а также банковского кризиса. Авторы статьи демонстрируют, что во время пандемии динамические связи между рынками усилились, однако они частично ослабли после 24 февраля 2022 г. Во время банковского кризиса 2023 г. биткойн стал активом-убежищем на фоне падения многих индексов акций. Однако авторы (Frikha et al., 2024) не рассматривают ESG-ориентированные акции.

Помимо рассмотрения ESG-ориентированных индексов и цен акций отдельных компаний с различными ESG-стратегиями, некоторые исследователи используют альтернативные метрики, показывающие скорость перехода к низкоуглеродной энергетике, более высоким стандартам качества корпоративного управления и т.д. Например, К. Магаццино и Л. Джолилли (Magazzino, Giolli, 2024) анализируют дневную динамику цен на нефть и темпы производства возобновляемой энергии в Италии во время первой волны пандемии COVID-19. Применяя различные эконометрические методы, включая вейвлет-анализ, авторы показывают, что данные переменные имели сильную корреляцию; более того, результаты спектрального теста Грэнджера на причинность демонстрируют влияние темпов производства солнечной, гидро- и ветровой энергии на цены на нефть. В отличие от работы (Magazzino, Giolli, 2024), в нашей работе делается акцент на ESG-индексы.

К. Магацино и Л. Джиолли (Magazzino, Giolli, 2024) подчеркивают, что соотношение между ценами на нефть и темпами производства возобновляемых источников энергии в общем случае является динамичным и может определяться различными внешними факторами. Например, как показывает статья (Bhattacharjee, Mishra, Kang, 2023), рыночный сентимент и глобальная экономическая неопределенность являются значимыми факторами, влияющими на взаимосвязь между ценой на нефть и динамикой страновых индексов MSCI ESG Leaders Indices. В работе (Bhattacharjee et al., 2023) не рассматривались ESG-индексы глобального рынка и рынка ЕС и не исследовались взаимосвязи доходности ESG-индексов с доходностью природного газа.

2. ГИПОТЕЗЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках настоящего эмпирического исследования мы тестируем следующие гипотезы.

Гипотеза 1. ESG-индекс европейского рынка дает более значимый потенциал для хеджирования изменения цен на нефть по сравнению с ESG-индексом американского рынка.

Как показывают (Liu, Nakajima, Namori, 2021), во время периодов турбулентности на финансовых рынках суммарные влияния перелива со стороны акций, золота и нефти на американские ESG-активы более значимы в сравнении с ESG-индексом стран ЕС. (Liu, Namori, 2020) исследуют на рынках США и Европы эффекты перелива доходности и волатильности со стороны нефти, природного газа, индексов волатильности, акций широкого рынка, государственных облигаций на акции в сфере возобновляемой энергетики. По всем переменным общие эффекты перелива являются более значимыми для американских акций.

Гипотеза 2. Добавление в инвестиционный портфель, состоящий из поставочных фьючерсов на природный газ, акций компаний с высокими ESG-рейтингами, снижает риски за счет диверсификации, причем эффективность хеджирования сохраняется высокой на различных инвестиционных горизонтах.

Данное предположение базируется на следующих результатах, представленных в существующей литературе. В (Chen et al., 2023) авторы используют методологию TVP–VAR для исследования межвременной взаимосвязанности между американскими зелеными акциями и фьючерсами на природный газ в течение кризисных периодов. Авторы статьи отмечают, что данные активы могут обеспечить высокую эффективность хеджирования рыночного риска фьючерсов на природный газ, причем некоторые зеленые акции могут хеджировать риски так же хорошо, как золото или доллар США. Согласно результатам (Pedini, Severini 2022), во время кризиса COVID-19 инвестиции в активы с высокими ESG-рейтингами выступали в качестве хеджирующего инструмента в отношении портфелей, имеющих аллокацию на сырьевые товары и американские акции с лагом в один торговый день. Слабая связь между доходностями ESG-индексами и доходностями сырьевых товаров на длинном инвестиционном горизонте фиксируется (Andersson et al., 2022).

Гипотеза 3. Во время кризиса COVID-19 и нарастания геополитической напряженности между Россией и Украиной в 2022 г. эффективность хеджирования рыночного риска длинных позиций по нефти и природному газу с использованием ESG-индексов увеличилась по сравнению с другими периодами.

Возможность применения ESG-стратегий для уменьшения рыночного риска во время кризисных событий отмечается во многих эмпирических исследованиях. Например, авторы (Broadstock et al., 2021) проводят сравнительный анализ портфелей, составленных из китайских акций с различными ESG-рейтингами, и приходят к выводу, что цены акций компаний с высоким уровнем экологического, социального и корпоративного управлений были более устойчивыми в первых фазах развития кризиса, вызванного пандемией COVID-19, в сравнении с остальными акциями. В то же время авторы подчеркивают, что роль ESG-парадигмы в контексте принятия инвестиционных решений на рынке акций снижается вне кризисных периодов. Авторы (Albuquerque et al., 2020; Yu, 2022) также фиксируют более высокие доходности и меньшую волатильность цен акций компаний–лидеров ESG по сравнению с остальными акциями во время пандемии COVID-19. В (Alnafrh, 2024) показано, что применение ESG-практик позволяет публичным компаниям демонстрировать большую устойчивость к геополитическим рискам.

Гипотеза 4. Во взаимосвязи между изменением цен на нефть и доходностью ESG-индексов в период пандемии и роста геополитической напряженности лидирует нефть.

Как продемонстрировано в работе (Bhattacharjee, Mishra, Kang, 2023), после начала пандемии COVID-19, начиная с апреля 2020 г., спрос на нефть рос и увеличивалась волатильность на фондовых рынках. Многие инвесторы также использовали инвестиции в нефть в качестве хеджирующего инструмента против растущей инфляции, обусловленной стимулирующей бюджетно-налоговой и монетарной политикой, проводимой во многих развитых странах. Это привело к тому, что нефть демонстрировала опережающую динамику по отношению к рынку акций.

3. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Используемый нами методологический подход — вейвлет-анализ — преодолевает ограничения спектрального анализа, демонстрируя различные локализованные в частотно-временной области паттерны поведения инвесторов¹. Во многих исследованиях анализ производится исключительно во временной области. Однако между ценами на энергоресурсы и акциями компаний с высокими ESG рейтингами некоторые взаимосвязи могут существовать в разных частотах.

3.1. Непрерывное вейвлет-преобразование (CWT)

Мы будем пользоваться вейвлетом Морле, имеющим вид

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} \exp(i\omega_0 \eta) \exp(-0,5\eta^2), \quad (1)$$

где ω_0 — безразмерный параметр частоты; η — безразмерное время.

Непрерывное вейвлет-преобразование (CWT) для временного ряда $x(t)$ относительно вейвлета $\psi(t)$ определяется как:

$$W_x(\tau, s) = (1/\sqrt{|s|}) \int_R \psi_{\tau,s}^*((\tau - t)/s) x(t) dt, \quad (2)$$

где s — параметр масштаба; τ — параметр смещения; $\psi_{\tau,s}^*$ — комплексное сопряжение функции материнского вейвлета; $\sqrt{|s|}$ — условие нормализации, согласно которому вейвлеты должны иметь одинаковую мощность (колебания) для любого момента времени и масштаба.

В дискретном случае нормировочный коэффициент расширяется и включает равномерные временные шаги δt . Непрерывное вейвлет-преобразование дискретного ряда (x_n) ($n=1, \dots, N$) можно представить в виде

$$W_x(\tau, s) = \sqrt{\frac{\delta t}{s}} \sum_i^N x(t) \psi_{\tau,s}^*\left(\frac{t_i - \tau}{s}\right). \quad (3)$$

Для исследования локализованной изменчивости сигнала определим мощность вейвлета как $|W_n^x(s)|^2$, где $W_n^x(s)$ можно интерпретировать как локальную фазу (Torrence, Compro, 1998).

3.2. Кросс-вейвлет-преобразование (XWT)

Кросс-вейвлет-преобразование (cross wavelet transform, XWT) расширяет применение непрерывного вейвлет-преобразования в случае двух или более временных рядов и позволяет выявить области синхронного (или асинхронного) изменения колебаний исходных рядов. Если $W_n^x(s, \tau)$ и $W_n^y(s, \tau)$ являются непрерывными вейвлет-преобразованиями для исходных рядов $x(t)$ и $y(t)$, кросс-вейвлет-преобразование (Torrence, Combo, 1998; Torrence, Webster, 1999) определяется как

$$W_n^{xy}(s, \tau) = W_n^x(s, \tau) \overline{W_n^y(s, \tau)}, \quad (4)$$

где $\overline{W_n^y(s, \tau)}$ — комплексное сопряжение для непрерывного вейвлет-преобразования.

Результат, как правило, комплексный. Величина — модуль $|W_n^{xy}|$ — указывает на ковариацию в масштабе s , а безразмерный временной параметр n отмечает области в пространстве высокой общей мощности (т.е. области с высокой силой связи между рядами). Фазовый спектр (ϕ_{xy}) кросс-вейвлет-преобразования представляет собой относительную разность фаз (аргументов) между сравниваемыми временными рядами:

$$\phi_{xy} = \left(\text{Im}(|W_n^{xy}(s)|) / \text{Re}(|W_n^{xy}(s)|) \right) \in [-\pi; \pi]. \quad (5)$$

¹ См. Интернет-приложение.

Информация о фазе на рис. 3–8 кодируется направлением стрелки и позволяет судить о совместной динамике двух временных рядов. Направление стрелок может быть интерпретировано как указание на отношение опережения или отставания².

3.3. Квадратичная вейвлет-когерентность (SWC)

Квадратичная вейвлет-когерентность измеряет корреляцию между двумя временными рядами в частотно-временном пространстве (Aguilar-Contraria, Azevedo, Soares, 2008). Это — нормализованная величина, принимающая значения от 0 до 1, что означает отсутствие корреляции и идеальную корреляцию соответственно. Нормализация выполняется для обоих вейвлет-спектров, чтобы обнаружить взаимосвязи между ними:

$$R_n^2(s, \tau) = \left| \text{Re} \left(W_n^{xy}(s, \tau) \right) \right|^2 / \left[\sqrt{|W_n^x(s, \tau)|^2 |W_n^y(s, \tau)|^2} \right] \in [0, 1]. \quad (6)$$

4. ОПИСАТЕЛЬНЫЕ СТАТИСТИКИ ПО ВЫБОРКЕ

Мы используем дневные данные с 1 января 2018 г. по 30 января 2024 г. по индексам акций компаний с высоким ESG-рейтингом — глобального рынка MSCI World ESG Leaders Index (GSIN Index), рынка США — MSCI US ESG Leaders Index (USSLM Index), рынка ЕС — MSCI EU ESG Leaders Index (EUSI Index), а также ценам на фьючерсы на нефть марки «Brent» и индекса, рассчитываемого на основе цен на поставочные фьючерсы на природный газ в США (Natural gas Henry Hub)³. Источники данных — базы данных Bloomberg и Cbonds. На рис. 1 показана динамика рассматриваемых временных рядов.

Динамика значений скользящей корреляции Пирсона между дневными рядами доходностей нефти «Brent» и природного газа «Henry Hub» в окнах 90 и 180 торговых дней продемонстрирована на рис. 2. Среднее значение (медиана) скользящей корреляции в окне 90 торговых дней на рассматриваемом временном интервале — 0,082 (0,092); соответствующие показатели при переходе к окну в 180 торговых дней — 0,080 (0,083).

Вейвлет-анализ не требует выполнения часто используемых в анализе временных рядов специальных предпосылок к временному ряду (стационарность, близость к нормальному распределению и т.д.). Однако мы переходим к рядам дневной доходности на основе имеющихся значений

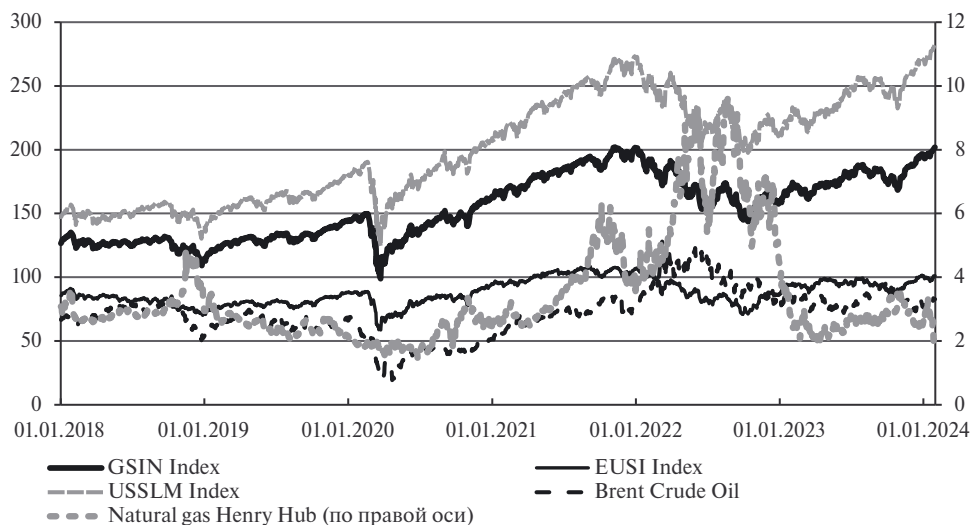


Рис. 1. Динамика временных рядов

Примечание. Единицы измерения: «Brent Crude Oil» — доллары за баррель; индексы GSIN Index, USSLM, EUSI Index — пункты; «Natural gas Henry Hub» — доллары за 1 млн британских тепловых единиц (MMBtu)).

² Подробнее можно посмотреть в Интернет-приложении (<https://fmlab.hse.ru/appendices>).

³ Индекс рассчитывается в долл./млн британских тепловых единиц (BTU).

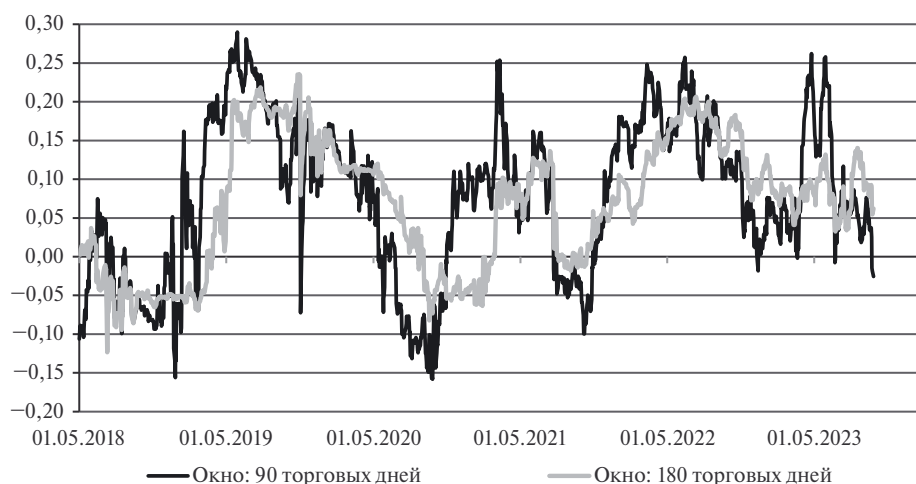


Рис. 2. Скользящая корреляция между дневными доходностями нефти «Brent» и природного газа «Henry Hub»

Таблица 1. Описательные статистики по доходности рассматриваемых индексов (число наблюдений = 1578)

Статистический показатель	Brent Crude Oil	Natural gas «Henry Hub»	GSIN Index	USSLM Index	EUSI Index
Среднее	0,000501	0,000538	0,000353	0,000497	0,000175
Стандартное отклонение	0,026	0,039	0,011	0,013	0,012
Минимальное значение	−0,265	−0,222	−0,097	−0,121	−0,128
25%	−0,011	−0,02	−0,004	−0,004	−0,005
50%	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
75%	0,013	0,02	0,006	0,007	0,006
Максимальное значение	0,21	0,209	0,09	0,099	0,084
Куртозис	16,51	3,13	14,83	13,471	12,273
Скошенность	−0,761	0,121	−0,716	−0,464	−0,766
Тест Харке–Бера	17952,06	642,316	14496,14	11905,19	9989,334

индексов, поскольку доходность представляет непосредственный интерес для инвесторов. Описательные статистики по выборке показаны в табл. 1.

5. ОПИСАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рис. 3 демонстрирует связь между доходностями индекса, отслеживающего цены на нефть «Brent», и индекса компаний глобального рынка с высоким ESG-рейтингом (GSIN Index).

При рассмотрении периода макроэкономической стабильности (2018–2019 гг.) можно выделить две значимые области для краткосрочной инвестиционной перспективы (от 16 до 32 дней), которые характеризуются высокой положительной совместной изменчивостью и лидированием индекса компаний глобального рынка с высокими ESG-рейтингами: на стыке второго и третьего кварталов 2018 г. и в первых трех кварталах 2019 г. Подобная динамика временных рядов наблюдается и на среднесрочном инвестиционном горизонте (64–128 дней) со второй половины 2018 г.: доходности изменялись преимущественно синхронно, однако GSIN Index рос быстрее. В долгосрочной перспективе (128–256 дней) фиксируется сонаправленная динамика, однако в синхронном изменении лидирует не ESG-индекс, а нефть. На инвестиционном горизонте с 32 до 128 дней в течение 2018 г. взаимное согласованное изменение доходности рядов отсутствовало, так что инвесторы, имеющие длинные позиции по нефти, могли использовать глобальные акции с высокими рейтингами ESG в качестве хеджирующего инструмента.

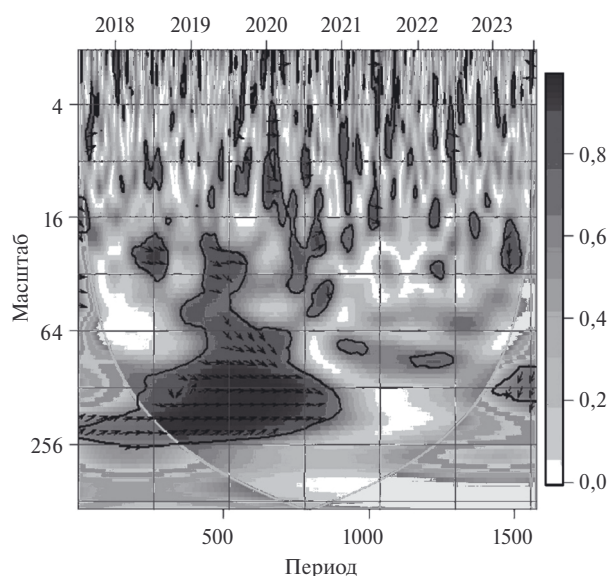


Рис. 3. Взаимосвязь между доходностью нефти «Brent» и доходностью индекса компаний глобального рынка с высоким ESG-рейтингом (GSIN Index)

Примечание. Масштаб — инвестиционный горизонт; единицы измерения — дни; период — период анализа (первый день — 1 января 2018 г., последний день — 30 января 2024 г.), единицы измерения — дни.

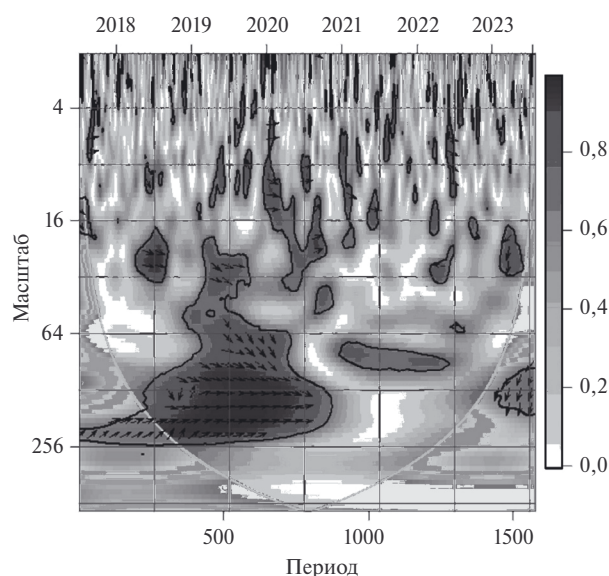


Рис. 4. Взаимосвязь между доходностью нефти «Brent» и доходностью индекса компаний США с высоким ESG-рейтингом (USSLM Index)

Примечание. Масштаб — инвестиционный горизонт; единицы измерения — дни; период — период анализа (первый день — 1 января 2018 г., последний день — 30 января 2024 г.), единицы измерения — дни.

В четвертом квартале 2019 г. и в 2020 г. в начале кризиса, вызванного COVID-19, в краткосрочной (до 16 дней) и среднесрочной перспективе в синхронном изменении лидирует нефть. Это отражает потенциал нефти реагировать раньше изменением цен на шоковые события и подчеркивает устойчивость ESG-индексов на данных инвестиционных горизонтах. Обращает на себя внимание то, что после острой фазы кризиса 2020 г. совместная синхронная динамика наблюдается преимущественно на краткосрочном инвестиционном горизонте, что может указывать на снижение согласованности изменения доходностей двух рассматриваемых активов и снижение воздействия общих факторов, что создает потенциал для хеджирования рыночных рисков. Стоит заметить, что рис. 3 указывает на высокую возможность диверсификации инвестиций: на горизонте от 256 дней почти отсутствует взаимно согласованное изменение доходности.

Увеличение геополитических рисков, связанных с конфликтом России и Украины, незначительно повлияло на взаимное изменение доходности нефти «Brent» и GSIN Index. В то же время в краткосрочной (2 недели) и среднесрочной перспективах (100–150 дней) в области вне конуса влияния (область, которая может давать нестабильный результат) есть свидетельства в пользу того, что доходности двух активов изменяются в противоположных направлениях с лидированием нефти. Иными словами, при снижении цен на фьючерсы на нефть в этих инвестиционных перспективах индекс продолжает рост.

Рис. 4 отражает взаимосвязи доходности нефти «Brent» и индекса компаний США с высоким ESG-рейтингом (USSLM Index) и демонстрирует схожий результат, что и на рис. 3, для всех трех рассматриваемых подпериодов. Тем не менее стоит перечислить основные отличия от динамики взаимосвязи между доходностью фьючерсов на нефть «Brent» и индекса GSIN Index. Отметим, что для области от 64 до 128 дней (среднесрочный горизонт) с начала 2021 г. по второй квартал 2022 г. увеличивается площадь совместного значимого изменения доходностей двух активов, что может указывать на быстрое совместное постпандемийное восстановление их цен. В 2022–2024 гг. также увеличивается площадь значимого совместного изменения доходностей активов, что указывает на совместную реакцию активов на геополитический кризис.

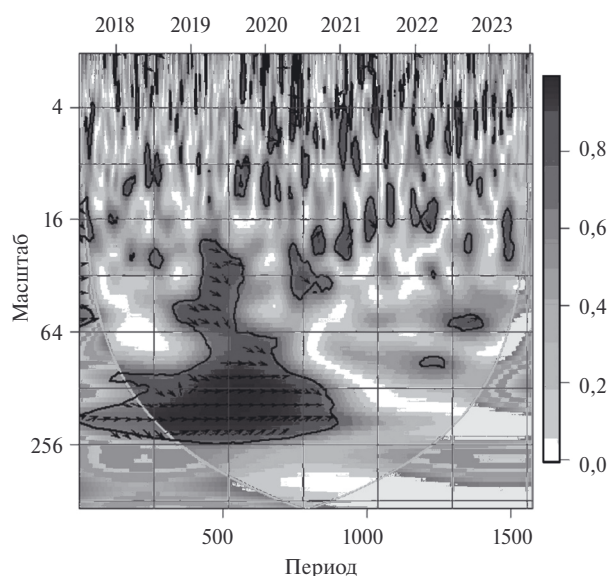


Рис. 5. Взаимосвязь между доходностью нефти «Brent» и доходностью индекса компаний ЕС с высоким ESG-рейтингом (EUSI Index)

Примечание. Масштаб — инвестиционный горизонт; единицы измерения — дни; период — период анализа (первый день — 1 января 2018 г., последний день — 30 января 2024 г.), единицы измерения — дни.

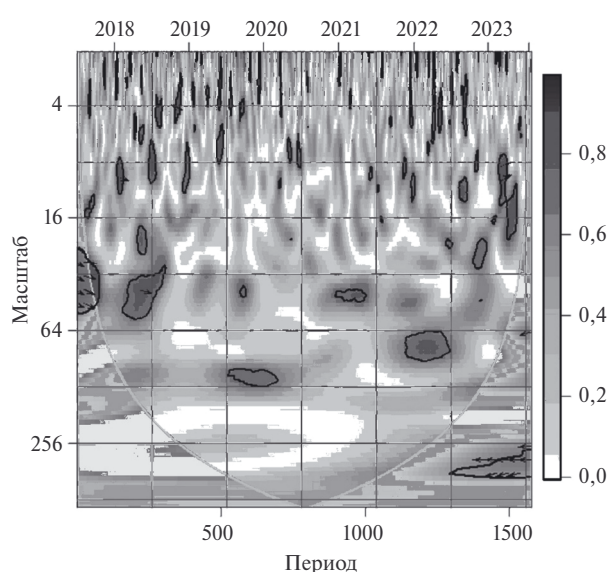


Рис. 6. Взаимосвязь между доходностью природного газа («Henry Hub») и доходностью индекса компаний глобального рынка с высоким ESG-рейтингом (GSIN Index)

Примечание. Масштаб — инвестиционный горизонт; единицы измерения — дни; период — период анализа (первый день — 1 января 2018 г., последний день — 30 января 2024 г.), единицы измерения — дни.

Рис. 5 показывает взаимную связь доходности нефти «Brent» и индекса компаний ЕС с высоким ESG-рейтингом (EUSI Index). Для всех трех рассматриваемых временных интервалов результаты схожи с картиной для глобального рынка (см. рис. 3), однако характерная область среднесрочного взаимного изменения (64–128 дней) на протяжении 2021 г. — первой половины 2022 г. исчезает, а сонаправленная динамика EUSI Index с нефтью ярче проявляется на инвестиционном горизонте до месяца (с лидерованием нефти во второй половине 2020 г.). Это указывает на то, что доходность EUSI Index менее предсказуема и индекс не восстанавливался с той же скоростью, что цена нефти.

Начиная с 2022 г., когда значительно выросла геополитическая напряженность в мире, на рис. 5 нет характерных областей противонаправленного совместного изменения доходностей двух активов, которые наблюдались на рис. 3–4 с лидерованием нефти. Такое поведение может свидетельствовать о том, что ESG-индекс европейского рынка не рос в ответ на снижение цены нефти в отличие от индекса глобального рынка (GSIN Index) и рынка США (USSLM Index), что создавало для инвесторов возможности диверсификации.

Рис. 6 демонстрирует значимую диверсифицированность рядов доходности фьючерсов на природный газ (Natural gas «Henry Hub») и индекса компаний глобального рынка с высокими ESG-рейтингами (GSIN Index) как во время макроэкономической стабильности (2018–2019 гг.), так и во время кризиса, вызванного COVID-19 (2020–2021 гг.), и периода возросшей геополитической напряженности (2022–2024 гг.). До 2019 г. в области краткосрочного инвестиционного горизонта (16–64 дней) отмечается взаимная сонаправленная динамика доходностей двух активов с лидерованием GSIN-индекса, однако это довольно ограниченная и неустойчивая тенденция. Примечательно, что с начала периода пандемии COVID-19 (2020 г.) почти полностью пропадают области сонаправленной или противонаправленной изменчивости доходности для двух активов даже в краткосрочный период, за исключением двух областей взаимосвязанности для среднесрочного инвестиционного горизонта в 2020 г. и краткосрочного инвестиционного горизонта в 2021 г.

С 2022 г. фиксируется несколько всплесков синхронной краткосрочной динамики нефти и GSIN Index, связанной с резкими изменениями цен на газ. В 2023 г. в перспективе от 1 до 3 недель доходность газа опережает доходность ESG. В зоне неустойчивости (за пределами конуса)

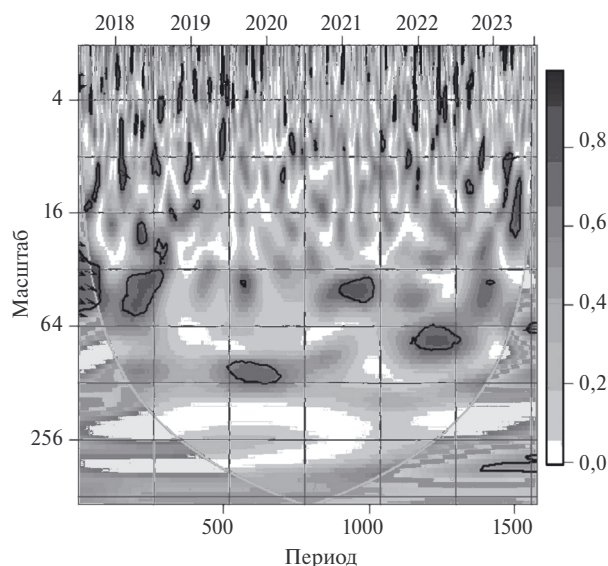


Рис. 7. Взаимосвязь между доходностью природного газа («Henry Hub») и доходностью индекса компаний США с высоким ESG-рейтингом (USSLM Index)

Примечание. Масштаб — инвестиционный горизонт; единицы измерения — дни; период — период анализа (первый день — 1 января 2018 г., последний день — 30 января 2024 г.), единицы измерения — дни.

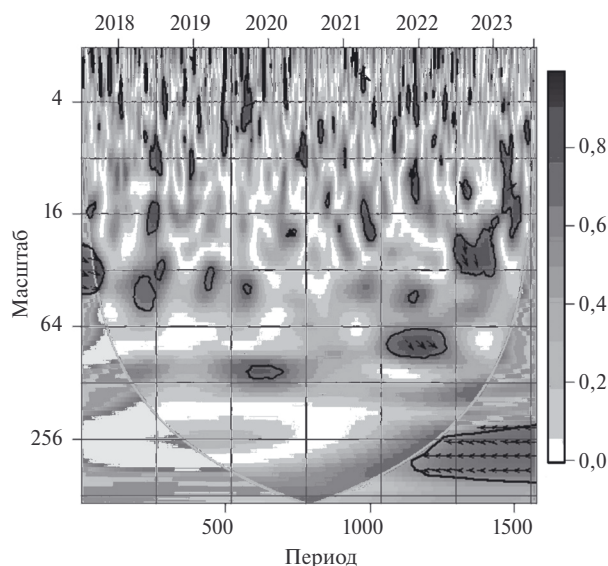


Рис. 8. Взаимосвязь между доходностью фьючерсов на природный газ («Henry Hub») и доходностью индекса компаний ЕС с высоким ESG-рейтингом (EUSI Index)

Примечание. Масштаб — инвестиционный горизонт; единицы измерения — дни; период — период анализа (первый день — 1 января 2018 г., последний день — 30 января 2024 г.), единицы измерения — дни.

есть свидетельство в пользу того, что в долгосрочной перспективе от 256 дней и более доходности фьючерсов на природный газ и ESG-индекса изменяются противонаправленно.

Рис. 7 представляет взаимосвязанность рядов доходностей индекса, отслеживающего цены фьючерсов на природный газ («Henry Hub»), и индекса компаний США с высоким ESG-рейтингом (USSLM Index). Для всех трех подпериодов (2018–2019, 2020–2021 и 2022–2024 гг.) выводы в целом аналогичны полученным ранее для глобального рынка, что является ожидаемым, так как на рассматриваемом промежутке времени доля американских фирм в индексе G SIN Index была значительно выше долей компаний, чьи акции торгуются на других развитых рынках акций. Также отметим, что после 2022 г. наблюдается большая независимость доходности ESG-индекса от доходности фьючерсов на природный газ.

Рис. 8 представляет взаимосвязанность рядов доходностей природного газа («Henry Hub») и индекса компаний ЕС с высоким ESG-рейтингом (EUSI Index). Выводы схожи с полученными ранее для США и глобального рынка для периода относительной макроэкономической стабильности (2018–2019 гг.), пандемии коронавируса COVID-19 (2020–2021 г.) и роста геополитической напряженности (с 2022 г.). Тем не менее мы отмечаем, что европейский ESG-индекс в большей степени связан с природным газом, чем другие ESG-индексы глобального рынка и рынка США: с 2022 г. усилилась взаимосвязь на инвестиционном горизонте от 8 до 32 дней и от 64 до 128 дней с лидированием природного газа. Снижение цены газа к концу 2023 г. расширило область взаимного противоположно направленного изменения доходностей двух активов на инвестиционном горизонте от 200 до 400 дней (отметим, что эта область фиксируется в зоне неустойчивого влияния — за пределами конуса).

Таким образом, мы приходим к ряду выводов. В рамках проведенного эмпирического анализа была частично подтверждена гипотеза 1. Согласно визуализации кросс-вейвлет-преобразования и квадратичной когерентности вейвлетов, с 2022 г. по конец января 2024 г. значимые области взаимного согласованного изменения доходностей между ценами на нефть марки «Brent» и ESG-индексом европейского рынка EU ESG Leaders Index в средне- и долгосрочной перспективе не фиксировались. На данном промежутке в среднесрочной перспективе согласованность между ценами на нефть «Brent» и ESG-индексом американского рынка была выше, что свидетельствует о менее

значимом потенциале для хеджирования. В то же время до 2022 г. вне кризисных периодов доходности нефти марки «Brent» на различных интервалах изменялись преимущественно синхронно с рассматриваемыми ESG-индексами глобального рынка, а также рынков США и ЕС. Полученные результаты в целом согласуются с выводами (Liu, Nakajima, Namori, 2021) о том, что во время периодов турбулентности на финансовых рынках суммарные эффекты перелива со стороны нефти на американские ESG-активы более значимы в сравнении с ESG-индексом стран ЕС.

Подтвердилась гипотеза 2: низкая согласованность между временными рядами доходностей ESG-индексов и фьючерсов на природный газ «Henry Hub» на различных инвестиционных горизонтах свидетельствует о том, что соответствующие композитные портфели имели бы более высокий уровень диверсификации, чем портфель с аллокацией только на рассматриваемый сырьевой товар. Данные результаты валидны для ESG-индексов глобального, европейского и американского рынков. В (Chen et al., 2023) также показано, что американские зеленые акции могут быть хеджем для инвестиций во фьючерсы на природный газ в течение кризисных периодов.

Гипотеза 3 подтвердилась частично: мы выявили, что после начала пандемии COVID-19 произошло снижение уровня согласованности изменения доходностей нефти «Brent» и индексов MSCI World ESG Leaders Index, MSCI US ESG Leaders Index и MSCI EU ESG Leaders Index на среднесрочном инвестиционном горизонте, что указывает на увеличение потенциала для хеджирования рыночных рисков. Эти результаты подтверждают выводы (Broadstock et al., 2021) о том, что акции китайских компаний с более высоким ESG-рейтингом были более устойчивы в первых фазах развития кризиса, связанного с пандемией. Мы выявили, что после усиления геополитической напряженности между Россией и Украиной в 2022 г. индексы акций компаний с высокими ESG-рейтингами предоставили возможности для диверсификации инвестиций в нефть марки «Brent»: области высокой согласованности соответствующих временных рядов стали менее распространенными по сравнению с периодом до 2022 г. В то же время эффективность хеджирования рыночного риска фьючерсов на природный газ с помощью акций компаний—лидеров по показателям ESG на разных инвестиционных горизонтах является примерно одинаковой вне и внутри кризисных периодов (пандемия COVID-19 и геополитический кризис 2022–2024 гг.).

Мы также находим подтверждение гипотезе 4. В кратко- и среднесрочной перспективе в синхронном изменении рядов доходностей ESG-индексов и нефти «Brent» во время кризисных событий на рынке чаще лидировала нефть, что является индикатором того, что данный сырьевой товар реагировал на шоковые события раньше котировок акций компаний, входящих в рассматриваемые индексы. Наши результаты совпадают с выводами из (Bhattacharjee, Mishra, Kang, 2023): после начала пандемии COVID-19 нефть демонстрировала опережающую динамику по отношению к рынку акций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рост обеспокоенности относительно изменения климата и сопутствующих негативных последствий для человечества и мира в целом привел к повышенному интересу со стороны участников рынка к ESG-парадигме в контексте ее включения в процесс принятия инвестиционных решений. В настоящей статье впервые исследуются взаимосвязи между доходностями фьючерсов на нефть марки «Brent» и природный газ «Henry Hub» и ESG-ориентированных индексов акций в частотно-временной перспективе при различных макроэкономических условиях (с 2018 г. по начало 2024 г.).

По результатам нашего эмпирического анализа мы получили ряд оригинальных выводов. С 2022 г. по конец января 2024 г. значимые области взаимного согласованного изменения доходностей между ценами на нефть марки «Brent» и ESG-индексом европейского рынка в средне- и долгосрочной перспективе не фиксировались. В среднесрочной перспективе согласованность между ценами на нефть «Brent» и ESG-индексом американского рынка была выше, что свидетельствует о менее значимом потенциале для хеджирования. Мы также подтвердили предположение о высокой эффективности хеджирования портфеля, состоящего из фьючерсов на природный газ в США, с помощью акций компаний с высокими ESG-рейтингами.

После начала пандемии COVID-19 произошло снижение уровня согласованности изменения доходностей нефти «Brent» и ESG-ориентированных индексов на среднесрочном инвестиционном горизонте, что указывает на увеличение потенциала для хеджирования рыночных рисков. После усиления геополитической напряженности между Россией и Украиной в 2022 г. индексы акций

компаний с высокими ESG-рейтингами предоставили возможности для диверсификации инвестиций во фьючерсы на нефть марки «Brent».

В кратко- и среднесрочной перспективе в синхронном изменении рядов доходностей ESG-индексов и нефти «Brent» во время кризисных событий на рынке чаще лидировала нефть. Мы объясняем это тем, что данный сырьевой товар реагировал на шоковые события раньше котировок акций компаний, входящих в рассматриваемые индексы.

Настоящая работа предлагает различные направления для будущих эмпирических работ с применением вейвлет-анализа. Например, исследование целесообразности использования зеленых облигаций в качестве хеджирующих активов как во время кризисов, так и в течение периодов с ограниченной рыночной волатильностью может являться полезным инструментом для консервативных инвесторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Aguiar-Contraria L., Azevedo N., Soares M.J.** (2008). Using wavelets to decompose the time–frequency effects of monetary policy. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 387, 12, 2863–2878.
- Albuquerque R., Koskinen Y., Yang S., Zhang C.** (2020). Resiliency of environmental and social stocks: An analysis of the exogenous COVID-19 market crash. *The Review of Corporate Finance Studies*, 9, 593–621.
- Alnafrh I.** (2024). ESG practices mitigating geopolitical risks: Implications for sustainable environmental management. *Journal of Environmental Management*, 358, Article 120923.
- Ameur H.B., Jawadi F., Jawadi N., Cheffou A.I.** (2020). Assessing downside and upside risk spillovers across conventional and socially responsible stock markets. *Economic Modelling*, 88, 200–210.
- Andersson E., Hoque M., Rahman M.L., Uddin G.S., Jayasekera R.** (2022). ESG investment: What do we learn from its interaction with stock, currency and commodity markets. *International Journal of Finance and Economics*, 27, 3623–3639.
- Balcilar M., Gabauer D., Umar Z.** (2020). Crude oil futures contracts and commodity markets: New evidence from a TVP-VAR extended joint connectedness approach. *Resources Policy*, 73, 102219.
- Bhattacharjee P., Mishra S., Kang S.H.** (2023). Does market sentiment and global uncertainties influence ESG-oil nexus? A time-frequency analysis. Part. A. *Resources Policy*, 86, 104130.
- Bossmann A., Gubareva M., Teplova T.** (2023). Economic policy uncertainty, geopolitical risk, market sentiment, and regional stocks: Asymmetric analyses of the EU sectors. *Eurasian Economic Review*, 13, 321–372.
- Broadstock D.C., Chan K., Cheng L.T.W., Wang X.** (2021). The role of ESG performance during times of financial crisis: Evidence from COVID-19 in China. *Finance Research Letters*, 38, 101716.
- Cagli E.C.C., Mandaci P.E., Taşkın D.** (2023). Environmental, social, and governance (ESG) investing and commodities: Dynamic connectedness and risk management strategies. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 14, 5, 1052–1074.
- Chen Y., Wei Y., Bai L., Zhang J.** (2023). Can Green economy stocks hedge natural gas market risk? Evidence during Russia-Ukraine conflict and other crisis periods. *Finance Research Letters*, 53, 103632.
- Ferrer R., Benítez R., Bolós V.J.** (2021). Interdependence between green financial instruments and major conventional assets: A wavelet-based network analysis. *Mathematics*, 9, 8, 900.
- Frikha W., Béjaoui A., Bariviera A.F., Jeribi A.** (2024). What matters for co-movements among gold, Bitcoin, CO₂, commodities, VIX and international stock markets during the health, political and bank crises. *Risks*, 12, 3, 47.
- Gubareva M., Umar Z., Sokolova T., Antonyuk V.** (2023). For whom does it pay to be a moral capitalist? Sustainability of corporate financial performance of ESG investment. *PLoS ONE*, 18, 5, e0285027.
- Jain M., Gagan D.S., Srivastava M.** (2019). Can sustainable investment yield better financial returns: A comparative study of ESG indices and MSCI indices. *Risks*, 7, 1, 15.
- Jiang Y., Wang J., Lie J., Mo B.** (2021). Dynamic dependence nexus and causality of the renewable energy stock markets on the fossil energy markets. *Energy*, 233, 121191.
- Li J., Li G., Zhu X., Yao Y.** (2020). Identifying the influential factors of commodity futures prices through a new text mining approach. *Quantitative Finance*, 20, 12, 1967–1981.
- Liu H., Pata U.K., Zafar M.W., Kartal M.T., Karlilar S., Caglar A.E.** (2023). Do oil and natural gas prices affect carbon efficiency? Daily evidence from China by wavelet transform-based approaches. Part B. *Resources Policy*, 85, 104039.

- Liu T., Hamori S.** (2020). Spillovers to renewable energy stocks in the US and Europe: Are they different. *Energies*, 13, 12, 3162.
- Liu T., Nakajima T., Hamori S.**, (2021). Which factors will affect the ESG index in the USA and Europe: Stock, crude oil, or gold. In: *ESG Investment in the Global Economy. Springer Briefs in Economics*. In: *ESG Investment in the Global Economy*. Chapter 4, 53–70. DOI: 10.1007/978-981-16-2990-7
- Magazzino C., Giolli L.** (2024). Analyzing the relationship between oil prices and renewable energy sources in Italy during the first COVID-19 wave through quantile and wavelet analyses. *Renewable Energy Focus*, 48, 100544.
- Magazzino C., Shahbaz M., Adamo M.** (2023). On the relationship between oil market and European stock returns. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 123452–123465.
- Marín-Rodríguez N.J., González-Ruiz J.D., Botero S.** (2022). Dynamic relationships among green bonds, CO₂ emissions, and oil prices. *Frontiers in Environmental Sciences*, 10, 992726.
- Melek N.C.** (2018). The response of U.S. investment to oil price shocks: Does the shale boom matter. *Economic Review*, 103, 4, 39–61.
- Mensi W., Al-Yahyaee K.H., Vo X.V., Kang S.H.** (2021). Dynamic spillover and connectedness between oil futures and European bonds. *The North American Journal of Economics and Finance*, 56, 101342.
- Omri A., Daly S., Nguyen D.K.** (2015). A robust analysis of the relationship between renewable energy consumption and its main drivers. *Applied Economics*, 47, 2913–2923.
- Pedini L., Severini S.** (2022). Exploring the hedge, diversifier and safe haven properties of ESG investments: A cross-quantilogram analysis. *Munich Personal RePEc Archive Paper*, 112339. Available at: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/112339/>
- Piserà S., Chiappini H.** (2024). Are ESG indexes a safe-haven or hedging asset? Evidence from the COVID-19 pandemic in China. *International Journal of Emerging Markets*, 19, 1, 56–75.
- Teplova T., Sokolova T., Kissa D.** (2023). Revealing stock liquidity determinants by means of explainable AI: The role of ESG before and during the COVID-19 pandemic. Part B. *Resources Policy*, 86, 104253.
- Torrence C., Compo G.P.** (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, 61–78.
- Torrence C., Webster P.J.** (1999). Interdecadal changes in the ENSO–Monsoon system. *Journal of Climate*, 12, 2679–2690.
- Umar Z., Gubareva M., Teplova T., Tran D.K.** (2022). Covid-19 impact on NFTs and major asset classes interrelations: Insights from the wavelet coherence analysis. *Finance Research Letters*, 47 B, 102725.
- Yahya M., Kanjilal K., Dutta A., Uddin G.S., Ghosh S.** (2023). Can clean energy stock price rule oil price? New evidences from a regime-switching model at first and second moments. *Energy Economics*, 95, 105116.
- Yu H.** (2022). Does sustainable competitive advantage make a difference in stock performance during the Covid-19 pandemic. *Finance Research Letters*, 48, 102893.
- Zaremba A., Umar Z., Mikutowski M.** (2019). Inflation hedging with commodities: A wavelet analysis of seven centuries worth of data. *Economics Letters*, 181, 90–94.

Wavelet analysis of the relationship between energy prices and stock indices of high ESG-rating companies: Investment diversification opportunities

© 2025 T.V. Sokolova, S.V. Gurov, V.A. Medvedev, V.V. Lysenko

T.V. Sokolova,

*National Research University “Higher School of Economics” (HSE University), Moscow, Russia;
e-mail: tv.sokolova@hse.ru*

S.V. Gurov,

*National Research University “Higher School of Economics” (HSE University), Moscow, Russia;
e-mail: sgurov@hse.ru*

V.A. Medvedev,

*National Research University “Higher School of Economics” (HSE University), Moscow, Russia;
e-mail: medvedev.v@hse.ru*

V.V. Lysenko,

*National Research University “Higher School of Economics” (HSE University), Moscow, Russia;
e-mail: vlysenko@hse.ru*

Received 25.04.2024

This study was supported by the Russian Science Foundation (project 23-28-00740, <https://rscf.ru/project/23-28-00740/>).

Abstract. Our research is the first attempt to identify relationships between «Brent» oil and natural gas prices and indices of stocks of companies with high ESG-ratings (ESG-leaders) in the time and frequency domains. We use such methods in the wavelet analysis framework as analysis of quadratic wavelet coherence and phase difference between data series. Our study is based on daily data from 2018 to the beginning of 2024, which allows us to cover periods of relative macroeconomic stability (until 2020), the COVID-19 coronavirus pandemic (2020–2021) and growing geopolitical tensions in the world (from 2022). We consider ESG-indices of the global market, US and EU markets. Our study shows areas of low and high consistency between energy prices and ESG-leaders' indices for the three periods under examination and identifies lag and lead relationships between the two considered asset classes. Identifying areas of low consistency allows an investor to develop investment diversification strategies, including hedging against drops in oil and gas prices during global crises. We find that global and US ESG-leaders' indices provide opportunities for diversifying investments in natural gas futures.

Keywords: energy resources; stock; ESG; risk diversification; wavelet analysis; wavelet coherence.

JEL Classification: C61, G11, G15.

UDC: 336.76.

For reference: Sokolova T.V., Gurov S.V., Medvedev V.A., Lysenko V.V. (2025). Wavelet analysis of the relationship between energy prices and stock indices of high ESG-rating companies: Investment diversification opportunities. *Economics and Mathematical Methods*, 61, 2, 128–142. DOI: 10.31857/S0424738825020108 (in Russian).