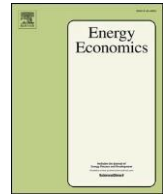




Списки содержания доступны в [ScienceDirect](#)

Экономика энергетики

домашняя страница журнала:



Прогнозирование волатильности природного газа: Свежие данные по экстремальным погодным условиям и расширенная модель GARCH-MIDAS-ES

Чао Лян^a, Чжэнлан Ся^b, Сяодун Лай^a, Лу Ванг^{b,*}

^a Школа экономики и менеджмента, Юго-Западный университет Цзяотун, Чэнду, Китай

^b Математический факультет, Юго-Западный университет Цзяо Тун, Чэнду, Китай

А Р Т И К Л И Я В Ф О

Ключевые слова:
Волатильность
природного газа
GARCH-MIDAS
Экстремальная
погода
Прогнозирование
волатильности

А Б С Т Р А К Т

Целью данного исследования является анализ предсказуемости волатильности природного газа с учетом формирования экстремальных погодных условий. Эмпирические результаты, основанные на расширенных моделях GARCH-MIDAS, показывают, что модель прогнозирования с добавлением погодных индикаторов действительно может превзойти модель без погодных индикаторов. Важно отметить, что некоторые экстремальные погодные индикаторы могут предоставить более ценную информацию для прогнозирования волатильности природного газа на основе различных вневыборочных тестов. Наша новая модель GARCH-MIDAS-ES, связанная с погодой, может продемонстрировать новое понимание прогнозирования волатильности природного газа.

1. Введение

Будучи важнейшим экологически чистым источником энергии, природный газ привлекает все большее внимание в связи с серьезными проблемами истощения ископаемого топлива и загрязнения окружающей среды (Bilgen et al., 2004; Alexopoulos, 2017). Недавно вторжение России в Украину заставило правительства и институты осознать важность понимания и прогнозирования волатильности рынка природного газа в условиях экстремальных потрясений (Ozili, 2022). Более того, экстремальные погодные условия, как один из распространенных типов экстремальных потрясений, считаются одним из важных факторов, влияющих на рынок природного газа (Cruz and Krausmann, 2013; Cho et al., 2018). Например, как отмечается в отчете Американской газовой ассоциации, волна холода в Северной Америке привела к значительной волатильности цен на природный газ в феврале 2021 года (Morales, 2021). Оказывая влияние на де-манд и предложение природного газа, экстремальные погодные условия часто приводят к значительным колебаниям цен. Поэтому, согласно Caporin и McAleer (2010), необходимо включить экстремальные погодные условия в моделирование и прогнозирование волатильности природного газа, чтобы получить более подробные знания для построения эконометрической модели. Однако, хотя многие исследования подтверждают тесную связь между рынком природного газа и погодными показателями (Mu, 2007; Nick and Thoenes, 2014a), такими как температура, влажность и скорость ветра, эконометрические модели, учитывающие экстремальные погодные условия, встречаются редко. Поскольку информационные шоки, связанные с экстремальной погодой, могут вызывать большие колебания на рынке природного газа,

необходимо учитывать передачу информации при прогнозировании волатильности. Более того, эффективность прогнозирования

природный газ в значительной степени зависит от экстремальных погодных потрясений. Следовательно, экстремальные погодные условия являются одной из основных проблем в нашем исследовании. На основе вышеприведенного анализа мы проводим улучшение предсказательной способности волатильности природного газа путем добавления экстремальных погодных условий в GARCH-MIDAS. Таким образом, понимание масштабов влияния экстремальных погодных условий на рынок природного газа полезно для разработки новых портфельных стратегий. Анализ того, как экстремальные погодные условия влияют на рынок природного газа, имеет решающее значение для снижения потерь, которые могут возникнуть в будущем.

Согласно поведенческим финансам, вместо рационального человека инвестор часто ведет себя иррационально в реальном мире (Basu et al., 2008). Многие инвесторы могут принимать различные инвестиционные стратегии, даже если они имеют дело с одинаковой информацией (Devenow and Welch, 1996).

Следовательно, Дэниел и др. (2002) указывают, что при моделировании финансовых рынков необходимо учитывать индивидуальный психологический фактор. Как важный фактор, влияющий на настроение человека, погода, как подтверждено, оказывает значительное влияние на финансовые рынки (Jacobsen and Marquering, 2008). Например, Saunders (1993) утверждает, что эффект солнечного света, измеряемый облачностью, оказывает негативное влияние на доходность акций на основе неправильной атрибуции настроения. Daniel et al. (1998) отмечают, что инвесторы готовы покупать акции, когда у них хорошее настроение при хороших погодных условиях. Камстра и др. (2003) доказывают, что фондовые рынки имеют ярко выраженную сезонность. Кроме того, была подтверждена тесная взаимосвязь между погодой и фондовым рынком (Symeonidis et al., 2010), рынком сырой нефти (Cruz and Krausmann, 2013), сельскохозяйственным рынком (Overton, 1989) и рынком углерода (Liu and Chen, 2013). Основываясь на предыдущих исследованиях, мы находим убедительные экономические доказательства того, что погода может влиять на рынок природного газа с

* Корреспондирующий автор.

Адреса электронной почты: liangchaoswj@163.com (К. Лян), wanglu@home.swjtu.edu.cn (Л. Ванг).

<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106437>

Получено 2 октября 2022 г.; Получено в исправленном виде 9 ноября 2022 г.; Принято 19 ноября 2022 г.

Доступно онлайн 23 ноября 2022 года

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

с точки зрения поведенческих финансов (Lucey and Dowling, 2005).

Несмотря на широкое использование моделей класса GARCH в энергетическом прогнозировании (Efimova and Serletis, 2014; Liu and Lee, 2021), мы намерены ввести модель GARCH-MIDAS, предложенную Engle et al. (2013) для анализа волатильности природного газа в условиях экстремальной погоды. Это связано со следующими причинами. Во-первых, модель GARCH-MIDAS может обрабатывать высокочастотные и низкочастотные данные в рамках одной и той же модели MIDAS (Conrad and Kleen, 2020). Это очень помогает решить проблему разной частоты между ценами на природный газ и погодными индикаторами. Во-вторых, многие исследования подтверждают, что модель GARCH-MIDAS, включающая различные экзогенные переменные, такие как неопределенность экономической политики, макроэкономические показатели, внимание инвесторов и индикатор финансово-го стресса, действительно может отлично справляться с прогнозированием волатильности на рынке энергоносителей (Asgharian et al., 2013; Pan et al., 2017). Например, Liu et al. (2021a) и Yu and Huang (2021) подтверждают превосходную предсказательную силу финансовой волатильности, добавляя неопределенность экономической политики. Salisu et al. (2022) обнаруживают значительное влияние глобального финансового цикла на прогнозирование волатильности сырой нефти. В-третьих, Ванг и др. (2020, 2021) разработали расширенную модель GARCH-MIDAS, а именно модель GARCH-MIDAS-ES, которая может отражать эволюцию финансовой волатильности в присутствии экстремальных шоков. Они показывают, что экстремальные шоки оказывают решающее влияние на волатильность сырой нефти. Поэтому, руководствуясь их работой, в нашем исследовании представлена модель GARCH-MIDAS-ES.

Наше исследование привлекательно по трем основным причинам. Во-первых, многие исследования показывают, что погода является основным фактором, влияющим на рынок природного газа. My (2007) обнаруживает значительное влияние погоды на условную волатильность фьючерсного рынка природного газа в США. Geng et al. (2016) подтверждают, что изменения температуры могут привести к сильным колебаниям спотовой цены на природный газ Henry Hub. Однако работа Hulshof et al. (2016) показывает, что экстремальная погода в феврале 2012 года практически не оказывает статистического влияния на цену газа TTF. Таким образом, текущие результаты смещения мотивируют нас к дальнейшему изучению влияния погодных переменных на рынок природного газа. Более того, хотя вопрос о том, влияет ли погодная информация на волатильность рынка природного газа и каким образом, широко изучен (Fleming et al., 2006; Dergiades et al., 2018; Andelković and Bajatović, 2020), мало кто исследовал, является ли добавление погодных переменных полезным для улучшения предсказательной силы волатильности природного газа. Однако более точные прогнозы волатильности природного газа могут обеспечить более весомые доказательства для управления рисками и энергетической безопасности в будущем (Pouliasis et al., 2020). Цель нашего исследования - восполнить этот пробел и эмпирически проанализировать предсказательную способность волатильности природного газа при экстремальных погодных условиях с помощью модели GARCH-MIDAS-ES.

Во-вторых, модель GARCH-MIDAS подтверждена для выявления прямой связи между финансовой волатильностью и экзогенными переменными (Walther et al., 2019). Однако традиционная модель GARCH-MIDAS не может проанализировать влияние экзогенных переменных на волатильность в экстремальных условиях (Wang et al., 2020). Исходя из настроения инвестора, инвесторы могут вести себя аномально, находясь в экстремальных погодных условиях (Chesney et al., 2011). Согласно Bodell (2014), экстремальные погодные условия, например, похолодание или

ураган, обычно приводят к резкой волатильности на рынке природного газа. Следовательно, при прогнозировании волатильности природного газа необходимо различать различные воздействия, вызванные обычной и экстремальной погодой. Благодаря использованию пороговых значений для отражения экстремального и нормального воздействия экстремальных потрясений (Wang et al., 2020), модель GARCH-MIDAS-ES, как было проверено, дает лучшие результаты прогнозирования. Для получения более точных прогнозов мы первыми применили эту модель для прогнозирования волатильности природного газа при наличии экстремальной погодной информации. Кроме того, по сравнению с Liu и Chen (2013), которые показали, что экстремальная погода оказывает определенное влияние на энергетический рынок, мы продолжаем исследовать, может ли экстремальная погода быть полезной для повышения точности прогнозирования волатильности природного газа.

В-третьих, по сравнению с существующими исследованиями (Afkhani et al., 2017; Chen et al., 2021; Lu et al., 2022), в прогнозировании волатильности природного газа впервые используются два типа модели GARCH-MIDAS с погодными индикаторами - GARCH-MIDAS-W и GARCH-MIDAS-W-ES. GARCH-MIDAS-W

С. Лианг и др. обозначает расширенную модель GARCH-MIDAS, включающую погодные переменные, а модель GARCH-MIDAS-W-ES представляет модель, включающую отдельно информацию об экстремальной и нормальной погоде. С одной стороны, чтобы выяснить, помогает ли добавление погодных показателей улучшить предсказательную способность волатильности природного газа, мы сравниваем традиционную модель GARCH-MIDAS и два типа моделей MIDAS, включающих информацию о погоде, на основе нескольких тестов вне выборки (Zhang et al., 2019). С другой стороны, анализируется предсказательная способность между GARCH-MIDAS-W и GARCH-MIDAS-W-ES, чтобы выяснить, может ли экстремальная погода предложить дополнительную информацию для прогнозирования волатильности природного газа. Используя фьючерсные цены на природный газ на Henry Hub и погодные данные, включая скорость ветра, температуру и осадки, мы обнаружили убедительные доказательства того, что прогностическая модель, добавляющая погодные показатели, действительно может превзойти модель без погодных показателей. Что еще более важно, некоторые экстремальные погодные условия могут дать ценную информацию для прогнозирования волатильности природного газа по результатам различных вневыборочных тестов.

Остальная часть нашего исследования проходит следующим образом. В разделе 2 представлены спецификации прогностической модели. В разделе 3 представлены наши данные и описательная статистика. Соответствующие эмпирические результаты представлены в разделе 4. В разделе 5 представлены результаты проверки робастности. Раздел 6 представляет собой заключение.

2. Обзор литературы

Моделирование волатильности природного газа имеет решающее значение для управления портфелем и энергетическими рисками. Во многих исследованиях изучались характеристики волатильности цен на природный газ (Pindyck, 2004; Suenaga et al., 2008). Например, Херберт (1995) обнаружил, что исторический объем торгов оказывает значительное влияние на волатильность цен на природный газ. Serletis и Shah-moradi (2006) демонстрируют сезонный эффект и эффект открытого интереса в волатильности фьючерсов на природный газ. Между тем, для исследования волатильности на рынке природного газа используются стандартная модель GARCH (Ergen and Rizvanoghlu, 2016), модель EGARCH (Lv and Shan, 2013), пороговая модель GARCH (Cochran et al., 2015), модель стохастической волатильности (Chan and Grant, 2016), модель GAS (Xu and Lien, 2022), модель GARCH-MIDAS (Liang et al., 2021) и модель HAR (Prokopczuk et al., 2016).

Более того, во многих исследованиях изучается, какие факторы определяют рынок природного газа. Hailemariam и Smyth (2019) подтверждают, что шоки спроса на рынке природного газа являются основными факторами, влияющими на волатильность. Hulshof et al. (2016) отмечают, что фундаментальные показатели рынка газа играют решающую роль в ценах на газ на сутки вперед. Кроме того, спрос и предложение (Lin and Wesseh Jr, 2013), объем торгов (Herbert, 1995), глобальные экономические условия (Wang et al., 2022), информация о неопределенности (Liang et al., 2021), крупные политические события (Karali and Ramirez, 2014) и другие энергетические рынки (Asadi et al., 2022), как показывает практика, существенно влияют на волатильность природного газа. Среди всех факторов широко подтверждено, что информация о погоде оказывает важное влияние на рынок природного газа. Considine (2000) исследует взаимосвязь между спросом на природный газ в США и погодной информацией. Результаты показывают, что более теплые погодные условия действительно снижают выбросы углекислого газа в США и

спрос на природный газ. Используя индекс температуры отопления/охлаждения в качестве погодных переменных, My (2007) утверждает, что существует статистическое и экономическое влияние погодных переменных на рынок природного газа. Чан и др. (2009) предполагают, что погода является краткосрочным фактором спроса, и анализируют роль погоды в изменяющейся во времени волатильности на рынке природного газа. Nick и Thoenes (2014b) используют метод структурного VAR для исследования основных факторов влияния на рынок природного газа в Германии. Они обнаружили, что температура и шоки предложения оказывают значительное влияние на краткосрочные цены на природный газ. Таким образом, мы видим, что существует тесная связь между рынком природного газа и погодными переменными.

В последнее время все большее количество литературы посвящено прогнозированию волатильности природного газа. Используя семь моделей типа GARCH, Чкили и др. (2014) проводят прогнозирование волатильности природного газа Henry Hub на основе выборки и вне выборки. Они утверждают, что ни одна отдельная модель

абсолютно превосходит другие модели GARCH. Barunik и Křehlík (2016) объединяют реализованные меры с использованием высокочастотных данных с подходом искусственных нейронных сетей для изучения точности прогнозирования цен на природный газ. Их работа подтверждает, что нейронные сети дают как статистические, так и экономические прогнозы. Lyócsa и Molnár (2018) рассматривают прогнозы волатильности UNG (United States Natural Gas) с высокочастотной точки зрения. Они вводят несколько моделей типа HAR для описания волатильности UNG и обнаруживают, что прогнозы, полученные с помощью комбинации моделей типа HAR, имеют лучшую предсказательную способность, чем прогнозы, полученные с помощью каждой отдельной модели. Лян и др. (2021) используют модель GARCH-MIDAS для анализа того, полезны ли индексы неопределенности, такие как геополитический риск и волатильность фондового рынка, для улучшения способности прогнозирования волатильности природного газа. Их результаты показывают, что информация о неопределенности играет решающее влияние на волатильность фьючерсов на природный газ. Chen et al. (2021) показывают, что настроения инвесторов Huang et al. (2015) и VIX трудно улучшить способность прогнозирования волатильности реализованного природного газа. Однако VIX и USEPU действительно

улучшают экономическую стоимость фьючерсов на природный газ и спот, соответственно.

Исходя из существующих исследований, лишь немногие из них учитывают влияние фьючерсов на природный газ на волатильность.

3. Методология

3.1. Модель GARCH-MIDAS-ES

В последнее время модель GARCH-MIDAS становится одной из самых популярных моделей для выявления связи между финансовой волатильностью и различными экзогенными переменными (Liu et al., 2021c). Более того, многие исследования показывают, что добавление экзогенных переменных в долгосрочный компонент волатильности может значительно улучшить предсказательную силу волатильности энергоносителей (Ma et al., 2021). По сравнению с традиционными моделями GARCH-класса с данными одинаковой частоты, модель GARCH-MIDAS может использовать кратко- и долгосрочные компоненты для одновременного анализа данных высокой и низкой частоты (Liang et al., 2022).

Для дальнейшего изучения влияния экстремальных шоков на волатильность, Ванг и др. (2020, 2021) разработали модель GARCH-MIDAS-ES, изменив долгосрочный компонент в традиционной модели GARCH-MIDAS. Эта расширенная модель может быть записана следующим образом: $r_{it} = \mu + \sqrt{\varepsilon_{it}} \varepsilon_{it}$ $\forall i = 1, \dots, N_t$

(1)

$$g_{it} = (1 - \alpha - \beta) + \frac{r_{it}^2 - \mu^2}{\tau_t} + \beta g_{i,t-1} \quad (2)$$

$$\tau_t = m + \theta^- \sum_{k=1}^K \varphi_k(\omega)^{RSt^-}_{-k} + \theta^+ \sum_{k=1}^K \varphi_k(\omega)^{RSt^+}_{-k} + \theta^* \sum_{k=1}^K \varphi_k(\omega)^{RS^*}_{-k} \quad (3)$$

где $\varepsilon_{it} | \psi_{i-1,t} \sim N(0, 1)$ с $\psi_{i-1,t}$ - набор информации. g_{it} - краткосрочная компонента, подчиняющаяся процессу GARCH (1,1), а τ_t - долгосрочная. компонент термина в рамках MIDAS. Более того, $RS^-_k = \{j=1 \dots j \text{ } i-j \text{ } (r_{i-j} < q_1) \}$

3.2. Модель GARCH-MIDAS-ES, включающая экстремальные погодные условия

Согласно поведенческой экономике, существует тесная взаимосвязь между эмоциями инвесторов и их инвестиционными решениями (Lucey and Dowling, 2005). Эффект погоды, предложенный Сондерсом (1993), рассматривается как фактор окружающей среды, влияющий на настроение и спрос инвесторов, что приводит к волатильности на рынке природного газа. По мотивам Drobetz et al. (2012) мы дополнительно включаем погодные индикаторы в традиционную модель GARCH-MIDAS.

3.2.1. Модель 1 Модель GARCH-MIDAS-W

Для анализа влияния макропеременных на волатильность на рынке природного газа, следуя Salisu et al. (2020), в модель GARCH-MIDAS вводятся погодные индикаторы. Мы называем эту модель с погодными индикаторами моделью GARCH-MIDAS-W. Эта модель может быть записана следующим образом

$$r_{it} = \mu + \sqrt{g_{it}} \varepsilon_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N_t \quad (4)$$

$$g_{it} = (1 - \alpha - \beta) + \frac{r_{it}^2 - \mu^2}{\tau_t} + \beta g_{i,t-1} \quad (5)$$

$$\tau_t = m + \sum_{k=1}^K \theta \varphi_k(\omega_1, \omega_2) W_{t-k}^{\text{weather effect}} \quad (6)$$

где W_t в уравнении (3) обозначает погодные показатели, такие как скорость ветра и температура, в момент времени t . Очевидно, что модель GARCH-MIDAS-W показывает, что погодные показатели влияют на волатильность природного газа в среднем без учета экстремальных погодных условий.

3.2.2. Модель 2 Модель GARCH-MIDAS-WTS-ES

В соответствии с Wang et al. (2020), мы разрабатываем модель GARCH-MIDAS-ES, включающую экстремальные погодные условия, которая называется моделью GARCH-MIDAS-W-ES. Однако, поскольку некоторые погодные показатели оказывают одностороннее или двустороннее экстремальное воздействие на рынок природного газа, мы разрабатываем две расширенные модели GARCH-MIDAS, включающие экстремальные погодные условия.

Некоторые погодные показатели, такие как температура, имеют два экстремальных уровня, влияющих на волатильность природного газа (Cao and Wei, 2005). В частности, экстремально высокая и низкая температура могут оказывать значительное влияние на рынок энергоносителей (Song, 2002). Поэтому мы учитываем крайне негативные и крайне позитивные компоненты погоды в индикаторы в долгосрочную волатильность модели GARCH-MIDAS-ES. Предложенная модель, а именно GARCH-MIDAS-WTS-ES (погодный двухсторонний экстремальные потрясения), могут быть следующими:

$$\tau_t = m + \theta^- \sum_{k=1}^K \varphi_k(\omega)^{Wt^-}_{-k} + \theta^+ \sum_{k=1}^K \varphi_k(\omega)^{Wt^+}_{-k} + \theta^* \sum_{k=1}^K \varphi_k(\omega)^{Wt^*}_{-k} \quad (7)$$

где W_t обозначает погодные показатели в момент времени t . Между

$$r_{i-k}^2 = \frac{1}{\sum_{j=1}^N \mathbb{1}_{\{r_{i-j} \leq q_2\}}} \sum_{j=1}^N \mathbb{1}_{\{r_{i-j} \leq q_2\}} r_{i-j}^2$$

являются реализованными дисперсиями, которые обозначают чрезвычайно отрицательная, крайне положительная и нормальная реализованная волатильность, соответственно. $\mathbb{1}_{\{ \cdot \}}$ представляет индикаторную функцию, которая принимает значения 0 или 1, а q_1, q_2 - пороговые значения для определения экстремальных и неэкстремальных условий с помощью эмпирического распределения погодных индикаторов. Кроме того, $\phi_k(\omega)$ - это уравнение взвешивания в виде Бета-функции. Очевидно, что мы можем наблюдать различное влияние крайне негативной, крайне позитивной и нормальной реализованной волатильности на общую волатильность природных явлений.

газа на основе значений θ^- , θ^+ , и θ^* .

$$W_{i-k}^* = W_{i-k} - \mathbb{1}_{\{W_{i-k} > q\}}$$

представляет крайне негативную, крайне позитивную и нормальную погоду условия, соответственно. Очевидно, что эта новая модель может отразить влияние двух крайних случаев в погодных показателях на рынок природного газа.

3.2.3. Модель 3 Модель GARCH-MIDAS-WOS-ES

В дополнение к вышеуказанным двухсторонним экстремальным шокам, некоторые погодные индикаторы, такие как скорость ветра, могут иметь один экстремальный уровень, влияющий на волатильность природного газа (Shu and Hung, 2009). Учитывая, что скорость ветра в основном влияет на рынок природного газа (McNeil and D'Asaro, 2007), чрезвычайно положительный компонент погодных показателей может быть введен в долгосрочную волатильность модели GARCH-MIDAS-ES.

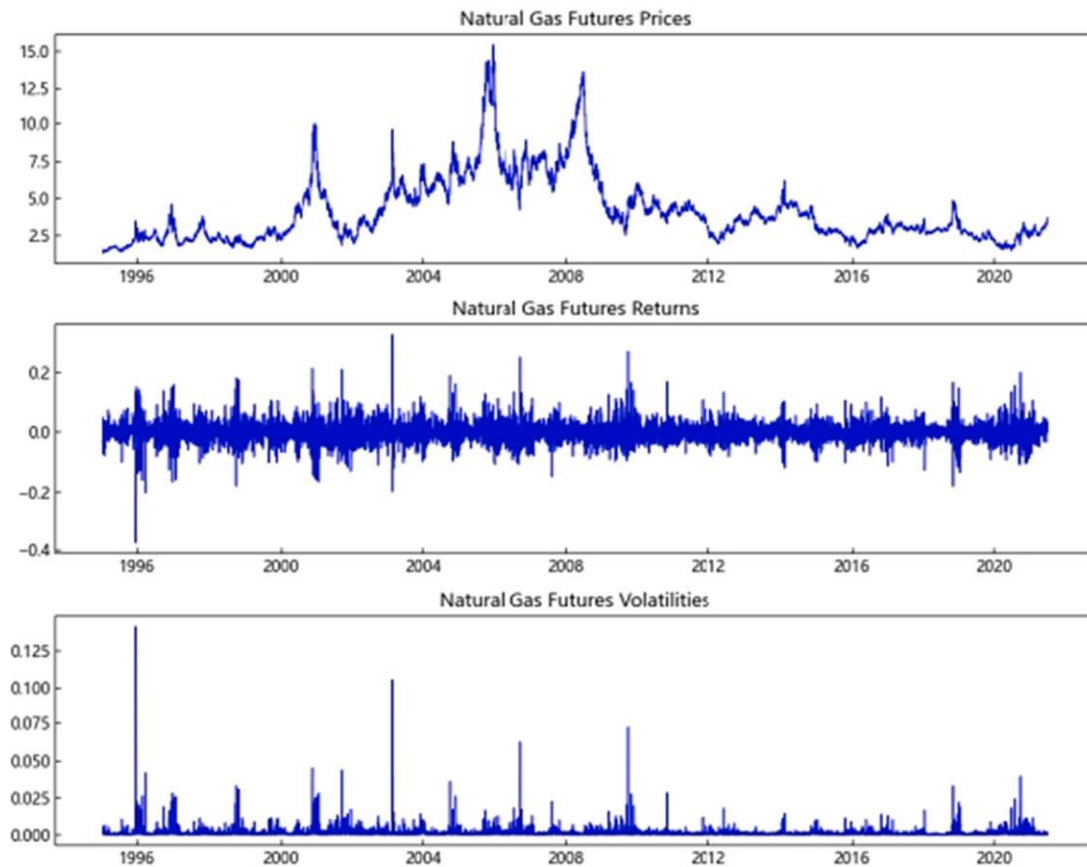


Рис. 1. Ежедневная цена, доходность и волатильность NYMEX.

Следовательно, модель GARCH-MIDAS-WOS-ES (погодные односторонние экстремальные потрясения) может быть разработана следующим образом:

$$\tau_t = m + \theta^+ \sum_k \varphi_k(\omega) W_{t-k}^{wt+} + \theta^* \sum_k \varphi_k(\omega) W_{t-k}^{*} \quad (8)$$

$\varphi_k(\omega)$ — Похожие на Giot κ
 ω — extreme, positive, normal
 погодный, погодный

где W_t обозначают погодные показатели, $W_{t-k}^+ = W_{t-k} - 1_{\{W_{t-k} > q_2\}}$, и $W_{t-k}^* = W_{t-k} - 1_{\{W_{t-k} \leq q_2\}}$ обозначают соответственно крайне положительные и нормальные погодные условия.

Как и в Engle et al. (2013), мы используем QMLE для оценки наших новых моделей. Функция логарифмического правдоподобия выглядит следующим образом

$$LnL = -\frac{T}{2} \ln(2\pi) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \ln \tau_t - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \frac{r_{it}^2}{\tau_t} \quad (9)$$

Для модели GARCH-MIDAS-WTS-ES, τ_t в уравнении (7) можно записать как

$$\tau_t = \exp \left\{ m + \theta^+ \sum_{k=1}^K \varphi_k(\omega) W_{t-k}^{wt+} + \theta^* \sum_{k=1}^K \varphi_k(\omega) W_{t-k}^* \right\} \quad (10)$$

Для модели GARCH-MIDAS-WOS-ES, τ_t в уравнении (8) может

фьючерсная цена на газ за 1 месяц (далее NYMEX) используется для отражения рынка природного газа в мире. Используемая выборка получена из EIA веб-сайта и охватывает период с января 1995 года по июль 2021 года. разница цен. На рис. 1 представлена динамика NYMEX в целом за и Лоран (2004), доходность рассчитывается как 100-кратный логарифмический

период выборки. Кроме того, в источниках NASA Prediction of Worldwide Energy Re- представлены ежемесячные погодные показатели, включая скорость ветра, температуру, влажность, осадки и индекс инсоляции ясного неба.² Учитывая, что Henry Hub расположен в Луизиане (США) и считается ценовым ориентиром для фьючерсов на природный газ на Нью-Йоркской товарной бирже (Mazighi, 2005), в нашем исследовании выбраны соответствующие ежемесячные погодные данные для Нью-Йорка и Луизианы. Для обеспечения сопоставимости данных, предложенный Урлагиним и др. (2021), метод Z-score используется для масштабирования необработанных погодных данных.

$$X_n = \frac{X - \mu}{\sigma}, \quad (12)$$

где μ , σ и X_n представляют среднее, стандартное отклонение и нормализованное значение. Описательная статистика представлена в таблице 1. Все временные ряды являются стационарными на основе результатов Тест ADF.

быть записано как

$$\tau_t = \exp \left(m + \sum_{k=1}^{\infty} \varphi_k \omega W_{t-k}^{t+} + \theta^* \sum_{k=1}^{\infty} \varphi_k \omega W_{t-k}^* \right) \quad (11)$$

4. Данные

В качестве важной базовой цены, соответствующей цене на природный газ Henry Hub

Для анализа прогностической способности модели GARCH-MIDAS в пре-

экстремальных погодных условий, в соответствии с Рапачем и

¹ Данные по природному газу можно получить на сайте: <https://www.eia.gov>.

² Данные о погоде можно получить на сайте: <https://power.larc.nasa.gov/>.

таблица 1
статистика по возврату природного газа и погодным

NYMEX	Нью-Йорк					Луизиана				
	Скорость	Температура	Влажность	Осадки	CSII	Скорость	Температура	Влажность	Осадки	CSII
0.0001	-0.2065	-0.0074	-0.0258	0.4231	1.9483	ветра 0.2456	0.6249	-0.0577	0.0544	1.3650
0.0352	0.6565	0.6259	0.6831	2.7346	3.8801	1.4399	1.5492	0.4972	1.6729	3.0265
0.3244	3.5650	1.1156	2.1336	34.1830	8.9904	5.8926	8.7268	1.2314	19.4780	5.8926
-0.3757	-0.7218	-1.8703	-1.0286	-1.1778	-6.7680	7.9289	-3.4784	-0.8289	-0.7071	-6.3639
0.2001	1.6068	-0.3505	0.6144	3.4664	-0.1230	0.9021	0.1985	0.4881	3.7485	-0.5869
6.8439	2.2636	-0.8127	-0.6433	18.0845	-1.1956	0.7770	-0.1239	-0.9112	18.9436	-0.8955
13.021.6212***	4281.9727***	319.6646***	533.6159***	103.911.6484***	413.3648***	1060.5451***	47.9983***	494.6919***	114.979.7293***	604.5711***
-0.1706***	-1.3420***	-9.2082***	-9.1417***	-21.8999***	-	-7.8375***	-9.8959***	-8.0711***	-1.7158***	-

Примечания: В таблице 1 представлена сводная статистика по доходности природного газа и погодным показателям. NYMEX обозначает используемую доходность природного газа, а скорость ветра, температура, влажность, осадки и индекс инсоляции ясного неба (CSII) представляют местные погодные показатели в Нью-Йорке и Луизиане. JB и ADF обозначают статистику нормального распределения и стационарности, соответственно. Кроме того, *** представляет отклонение нулевой гипотезы на уровне 1%.

В нашем исследовании введены выборочная оценка и вневыборочный тест. В частности, получены две подвыборки для выборочного и вневыборочного анализа, соответственно. Данные внутренней выборки охватывают период с января 1995 года по август 2017 года, а оставшаяся выборка используется для вневыборочного анализа. Следуя Tashman (2000), для получения прогнозов волатильности рынка природного газа используется метод скользящего окна. Кроме того, согласно Wang et al. (2020), экстремальная погода определяется как самые негативные и позитивные 10% погодных данных. То есть, мы предполагаем, что $\delta_1 = 0,1$ и $\delta_2 = 0,9$, где δ_i ($i = 1, 2$) обозначают 10-й и 90-й квантили. уровень эмпирического распределения погодных переменных. Очевидно, что самые отрицательные 10% погодного показателя обозначают экстремально плохую погоду, а самые положительные 10% - экстремально хорошую погоду.

5.1. Результаты выборочной оценки

Результаты наших моделей, включающих различные погодные индикаторы, представлены в таблице 2. Из выборочных результатов мы наблюдаем несколько интересных выводов. Во-первых, для краткосрочной волатильности, за исключением α и β в GARCH-MIDAS-W-ES, включающей переменную влажности для Луизианы, которые являются незначительными, большинство коэффициентов α и β в наших моделях являются статистически значимыми. Это указывает на сильное краткосрочное постоянство для NYMEX, что согласуется с работой Jondeau и Rockinger (2006). Во-вторых, для Нью-Йорка, основываясь на значимости коэффициентов θ , мы обнаружили, что температура, влажность, осадки и индекс инсоляции ясного неба оказывают значительное влияние на волатильность NYMEX. Более того, кроме нормальных погодных условий, мы наблюдаем, что температура, влажность и осадки в экстремальных условиях оказывают значительное влияние на волатильность NYMEX.

важное влияние на волатильность NYMEX на основании значимости коэффициентов θ^+ и θ^- . В-третьих, для Луизианы, влияние ветра скорость, температура и осадки в экстремальных условиях на волатильность NYMEX статистически подтверждены. Таким образом, аналогично Considine (2000) и Liu and Chen (2013), можно сделать вывод, что некоторые погодные показатели в экстремальных условиях оказывают статистически значимое влияние на волатильность природного газа.

5.2. Прогнозирование вне выборки

Для анализа предсказательной способности предложенной нами модели, как указано в Hong et al. (2022), вводятся три дико используемые функции потерь, которые выглядят следующим образом:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\sigma_i^2 - \hat{\sigma}_i^2| \quad (14)$$

$$HMSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{\sigma_i^2}{\hat{\sigma}_i^2} \right)^2 \quad (15)$$

$$HMAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| 1 - \frac{\sigma_i^2}{\hat{\sigma}_i^2} \right| \quad (16)$$

где σ_i^2 фактическое значение волатильности NYMEX, а $\hat{\sigma}_i^2$ - прогнозируемое значение.

значение, полученное при использовании различных расширенных моделей GARCH-MIDAS.

Более того, мы используем подход Model Confidence Set (MCS), предложенный Хансенom и др. (2011) для анализа прогностической эффективности волатильности NYMEX. В MCS-тесте используются две родственные тестовые статистики -

статистика диапазона (T_R) и полуквадратичная статистика (T_{SQ}). Согласно методологии, на основе предварительно заданного порогового уровня доверия мы можем определить, принадлежит ли прогностическая модель к набору "лучших" прогностических моделей или нет. Кроме того, более подробную информацию о тесте MCS можно найти в работе [Ma et al. \(2019\)](#).

Следуя [Wang et al. \(2020\)](#), определяется 90% доверительный уровень, который показывает, что прогностическая модель с р-значением меньше 0,10 может быть удалена из набора лучших прогностических моделей. Кроме того, для получения р-значений теста MCS используется 10 000 блочных бутстрапов.

Средни
й SD
Мак
с
Ми
н
Перекос
Куртозис

Таблица 2

Оценки различных моделей GARCH-MIDAS с погодными индикаторами.

	Скорость ветра		Температура		Влажность		Осадки		CSII	
	GARCH-MIDAS-W	GARCH-MIDAS-W-ES	GARCH-MIDAS-W	GARCH-MIDAS-W-ES	GARCH-MIDAS-W	GARCH-MIDAS-W-ES	GARCH-MIDAS-W	GARCH-MIDAS-W-ES	GARCH-MIDAS-W	GARCH-MIDAS-W-ES
Группа А: Нью-Йорк										
μ	0.0243	0.6151***		0.6195***		0.6142***		0.6210***		0.6117***
α	0.1016***	0.4396***		0.4339***		0.0989***		0.2053***		0.4526***
β	0.8771***	0.5040***		0.5175***		0.8693***		0.7913***		0.5019***
θ	0.0002	3.639e-7		2.4414*		2.8476***		3.5238		0.7347
θ^+		-0.0007		2.3660		-0.0516		-5.3451***		-0.0019
θ^-				4.7971***						
ω	26.306***	0.0103***		1.1157		1.1102***		1.5849***		1.6231
m	2.2217***	3.6857***		3.9803***		2.3551***		5.5996***		3.9303***
Панель В: Луизиана										
μ	0.0256	0.6084***		0.7673***		0.6202***		0.6196***		0.6104***
α	0.1019***	0.4537***		0.4990***		0.4539		0.4562***		0.4473***
β	0.8772***	0.5021***		0.5010***		0.5062		0.5045***		0.4868***
θ	6.940e-7	1.0896***		0.2211***		6.9133***		-0.5794		2.7800***
θ^+		1.1112***		-0.712***		-0.0005		-0.5988**		-0.6076
θ^-				0.0853***						
ω	0.2151***	-1.8840***	1.5718***	2.8115***	1.0000***	1.1182***	4.7979***	-4.4798	1.0000	1.1429***
m	2.2368***	4.0672***	1.9253***	0.0678***	2.2283***	4.8824***	2.2053**	4.2758***	0.5920***	1.4601***

Примечания: В таблице 2 представлены оценки наших моделей GARCH-MIDAS, включающих погодные индикаторы. Панели А и В обозначают используемые погодные переменные в Нью-Йорке и Луизиане, соответственно. CSII означает индекс инсоляции ясного неба. Кроме того, ***, **, * означают отклонение нулевой гипотезы на уровне 1%, 5% и 10%.

В таблицах 3 и 4 представлены результаты, полученные на основе погодных данных Нью-Йорка и Луизианы, соответственно. Из результатов таблицы 3 мы видим, что модели GARCH-MIDAS, включающие погоду или экстремальные погодные показатели, демонстрируют более высокую прогностическую силу, чем модель GARCH-MIDAS, исключаящая погодные показатели. Этот вывод аналогичен работе Wang et al. (2020), в которой показано, что модель GARCH-MIDAS, включающая экстремальный эффект, дает большую предсказательную точность. Более того, для Нью-Йорка модели GARCH-MIDAS с экстремальной температурой, влажностью и преципитацией работают лучше, чем другие прогностические модели, поскольку p -значения MCS моделей, включающих экстремальные переменные, все больше, чем 0.10. Как и в случае с Нью-Йорком, согласно Таблице 4, используя погодные данные Луизианы, GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями, такими как скорость ветра, температура и осадки, может выжить в тесте MCS при всех функциях потерь. Короче говоря, мы наблюдаем, что добавление погодных показателей в модель GARCH-MIDAS действительно может дать более точные прогнозы, что аналогично Taylor и Buizza (2003), Liang et al. (2021) и Wang et al. (2021). Более того, мы также демонстрируем, что некоторые погодные индикаторы, такие как температура, влажность и осадки, оказывают экстремальное влияние на вневыборочное прогнозирование волатильности природного газа, что не было обнаружено в предыдущих исследованиях.

Кроме того, в соответствии с Marcucci (2005), коэффициент успеха (SR) также вводится для анализа предсказательной силы с точки зрения точности направления. Кроме того, тест Пезарана и Тиммермана (2009) (PT) используется для анализа статистической разницы между коэффициентом успеха и 0.5. Соответствующие результаты показаны в Таблице 5. Например, для Нью-Йорка коэффициенты успешности GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями (скорость ветра, температура, влажность, осадки и индекс инсоляции неба) составляют 0,6571, 0,7034, 0,7034, 0,7034 и 0,6598 соответственно. Более того, мы видим, что коэффициенты успешности всех моделей больше 0,5, что указывает на то, что все модели GARCH-MIDAS могут получить статистическую точность направления. Однако коэффициенты успеха моделей GARCH-MIDAS, включающих переменные экстремальной температуры или осадков

в Нью-Йорке и Луизиане, являются самыми большими среди всех прогнозных моделей. Это означает, что включение в модель GARCH-MIDAS переменных экстремальной температуры или осадков может обеспечить большую точность направления. Наконец, p -значения в таблице 5 означают, что предложенные нами модели значительно повышают точность прогнозирования направления изменения волатильности на NYMEX. Кроме того, наши результаты, полученные с использованием ежемесячных данных о погоде, согласуются с результатами работы My (2007), в которой использовалась модель GARCH-MIDAS.

С. Liang и др. ежедневные данные. Те же выводы указывают на значительное влияние погоды на рынок природного газа. Таким образом, наши результаты являются надежными с точки зрения частотности данных.

5.3. Обсуждение

Из результатов, полученных на выборке и вне выборки, следует, что учет влияния экстремальных погодных условий в модели GARCH-MIDAS полезен для прогнозирования волатильности природного газа. Однако почему модель GARCH-MIDAS, включающая экстремальные погодные условия, работает лучше? Далее мы анализируем причины следующим образом.

Существует два возможных канала, по которым экстремальные погодные показатели могут влиять на волатильность на рынке природного газа. Во-первых, экстремальные погодные условия часто увеличивают неопределенность в экономических и финансовых условиях (Linnenluecke et al., 2012), что в значительной степени приводит к изменениям в спросе и предложении природного газа на основе изменений в ожиданиях потребителей. Это может привести к дальнейшим колебаниям цен на природный газ. Например, огромный ущерб, нанесенный обществу ураганами, засухами, сильными наводнениями, снежными бурями и другими экстремальными погодными явлениями, обычно вызывает всплеск неопределенности (Tol, 2005). В частности, экстремальная плохая погода может оказать заметное негативное влияние на производственные мощности, потребление населения, цепочки поставок, местную рабочую силу на рынке природного газа (Hatfield and Prueger, 2015; Lee and Olasehinde-Williams, 2021). Например, ожидается, что в ближайшие несколько месяцев цены на природный газ останутся более высокими под воздействием урагана "Ида". Вследствие высокого внутреннего потребления природного газа и снижения его добычи спотовые цены на Henry Hub могут вырасти на 16% по сравнению с ожиданиями EIA.³ Аналогичным образом, цены на природный газ могут демонстрировать значительную волатильность во время мощного зимнего шторма, когда спрос и предложение могут резко колебаться.⁴ Исходя из вышеизложенных соображений, когда спрос и предложение на природный газ резко меняются в экстремальных погодных условиях, на рынке природного газа наблюдаются значительные колебания.

Во-вторых, некоторые исследования показывают, что некоторые экологические показатели могут рассматриваться как переменные настроения для большинства инвесторов.

³ Более подробную информацию можно найти в статье "Ураган Ида способствует повышению цен на природный газ" (<https://talkbusiness.net/2021/09/>).

⁴ Более подробную информацию можно найти в статье "Природный газ скачет на 16% в преддверии зимнего шторма" (<https://edition.cnn.com/2022/02/>).

Таблица 3

Тест MCS для различных моделей GARCH-MIDAS с погодными индикаторами в Нью-Йорке.

	МЭ		HMSE		HMAE	
	T _R	TSQ	T _R	TSQ	T _R	TSQ
Панель А: Скорость ветра						
GARCH-MIDAS без погоды	0.8854	0.8854	0.1013	0.1011	0.1042	0.0816
GARCH-MIDAS с погодой	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0	0	0.1013	0.0893	0.1042	0.0816
Панель В: Температура GARCH-MIDAS без погоды						
GARCH-MIDAS с погодой	0.0826	0.0501	0.3097	0.3976	0.3258	0.27420
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель С: Влажность GARCH-MIDAS без погоды						
GARCH-MIDAS с погодой	0	0	0.2060	0.2560	0.3077	0.3655
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.0170	0.0170	0.5805	0.5805	0.6124	0.6124
Панель D: Осадки GARCH-MIDAS без погоды						
GARCH-MIDAS с погодой	0	0	0.1040	0.1076	0.1419	0.1629
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.9880	0.9880	0.4359	0.4359	0.5015	0.5015
Панель E: Ясный индекс инсоляции						
GARCH-MIDAS без погоды	0.6593	0.6593	0.1549	0.0968	0.1463	0.0981
GARCH-MIDAS с погодой	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0	0	0.1549	0.0951	0.1463	0.0981

Таблица 4

Тест MCS для различных моделей GARCH-MIDAS с погодными индикаторами в Луизиане.

	МЭ		HMSE		HMAE	
	T _R	TSQ	T _R	TSQ	T _R	TSQ
Панель А: Скорость ветра						
GARCH-MIDAS без погоды	0	0	0.0894	0.0875	0.0866	0.0847
GARCH-MIDAS с погодой	0	0	0.0894	0.0894	0.0866	0.0866
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель В: Температура GARCH-MIDAS без погоды						
GARCH-MIDAS с погодой	0.0493	0.0493	0.1026	0.1049	0.1204	0.1319
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.0245	0.0111	0.4552	0.4552	0.3857	0.3857
Панель С: Влажность GARCH-MIDAS без погоды						
GARCH-MIDAS с погодой	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.0049	0.0049	0.2455	0.1989	0.2215	0.1885
Группа D: Осадки GARCH-MIDAS без погоды						
GARCH-MIDAS с погодой	0.7074	0.7074	0.1071	0.2097	0.1125	0.1203
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.0413	0.0280	0.4526	0.4526	0.3768	0.3768
Панель E: Индекс инсоляции ясного неба						
GARCH-MIDAS без погоды	0.6786	0.6786	0.2331	0.2331	0.2502	0.2468
GARCH-MIDAS с погодой	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.0016	0.0048	0.2072	0.2044	0.2502	0.2025

Примечания: В данной таблице представлены *p*-значения теста MCS при использовании погодных показателей в Нью-Йорке. GARCH-MIDAS без погоды, GARCH-MIDAS с погодой и GARCH-MIDAS с экстремальной погодой обозначают стандартную модель GARCH-MIDAS, модель GARCH-MIDAS-W и модель GARCH-MIDAS-W-ES, соответственно. Жирным шрифтом и подчеркиванием выделены значения *p-values* больше 0,10, указывающие на то, что соответствующая модель демонстрирует лучшую предсказательную силу.

Примечания: В данной таблице представлены *p*-значения теста MCS при использовании погодных показателей в Луизиане. GARCH-MIDAS без погоды, GARCH-MIDAS с погодой и GARCH-MIDAS с экстремальной погодой обозначают стандартную модель GARCH-MIDAS, модель GARCH-MIDAS-W и модель GARCH-MIDAS- W-ES, соответственно. Жирным шрифтом и подчеркиванием выделены значения *p-values* больше 0,10, указывающие на то, что соответствующая модель демонстрирует лучшую предсказательную силу.

(Dowling and Lucey, 2005). Основываясь на поведенческих финансах, Сандерс (1993) использует облачность в Нью-Йорке в качестве индикатора настроения и обнаруживает тесную связь между погодными переменными и фондовым рынком. Подобно его работе, во многих работах в качестве косвенного индикатора настроения инвесторов используются следующие погодные показатели: температура (Chang et al., 2006), влажность (Lu and Chou, 2012), солнечные дни (Kaustia and Rantapuska, 2016) и осадки (Kliger and Levy, 2003). Исходя из медицинских знаний, экстремальные погодные потрясения обычно существенно влияют на когнитивные функции и психологический настрой человека. В целом, плохая погода часто приводит к значительному физическому дискомфорту для людей, такому как усталость, истощение, депрессия и

Таблица 5

Результаты коэффициента успешности.

	Скорость ветра неба		Температура		Влажность		Осадки		Индекс инсоляции ясного	
	Коэффициент успешности	р_знач ение	Коэффициент успешности	р_знач ение	Коэффициент успешности	р_знач ение	Коэффициент успешности	р_знач ение	Коэффициент успешности	р_знач ение
Группа А: Нью-Йорк										
GARCH-MIDAS - без погоды	0.7034	0.0000	0.6560	0.0000	0.6890	0.0000	0.6963	0.0000	0.7034	0.0000
GARCH-MIDAS с погодой	0.7049	0.0000	0.6910	0.0000	0.6880	0.0000	0.7030	0.0000	0.7042	0.0000
GARCH-MIDAS-экстремальная погода	0.6571	0.0000	0.7034	0.0000	0.7034	0.0000	0.7034	0.0000	0.6598	0.0000
Панель В: Луизиана										
GARCH-MIDAS - без погоды	0.7034	0.0000	0.7034	0.0000	0.6936	0.0000	0.7034	0.0000	0.7034	0.0000
GARCH-MIDAS с погодой	0.7049	0.0000	0.7102	0.0000	0.7015	0.0000	0.7049	0.0000	0.7038	0.0000
GARCH-MIDAS-экстремальная погода	0.7061	0.0000	0.7162	0.0000	0.6504	0.0000	0.7068	0.0000	0.6564	0.0000

Примечания: В данной таблице представлены результаты наших моделей по коэффициенту успеха. Pesaran and Timmermann (2009) (PT) используется для проверки того, что вероятность успеха меньше или равна 0,5.

беспокойство (Cunsolo и Ellis, 2018). В частности, возникновение экстремальных погодных условий может спровоцировать ухудшение ситуации (Maystadt and Ecker, 2014). Yuen и Lee (2003) отмечают, что люди, скорее всего, будут избегать (принимать) риск в негативном (позитивном) настроении. Следовательно, экстремальная погода приводит к изменению настроения человека, что тесно связано с инвестиционными решениями людей, оценкой ценовых тенденций и неправильным ценообразованием на рынке природного газа. Более того, пребывание на улице в экстремальных погодных условиях в значительной степени связано с выполнением деятельности, связанной с когнитивными функциями и эмоциями. Исходя из вышеприведенного анализа, через психолого-эмоциональный канал, сильное негативное (позитивное) изменение погоды, вероятно, побудит инвесторов быть более пессимистичными (оптимистичными) и затем окажет негативное (позитивное) влияние на направление и/или величину инвестиций на рынке природного газа (Nofsinger, 2005).

Основываясь на эмпирических результатах, мы видим, что некоторые погодные показатели, такие как температура, влажность и осадки, являются основными погодными факторами, влияющими на волатильность природного газа. Напротив, скорость ветра и индекс инсоляции неба оказывают ограниченное влияние на рынок природного газа. Наши результаты согласуются с данными Shahzad (2019), который также демонстрирует неоднозначное влияние различных погодных показателей на волатильность акций. Одно из разумных объяснений, предложенных Batten et al. (2021) и Lee et al. (2022), заключается в том, что детерминанты цен на энергоносители не являются фиксированными во времени. Поэтому погодные индикаторы могут играть важную, второстепенную или неважную роль на рынке природного газа в определенный период времени. Чтобы проиллюстрировать это, используемая вневыборочная выборка разделена на две части: первая часть охватывает период с августа 2017 года по январь 2020 года без учета пандемии коронавируса (COVID-19), а вторая часть - с февраля 2020 года по июль 2021 года с учетом пандемии COVID-19. Тест MCS используется для двух подвыборок соответственно. Исходя из таблицы 6, модели GARCH-MIDAS, добавляющие информацию о погоде/экстремальных погодных условиях, дают более высокую точность прогноза, чем стандартная модель GARCH-MIDAS в период отсутствия пандемии. Напротив, после вспышки COVID-19 расширенные модели, включающие погодные показатели, демонстрируют низкую точность прогнозирования. В частности, когда учитываются температура, влажность и осадки, стандартная модель GARCH-MIDAS получает наибольшие значения MCS. Это указывает на то, что индикаторы нормальной и экстремальной погоды не могут играть ожидаемую роль в прогнозировании волатильности природного газа при других типах экстремальных

потрясений (Lee et al., 2021; Liu et al., 2021b, 2021c; Zhang et al., 2022). Аналогично, по сравнению с влиянием российско-украинского конфликта в 2022 году на рынок природного газа, экстремальные погодные условия могут не быть основным фактором, влияющим на волатильность в тот же период (Жизнин и Динева, 2022). Тем не менее, наши эмпирические результаты подтверждают необходимость учета экстремальных погодных условий при прогнозировании волатильности природного газа.

6. Проверки на устойчивость

6.1. Различные экстремальные пороги

При определении экстремальной погоды используются наиболее негативные и позитивные 10% погодных данных. В соответствии с Wang et al.

(2020), мы также используем различные экстремальные пороги для анализа устойчивости наших новых моделей. В частности, мы принимаем $\delta_1 = 0,2$ и $\delta_2 = 0,8$ для идентификации экстремально плохой и хорошей погоды. Таблицы 7 и 8 повторно публикует результаты для Нью-Йорка и Луизианы. Видно, что получен аналогичный эмпирический вывод. Модели GARCH-MIDAS, включающие погодные индикаторы, могут достичь лучших прогностических характеристик, чем модели без погодных индикаторов. Между тем, мы наблюдаем, что MCS p -значения модели GARCH-MIDAS-W-ES наибольшие, когда в нее включены температура, влажность и осадки в экстремальных условиях. Для Луизианы мы также наблюдаем, что модель GARCH-MIDAS-W или GARCH-MIDAS-W-ES демонстрирует наилучшую предсказательную способность для каждого погодного индикатора. Этот вывод аналогичен выводам Mu (2007) и Nick and Thoenes (2014a), которые обнаружили тесную связь между рынком природного газа и информацией о погоде. Особенно для скорости ветра, температуры и осадков прогностическая модель, включающая экстремальные погодные условия, превосходит другие модели. В заключение следует отметить, что, как и эмпирические результаты, полученные в разделе 4.3, температура и осадки могут предоставить более полезную прогностическую информацию в условиях экстремальных потрясений для улучшения предсказательной способности волатильности цен на природный газ.

6.2. Различные окна прогнозирования

Rossi и Inoue (2012) указывают, что результаты вне выборки могут зависеть от выбранного окна прогнозирования. Вдохновленные Liang et al. (2022), мы используем альтернативное вневыборочное окно прогнозирования для исследования устойчивости модели GARCH-MIDAS-W-ES. В частности, вместо 800 наблюдений для теста вне выборки, для теста MCS используется 1000 наблюдений с декабря 2014 года по июль 2021 года. Соответствующие результаты для Нью-Йорка и Луизианы представлены в таблицах 9 и 10. Для Нью-Йорка мы обнаружили, что все модели могут выдержать тест MCS при HMSE и HMAE, а модели GARCH-MIDAS-W или GARCH-MIDAS-W-ES могут выдержать тест MCS при MAE. Однако модели GARCH-MIDAS-W-ES, включающие экстремальные условия температуры, влажности и осадков, более эффективны для прогнозирования волатильности природного газа, чем другие прогнозные модели. Аналогичные результаты MCS-теста для Луизианы представлены в Таблице 10. Короче говоря, наши результаты дают новые доказательства того, что добавление информации об экстремальных погодных условиях в модель GARCH-MIDAS действительно может повысить предсказательную способность волатильности природного газа.

6.3. Различный метод вне выборки

В качестве стандартного подхода к анализу эффективности прогнозирования используется

Таблица 6

Тест MCS до и		после COVID-19 пан					
		МЭ					
		TR	TSQ				
Период с августа 2017 года по январь 2020							
года Панель A: Скорость ветра							
GARCH-MIDAS	0	0	<u>0.1540</u>	<u>0.1540</u>	<u>0.1991</u>	<u>0.1991</u>	без погоды
GARCH-MIDAS	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	GARCH-MIDAS
с погодой							с погодой
GARCH-MIDAS	<u>0.2216</u>	<u>0.2216</u>	<u>0.1540</u>	<u>0.1031</u>	<u>0.1739</u>	<u>0.0766</u>	GARCH-MIDAS
с							с экстремальными
экстремальным							погода
и							
погода							
Панель B: Температура							
GARCH-MIDAS	<u>0.4352</u>	<u>0.4352</u>	<u>0.2715</u>	<u>0.2579</u>	<u>0.2476</u>	<u>0.2539</u>	без
без							погода
погода							GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	0.0971	0.0668	<u>0.2715</u>	<u>0.2579</u>	<u>0.2476</u>	<u>0.2539</u>	с погодой
с погодой							GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	с экстремальными
с							погода
экстремальным							
и							
погода							
после COVID-19							
Панель C: Влажность							
GARCH-MIDAS	<u>0.0925</u>	<u>0.0992</u>	<u>0.5622</u>	<u>0.5622</u>	<u>0.5496</u>	<u>0.5406</u>	без погоды
без погоды							GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	с погодой
с							GARCH-MIDAS
экстремальны							с экстремальными
ми погодными							погодными
условиями							ион
Группа D:							
Преципитат							
GARCH-MIDAS							без погоды
без погоды	<u>0.1453</u>	<u>0.1453</u>	<u>0.1514</u>	<u>0.1743</u>	0.0998	<u>0.1144</u>	GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS							с погодой
с погодой	0.0795	0.0407	<u>0.1476</u>	<u>0.1743</u>	0.0998	<u>0.1144</u>	
GARCH-MIDAS	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	с
с							экстремальн
экстремальн							ыми
ыми							погодными
погодными							условиями
условиями							
Панель E: Индекс инсоляции							
ясного неба	<u>0.1928</u>	<u>0.1928</u>	<u>0.1880</u>	<u>0.1880</u>	<u>0.2162</u>	<u>0.2162</u>	GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	без погоды
без погоды							GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	с погодой
с погодой							GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	0	0	0.0911	0.0910	0.0914	0.0913	с
с							экстремальн
экстремальн							ыми
ыми							погодными
погодными							условиями
условиями							
Период с февраля 2020 года по июль 2021							
года Панель A: Скорость ветра							
GARCH-MIDAS	<u>0.7303</u>	<u>0.7303</u>	<u>0.3122</u>	<u>0.3122</u>	<u>0.1263</u>	<u>0.1263</u>	GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	с погодой
с погодой							GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	<u>0.1583</u>	<u>0.1589</u>	0.0567	0.0604	0.0023	0.0013	с
с							экстремальн
экстремальн							ыми
ыми							погодными
погодными							условиями
условиями							
Панель B:							
Температура	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	без погоды
без погоды							GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	<u>0.5407</u>	<u>0.5407</u>	<u>0.8116</u>	<u>0.8116</u>	0.0495	0.0888	с погодой
с погодой							GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	с экстремальными
с экстремальными							погодными
погодными							условиями
условиями							
Панель C: Влажность							
GARCH-MIDAS	<u>0.5407</u>	<u>0.5407</u>	<u>0.8116</u>	<u>0.8116</u>	0.0495	0.0888	без погоды
без погоды							GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	с погодой
с погодой							GARCH-MIDAS
GARCH-MIDAS	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	с экстремальными
с экстремальными							погодными
погодными							условиями
условиями							
Примечания: В данной таблице представлены р-значения теста MCS до и							
после COVID-19 пан							
Вневыборочный R^2 (R^2_{oos}) также вводится для изучения надежности							
наших вневыборочные результаты (Zhang et al., 2019). Этот подход							
может							
проанализировать повышение эффективности прогнозирования							
между моделью прогнозирования и эталонной моделью с							
помощью среднего квадрата ошибок прогнозирования (MSPE).							
Соответствующая статистика записывается следующим образом:							
$Roos = 1 - \frac{MSPE_{modelj}}{MSPE_{bench}}, \quad (17)$							
где $MSPE_{modelj}$ и $MSPE_{bench}$ представляют MSPE модели							
прогнозирования и эталонной модели, соответственно. Мы							
используем стандартную GARCH-							
Модель MIDAS без учета погодной информации в качестве							
эталонной модели. Тот факт, что $R^2 > 0$, указывает на то, что							
прогнозы, полученные с помощью расширенной модели,							
демонстрируют лучшую предсказательную точность, чем							
прогнозы, полученные с помощью модели MIDAS, исключающей							
информацию о погоде.							
эталонной моделью. Между тем, для определения наличия							
статистической разницы между моделями с погодными							
индикаторами и без них далее вводится статистика с поправкой							
MSPE (Clark and West, 2007). Результаты представлены в таблице							
11. Мы видим, что R^2 модели GARCH-MIDAS-W при всех погодных							
показателях больше нуля, что указывает на то, что учет погодной							
информации в модели GARCH-MIDAS							
модель получает более точные прогнозы, чем эталонная модель.							
Более того, модели GARCH-MIDAS-W-ES при экстремальных							
условиях температуры и осадков в Нью-Йорке и Луизиане							
демонстрируют лучшую точность прогноза, чем эталонная модель.							
модель. Это подразумевает, что модель волатильности, добавляющая							
экстремальные или неэкстремальные							

6.4. Использование данных о погоде в Техасе

В приведенном выше исследовании для изучения влияния погодных показателей на рынок природного газа мы выбрали погодные переменные в Нью-Йорке и Луизиане. Чтобы проверить устойчивость наших результатов для погодных данных в разных городах, в наше исследование также включены соответствующие погодные переменные в Техасе (США).⁵ Используя данные о скорости ветра, температуре, влажности, осадках и индексе инсоляции ясного неба в Техасе, мы далее проводим выборочную оценку и вневыборочное прогнозирование на основе наших расширенных моделей GARCH-MIDAS с информацией о погоде. На сайте

⁵ Соответствующие данные можно получить на сайте:
<https://power.larc.nasa.gov/>.

Таблица 12
Тест MCS с погодными индикаторами в Нью-Йорке с использованием различных экстремальных пороговых значений.

	MЭ		HMSE		HMAE	
	TR	TSQ	TR	TSQ	TR	TSQ
Панель A: Скорость ветра GARCH-MIDAS						
без погоды	0.8818	0.8818	0.1103	0.1089	0.1012	0.0780
GARCH-MIDAS с погодой	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0	0	0.1103	0.0991	0.1012	0.0780
Панель B: Температура						
GARCH-MIDAS без погоды	0.0874	0.0556	0.3158	0.3905	0.3133	0.2714
GARCH-MIDAS с погодой	0.0874	0.0556	0.4350	0.4350	0.3587	0.3587
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель C: Влажность						
GARCH-MIDAS без погоды	0.0196	0.0196	0.2785	0.2127	0.4620	0.3785
GARCH-MIDAS с погодой	0	0	0.2785	0.2127	0.4620	0.3785
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель D: Осадки						
GARCH-MIDAS без погоды	0.0908	0.0706	0.1053	0.1047	0.1322	0.1334
GARCH-MIDAS с погодой	0.9856	0.9856	0.4525	0.4525	0.3833	0.3833
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель E: Индекс инсоляции						
ясного неба GARCH-MIDAS без погоды	0.6596	0.6596	0.3338	0.2315	0.1898	0.1365
GARCH-MIDAS с погодой	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0	0	0.3338	0.2315	0.1898	0.1365

Примечания: В данной таблице представлены *p*-значения теста MCS. GARCH-MIDAS без погоды, GARCH-MIDAS с погодой и GARCH-MIDAS с экстремальной погодой обозначают стандартную модель GARCH-MIDAS, модель GARCH-MIDAS-W и модель GARCH-MIDAS-W-ES, соответственно. Значения *p-values* больше 0,10 выделены жирным шрифтом и подчеркнуты, что указывает на то, что соответствующая модель демонстрирует лучшую предсказательную силу.

Соответствующие результаты представлены в таблице 12. Мы видим, что модели GARCH-MIDAS, включающие показатели

Таблица 13
Тест MCS с погодными индикаторами в Луизиане с использованием различных экстремальных порогов.

	MЭ		HMSE		HMAE	
	TR	TSQ	TR	TSQ	TR	TSQ
Панель A: Скорость ветра GARCH-MIDAS						
без погоды	0.8805	0.8805	0.1011	0.1001	0.1032	0.0781
GARCH-MIDAS с погодой	0	0	0.1011	0.0923	0.1032	0.0781
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель B: Температура						
GARCH-MIDAS без погоды	0.0853	0.0594	0.3360	0.4076	0.3088	0.2690
GARCH-MIDAS с погодой	0.0853	0.0594	0.4538	0.4538	0.3679	0.3679
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель C: Влажность						
GARCH-MIDAS без погоды	0.0165	0.0165	0.2076	0.2023	0.2149	0.2149
GARCH-MIDAS с погодой	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0	0	0.2076	0.2023	0.1588	0.1604
Панель D: Осадки						
GARCH-MIDAS без погоды	0.0635	0.0491	0.1032	0.1044	0.1351	0.1359
GARCH-MIDAS с погодой	0.9866	0.9866	0.4516	0.4516	0.3698	0.3698
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1

погоды в Техасе, по-прежнему демонстрируют лучшую предсказательную способность, чем стандартная модель GARCH-MIDAS. Кроме того, при включении экстремальных температур и осадков в Техасе, модель GARCH-MIDAS-W-ES показывает лучшие прогностические характеристики, чем модель GARCH-MIDAS-W, что указывает на необходимость учета экстремальных погодных условий.

6.5. Использование спотовых цен на природный газ

Во многих исследованиях отмечается, что существует тесная связь между фьючерсными ценами на природный газ и спотовыми ценами. Однако некоторые исследования дают

С. Давидов. Индекс инсоляции
ясного неба GARCH-MIDAS

Таблица							
погоды							
GARCH-MIDAS	-	-	-	-	-	-	-
с погодой							
GARCH-MIDAS							
с							
экстремальными							
погодными							
ми							
условиями							
и							

Примечания: В данной таблице представлены p -значения теста MCS. GARCH-MIDAS без погоды, GARCH-MIDAS с погодой и GARCH-MIDAS с экстремальной погодой обозначают стандартную модель GARCH-MIDAS, модель GARCH-MIDAS-W и модель GARCH-MIDAS-W-ES, смешанные отношения. Мишра и Смит (Mishra and Smyth, 2016) утверждают, что природный газ

фьючерсные цены не могут предсказать спотовые цены, в то время как Zhang и Liu (2018) ⁶ Соответствующие данные получены на сайте: <https://www.eia.gov>.

соответственно. Значения p -values больше 0,05 выделены жирным шрифтом и подчеркнуты, что указывает на то, что соответствующая модель Таблица 13

обнаружить двустороннюю причинно-следственную связь между спотовыми и фьючерсными ценами. Поскольку в данном подразделе вместо фьючерсных цен мы используем спотовые цены на природный газ, полученные от EIA. ⁶ За исключением данных о природном газе, используемые данные о погоде остаются неизменными в нашем исследовании. Исходя из результатов таблицы 13, мы видим, что модели GARCH-MIDAS, включающие погодные показатели в Нью-Йорке, по-прежнему могут давать более точные прогнозы, чем стандартная модель GARCH-MIDAS. В частности, модель GARCH-MIDAS-W-ES, включающая экстремальную информацию о ветре

Таблица 1

Тест MCS с погодными индикаторами в Нью-Йорке с использованием различных окон прогнозирования.

	MAE		HMSE		ХМАЭ	
	TR	TSQ	TR	TSQ	TR	TSQ
Панель А: Скорость ветра						
GARCH-MIDAS	0	0	0.2695	0.5831	0.1770	0.4633
GARCH-MIDAS без погоды	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с погодой	0	0	0.6061	0.6061	0.8295	0.8295
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0	0	0.6061	0.6061	0.8295	0.8295
Панель В: Температура						
GARCH-MIDAS без погоды	0.0471	0.0471	0.6041	0.6041	0.8290	0.8290
GARCH-MIDAS с погодой	0.0001	0.0004	0.6033	0.6038	0.6366	0.6364
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.2507	0.2507	0.6054	0.6054	0.8273	0.8273
Панель С: Влажность						
GARCH-MIDAS без погоды	0.0001	0.0001	0.3023	0.6043	0.3361	0.6053
GARCH-MIDAS с погодой	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	—	—	—	—	—	—
Панель D: Осадки						
GARCH-MIDAS без погоды	0.9953	0.9953	0.2734	0.6001	0.1451	0.2848
GARCH-MIDAS с погодой	0	0	0.8531	0.8531	0.4810	0.4810
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель Е: Индекс инсоляции						
GARCH-MIDAS без погоды	0	0	0.6130	0.6127	0.8259	0.8259
GARCH-MIDAS с погодой	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0	0	0.6130	0.6127	0.6325	0.6324

Примечания: В данной таблице представлены *p*-значения теста MCS при использовании погодных показателей в Нью-Йорке в различных прогностических окнах. GARCH-MIDAS без погоды, GARCH-MIDAS с погодой и GARCH-MIDAS с экстремальной погодой обозначают стандартную модель GARCH-MIDAS, модель GARCH-MIDAS-W и модель GARCH-MIDAS-W-ES, соответственно. Значения *p*-, превышающие 0,10, выделены жирным шрифтом и подчеркнуты, что указывает на то, что соответствующая модель демонстрирует лучшую предсказательную силу.

скорость, температура и осадки могут работать лучше, чем модель

Таблица 2

Тест MCS с погодными индикаторами в Луизиане с использованием различных окон прогнозирования.

	MAE		HMSE		ХМАЭ	
	TR	TSQ	TR	TSQ	TR	TSQ
Панель А: Скорость ветра						
GARCH-MIDAS без погоды	0.0432	0.0432	0.6086	0.6091	0.8612	0.8608
GARCH-MIDAS с погодой	0	0	0.6086	0.6091	0.8612	0.8608
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель В: Температура						
GARCH-MIDAS без погоды	0.0092	0.0241	0.0890	0.0955	0.0963	0.0905

GARCH-MIDAS-W. Хотя погодные переменные, которые значительно улучшают предсказательную силу для волатильности природного газа, отличаются при выборе спотовых и фьючерсных цен соответственно, результаты также показывают, что экстремальный эффект погодных показателей может играть важную роль в прогнозировании волатильности природного газа.

7. Заключение

Существует большое количество исследований, посвященных волатильности на рынке природного газа. Однако лишь немногие исследования пытаются изучить связь

может анализировать влияние информации об экстремальной и нормальной погоде на волатильность природного газа, соответственно. Более того, в эмпирическом анализе мы проводим выборочную оценку, чтобы проверить, являются ли параметры, связанные с погодой, в наших моделях статистически значимыми,

Панель C:							Экономический индекс (16/09/22)						
Влажность							0.0224	0.0224	0.6038	0.6059	0.8594	0.8392	
GARCH-MIDAS без													
погоды							1	1	1	1	1	1	
GARCH-MIDAS с погодой							—	—	—	—	—	—	
GARCH-MIDAS с погодой							0	0	0.6053	0.6059	0.8594	0.8461	
GARCH-MIDAS с													
экстрема													
льными													
погодны													
ми													
условиям													
и													
Панель D: Осадки													
GARCH-MIDAS без							1	1	0.6082	0.6082	0.8341	0.8341	
погоды													
GARCH-MIDAS с погодой							0.0971	0.0971	0.5165	0.6076	0.4189	0.6313	
GARCH-MIDAS с погодой							1	1	1	1	1	1	
GARCH-MIDAS с													
экстрема													
льными													
погодны													
ми													
условиям													
и													
Панель E: Индекс инсоляции													
ясного неба GARCH-MIDAS без							0.8168	0.8168	0.3135	0.5816	0.1494	0.2957	
погоды													
GARCH-MIDAS с погодой							1	1	1	1	1	1	
GARCH-MIDAS с погодой							0	0.0001	0.6299	0.6299	0.6952	0.6952	
GARCH-MIDAS с													
экстрема													
льными													
погодны													
ми													
условиям													
и													

Примечания: В данной таблице представлены *p*-значения теста MCS при использовании погодных показателей в Луизиане в различных прогностических окнах. GARCH-MIDAS без погоды, GARCH-MIDAS с погодой и GARCH-MIDAS с экстремальной погодой обозначают стандартную модель GARCH-MIDAS, модель GARCH-MIDAS-W и модель GARCH-MIDAS-W-ES, соответственно. Значения *p*-, превышающие 0,10, выделены жирным шрифтом и подчеркнуты, что указывает на то, что соответствующая модель демонстрирует лучшую предсказательную силу.

между волатильностью природного газа и экстремальной погодой. Учитывая важное влияние экстремальной погоды на рынок природного газа, мы восполняем этот пробел путем разработки расширенных моделей GARCH-MIDAS, включающих отдельно экстремальную и нормальную погоду. В частности, предложенная модель GARCH-MIDAS-W может отражать среднее влияние погодных факторов на долгосрочную волатильность, а разработанная модель GARCH-MIDAS-W- ES

Таблица 1
Результаты вневыборочного анализа R^2 .

		R^2 (%)	MSFE скорректированный	p-values
Нью-Йорк	Панель A: Скорость ветра GARCH-MIDAS с погодой	0.4907*	1.4112	0.07909
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	-15.5006	-0.5790	0.71879
	Панель B: температура GARCH-MIDAS с погодой	0.8292**	2.2438	0.01248
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	2.9919***	3.1868	0.0007
	Панель C: влажность GARCH-MIDAS с погодой	0.7483**	2.2276	0.0130
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.2234**	1.7960	0.0363
	Панель D: осадки GARCH-MIDAS с погодой	0.01788*	1.3620	0.0866
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.36888**	1.1554	0.0239
	Панель E: Индекс инсоляции ясного неба GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.3605*	1.3564	0.0878
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	-16.6292	-0.7390	0.7701
	Панель A: Скорость ветра	0.4281***	1.3458	0.0891
	GARCH-MIDAS с погодой	0.4832***	1.3904	0.0821
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.4690*	1.3546	0.0878
	Панель B: температура GARCH-MIDAS с погодой	0.5967**	0.7982	0.0124
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.7287**	2.3238	0.0101
ветра	Панель C: Влажность GARCH-MIDAS с погодой	-18.8873	-0.4478	0.6729
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.4749*	1.3837	0.0832
	Панель D: Осадки GARCH-MIDAS с погодой	0.4880*	1.3895	0.0824
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.4216*	1.5430	0.0614
	Панель E: Индекс инсоляции ясного неба GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	-16.0923	-0.6629	0.7463
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями			
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями			
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями			
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями			
	GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями			

Примечания: В данной таблице представлены результаты наших моделей по вневыборочному R^2 . GARCH-MIDAS с погодой и GARCH-MIDAS с экстремальной погодой обозначают модель GARCH-MIDAS-W и модель GARCH-MIDAS-W-ES, соответственно. Кроме того, MSPE-корректировка используется для проверки статистической значимости R^2 .

*, ** и *** означают значимость на 10%, 5% и 1% уровнях, соответственно.

и вневыборочный тест, чтобы исследовать, могут ли наши новые модели превзойти традиционную модель. Набор эмпирических результатов показывает, что наша новая модель, учитывающая

Таблица 2
Тест MCS с погодными индикаторами в Техасе.

	MAE		HMSE		XMAE	
	TR	TSQ	TR	TSQ	TR	TSQ
Панель A: Скорость ветра						
GARCH-MIDAS без погоды	0.7086	0.7086	0.1175	0.1060	0.1044	0.0691
GARCH-MIDAS с погодой	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0	0	0.1175	0.0973	0.1044	0.0653
Панель B: Температура						
GARCH-MIDAS без погоды	0.0793	0.0634	0.3232	0.4018	0.3500	0.2830
GARCH-MIDAS с погодой	0.0793	0.0703	0.4495	0.4495	0.3593	0.3593
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Панель C: Влажность						
GARCH-MIDAS без погоды	0.4311	0.4311	0.2069	0.2054	0.1883	0.1317
GARCH-MIDAS с погодой	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.0011	0.0042	0.2069	0.2054	0.1883	0.1302
Группа D: Осадки						
GARCH-MIDAS без погоды	0.7262	0.7262	0.1745	0.2730	0.1194	0.1712
GARCH-MIDAS с погодой	0.0789	0.0585	0.4435	0.4435	0.3782	0.3782
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Панель E: Индекс инсоляции ясного неба						
GARCH-MIDAS без погоды	0.8930	0.8930	0.7594	0.7594	0.8980	0.8981
GARCH-MIDAS с погодой	-	-	-	-	-	-
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.0107	0.0241	0.0308	0.0224	0.8980	0.8981

погодные индикаторы, отлично справляется с прогнозированием волатильности природного газа. Более того, мы демонстрируем, что экстремальные погодные условия могут играть решающую роль в прогнозировании волатильности. В частности, модели GARCH-MIDAS-W-ES, включающие температуру или преципитацию, достигают наилучшей точности прогнозов при прогнозировании волатильности природного газа. Это означает, что необходимо проанализировать роль экстремальных погодных условий в прогнозировании волатильности на рынке природного газа. Очевидно, что наша новая модель GARCH-MIDAS-ES, связанная с погодой, может дать новое представление о прогнозировании

Волатильности природного газа.

Убедительные данные нашего исследования дают несколько важных выводов для менеджеров рынка природного газа и политиков. Во-первых, при изучении волатильности необходимо учитывать информацию об экстремальных погодных условиях.

с
экстремальн
Таблица 1
погодными
условиями

Примечания: В данной таблице представлены *p*-значения теста MCS при использовании погодных показателей в Техасе. GARCH-MIDAS без погоды, GARCH-MIDAS с погодой и GARCH-MIDAS с экстремальной погодой обозначают стандартную модель GARCH-MIDAS, модель GARCH-MIDAS-W и модель GARCH-MIDAS- W-ES, соответственно. Значения *p-values* больше 0,10 выделены жирным шрифтом и подчеркнуты, что указывает на то, что соответствующая модель демонстрирует лучшую предсказательную силу.

рынка природного газа. Наши результаты показывают, что чем больше экстремальных погодных условий происходит, тем больше вероятность того, что рынок природного газа будет волатильным. Следовательно, добавление информации об экстремальных погодных условиях поможет лучше понять динамическую волатильность на рынке природного газа. Во-вторых, для стабильного развития энергетического рынка и снижения энергетических рисков необходимо разработать ряд политик, связанных с погодными условиями, особенно в условиях пиковых выбросов углерода и частых всплесков экстремальных погодных условий по всему миру. Что еще более важно, наше исследование полезно для "зеленого" финансирования, которое означает финансирование инвестиций, сочетающих экологическое развитие с инвестиционными решениями (Wang et al., 2019). С точки зрения "зеленых" инвестиций, инвесторы должны уделять больше внимания возникновению экстремальных погодных условий, связанных с природным газом.

Таблица 13

Тест MCS с погодными индикаторами в Нью-Йорке с использованием спотовых цен на природный газ.

	MЭ		HMSE		HMAE	
	T _R	TSQ	T _R	TSQ	T _R	TSQ
Панель А: Скорость ветра						
GARCH-MIDAS без погоды	0.1746	0.1635	0	0	0	0
GARCH-MIDAS с погодой	0.2946	0.2946	0	0	0	0
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель В: Температура						
GARCH-MIDAS без погоды	0.1548	0.1634	0	0	0	0
GARCH-MIDAS с погодой	0.3124	0.3124	0	0	0	0
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель С: Влажность						
GARCH-MIDAS без погоды	0.03760	0.1368	0.8665	0.8409	0.1098	0.2488
GARCH-MIDAS с погодой	1	1	1	1	1	1
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	0.8757	0.8757	0.8665	0.8409	0.9855	0.9855
Группа D: Осадки						
GARCH-MIDAS без погоды	0.1565	0.2722	0	0	0	0
GARCH-MIDAS с погодой	0.6563	0.6563	0	0	0	0
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1
Панель Е: Индекс инсоляции						
GARCH-MIDAS без погоды	0.1618	0.1426	0	0	0	0
GARCH-MIDAS с погодой	0.2559	0.2559	0	0	0	0
GARCH-MIDAS с экстремальными погодными условиями	1	1	1	1	1	1

Примечания: В данной таблице представлены *p*-значения теста MCS при использовании погодных показателей в Нью-Йорке и спотовых цен на природный газ. GARCH-MIDAS без погоды, GARCH-MIDAS с погодой и GARCH-MIDAS с экстремальной погодой обозначают стандартную модель GARCH-MIDAS, модель GARCH-MIDAS-W и модель GARCH-MIDAS-W-ES, соответственно. Значения *p-values* больше 0,10 выделены жирным шрифтом и подчеркнуты, что указывает на то, что соответствующая модель демонстрирует лучшую предсказательную силу.

рынка для развития более устойчивой экономики. Наши результаты подтверждают, что экстремальные погодные условия

Пересмотр. Чжэнлан Ся: Методология, Написание - рецензирование и редактирование. Сяодун Лай: Курация данных, Программное обеспечение, администрирование проекта. Лу Ванг: Концептуализация, Написание - рецензирование и редактирование, Пересмотр.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Национальному фонду естественных наук КНР [71902128, 72071162, 72271204], Проекту планирования науки и техники провинции Сычуань [21RKX0637], Проект исследования мягких наук в Чэнду [2020-RK00-00070-ZF] и Фонду психических исследований для центральных университетов [2682020ZT98, 2682022ZTPY063], Проекту реформы образования и преподавания в аспирантуре Юго-Западного университета Цзяотун [YJG5-2022-Y033].

Приложение А. Дополнительные данные

Дополнительные данные к этой статье можно найти в Интернете по адресу <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106437>.

Ссылки

- Afkhami, M., Cormack, L., Ghoddusi, H., 2017. Ключевые слова поиска Google, которые лучше всего предсказывают волатильность цен на энергоносители. *Energy Econ.* 67, 17-27.
- Алексопулос, Т.А., 2017. Растущее значение природного газа как предиктора розничных цен на электроэнергию в США. *Energy* 137, 219-233.
- Анджелкович, А.С., Баятович, Д., 2020. Интеграция прогноза погоды и искусственного интеллекта для краткосрочного прогнозирования потребления природного газа в масштабах города. *J. Clean. Prod.* 266, 122096.
- Асади, М., Рубо, Д., Тивари, А.К., 2022. Перемены волатильности на рынках сырой нефти, природного газа, угля, акций и валют в США и Китае на основе связи во временной и частотной областях. *Energy Econ.* 109, 105961.
- Asgharian, H., Hou, A.J., Javed, F., 2013. Важность макроэкономических переменных в прогнозировании дисперсии доходности акций: подход GARCH-MIDAS. *J. Forecast.* 32 (7), 600-612.
- Barunik, J., Krehlik, T., 2016. Объединение высокочастотных данных с нелинейными моделями для прогнозирования волатильности энергетического рынка. *Expert Syst. Appl.* 55, 222-242.
- Басу, С., Радж, М., Чалян, Х., 2008. Всестороннее исследование поведенческих финансов. *J. Financial Serv. Profes.* 62 (4).
- Batten, J.A., Maddox, G.E., Young, M.R., 2021. Влияет ли погода или цены на энергоносители на цены на углерод? *Energy Econ.* 96, 105016.
- Билген, С., Кайгусуз, К., Сари, А., 2004. Возобновляемая энергия для чистого и устойчивого будущего. *Источники энергии* 26 (12), 1119-1129.
- Боделл, Т., 2014. Natural gas & Electricity Pricing: понимание недавнего скачка цен на природный газ. *Nat. Gas Electric.* 30 (9), 25-28.
- Цао, М., Вэй, Дж., 2005. Доходность фондового рынка: заметка о температурной аномалии. *J. Bank. Financ.* 29 (6), 1559-1573.
- оказывают заметное влияние на волатильность природного газа. Исходя из этого, инвесторам следует как можно раньше применять гибкие стратегии хеджирования, чтобы избежать риска от экстремальных погодных условий. Между тем, цены на производные от погодных условий на природный газ могут быть более рациональными, если учитывать информацию об экстремальных погодных условиях.

Заявление автора кредита

Чао Лян: программное обеспечение, формальный анализ, расследование, написание статей,

- Dergiades, T., Madlener, R., Christofidou, G., 2018. Взаимосвязь между спотовыми и фьючерсными ценами на природный газ на NYMEX: имеют ли значение погодные шоки и нелинейная причинность на низких частотах? *J. Econ. Asymmetr.* 18, e00100.
- Девеню, А., Уэлч, И., 1996. Рациональное стадо в финансовой экономике. *Eur. Econ. Rev.* 40 (3-5), 603-615.
- Даулинг, М., Люси, Б.М., 2005. Погода, биоритмы, убеждения и доходность акций - некоторые предварительные ирландские данные. *Int. Rev. Financ. Anal.* 14 (3), 337-355.
- Дробетц, В., Рихтер, Т., Вамбах, М., 2012. Динамика изменяющейся во времени волатильности на рынках сухогрузных и танкерных перевозок. *Appl. Financ. Econ.* 22 (16), 1367-1384.
- Ефимова, О., Серлетис, А., 2014. Моделирование волатильности энергетических рынков с использованием GARCH. *Energy Econ.* 43, 264-273.
- Энгл, Р.Ф., Гизелс, Э., Сон, Б., 2013. Волатильность фондового рынка и макроэкономические фундаментальные показатели. *Rev. Econ. Stat.* 95 (3), 776-797.
- Эрген, И., Ризваноглу, И., 2016. Асимметричное влияние фундаментальных показателей на волатильность фьючерсов на природный газ: дополненный подход GARCH. *Energy Econ.* 56, 64-74.
- Флеминг, Дж., Кирби, К., Остдрик, Б., 2006. Информация, торговля и волатильность: свидетельства на рынках, чувствительных к погоде. *J. Financ.* 61 (6), 2899-2930.
- Geng, J.B., Ji, Q., Fan, Y., 2016. Влияние североамериканской революции сланцевого газа на региональные рынки природного газа: доказательства на основе модели переключения режимов. *Энергетическая политика* 96, 167-178.
- Джюот, П., Лоран, С., 2004. Моделирование ежедневной стоимости под риском с использованием реализованной волатильности и моделей типа ARCH. *J. Empir. Financ.* 11 (3), 379-398.
- Хайлемариам, А., Смит, Р., 2019. Что определяет волатильность цен на природный газ? *Energy Econ.* 80, 731-742.
- Хансен, П.Р., Лунде, А., Насон, Дж.М., 2011. Набор достоверности модели. *Econometrica* 79 (2), 453-497.
- Хэтфилд, Дж.Л., Прюгер, Дж.Х., 2015. Температурные экстремумы: влияние на рост и развитие растений. *Weather Clim. Extrem.* 10, 4-10.
- Герберт, Дж.Х., 1995. Объем торговли, срок погашения и волатильность цены фьючерсов на природный газ. *Energy Econ.* 17 (4), 293-299.
- Hong, Y., Wang, L., Liang, C., Umar, M., 2022. Влияние финансовой нестабильности на международную волатильность сырой нефти: новый взгляд с помощью метода переключения режимов. *Res. Policy* 77, 102667.
- Хуанг, Д., Цзян, Ф., Ту, Ж., Чжоу, Г., 2015. Выравнивание настроений инвесторов: мощный предиктор доходности акций. *Rev. Financ. Stud.* 28 (3), 791-837.
- Хулсхоф, Д., Ван Дер Маат, Ж.П., Мулдер, М., 2016. Фундаментальные основы рынка, конкуренция и цены на природный газ. *Энергетическая политика* 94, 480-491.
- Якобсен, Б., Маркеринг, В., 2008. Дело в погоде? *J. Bank. Financ.* 32 (4), 526-540.
- Jondeau, E., Rockinger, M., 2006. Модель условных зависимостей Копула-Гарч: применение на международном фондовом рынке. *J. Int. Money Financ.* 25 (5), 827-853.
- Камстра, М.Дж., Крамер, Л.А., Леви, М.Д., 2003. Зимний блюз: цикл фондового рынка SAD. *Am. Econ. Rev.* 93 (1), 324-343.
- Карали, Б., Рамирес, О.А., 2014. Макродетерминанты волатильности и перетока волатильности на энергетических рынках. *Energy Econ.* 46, 413-421.
- Каустиа, М., Рантапуоска, Е., 2016. Влияет ли настроение на торговое поведение? *J. Financ. Mark.* 29, 1-26.
- Клигер, Д., Леви, О., 2003. Настроение и суждение о субъективных вероятностях: данные с рынка опционов на американские индексы. *Rev. Finance* 7 (2), 235-248.
- Ли, К.К., Олсехинд-Уильямс, Г., 2021. Эластичность спроса на бензин в мире энергетических обжор: подход с изменяющимся во времени коэффициентом. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28 (45), 64830-64847.
- Lee, C.C., Wang, C.W., Ho, S.J., Wu, T.P., 2021. Влияние стихийных бедствий на потребление энергии: международные данные. *Energy Econ.* 97, 105021.
- Lee, C.C., Olasehinde-Williams, G.O., Olanipekun, I.O., 2022. Влияние волатильности ВВП на волатильность туризма в Южной Африке: изменяющийся во времени подход. *Tur. Econ.* 28 (2), 435-450.
- Liang, C., Ma, F., Wang, L., Zeng, Q., 2021. Информационное содержание индексов неопределенности для прогнозирования волатильности фьючерсов на природный газ. *J. Forecast.* 40 (7), 1310-1324.
- Лян, К., Вэй, И., Лей, Л., Ма, Ф., 2022. Прогнозирование волатильности глобального рынка акций: новые данные. *Int. J. Financ. Econ.* 27 (1), 594-609.
- Лян, К., Чжан, Й., Ли, Х., Ма, Ф., 2022. Какой предиктор лучше предсказывает волатильность биткоина? И почему? *Int. J. Financ. Econ.* 27 (2), 1947-1961.
- Линь, Б., Вессех-младший, П.К., 2013. Что вызывает волатильность цен и смену режимов на рынке природного газа. *Energy* 55, 553-563.
- Линненлокке, М.К., Гриффитс, А., Винн, М., 2012. Экстремальные погодные явления и решающее значение упреждающей адаптации и организационной устойчивости в реагировании на последствия. *Bus. Strateg. Environ.* 21 (1), 17-32.
- Лю, Х.Х., Чен, Й.К., 2013. Исследование перетоков волатильности, эффектов долгой памяти и взаимодействия между углеродными и энергетическими рынками: воздействие экстремальных погодных условий. *Econ. Model.* 35, 840-855.
- Лю, М., Ли, К.К., 2021. Улавливание динамики фьючерсов на сырую нефть в Китае: Марковское переключение, совместное движение и прогнозирование волатильности. *Energy Econ.* 103, 105622.
- Liu, J., Zhang, Z., Yan, L., Wen, F., 2021a. Прогнозирование волатильности фьючерсов EUA с неопределенностью экономической политики с помощью модели GARCH-MIDAS. *Financ. Innov.* 7 (1), 1-19.
- Лю, М., Ли, К.К., Чу, В.К., 2021b. Роль высокочастотных данных в прогнозировании волатильности: данные по фондовому рынку Китая. *Appl. Econ.* 53 (22), 2500-2526.
- Лю, М., Ли, К.К., Чу, В.К., 2021c. Эмпирическое исследование роли объема торгов и частоты данных в прогнозировании волатильности. *J. Forecast.* 40 (5), 792-816.
- Лю, Дж., Чоу, Р.К., 2012. Влияет ли погода на доходность и торговую активность на фондовых рынках, управляемых ордерами? Доказательства из Китая. *J. Empir. Financ.* 19 (1), 79-93.
- Лю, Ф., Ма, Ф., Ли, П., Хуанг, Д., 2022. Прогнозируемость волатильности природного газа в мире, богатом данными. *Int. Rev. Financ. Anal.* 102218.
- Люси, Б.М., Даулинг, М., 2005. Роль чувств в принятии решений инвесторами. *J. Econ. Surv.* 19 (2), 211-237.

- С. Liang и др., 2013. Моделирование волатильности рынка природного газа с помощью GARCH с различными распределениями. *Phys. A: Stat. Mech. Applic.* 392 (22), 5685-5699.
- Lyócsa, S., Molnár, P., 2018. Эксплуатация зависимости: прогнозирование волатильности на день вперед для биржевых фондов сырой нефти и природного газа. *Energy* 155, 462-473.
- Ma, F., Liao, Y., Zhang, Y., Cao, Y., 2019. Использование прыжкового компонента для прогнозирования волатильности сырой нефти в присутствии экстремальных шоков. *J. Empir. Financ.* 52, 40-55.
- Ma, F., Lu, X., Wang, L., Chevallier, J., 2021. Неопределенность глобальной экономической политики и волатильность фьючерсного рынка золота: свидетельства на основе моделей GARCH- MIDAS с переключением режимов Маркова. *J. Forecast.* 40 (6), 1070-1085.
- Маркуччи, Дж., 2005. Прогнозирование волатильности фондового рынка с помощью моделей GARCH с переключением режимов. *Stud. Nonlin. Dynam. Econom.* 9 (4).
- Майстадт, Ж.Ф., Эккер, О., 2014. Extreme weather and civil war: does drought fuel conflict in Somalia through livestock price shocks? *Am. J. Agric. Econ.* 96 (4), 1157-1182.
- Мазиги, А.Е.Х., 2005. Цены на хабе Генри и в национальных балансирующих точках: что будет являться международным эталоном цены на газ? *OPEC Rev.* 29 (3), 219-230.
- МакНил, К., Д'Асари, Е., 2007. Параметризация потоков воздушно-морского газа при экстремальных скоростях ветра. *J. Mar. Syst.* 66 (1-4), 110-121.
- Мишра, В., Смит, Р., 2016. Предсказуемы ли спотовые и фьючерсные цены на природный газ? *Econ. Model.* 54, 178-186.
- Моралес, К., 2021. ЕА 2021-01 Работа рынка природного газа во время холодной погоды в феврале 2021 года.
- Му, Х., 2007. Погода, хранилища и динамика цен на природный газ: фундаментальные показатели и волатильность. *Energy Econ.* 29 (1), 46-63.
- Ник, С., Тоенес, С., 2014а. Что движет ценами на природный газ? - структурный VAR-подход. *Energy Econ.* 45, 517-527.
- Ник, С., Тоенес, С., 2014б. Что движет ценами на природный газ? - структурный VAR-подход. *Energy Econ.* 45, 517-527.
- Нюфингер, Дж.Р., 2005. Социальное настроение и финансовая экономика. *J. Behav. Finance* 6 (3), 144-160.
- Овертон, М., 1989. Погода и сельскохозяйственные изменения в Англии, 1660-1739 гг. *Agric. Hist.* 63 (2), 77-88.
- Озили, П.К., 2022 год. Глобальные экономические последствия российского вторжения в Украину. Доступно на SSRN.
- Pan, Z., Wang, Y., Wu, C., Yin, L., 2017. Волатильность цен на нефть и макроэкономические фундаментальные показатели: модель GARCH-MIDAS с переключением режимов. *J. Empir. Financ.* 43, 130-142.
- Песаран, М.Х., Тиммерманн, А., 2009. Тестирование зависимости между серийно коррелированными многокатегорийными переменными. *J. Am. Stat. Assoc.* 104 (485), 325-337.
- Пиндик, Р.С., 2004. Волатильность на рынках природного газа и нефти. *J. Energy Dev.* 30 (1), 1-19.
- Пулиасис, П.К., Висвикис, И.Д., Папапостолоу, Н.К., Крюков, А.А., 2020. Новая система управления рисками на рынках природного газа. *J. Futur. Mark.* 40 (3), 430-459.
- Прокопчук, М., Симеонидис, Л., Везе-Симен, К., 2016. Имеют ли скачки значение для прогнозирования волатильности? Доказательства на энергетических рынках. *J. Futur. Mark.* 36 (8), 758-792.
- Рабач, Д.Е., Вохар, М.Е., 2006. In-sample vs. out-of-sample tests of stock return predictability in the context of data mining. *J. Empir. Financ.* 13 (2), 231-247.
- Росси, Б., Иноуэ, А., 2012. Тесты прогнозов вне выборки, устойчивые к выбору размера окна. *J. Bus. Econ. Stat.* 30 (3), 432-453.
- Салису, А.А., Гупта, Р., Бури, Е., Цзи, К., 2020. Роль глобальных экономических условий в прогнозировании волатильности рынка золота: доказательства на основе подхода GARCH-MIDAS. *Res. Int. Bus. Financ.* 54, 101308.
- Салису, А.А., Гупта, Р., Демирер, Р., 2022. Глобальный финансовый цикл и предсказуемость волатильности рынка нефти: свидетельства на основе модели GARCH-MIDAS. *Energy Econ.* 108, 105934.
- Сондерс, Е.М., 1993. Цены на акции и погода на Уолл-стрит. *Am. Econ. Rev.* 83 (5), 1337-1345.
- Серлетис, А., Шахморади, А., 2006. Доходность и волатильность на фьючерсном рынке природного газа на NYMEX Henry hub. *OPEC Rev.* 30 (3), 171-186.
- Шахзад, Ф., 2019. Влияет ли погода на поведение инвесторов, доходность акций и волатильность? Доказательства из региона Большого Китая. *Phys. A: Stat. Mech. Applic.* 523, 525-543.
- Шу, Х.К., Хунг, М.В., 2009. Влияние ветра на доходность фондового рынка: данные по европейским рынкам. *Appl. Financ. Econ.* 19 (11), 893-904.
- Сонг, К., 2002. Переработка топлива для низкотемпературных и высокотемпературных топливных элементов: проблемы и возможности для устойчивого развития в 21 веке. *Catal. Today* 77 (1-2), 17-49.
- Суэнага, Х., Смит, А., Уильямс, Дж., 2008. Динамика волатильности фьючерсных цен на природный газ на NYMEX. *J. Futur. Mark. Futur. Opt. Other Deriv. Prod.* 28 (5), 438-463.
- Symeonidis, L., Daskalakis, G., Markellos, R.N., 2010. Влияет ли погода на волатильность фондового рынка? *Financ. Res. Lett.* 7 (4), 214-223.
- Tashman, L.J., 2000. Вневыборочные тесты точности прогнозирования: анализ и обзор. *Int. J. Forecast.* 16 (4), 437-450.
- Taylor, J.W., Buizza, R., 2003. Использование прогнозов погодных ансамблей в прогнозировании спроса на электроэнергию. *Int. J. Forecast.* 19 (1), 57-70.
- Тол, Р.С., 2005. Предельная стоимость ущерба от выбросов углекислого газа: оценка неопределенности. *Энергетическая политика* 33 (16), 2064-2074.
- Урولاгин, С., Шарма, Н., Датта, Т.К., 2021. Комбинированная архитектура многомерного LSTM с преобразованиями Максимального и Z-score для прогнозирования цен на нефть. *Экономика энергетики* 116 (2022) 120963.
- Вальтер, Т., Кляйн, Т., Бури, Е., 2019. Exogenous drivers of bitcoin and cryptocurrency volatility-a mixed data sampling approach to forecasting. *J. Int. Financ. Mark. Inst. Money* 63, 101133.
- Ванг, К., Цай, С.Б., Ду, Х., Би, Д., 2019. Интернет-финансы, "зеленые" финансы и устойчивость. *Sustainability* 11 (14), 3856.
- Ванг, Л., Ма, Ф., Лю, Ж., Янг, Л., 2020. Прогнозирование волатильности цен акций: новые данные, полученные с помощью модели GARCH-MIDAS. *Int. J. Forecast.* 36 (2), 684-694.

- Ванг, Л., Ма, Ф., Лю, Г., Ланг, К., 2021. Помогают ли экстремальные шоки прогнозировать волатильность цен на нефть? Дополненный подход GARCH-MIDAS. *Int. J. Financ. Econ.* В печати.
- Ванг, Ж., Ма, Ф., Бури, Э., Чжун, Ж., 2022. Волатильность чистой энергии и природного газа, индексы неопределенности и глобальные экономические условия. *Energy Econ.* 108, 105904.
- Сюй, Й., Лиен, Д., 2022. Прогнозирование волатильности нефтегазовых активов: сравнение моделей GAS, GARCH и EGARCH. *J. Forecast.* 41 (2), 259-278.
- Ю, Х., Хуанг, Й., 2021. Влияние неопределенности экономической политики на волатильность акций: доказательства на основе подхода GARCH-MIDAS. *Phys. A: Stat. Mech. Applic.* 570, 125794.
- Юэнь, К.С., Ли, Т.М., 2003. Может ли состояние настроения влиять на решения о принятии риска? *J. Affect. Disord.* 75 (1), 11-18.
- Чжан, Й., Лю, Л., 2018. Взаимосвязь между спотовыми и фьючерсными ценами на природный газ. *Phys. A: Stat. Mech. Applic.* 490, 203-211.
- Чжан, Й., Ма, Ф., Вэй, Й., 2019. Вневыборочное прогнозирование волатильности рынка нефтяных фьючерсов: сравнение новых и традиционных комбинированных подходов. *Energy Econ.* 81, 1109-1120.
- Zhang, L., Wang, L., Wang, X., Zhang, Y., Pan, Z., 2022. Как макропеременные определяют волатильность сырой нефти: перспективы метода итерированной комбинации на основе STL. *Res. Политика* 77, 102656.
- Жизнин, С., Динева, В., 2022. Безопасность поставок природного газа в Юго-Восточной Европе - 15 лет после первого российско-украинского газового кризиса. Доступно на SSRN 4070567.