Федеральное государственное бюджетное образовательное   
учреждение высшего профессионального образования

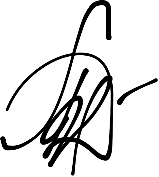
Санкт-Петербургский государственный университет  
Институт «Высшая школа менеджмента»

**ФАКТОРЫ ВЫСОКОЙ ВОЛАТИЛЬНОСТИ ЦЕН НА СЫРЬЕВЫХ РЫНКАХ**

Выпускная квалификационная работа студентки 4 курса бакалаврской программы,

профиль – Финансовый менеджмент

ПЕТРОВОЙ Даниэлы Дмитриевны



*(подпись)*

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., доцент кафедры финансов и учета

ОКУЛОВ Виталий Леонидович

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

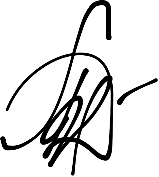
*(подпись)*

Санкт-Петербург

2022

**Заявление о самостоятельном выполнении выпускной квалификационной работы**

Я Петрова Даниэла Дмитриевна, студент 4 курса направления 080200 «Менеджмент» (профиль подготовки – Финансовый менеджмент), заявляю, что в моей выпускной квалификационной работе на тему «Факторы высокой волатильности цен на сырьевых рынках», представленной в службу обеспечения программ бакалавриата для последующей передачи в государственную аттестационную комиссию для публичной защиты, не содержится элементов плагиата. Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищённых ранее курсовых и выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки. Мне известно содержание п. 9.7.1 Правил обучения по основным образовательным программам высшего и среднего профессионального образования в СПбГУ о том, что «ВКР выполняется индивидуально каждым студентом под руководством назначенного ему научного руководителя», и п. 51 Устава федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет» о том, что «студент подлежит отчислению из Санкт-Петербургского университета за представление курсовой или выпускной квалификационной работы, выполненной другим лицом (лицами)».

 (Подпись студента)

\_\_\_31 мая 2022 года\_\_\_ (Дата)

СОДЕРЖАНИЕ

[Введение 4](#_Toc104933489)

[Глава 1. Анализ исследований волатильности на сырьевых рынках 6](#_Toc104933490)

[1.1. Введение в сырьевые рынки 6](#_Toc104933491)

[1.2. Волатильность на сырьевых рынках и финансизация 11](#_Toc104933492)

[1.3. Выбор методологии исследования 17](#_Toc104933493)

[Выводы 21](#_Toc104933494)

[Глава 2. Эмпирическое исследование факторов волатильности на сырьевых рынках 22](#_Toc104933495)

[2.1. Проверка первой гипотезы 22](#_Toc104933496)

[2.2. Проверка второй гипотезы 31](#_Toc104933497)

[2.3. Консолидированные результаты по всем гипотезам 45](#_Toc104933498)

[Выводы 47](#_Toc104933499)

[Заключение 49](#_Toc104933500)

[Список использованной литературы 52](#_Toc104933501)

[Приложения 55](#_Toc104933502)

[Приложение 1. Состав индекса S&P GSCI на 2022 год 55](#_Toc104933503)

[Приложение 2. Вывод итогов об EGARCH-моделях в Stata 56](#_Toc104933504)

[Приложение 3. Даты шоков по четырем исследуемым фондовым индексам 57](#_Toc104933505)

[Приложение 4. Значения p-value для выборок ν 59](#_Toc104933506)

[Приложение 5. Графическое сравнение поведения волатильности на сырьевых и фондовых рынках 60](#_Toc104933507)

# Введение

Сырьевые активы являют собой критически важную часть глобальной экономики. Их можно назвать основанием пирамиды мировой экономики. Они торгуются по всему миру в огромных объемах. Выручка от торговли сырьевыми активами составляет 7% мирового ВВП. И это, не считая выручки от товаров, произведенных из того же сырья. Одна треть мирового населения зависит от производства сырьевых активов. От них зависят доходы как развивающихся, так и развитых стран. Страны с низким доходом имеют 90% выручки от товарных активов, развитые страны – около 20–30% доходов от сырья [Szymanowska, 2014].

Исследование поведения цен на сырье является стратегически важной задачей для мирового сообщества, чтобы иметь возможность управлять рисками возникновения продовольственного, энергетического или других кризисов и в целом поддерживать баланс спроса и предложения на должном уровне. Важнейший фактор нестабильного поведения цен на сырье – это волатильность. Имеющиеся исследования природы и поведения волатильности на сырьевых рынках поражают своим разнообразием и в то же время некоторой незаконченностью, возможно, есть и другие, еще не исследованные, факторы волатильности на сырьевых рынках.

Актуальность данной работы состоит в том, что современные условия не позволяют мировому сообществу долго переживать времена без кризисов: недавний кризис COVID-19 показал, какие хрупкие основания экономических отношений могут быть нарушены со стремительной быстротой, провоцируя падение спроса на сырьевых рынках. В ситуации сегодня прослеживаются опасения среди экспертов насчет потенциального нового продовольственного кризиса. Резкий рост цен на энергоносители и продовольственные товары спровоцировал турбулентность на фондовых рынках, в частности США [Igan D. et.al., 2022]. Однако бывает ли наоборот? Могут ли падения фондовых рынков провоцировать сырьевые рынки на повышенную волатильность? Стали ли рынки, изначально не связанные между собой, настолько интегрированными друг с другом? Потребность в ответах на эти и многие другие вопросы говорит сама за себя. Многообразие исследуемых факторов волатильности на сырьевых рыках в академической среде и обширность используемых для анализа инструментов наводит на мысль о широком просторе для новых исследований и потенциале выявления новых факторов.

Таким образом, целью данной работы является выявление ключевых факторов высокой волатильности цен на сырьевых рынках. Для достижения поставленной цели работы были выполнены следующие задачи исследования:

1. Провести анализ теоретических и эмпирических исследований волатильности на сырьевых рынках
2. Выдвинуть гипотезы о роли финансизации сырьевых рынков в поведении волатильности и о новых факторах волатильности, появившихся после финансизации
3. Выбрать методы проверки поставленных гипотез
4. Собрать необходимые данные для анализа
5. Выбранными методами провести необходимые расчеты для проверки поставленных гипотез
6. Проинтерпретировать полученные результаты

Дадим определение факторов высокой волатильности, каким его видит автор данной работы, для понимания сути исследования.

Факторы высокой волатильности – причины резкого изменения цен на определенный финансовый инструмент, которые заключаются в прямом или косвенном влиянии со стороны определенных процессов или событий.

Чтобы определить рамки исследования в данной работе, автор сначала разделяет для анализа факторы высокой волатильности на краткосрочные и долгосрочные, в зависимости от изучения воздействия процессов или событий.

Долгосрочные факторы высокой волатильности – процессы, приводящие к относительно повышенной волатильности и имеющие влияние на длительном периоде времени.

Краткосрочные факторы высокой волатильности – события, приводящие к относительно кратковременному всплеску волатильности цен на финансовый инструмент.

При проведении исследования автор данной работы обращается в основном к зарубежным работам по анализу факторов волатильности на сырьевых рынках, по исследованию волатильности финансовых инструментов в целом, а также по исследованию особенностей сырьевых рынков и их игроков.

# Глава 1. Анализ исследований волатильности на сырьевых рынках

## 1.1. Введение в сырьевые рынки

Целью данного параграфа является введение в принцип работы сырьевых рынков. Мы рассмотрим характеристику сырьевых рынков, особенности и виды сырьевых активов, а также процесс финансизации сырьевых рынков.

1.1.1. Эволюция сырьевых рынков

Исторически в силу фундаментальных факторов цены на сырьевые активы отличались повышенной волатильностью. Последствия высокой волатильности цен на товарные активы могут быть разнообразными и приносить масштабные проблемы как бизнесу, так и потребителю. Так, высокая волатильность означает повышенную волатильность доходов производителей сырья (именно поэтому зависимые от сырья страны являются далеко не самыми богатыми странами, а именно странами третьего мира). Трудно предсказать доход, следовательно, трудно планировать добычу и производство сырья (дефицит или профицит производства, отходы или экологический ущерб). На уровне отдельной страны трудно планировать бюджет (высокие доходы от сырья позволяют расширять бюджет для инвестиций в развитие образования, инфраструктуры и т. д., резкое падение доходов приводит к увеличению безработицы, общественным протестам и беспорядкам).

Чтобы бороться с высокой волатильностью на сырьевые активы, общество разработало различные меры хеджирования, то есть управления риском торговли сырьевыми активами. Рассмотрим кратко некоторые из них. Политика регулирования добычи и производства (OPEC как наглядный пример) нацелена на поддержание баланса спроса и предложения, в зависимости от перемен в глобальном спросе на сырье. Управление выручкой, ярким примером которого является Норвежский нефтяной фонд. Фонд забирает профицит дохода от продажи нефти (выше установленной правилом нормы) и инвестирует его, выводить деньги из фонда можно только в случае дефицита дохода от продажи нефти. Так государство может уменьшить влияние нефти на госбюджет. Однако такая мера хеджирования требует сильных экономических и политических институтов, чтобы государство не избавлялось от фондов только ради краткосрочной выгоды. Торговые соглашения призваны регулировать цены, устанавливать запрет на манипулирование ценой ниже и выше нормы, независимо от рыночных условий. Однако у торговых соглашений как мере хеджирования есть недостаток: невозможность масштабирования таких проектов, поскольку они оперируют лишь на небольших участках рынка, и не все сырье может торговаться с учетом торговых соглашений. Наконец, финансовые институты и рынки могут помочь хеджировать риски торговлей сырьевыми активами. Так, банковские ссуды для инвестиций в технологии, позволяют предсказать изменение климата и катаклизмы, могут обеспечивать страхование от природных катаклизмов.Финансовые рынки, а именнофьючерсные рынки (commodity futures markets) направлены на управление и хеджирование волатильности цен на товарные активы. Товарные (сырьевые) биржи выполняют функцию хеджирования, то есть берут на себя риск производителей, тем самым обеспечивая им относительно стабильный доход. Следовательно, поставки также всегда будут стабильными.

Есть установленные фундаментальные факторы волатильности цен на сырьевые активы:

* Закон спроса и предложения (в том числе на товары, зависящие от торгуемого сырья)
* Издержки и технологии добычи
* Политика властей (напр., субсидии сельскохозяйственному сектору)
* Регулирование производства (ОПЕК – Organization of Petroleum Extracting Countries)
* Климатические факторы (наводнения, засухи)
* Ключевые процентные ставки
* Доллар США (большинство глобальных фьючерсов котируются в долларах, поэтому курс доллара будет также влиять на цену)

Авторы [Gruber, 2018] как раз исследуют влияние процентных ставок на волатильность сырьевых рынков. Они выясняют, что более низкие процентные ставки снижают волатильность цен, поскольку более низкие затраты на запасы способствуют сглаживанию временных шоков и увеличивают корреляцию цен, если общие шоки более устойчивы, чем специфические шоки. Эмпирически авторы обнаружили, что волатильность цен, связанная с временными шоками, снижается вместе с процентными ставками, тогда как, в частности, для цен на металлы, корреляция цен увеличивается по мере снижения процентных ставок.

Как известно, основные инструменты торговли сырьевыми активами включают форвардные контракты, фьючерсные контракты, спотовые рынки, а также опционы. Все эти инструменты, кроме, конечно спотовых рынков, были созданы с целью хеджирования – управления рисками от торговли сырьевыми активами. Исследования показывают, что наиболее популярными среди инвесторов, не связанных с производством и покупкой сырья непосредственно, являются фьючерсные контракты, или фьючерсы.

Как утверждают авторы [Szymanowska, 2014], фьючерсные контракты являются ценными бумагами с нулевой стоимостью, то есть они не требуют первоначальных инвестиций. Следовательно, ожидаемая доходность фьючерсов состоит только из предварительной оценки риска. Понимание этих премий важно, поскольку они влияют, например, на решения компаний о хеджировании и инвестиционные решения финансовых институтов. Поперечный срез премий за риск по товарным фьючерсам имеет, по крайней мере, два измерения. Во-первых, для каждого товара существует несколько фьючерсных контрактов, которые различаются по сроку погашения. Таким образом, по аналогии с облигациями, существует временная структура как фьючерсных цен, так и ожидаемой доходности фьючерсов или премий за риск. Во-вторых, как и акции, отдельные товарные фьючерсы различаются по таким характеристикам, как сектор, к которому они принадлежат (например, энергоносители и металлы), а также по таким характеристикам, как коэффициент импульса и оценки. Последнее также приводит к изменению временных рядов ожидаемой доходности фьючерсов.

1.1.2. Хеджеры и спекулянты

Основные игроки сырьевых рынков – это спекулянты и хеджеры. Легко понять, что представляют собой спекулянты: они идут на риск на сырьевых рынках, чтобы заработать деньги. Хеджеры существуют практически по противоположной причине: чтобы снизить риск потери денег. Таким образом, дадим определения этим двум ключевым группам игроков на фьючерсных сырьевых рынках.

Хеджер – это физическое лицо или компания, которые участвуют в бизнесе, связанном с определенным товаром. Обычно это либо производитель товара, либо компания, которой регулярно требуется закупать товар.

Спекулянт – это физическое лицо или компания, которые не участвуют в бизнесе, связанном с определенным товаром, но берут на себя риск или часть риска хеджеров, чтобы благодаря повышенной риск-премии увеличить свои доходы от торговли сырьевыми фьючерсами. Как правило, к спекулянтам относятся трейдеры, хедж-фонды, управляющие капиталом и другие институциональные инвесторы.

Сырьевые фьючерсные биржи изначально были созданы для того, чтобы позволить производителям и покупателям сырьевых товаров хеджировать свои длинные или короткие денежные позиции по сырьевым товарам. Несмотря на то, что трейдеры и другие спекулянты составляют основную часть объема торгов на фьючерсных биржах, хеджеры являются их истинной причиной существования. В то время как фьючерсные биржи требуют от хеджеров выплаты маржи — авансовых денег для покрытия потенциальных убытков — точно так же, как и от спекулянтов, уровни маржи у хеджеров часто ниже. Это связано с тем, что биржи считают хеджеров менее рискованными, поскольку у них есть денежная позиция по товару, которая компенсирует их фьючерсную позицию. Хеджер все равно должен подать заявку на эти специальные маржинальные ставки через биржу и получить одобрение после соответствия определенным критериям.

Однако сырьевые фьючерсы – лишь один из многих способов управления риском для хеджеров. Автор [Лукашов, 2006, С. 169] в рамках своей работы дает характеристику основных методов хеджирования на сырьевых рынках. Все методы управления ценовыми рисками он делит на традиционные и рыночные методы. Традиционные методы включают в себя:

* Создание товарных резервов и денежных фондов
* Заключение долгосрочных контрактов с поставщиками и потребителями
* Диверсификация деятельности
* Получение субсидий от правительства в случае неблагоприятных для компании колебаний цен.

Эти методы широко практикуются компаниями различного уровня в разных странах мира. Рыночные методы включают:

* Использование форвардных, фьючерсных и опционных контрактов, товарных и базисных свопов
* Сырьевые кредиты и облигации (так называемое «структурированное финансирование»)

Исследуя, как хеджеры и спекулянты влияют на рынки сырьевых фьючерсов, авторы [Bosch D., 2022] обнаружили, что фундаментальные финансовые показатели, определяемые рынками акций и облигаций, а также долларом США, объясняют лишь небольшую часть колебаний позиций сырьевых трейдеров по подмножеству сырьевых товаров. Авторы также обнаружили, что, хотя доходность большинства сырьевых товаров сильно зависит от доллара США, доходность энергетических и промышленных металлических товаров также зависит от акций и облигаций, то есть рыночных показателей, однако эта взаимосвязь не может быть отнесена к какой-либо одной группе трейдеров. Доходность на многих сырьевых фьючерсных рынках может быть в значительной степени обусловлена изменением позиций хеджеров и крупных спекулянтов (т. е. управляющих капиталом), в то время как мелкие спекулянты (трейдеры, не подлежащие отчетности) и дилеры свопов имеют решающее значение для некоторых рынков мягких сырьевых товаров и рынков металлов соответственно. Кроме того, результаты исследования [Bosch D., 2022] подтверждают теорию Кейнса о нормальной бэквордации. Хеджеры в среднем имеют чистую короткую позицию, и когда изменение чистой позиции из-за давления хеджирования сильно увеличивается, цены на товарные фьючерсы растут. В частности, трейдеры, как институциональные, так и индивидуальные, реагируют на растущий спрос на хеджирование и соответствующую положительную доходность, увеличивая свои чистые длинные позиции, пытаясь извлечь выгоду из премии за риск, которую хеджеры предоставляют своим повышенным спросом на хеджирование.

1.1.3. Особенности сырьевых фьючерсов

Фьючерсные контракты являются ценными бумагами с нулевой стоимостью, то есть они не требуют первоначальных инвестиций. Следовательно, ожидаемая доходность фьючерсов состоит только из премий за риск. Понимание этих премий важно, поскольку они влияют, например, на решения компаний о хеджировании и инвестиционные решения финансовых учреждений. Поперечный срез премий за риск по товарным фьючерсам имеет, по крайней мере, два измерения. Во-первых, для каждого товар существует несколько фьючерсных контрактов, которые различаются по сроку погашения. Таким образом, по аналогии с облигациями, существует временная структура как фьючерсных цен, так и ожидаемой доходности фьючерсов или премий за риск. Во-вторых, как и акции, отдельные товарные фьючерсы различаются по таким характеристикам, как сектор, к которому они принадлежат (например, энергетика против металлов), а также по таким характеристикам, как коэффициент импульса и оценки. Последнее также приводит к изменению временных рядов ожидаемой доходности фьючерсов. В этой статье анализируются различные премии за риск, присутствующие на рынках товарных фьючерсов, которые можно определить, с одной стороны, при сортировке товарных фьючерсов по таким характеристикам, как базис, волатильность и импульс, а с другой стороны, путем различения контрактов в соответствии с их сроком погашения. Простая декомпозиция доходности фьючерсов показывает, что ожидаемая доходность состоит из двух премий за риск: спотовых премий, связанных с риском в базовом товарные и срочные премии, связанные с изменениями в базисе. Мы покажем, как эти различные премии могут быть выделены с помощью простых торговых стратегий. Мы обнаруживаем, что в большинстве случаев точечные и срочные премии имеют противоположные признаки и очень предсказуемы. Сортировка на основе фьючерсов, импульса, волатильности, инфляции и ликвидности приводит к значительным спотовым премиям в портфелях с высоким минус низким доходом от 5% до 14% годовых и срочным премиям от 1% до 3% в абсолютном значении. Мы также обнаруживаем, что модели поперечного сечения в точечных премиях основаны на этих характеристики могут быть отражены с помощью одного базового фактора, в то время как для объяснения надбавок за срочность необходимы два дополнительных фактора.

Таким образом, для моделей ценообразования активов для объяснения премий за риск по товарным фьючерсам задача состоит в том, чтобы объяснить основы портфеля с высоким минус низким уровнем удержания для спотовых премий, а также высокие и низкие распределение портфелей для срочных премий.

## 1.2. Волатильность на сырьевых рынках и финансизация

1.2.1. Исследования волатильности на сырьевых рынках

Волатильность на сырьевых рынках – тема, которая волнует многих. Понять природу волатильности цен на сырьевые активы, суметь ее предсказать, выявить факторы волатильности – эти и многие другие задачи ставят перед собой исследователи и аналитики, чтобы снизить уровень неопределенности для игроков сырьевых рынков. Был даже придуман так называемый «индекс страха» – индекс волатильности Чикагской биржи опционов VIX[[1]](#footnote-2). Авторы [Aboura, 2016, С. 47] исследуют влияние индекса страха на фондовый рынок США и описывают совокупные последствия экстремальной асимметричной волатильности для рыночных цен, указывая, что в условиях обратной связи по волатильности, например, изменение одного из ста торговых дней по отношению к средней подразумеваемой волатильности VIX связано с ожидаемым падением рынка более чем на 4 процента.

Среди многих исследований волатильности на сырьевых рынках особенно интересным представляется исследование факторной структуры доходности и волатильности сырьевых фьючерсов. Авторы [Christoffersen P., Lunde A., Olesen K. V.] выявили следующие стилизованные факты для волатильности сырьевых фьючерсов:

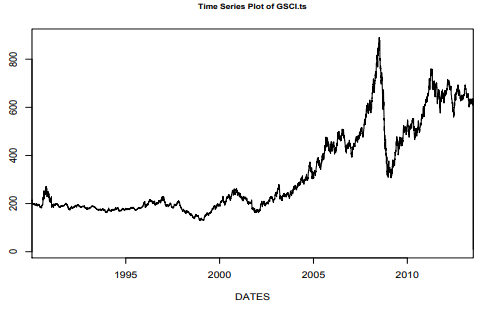
* Ежедневная реализованная волатильность товарных фьючерсов обладает высокой устойчивостью (или долгой памятью)
* Натуральный логарифм реализованной волатильности товарных фьючерсов близок к нормальному распределению
* Факторная структура ежедневной волатильности товарных фьючерсов намного сильнее, чем факторная структура доходности
* В то время как средние корреляции доходности вернулись к своим более низким докризисным уровням, средние корреляции волатильности остались на новом, более высоком уровне, достигнутом во время кризиса
* Существует мало свидетельств временной тенденции в степени интеграции на рынках товарных фьючерсов в период 2004–2014 годов
* Волатильность сырьевых товаров тесно связана с волатильностью на других рынках; она выше во время рецессий и когда фондовый рынок падает
* Доминирующий общий фактор волатильности сырьевых товаров тесно связан с волатильностью фондового рынка
* Бета фьючерсов на сырьевые товары по отношению к фондовому рынку были высокими в течение 2008–2010 годов, но с тех пор вернулись к уровню, близкому к 0.

Авторы берут для исследования данные за период начиная с 2004 года, аргументируя такой выбор началом финансизации сырьевых рынков в 2004 году. Однако, если финансизация сырьевых рынков имела важное значение и повлияла на изменение стилизованных фактов волатильности на сырьевых рынках, имеет смысл посмотреть, как изменились стилизованные факты волатильности на сырьевых рынках после финансизации 2004 года. Подробнее о финансизации в следующем пункте.

1.2.2. Финансизация как новая реальность для сырьевых рынков

Хотя слово "финансизация" явно отсутствует в некоторых словарях английского языка, оно широко используется для описания растущей роли институциональных инвесторов на товарных рынках. Известно, что в течение 2004 года на сырьевых рынках наблюдался значительный приток новых финансовых инвесторов. По [Carmona, 2015, С. 2], финансизация в целом – это процесс, посредством которого финансовые институты, рынки и т. д. увеличиваются в размерах и влиянии. Автор дает следующее определение финансизации сырьевых рынков: возросшая роль финансовых рынков в функционировании сырьевых рынков. Автор [Carmona, 2015, С. 2] утверждает, что резкое увеличение волатильности и скачки цен, наблюдавшиеся на сырьевых рынках в период с 2004 по 2008 года, вызваны подавляющим влиянием крупных институциональных инвесторов, использующих индексы для получения доступа к сырьевым товарам, в ответ на заявления о том, что к таким изменениям привел дисбаланс спроса и предложения на сырьевые товары из-за роста в странах с формирующейся рыночной экономикой, таких как Китай, Индия и Бразилия.

Почему же началом финансизации числится 2004 год? Снова ответ дает исследователь финансизации [Carmona, 2015]. Хотя нет четкой причины для определения времени появления этой финансизации, широко распространено мнение, что она по большей части связана с появлением нового класса крупных инвесторов, которые решили открывать позиции по сырьевым товарам как дополнительному классу финансовых активов, чтобы получить такую прибыль, которая считается недостижимой от инвестиций в более традиционные активы. Рассматривая сырьевые фьючерсы на том же уровне, что и акции, облигации, недвижимость и т. д., инвесторы возвели сырьевые товары в ранг нового класса активов. На рисунке 1 представлен временной ряд индекса сырьевых рынков GSCI. Сразу заметно, что с 2004 года индекс стал расти в беспрецедентных темпах, по графику видно и увеличение волатильности, начиная с того же года.



1. Временной ряд цен на спот-индекс GSCI

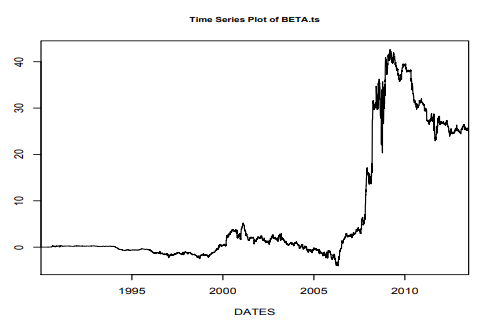
Источник: [Carmona, 2015, С. 3]

Это впечатляющее увеличение инвестиций на сырьевых рынках со стороны инвесторов, чьи основные деловые или финансовые интересы напрямую не зависели от изменений цен на сырьевые товары, было расценено как чистая спекуляция и стало источником горячих дискуссий среди экономистов, политиков, а также в средствах массовой информации. Рассмотрим предпосылки финансизации сырьевых рынков, какими их видит автор [Carmona, 2015].

Автор [Carmona, 2015, С. 3] выясняет, что появление специализированных индексов, в том числе сырьевых, и рост популярности долгосрочного инвестирования в индексные фонды мог стать одним из предпосылок финансизации сырьевых рынков. Согласно автору, в 2006–2007 годах инвестиции индексных фондов увеличились с 90 млрд до 200 млрд долларов США. Одновременно цены на сырьевые товары выросли на 71%. На пике ценового пузыря в 2008 году инвесторы сырьевых фондов, включая ETF и хедж-фонды, такие как Soros Fund Management, контролировали рекордные 4,51 миллиарда бушелей кукурузы, пшеницы и соевых бобов через фьючерсные рынки Чикагской торговой палаты, что составляет половину суммы, хранящейся в хранилищах США на 1 марта, 2008 года. В своем выступлении перед Комитетом по торговле Сената США Джордж Сорос заявил, что инвестиции в сырьевые товары, как новая площадка для институциональных инвесторов, стали «слоном в комнате», и в результате инвестиции в эти активы могут привести к росту цен. После обвала цен, который произошел в период с июня 2008 года по начало 2009, многие эксперты назвали этот бум и спад пузырем, поскольку цены на фьючерсы намного превысили фундаментальные значения. Виновником была признана крупномасштабная спекулятивная покупка индексными фондами. Ряд исследований финансовых рынков показали, что формирование стадного инстинкта среди крупных институциональных инвесторов могло дестабилизировать рыночные цены и создать избыточную волатильность [Memon, 2022]. Исходя из этих исследований, можно утверждать, что стадное поведение на товарных рынках, обусловленное финансовыми инвесторами, переводящими средства в сырьевые товары и из них, было фактором, способствующим взлетам и падениям, наблюдаемым в широком спектре сырьевых товаров.

С другой стороны, некоторые экономисты по-прежнему скептически относились к теории пузырей. Они утверждают, что циклы цен на сырьевые товары определяются фундаментальными факторами, такими как спрос и предложение, и что временные дисбалансы, наблюдавшиеся в 2008 году, обусловлены впечатляющим ростом в странах с формирующейся рыночной экономикой [Fortenbery, 2009].

Также автор [Carmona, 2015] утверждает, что финансизация сырьевых рынков ассоциируется с увеличением эффекта левериджа и экспоненциальным ростом расчетных контрактов, затмевающих их физически урегулированные (поставочные) аналоги. Финансизация как термин также использовался для обозначения значительного влияния индексной торговли на цены товаров и, говоря более узко, для усиления корреляции между товарами, включенными в один и тот же индекс, а также между доходностью по фондовому рынку и доходностью по товарным индексам. Этот последний факт проиллюстрирован автором [Carmona, 2015, С. 5] на рисунке 2, который показывает временную эволюцию, заданную фильтром Калмана, зависимой от времени “бета” линейной регрессии наименьших квадратов общей доходности сырьевого индекса Goldman Sachs (GSCI) по отношению к доходности индекса S&P 500.



1. Мгновенная зависимость (β) ежедневной доходности индекса GSCI от соответствующей доходности S&P 500

Источник: [Carmona, 2015, С. 5]

Эмпирическим фактом является то, что корреляции доходности уже не те, что были раньше (до 2004 года), и в настоящее время общепризнано, что корреляция в изменениях цен на товары, включенные в один и тот же индекс, ужесточилась до 2007 года. Автор [Carmona, 2015, С. 5] утверждает, что торговля товарными индексами ответственна за это ужесточение корреляции.

Автор [Hamilton, 2015] исследует конкретно, как инвестирование в сырьевые индексы влияет на цены сырьевых фьючерсов. Он утверждает, что расширение участия финансовых инвесторов на рынках товарных фьючерсов за последнее десятилетие было весьма значительным. В принципе это могло бы повлиять на премию за риск, однако авторы пришли к иным выводам. Они не обнаружили практически никакого отношения к сельскохозяйственным товарам, по которым CFTC сообщает о таких позициях. Они рассмотрели доказательства того, что позиции по контрактам на сырую нефть, рассчитанные по отчетным сельскохозяйственным холдингам, могут помочь предсказать доходность фьючерсов на сырую нефть, и отметили, что методология такого расчета может быть обобщена для использования всех доступных данных. Авторы подтвердили, что эти условные запасы, по-видимому, помогают прогнозировать доходность сырой нефти в 2006–2009 годах, хотя это тесно связано с динамикой индексных инвестиций во время Великой рецессии, и действительно, те же самые условные запасы, по-видимому, также предсказывают доходность акций за этот период. Однако авторы обнаружили, что оба соотношения нарушились при попытке описать данные с 2009 года. Таким образом, общий вывод авторов согласуется с большей частью предыдущей литературы — по-видимому, существует мало доказательств того, что инвестирование в индексные фонды оказывает измеримое влияние на цены товарных фьючерсов. Даже если бы можно было продемонстрировать влияние покупки индексных фондов на цены товарных фьючерсов, было бы отдельной проблемой объяснить, как это может также привести к изменению равновесной спотовой цены.

Очевидно, две группы исследователей так и не смогли к консенсусу относительно влияния финансизации на сырьевые цены. В данном исследовании автор сначала тестирует финансизацию как фактор долгосрочного увеличения волатильности на сырьевых рынках.

1.2.3. Гипотезы о влиянии финансизации на волатильность на сырьевых рынках

Таким образом, финансизация была не революцией, но масштабным процессом, который мог повлиять на поведение волатильности на сырьевых рынках. Возможно, что с 2004 года имеет место корреляция фондовых и сырьевых рынков как последствие финансизации. То есть настроения инвесторов на сырьевых рынках способны увеличивать волатильность с тех пор, как в сырьевые рынки были вложены огромные суммы денег этих инвесторов.

Дадим определение факторов высокой волатильности, каким его видит автор данной работы, для понимания сути исследования.

*Факторы высокой волатильности* – причины резкого изменения цен на определенный финансовый инструмент, которые заключаются в прямом или косвенном влиянии со стороны определенных процессов или событий.

Чтобы определить рамки исследования в данной работе, автор сначала разделяет для анализа факторы высокой волатильности на краткосрочные и долгосрочные, в зависимости от изучения воздействия процессов или событий.

*Долгосрочные факторы высокой волатильности* – процессы, приводящие к относительно повышенной волатильности и имеющие влияние на длительном периоде времени.

*Краткосрочные факторы высокой волатильности* – события, приводящие к относительно кратковременному всплеску волатильности цен на финансовый инструмент.

Таким образом, автором данного исследования были сформулированы две гипотезы.

Гипотеза 1. Финансизация оказала значимое влияние на долгосрочную волатильность на сырьевых рынках.

Гипотеза 2. Шоки на фондовых рынках приводят к краткосрочным всплескам волатильности на сырьевых рынках.

Вторая гипотеза следует из предположения о корреляции фондовых и сырьевых рынков как последствии финансизации. Также проверка второй гипотезы позволит эмпирически посмотреть на поведение краткосрочной волатильности на сырьевых рынках, всплески которой предположительно могут быть вызваны определенными негативными событиями.

## 1.3. Выбор методологии исследования

Цель данного пункта – выбрать подходящий метод проверки поставленных в рамках данного исследования двух гипотез.

1.3.1. GARCH-модели для изучения поведения волатильности на длинных периодах

Как известно, наиболее распространенным методом прогнозирования волатильности на долгосрочном периоде является моделирование авторегрессионной условной гетероскедастичности или GARCH-моделирование. Модель GARCH была разработана независимо двумя учеными – Боллерслевом и Тейлором в 1986 году [Brooks, 2004, С. 428]. Используя модель GARCH, можно интерпретировать текущую скорректированную дисперсию как взвешенную функцию долгосрочного среднего значения (зависящего от ), информации о волатильности за предыдущий период и скорректированной дисперсии из модели за предыдущий период. Модель GARCH позволяет условной дисперсии зависеть от предыдущих собственных лагов, так что уравнение условной дисперсии в простейшем случае GARCH (1,1) получается (1):

, (1)

где – условная дисперсия, поскольку это прогнозная оценка дисперсии на один период вперед, рассчитанная на основе любой прошлой информации, которая считается релевантной;

– некая константа,

– информация о волатильности за предыдущий период,

– скорректированная дисперсия из модели за предыдущий период.

Однако данная модель не только позволяет с наибольшей точностью прогнозировать волатильность для доходности финансовых рядов, она позволяет через интерпретацию оцененных параметров делать выводы о так называемых стилизованных фактах волатильности. Стилизованным фактом будем называть упрощенное изложение эмпирического вывода. Таким образом, *стилизованные факты* – это широкие тенденции, которые направлены на обобщение данных, предлагая существенные истины, игнорируя при этом отдельные детали. Иными словами, как о стилизованных фактах волатильности выразился автор в [Субботин, 2009, С. 97], это ряд общих эмпирических свойств.

Поскольку целью данного исследования не является прогнозирование волатильности, автором были исследованы различные модификации GARCH-модели. Одним из основных ограничений моделей GARCH является то, что они обеспечивают симметричную реакцию волатильности на положительные и отрицательные шоки. Это возникает из-за того, что условная дисперсия является функцией величин запаздывающих остатков, а не их знаков (другими словами, при возведении в квадрат запаздывающей ошибки знак теряется). Однако утверждается, что отрицательный шок для финансовых временных рядов, вероятно, приведет к росту волатильности в большей степени, чем положительный шок той же величины. В случае доходности акционерного капитала такие асимметрии обычно объясняются *эффектом левериджа*, при котором падение стоимости акций фирмы приводит к увеличению отношения долга фирмы к собственному капиталу. Это приводит к тому, что акционеры, которые несут остаточный риск фирмы, воспринимают свой будущий поток денежных потоков как относительно более рискованный. Альтернативный взгляд обеспечивается гипотезой ‘волатильности-обратной связи’. Предполагая постоянные дивиденды, если ожидаемая доходность увеличивается при увеличении волатильности цен на акции, то цены на акции должны падать при повышении волатильности. Хотя асимметрия в рядах доходности, отличных от акций, не может быть объяснена изменением левериджа, в равной степени нет оснований предполагать, что такая асимметрия существует только в доходности акций [Тимиркаев, 2010, С. 61]. Брукс приводит две модификации GARCH-модели, учитывающие асимметричность волатильности. Одна из них, модель EGARCH, или экспоненциальная модель прогнозирования условной волатильности, заслуживает особого внимания, поскольку учитывает в своих параметрах возможность наличия эффекта левериджа. Что если данный эффект на самом деле характерен не только для цен на акции, но и для цен на сырьевые фьючерсы?

Экспоненциальная (EGARCH) модель прогнозирования условной волатильности – модель, в которой волатильность моделируется в экспоненциальной форме, так что к параметрам не требуется применять условия не отрицательности. Эта спецификация также допускает асимметрию в соотношении между волатильностью и доходностью разных знаков [Brooks C., 2004, С. 441]. Модель представлена в виде (2) [Nelson, 1991]:

, (2)

где – параметр, который характеризует долгую память волатильности (high persistence),

– параметр, характеризующий наличие (или отсутствие) эффекта левериджа, отвечает за асимметричность волатильности,

– параметр, который характеризует степень кластеризации волатильности,

– некая константа [Chang, 2017].

Таким образом, для проверки первой гипотезы была выбрана модель EGARCH.

1.3.2. Метод исследования факторов краткосрочной волатильности

За отсутствием нужной модели для оценки или прогнозирования факторов волатильности на коротком периоде, будем использовать параметрические гипотезы о равенстве средних значений волатильности на периодах до и после возникновения событий (шоков на фондовых рынках). Если день 0 – это день, в который на рассматриваемом фондовом рынке возник шок (то есть индекс упал на 5% и более процентов, то первая выборка – значения волатильности на сырьевом рынке за 30 торговых дней до шока (для репрезентативной средней), а вторая выборка – значения волатильности на сырьевом рынке за 7 торговых дней после шока. Если параметрический тест покажет, что средняя из первой выборки значительно меньше средней из второй выборки, значит, шок на фондовом рынке действительно вызывает повышенную волатильность на сырьевых рынках, которая предположительно показывает всплеск на определенном коротком периоде, за который мы возьмем 7 торговых дней.

Две выборки, наподобие окна оценивания и окна события в event-study, вместе образуют генеральную совокупность, которая предположительно должна быть нормально распределена, а случайные величины в ее составе должны быть независимыми. При соблюдении этих двух условий, может проводиться параметрический тест на равенство средних. Таким образом, нормальность распределения генеральной совокупности для каждого из рассматриваемых шоков и независимость состоящих в ней случайных величин будут допущениями в данном исследовании.

Постановка гипотез (основной и альтернативной) в таком случае должна выглядеть следующим образом (3):

(3)

где – средняя агрегированная волатильность по сырьевым фьючерсам на периоде за 30 дней до шока,

– средняя агрегированная волатильность по сырьевым фьючерсам на периоде за 7 дней после шока.

При принятии основной гипотезы шок на фондовом рынке не признается фактором краткосрочной волатильности на сырьевых рынках, и наоборот.

1.3.3. Выбор метода получения количественной меры волатильности

Для проверки второй гипотезы и проведения параметрических тестов нужно рассчитать волатильность цен на исследуемых сырьевых рынках. Проведя анализ существующих на сегодняшний день мер волатильности, автор данной работы остановился на методе Гармана-Класса. Этот метод считается наиболее распространенным среди исследователей. Авторы [Będowska-Sójka, 2021] утверждают, что метод расчета волатильности Гармана-Класса является лидером среди мер волатильности, поскольку он делится наибольшим объемом информации с любым другим показателем волатильности. Метод Гармана-Класса считается одним из наиболее эффективных для оценки волатильности за определенный день, поскольку он сочетает в себе такие факторы, как разница между ценой открытия и ценой закрытия предыдущего торгового дня, разница между ценой открытия и закрытия текущего дня, а также разницу между наибольшей и наименьшей ценой за день. Формула волатильности по методу Гармана-Класса представлена в формуле (4).

(4)

где – это количественная характеристика дневной волатильности;

– цена открытия;

– максимальная цена;

– минимальная цена;

– цена закрытия

на день t.

Автор [Meilijson, 2009] называет дисперсию, рассчитанную по методу Гармана-Класса, несмещенной оценкой дисперсии, и утверждает, что данный метод обеспечивает лучшую точность оценки дисперсии, чем классическая средняя оценка исторической волатильности («Цена закрытия» − «Цена открытия»)2 за семикратный период наблюдения.

## Выводы

Мы провели краткий обзор вселенной сырьевых рынков и обратились к существующим исследованиям волатильности на сырьевых рынках, чтобы выявить уже исследованные факторы волатильности на сырьевых рынках. Исследование финансизации сырьевых рынков и наличие горячих споров вокруг данного явления сподвигло автора данной работы на гипотезу, из которой проистекает и вторая гипотеза.

Таким образом, мы сформулировали следующие гипотезы:

Гипотеза 1. Финансизация сырьевых рынков оказала значимое влияние на долгосрочную волатильность сырьевых фьючерсов.

Гипотеза 2. Шоки на фондовых рынках приводят к краткосрочным всплескам волатильности на сырьевых рынках.

# Глава 2. Эмпирическое исследование факторов волатильности на сырьевых рынках

## 2.1. Проверка первой гипотезы

Цель данного параграфа – провести вычисления для проверки гипотезы о влиянии финансизации на свойства волатильности цен на сырьевых рынках.

2.1.1. Сбор данных для анализа

Для вычислений по первой гипотезе был выбран индекс S&P GSCI, который является наиболее широко используемым для анализа сырьевых рынков. Индекс существует с 1992 года и включает в себя контракты на 22 вида сырья, из которых 50% составляют энергоносители [Carmona, 2015, С. 21]. Доли сырья, используемые при расчете значения индекса, основаны на мировом производстве физических товаров (подробнее о составе индекса в Приложении 1). Очевидно, этот индекс дает общую информацию о состоянии сырьевых рынков в целом, поэтому были собраны дневные данные по фьючерсам на GSCI (ближайшей экспирации) за все время торгов этими фьючерсами. В базе данных польской аналитической компании Stooq**[[2]](#footnote-3)** собрана внутридневная информация по всем сырьевым фьючерсам и индексам, а также по всем фондовым индексам и другим финансовым данным. В частности, по фьючерсам внутридневные данные состоят из цен открытия и закрытия, максимумов и минимумов, объема торгов и открытого интереса. Эта база широко используется среди финансистов, инвесторов и академиков, например, в [Będowska-Sójka B., Kliber A., 2020].

Для начала была посчитана дневная логарифмическая доходность по фьючерсу на индекс GSCI за весь период. Результат можно увидеть на рисунке 3. На графике видно, как турбулентно стал вести себя индекс сразу после 2004 года, и уже можно сделать предположение о том, что после финансизации долгосрочная волатильность на сырьевых рынках увеличилась. Такой же эффект увеличения волатильности виден на графике дневной доходности фьючерса на сырьевой индекс (рисунок 3). На рисунке 4 также можно заметить паттерн после 2004 года, напоминающий кластеризацию волатильности. Чтобы посмотреть, как вела себя волатильность на сырьевых рынках, мы посчитали по Гарману-Классу (1) для всего ряда и построили соответствующий график. На рисунке 5 видно, что сами значения волатильности вели себя по-разному, и трудно сделать какие-либо предварительные выводы из этого графика, однако можно предположить, что кластеризация волатильности на сырьевых рынках имела место на всем рассматриваемом периоде.

1. Динамика индекса S&P GSCI

Источник: расчеты автора в MS Excel

1. Дневная логарифмическая доходность по фьючерсу на GSCI

Источник: расчеты автора в MS Excel

1. Волатильность Гармана-Класса для фьючерса на GSCI

Источник: расчеты автора в MS Excel

Поскольку началом финансизации мы решили считать 2004 год, генеральный ряд полученных данных по фьючерсу на GSCI был разделен на период до 2004 года и после. Итого были получены два ряда данных: один с 1994 по 2003 года включительно, и второй с 2004 по 2022 года включительно. Описательная статистика по ряду данных до финансизации и после приведена в таблице 1.

1. Описательная статистика по двум рядам данных лог. доходности GSCI

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Переменная | Число наблюдений | Среднее | Стандартное отклонение | Минимум | Максимум |
| Лог. доходность до финансизации | 2 419 | 0.0001853 | 0.0127174 | -0.083674 | 0.061005 |
| Лог. доходность после финансизации | 4 612 | 0.000229 | 0.015437 | -0.127625 | 0.074126 |

Источник: расчеты автора в Stata

Чтобы проверить свойства волатильности сырьевых рынков до и после финансизации, оба ряда сначала были проверены на наличие так называемых стилизованных фактов, чтобы можно было судить о наличии эмпирических свойств волатильности, характерной для всех финансовых рядов. В [Субботин, 2009, С. 97] автор, среди прочих, приводит следующие ключевые свойства волатильности:

1. Избыточная волатильность
2. Отсутствие линейной корреляции доходностей
3. Кластеризация волатильности и долгая память в абсолютных значениях доходностей (в зарубежной литературе долгую память называют high volatility persistence)
4. Островершинное распределение доходностей

Со свойством избыточной волатильности все понятно, если посмотреть на рисунки 2 и 3. Волатильность часто принимает необъяснимо экстремальные значения. Проверим оба ряда на наличие коррелированных доходностей.

На рисунке 6 представлен график автокорреляционной функции (ACF) логарифмических доходностей фьючерса до 2004 года. Мы видим, что доходности практически не коррелированы на всех лагах. То же самое можно сказать о доходностях на периоде после 2004 года (рисунок 7), там небольшая корреляция присутствует лишь между последовательными дневными доходностями, и есть некоторые корреляции на лагах в 20, 40 и 45 дней, однако значения автокорреляций не заставляют опровергнуть свойство некоррелированных доходностей.



1. ACF для доходностей GSCI до 2004 года

Источник: расчеты автора в Stata



1. ACF для доходностей GSCI после 2004 года

Источник: расчеты автора в Stata

Чтобы графически определить, характерно ли для рядов свойство долгой памяти в абсолютных значениях доходностей, приведем оба ряда доходностей к их значениям по модулю и построим для получившихся рядов автокорреляционные функции. По рисунку 8 можем сделать предположение, что уже до финансизации для волатильности на сырьевых рынках была характерная долгая память. Однако, если сравнить рисунки 8 и 9, становится понятно, что наиболее выраженным свойство долгой памяти волатильности стало после 2004 года. Значения ACF у абсолютных значений доходности GSCI после 2004 года гораздо выше, а сама функция убывает значительно медленнее, чем ACF ряда абсолютных доходностей до финансизации.

Островершинное распределение доходностей предполагает наличие «тяжелых хвостов» на графиках плотности распределения доходностей [Субботин, 2009, С. 97]. Таким образом, построив вероятностные распределения доходностей для обоих рядов с наложением кривой нормального распределения, мы видим, что, как до, так и после финансизации можно наблюдать высокую частоту экстремальных значений доходностей (рисунки 10 и 11).

Итак, мы рассмотрели основные стилизованные факты рядов доходностей фьючерса на GSCI до и после финансизации. Далее проведем моделирование волатильности для обоих рядов, чтобы посмотреть, как изменились параметры EGARCH-модели для волатильности на сырьевых рынках после финансизации.



1. ACF абсолютных значений доходности GSCI до 2004 года

Источник: расчеты автора в Stata



1. ACF абсолютных значений доходности GSCI после 2004 года

Источник: расчеты автора в Stata



1. Вероятностное распределение доходности GSCI до 2004 года

Источник: расчеты автора в Stata



* 1. Вероятностное распределение доходности GSCI после 2004 года

Источник: расчеты автора в Stata

2.1.2. Описание и реализация метода

Чтобы построить EGARCH-модель, сначала проверим наши ряды на наличие ARCH-эффектов. Для этого будем использовать LM-тест (проверка методом максимального правдоподобия) на авторегрессионную условную гетероскедастичность [Adkins L. C., Hill R. C., 2011, С. 431]. Результаты теста в Stata для рядов доходностей индекса GSCI до 2004 года и после приведены на рисунках 11 и 12 соответственно.



1. LM-тест на ARCH-эффекты для доходности GSCI до 2004 года

Источник: расчеты автора в Stata



1. LM-тест на ARCH-эффекты для доходности GSCI после 2004 года

Источник: расчеты автора в Stata

Нулевая гипотеза в таком тесте заключается в том, что ряд не имеет ARCH-эффектов. Если p-value меньше 0.05 (для уровня значимости 5%), нулевая гипотеза отвергается в пользу альтернативной, которая предполагает, что ряд имеет в остатках условную гетероскедастичность. Принято считать, что тест также выявляет наличие кластеризации, так как иначе GARCH-модель не будет работать. Таким образом, для обоих рядов мы принимаем альтернативную гипотезу и теперь можем строить для них EGARCH-модели. Напомним, теоретически экспоненциальная GARCH-модель выглядит следующим (5) образом [Brooks C., 2004, С. 441]:

(5)

После расчета параметров EGARCH-модели в Stata для ряда данных о фьючерсе на сырьевой индекс GSCI *до* финансизации, получили следующее уравнение (6) логарифмированной условной дисперсии:

(6)

Подробнее о выводах итогов моделей в Stata в Приложении 2.

Аналогичное уравнение логарифмированной условной дисперсии для ряда данных о фьючерсе на сырьевой индекс GSCI *после* финансизации получилось следующее (7):

(7)

В Таблице 2 приведена суммарная характеристика параметров по обеим EGARCH-моделям. При интерпретации параметров модели автор опирался на ряд исследований, в том числе [Chang C. L., McAleer M., 2017].

1. Характеристика параметров по двум EGARCH-моделям

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | EGARCH до 2004 года | | | EGARCH после 2004 года | | |  |
| Параметр | Значение | Значимость | Количество наблюдений | Значение | Значимость | Количество наблюдений | Отношение параметров (после к до) |
| Константа | -1.84 | Да | 2 418 | -0.73 | Да | 4 611 | 0.40 |
| Альфа | 0.55 | Да | 0.47 | Да | 0.85 |
| Бета | 0.77 | Да | 0.91 | Да | 1.18 |
| Гамма | 0.001 | Нет | -0.09 | Да | - |

Источник: расчеты автора в Stata

Теперь рассмотрим, как интерпретируются полученные в моделях параметры. Параметр альфа характеризует кластеризацию волатильности. Параметр бета отвечает за долгую память (persistence), а параметр гамма указывает на наличие эффекта левериджа – асимметричности волатильности, при которой будущие значения волатильности отрицательно коррелируют с текущей доходностью, если параметр со знаком минус, и наоборот [Тимиркаев, 2010, С. 61].

2.1.3. Результаты и их интерпретация

Видим, что ключевой результат – возникновение эффекта левериджа, или свойства асимметричности волатильности. В модели на периоде после финансизации появился параметр гамма, равный -0.09, в модели волатильности до финансизации параметр гамма был статистически незначимым (то есть не отличался от нуля). Также после финансизации более выраженным стало свойство долгой памяти волатильности, так как параметр бета увеличился примерно на 18%. Параметр кластеризации альфа сильно не изменился, так что можно сказать, что для волатильности сырьевых рынков, как и для других финансовых рядов, характерно свойство кластеризации, и оно наблюдалось как до, так и после финансизации.

Наконец, наблюдаем, что после финансизации на 40% увеличилась константа в модели волатильности, из чего делаем вывод, что после финансизации волатильность на сырьевых рынках в целом на долгосрочном периоде увеличилась.

Похоже, что финансизация сырьевых рынков по свойствам сблизила сырьевые активы с остальными финансовыми инструментами. Появление эффекта левериджа наводит на вторую гипотезу, и в следующем пункте мы рассмотрим на практике, как шоки на фондовых рынках влияют на краткосрочную волатильность сырьевых рынков.

## 2.2. Проверка второй гипотезы

Цель данного пункта – провести вычисления для проверки гипотезы о влиянии шоков на фондовых рынках на краткосрочную волатильность цен на сырьевых рынках.

2.2.1. Сбор данных для анализа

Поскольку в пункте 2.1.3. мы доказали, что эффект левериджа на сырьевых рынках появился после финансизации сырьевых рынков, для анализа влияния шоков на фондовых рынках (или фондовых шоков) на волатильность сырьевых рынков был взят период с 2004 года по 2022 год включительно. При выборе сырьевых активов для анализа мы опирались на методики сбора в некоторых исследованиях. Так, авторы [Gorton, Hayashi, and Rouwenhorst] приводят следующую классификацию товарных активов:

1. Металлы (metals)
2. Мягкие товары (softs)
3. Зерновые культуры (grains)
4. Энергоносители (energy)
5. Домашний скот (livestock)

Авторы [Christoffersen, Lunde, and Olesen] выбрали для анализа по 3 наиболее торгуемых товара каждой группы. Автор данной работы посчитал целесообразным использовать аналогичный подход к отбору товарных активов для анализа волатильности, поскольку при проверке первой гипотезы были выявлены общие стилизованные факты у сырьевых фьючерсов с «традиционными» финансовыми активами. Еще один такой стилизованный факт, или эмпирическое свойство волатильности, заключается в том, что волатильность положительно коррелирована с объемом торгов [Субботин, 2009, С. 97].

Итак, автором данной работы были выбраны по 3 наиболее торгуемых сырьевых фьючерса из каждой из пяти вышеупомянутых групп сырья. В таблице 3 приведена краткая характеристика выбранных для анализа фьючерсов.

1. Характеристика анализируемых фьючерсов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Название фьючерса | Тикер | Базовый актив | Классификация | Биржа |
| Crude Oil Brent | LCO | Сырая нефть марки Brent | Энергоносители | ICE – UK (Intercontinental Exchange) – международная сеть бирж |
| Crude Oil WTI | CL | Сырая нефть марки WTI (Light Sweet) | Энергоносители | NYMEX (Нью-Йоркская товарная биржа) |
| Natural Gas | NG | Природный газ | Энергоносители | NYMEX |
| Gold | GC | Золото | Металлы | COMEX – подразделение NYMEX |
| Silver | SI | Серебро | Металлы | COMEX |
| High Grade Copper | HG | Медь (высокопробная) | Металлы | COMEX |
| Soybeans | S | Соя | Зерновые культуры | CBOT – Чикагская торговая палата |
| Chicago Wheat | W | Пшеница | Зерновые культуры | CBOT |
| Corn | C | Кукуруза | Зерновые культуры | CBOT |
| Live Cattle | LC | Откормленный крупный рогатый скот | Живой скот | CME – Чикагская товарная биржа |
| Lean Hogs | LH | Свинина | Живой скот | CME |
| Feeder Cattle | FC | Крупный рогатый скот на откорм | Живой скот | CME |
| Sugar #11 | SB | Сахар | Мягкие товары | ICE – US |
| Cotton #2 | CT | Хлопок | Мягкие товары | ICE – US |
| Coffee | KC | Кофе | Мягкие товары | ICE – US |

Составлено по: [S&P Dow Jones Indices: S&P GSCI Methodology]

Данные дневных котировок с января 2004 по апрель 2022 года включительно были взяты из ранее уже упомянутой базы данных Stooq.

1. Характеристика наблюдаемых рыночных индексов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Индекс | Страны | Краткое описание |
| Standard & Poor’s (S&P) 500 E-Mini | США | Фьючерс на одну пятую стоимости индекса S&P 500, наиболее ликвидный инструмент, отражающий индекс широкого рынка, который включает в себя акции 500 наибольших по капитализации американских компаний |
| Nikkei 225 | Япония | Средневзвешенное значение цен акций 225 наиболее торгуемых японских компаний |
| MSCI Emerging Markets Index (MSCI-EMI) | Страны с наибольшим весом – Китай, Южная Корея, Тайвань, Индия, Бразилия | Индекс развивающихся рынков.  Индекс отражает ценные бумаги с крупной и средней капитализацией в 24 странах с развивающимся рынком.  Индекс, насчитывающий 1398 составляющих, охватывает примерно 85% рыночной капитализации, скорректированной на свободное обращение, в каждой стране. |
| MSCI indices for Europe, Australasia, and the Far East (MSCI-EAFE) | Страны с наибольшим весом – Япония, Великобритания, Франция, Швейцария, Австралия | Индекс отражает ценные бумаги с крупной, средней и малой капитализацией на 21 развитом рынке Европы, Австралии и Дальнего Востока, исключая США и Канаду. Индекс, насчитывающий 3179 составляющих, является  всеобъемлющим и охватывает примерно 99% рыночной капитализации с поправкой на свободное обращение в каждой из 21 страны. |

Составлено по: [Christoffersen P., 2019], [MSCI Emerging Markets Index (USD) | msci.com], [MSCI EAFE IMI (USD) | msci.com]

Чтобы проверить, как шоки на фондовых рынках влияют на волатильность цен на сырьевые фьючерсы, были выделены наиболее значимые на глобальном уровне фондовые индексы. Авторы [Christoffersen, P., Lunde, A., & Olesen, K.] выбрали аналогичные индексы в своей работе для анализа факторной структуры волатильности сырьевых фьючерсов. Были собраны данные дневных котировок фьючерсов ближайшей экспирации на приведенные в таблице 4 индексы с января 2004 по апрель 2022 года включительно. Данные были взяты также из базы Stooq. Следует отметить, что данные по фьючерсам на индексы MSCI-EMI и MSCI-EAFE доступны только с сентября 2009 года. Выбор представляется логичным, поскольку приведенные авторами индексы представляют фондовые рынки разных стран и частей света. Пожалуй, единственным, что есть общего между этими индексами, можно назвать Японию, рынок которой представлен как индексом Nikkei 225, так и, хоть и отчасти, индексом MSCI-EAFE для развитых рынков.

По всем 15 собранным сырьевым фьючерсам сначала была посчитана агрегированная волатильность по методу Гармана-Класса, чтобы посмотреть, как каждый из индексов влияет на сырьевой рынок в целом. Напомним формулу расчета (8) этой меры волатильности:

(8)

Где – это количественная характеристика дневной волатильности;

– цена открытия;

– максимальная цена;

– минимальная цена;

– цена закрытия

на день t.

Визуализация полученных значений представлена на рисунке 13. На графике хорошо видно кластеризацию волатильности с наиболее выраженными пиками около 2008 и 2020 года.



1. График значений агрегированной волатильности сырьевых активов по Гарману-Классу на периоде с 2004 по 2022 годы

Источник: расчеты автора в Stata

2.2.2. Описание и реализация метода

Чтобы выявить, являются ли шоки на фондовых рынках краткосрочным фактором высокой волатильности цен на сырьевых рынках, автор данной работы определял, как вела себя агрегированная волатильность по выбранным сырьевым фьючерсам в даты шоков, методом проверки параметрических гипотез. Если после наступления шока агрегированная волатильность (далее для краткости будем обозначать агрегированную волатильность по 15 сырьевым фьючерсам ) показывала статистически значимое увеличение, шок признавался фактором высокой волатильности. Далее описывается подробнее каждый этап реализации метода.

Для начала дадим определение шоков на фондовых рынках, какими их видит автор в рамках данного исследования.

*Шоки на фондовых рынках* – дни, в которые фьючерс на индекс n (n ϵ N, N = {1, 2, 3, 4}) ближайшей экспирации показывал резкое падение более, чем на 5%, или недельное падение более, чем на 8%.

По каждому из наблюдаемых фондовых индексов были выявлены даты шоков на периоде с 2004 по 2022 годы, то есть дни, в которые индекс n показывал доходность строго меньше -5%. В соответствии с выявленными датами по индексу n ряд агрегированной разбивался на выборки по 38 значений, в которые были включены значения 30 дней, предшествующих шоку (наподобие окна оценивания), значение в день шока (подобно дню события или нулевому дню) и значения семи дней после шока (подобно окну события). Отметим, что метод напоминает отдаленно event-study (событийный метод). Событийный метод в полном объеме здесь не мог использоваться, так как математически не доказано, можно ли получать избыточную волатильность, вычитая из реальной ожидаемую – такая операция возможна лишь с доходностями. В качестве условных «окон событий» брались промежутки времени от 1 до 7 дней после дня события, причем решено было не брать дни до нулевого дня, исходя из предположения о том, что невозможно обладать инсайдерской информацией о том, когда сырьевой рынок станет более волатильным.

Поскольку в ряде случаев, особенно в 2008 году, шоки на фондовых рынках наблюдались несколько раз в течение одной недели (это пять торговых дней), для точности расчетов при наличии нескольких шоков на определенной неделе было принято считать кумулятивную доходность за неделю, начиная с понедельника. День, в который кумулятивная доходность составляла -8% и менее, считался днем события (шока). Такое допущение было сделано, исходя из правила 8%, которое было основано автором книги по инвестициям [O'Neil, 2002]. Согласно этому правилу, инвестор не должен рисковать своими вложениями более чем на 8%, то есть если стоимость определенной акции в портфеле упадет на 8% от цены покупки, эту акцию следует продать и зафиксировать убыток, чтобы не допустить дальнейших потерь, поскольку, по утверждению автора, после падения на 8% акция уже не сможет восстановиться в прежней цене и вероятно продолжит снижение. Следовательно, предположим, что при недельном падении рынка на 8% начинаются панические распродажи, провоцирующие повышенную волатильность как на фондовом рынке, так и на сырьевых рынках. Подробнее о датах выявленных шоков по четырем фондовым рынкам в Приложении 3. В таблице 5 приводится информация о количестве выявленных шоков на каждом рассматриваемом индексе, а также период рассмотрения дневных данных по каждому фьючерсу на соответствующие индексы, в зависимости от доступности данных. Отметим, что по фьючерсам на индексы MSCI-EMI и MSCI-EAFE имелись дневные данные, начиная лишь с сентября 2009 года.

1. Количество выявленных шоков по рассматриваемым фондовым индексам

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Индекс | Выявлено шоков | Период |
| S&P 500 E-Mini | 17 | 02.01.2004 – 29.04.2022 |
| Nikkei 225 | 26 | 02.01.2004 – 29.04.2022 |
| MSCI-EMI | 10 | 10.09.2009 – 29.04.2022 |
| MSCI-EAFE | 7 | 10.09.2009 – 29.04.2022 |

Составлено по: расчеты автора в MS Excel

Далее рассматривался каждый шок для индекса n. Данные по агрегированной за 30 дней до шока, в день шока, а также за 7 дней после шока вместе рассматривались как генеральная совокупность, включающая в себя 38 значений. Для параметрических тестов необходимо два ключевых условия: генеральная совокупность распределена по нормальному закону, а случайные величины в ней независимы. Чтобы сделать предположение о нормальности вероятностного распределения генеральной совокупности для каждого шока на индексе n, были сложены координаты (значения , подобно сложению векторов, для всех дней шока на индексе n: от минус тридцатого дня (30 дней до шока) до седьмого дня (7 дней после шока[[3]](#footnote-4)). Получившиеся четыре выборки (по одной выборке на индекс) представляют из себя то же самое, что средние окна оценивания и средние окна события для всех шоков на индексе n. Результаты вычислений можно видеть на рисунках 14, 15, 16, 17. По этим рисункам уже можно видеть, какие индексы сильнее влияют на агрегированную волатильность по сырью, а какие почти не влияют. Так, на рисунке 13 видно, что после нулевого дня, соответствующего среднему шоку на индексе S&P 500, значения агрегированной волатильности в среднем показывали резкий рост в первые несколько дней после шока. Далее для каждой из четырех выборок в пакете Stata был построен стандартизированный график нормальной вероятности (график pnorm). Результаты представлены на рисунках 18, 19, 20, 21. Как видим, в целом для каждого из графиков можно сделать вывод, что распределение для среднего шока на каждом индексе близко к нормальному. Возможно, это может быть объяснено центральной предельной теоремой[[4]](#footnote-5). Поэтому нормальность распределения принимается как допущение в данном исследовании. Второе важное допущение: случайные величины в выборках являются независимыми.



1. График значений на окне для среднего шока на индексе S&P 500

Источник: расчеты автора в Stata



1. График значений на окне для среднего шока на индексе Nikkei 225

Источник: расчеты автора в Stata



1. График значений на окне для среднего шока на индексе MSCI-EMI

Источник: расчеты автора в Stata



1. График значений на окне для среднего шока на индексе MSCI-EAFE

Источник: расчеты автора в Stata



1. График pnorm для среднего шока на индексе S&P 500

Источник: расчеты автора в Stata



1. График pnorm для среднего шока на индексе Nikkei 225

Источник: расчеты автора в Stata



1. График pnorm для среднего шока на индексе MSCI-EMI

Источник: расчеты автора в Stata



1. График pnorm для среднего шока на индексе MSCI-EAFE

Источник: расчеты автора в Stata

Далее брались две выборки из этой генеральной совокупности: первая включала данные за 30 дней до шока, а вторая – данные за 7 дней после шока. Выдвигались гипотезы для двух выборок (окон оценивания и окон события), нулевая и альтернативная (Х):

(Х)

где – средняя агрегированная волатильность по сырьевым фьючерсам на периоде за 30 дней до шока,

– средняя агрегированная волатильность по сырьевым фьючерсам на периоде за 7 дней после шока.

Далее с помощью пакета MS Excel рассчитывалось p-value (вероятностное значение) для этих двух выборок. Это значение рассчитывается с использованием критерия Стьюдента и показывает, с какой вероятностью t-статистика попадает в область принятия основной гипотезы. Принимаем уровень значимости (1-α) в 5%. При таком уровне, если p-value больше 0.05 (или 5%), значит, t-статистика в области принятия гипотезы, и принимается нулевая гипотеза. Принятие нулевой гипотезы для конкретного шока означает, что данный шок не повлиял на волатильность на сырьевых рынках, и средняя волатильность до и после шока примерно одинакова. Если же p-value меньше 0.05, значит, t-статистика попадает в левостороннюю критическую область, и нулевая гипотеза отвергается, принимается альтернативная. Принятие альтернативной гипотезы означает, что данный шок на индексе n повлиял на волатильность на сырьевых рынках, и в среднем волатильность за 30 дней до шока меньше средней за 7 дней после шока. Иными словами, при принятии альтернативной гипотезы данный шок подтверждался как фактор повышенной краткосрочной волатильности на сырьевых рынках. Подробнее о значениях p-value для двух выборок по каждому шоку для каждого фондового индекса в Приложении 4.

2.2.3. Результаты и их интерпретация

Итак, методом, описанным в 2.2.2., были протестированы четыре фондовых индекса на предмет влияния на краткосрочную волатильность на сырьевых рынках. В таблице 6 собраны основные результаты по каждому индексу. Теперь проинтерпретируем полученные результаты. Отметим, что именно данные четыре фондовых индекса были выбраны для того, чтобы посмотреть, как сырьевой рынок (а именно волатильность на сырьевом рынке) реагирует на фондовые шоки в различных странах мира.

1. Результаты тестирования гипотез по влиянию рыночных шоков на волатильность на сырьевых рынках

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Процент значимых результатов | Среднее окно хеджирования |
| S&P 500 E-Mini | 76.47% | 3.1 дня |
| Nikkei 225 | 53.85% | 2.6 дня |
| MSCI-EMI | 50.00% | 1.8 дня |
| MSCI-EAFE | 57.14% | 3.7 дня |

Составлено по: расчеты автора в MS Excel

Процент значимых результатов показывает, какая часть выявленных шоков на фондовом индексе в результате подтверждения или опровержения гипотез оказалась факторами высокой краткосрочной волатильности на сырьевых рынках (процент принятия альтернативных гипотез на рассматриваемых окнах шоков). Видим, что по результатам, приведенным в таблице, можно сделать вывод, что наибольшая часть рыночных шоков, вызвавших краткосрочный всплеск волатильности на сырьевых рынках, приходится на индекс S&P 500 E-Mini. Следовательно, фондовый рынок США на 22.81% сильнее рынков других стран влияет на сырьевые рынки, и большинство шоков на рынке США вызывают краткосрочный всплеск волатильности на сырьевых рынках. Наименьшее влияние на сырьевую волатильность, судя по результатам в таблице 6, оказывают развивающиеся рынки (50% значимых результатов для MSCI-EMI). Это вполне логично, если учитывать, что многие развивающиеся рынки зависят от сырья, а не наоборот. Однако 50% – это довольно высокий результат, и он может быть объяснен частично последствиями финансизации, частично тем, что индекс развивающихся рынков MSCI-EMI более чем на 40% состоит из финансового и IT секторов [MSCI Emerging Markets Index, 2022]. Графически на данный результат можно посмотреть в Приложении 5, где на рисунках видно, что ряд агрегированной сырьевой волатильности на периоде после 2004 года по своему паттерну имеет много общего с рядом волатильности индекса широкого рынка США, и наоборот, видна сильная разница в поведении сырьевой волатильности и волатильности на других рынках, например, развивающихся (MSCI-EMI) и развитых, кроме США и Канады (MSCI-EAFE).

В таблице 6 также приведены средние окна хеджирования для шоков по каждому индексу. Эти окна были выявлены путем получения p-value последовательно для двух выборок: значений агрегированной сырьевой волатильности за 30 дней до шока и значений за 6, 5, 4, 3, 2 дня после шока соответственно. День после шока, когда p-value по-прежнему превышал 0.05, считался днем, в который шок на фондовом рынке еще не успел отразиться на сырьевой волатильности (так как принималась нулевая гипотеза о равенстве средних), и был назван *днем хеджирования.* Если два и более дней подряд после шока p-value оказывался больше 0.05, эти дни были названы *окном хеджирования.* Таким образом, окно хеджирования показывает, через сколько дней в среднем после шока на данном фондовом рынке начинает расти волатильность на сырьевых рынках. Отметим, что для шоков на индексе S&P 500 E-Mini окно хеджирования составляет в среднем 3.1 дня.

Таким образом, после финансизации наиболее интегрированным сырьевой рынок оказался с американским фондовым рынком. Чтобы посмотреть, какие из пяти групп сырья сильнее реагируют на шоки на фондовом рынке США, было проведено повторное тестирование второй гипотезы (метод описан в 2.2.2.), но уже для средней волатильности Гармана-Класса по каждой из групп сырьевых фьючерсов, классификация которых приведена в 2.2.1. Результаты по каждой из групп приведены в таблице 7.

1. Результаты тестирования гипотез по влиянию шоков на фондовом рынке США на волатильность разных групп сырьевых фьючерсов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Процент значимых результатов | Среднее окно хеджирования |
| Металлы | 76.47% | 2.23 дня |
| Мягкие товары | 47.06% | 2.75 дня |
| Зерновые культуры | 47.06% | 3 дня |
| Энергоносители | 58.82% | 3.1 дня |
| Домашний скот | 29.41% | 1.6 дня |

Составлено по: расчеты автора в Excel

Результаты показали, что наиболее подвержены влиянию американских фондовых шоков металлы – 76.47% значимых результатов. Величина процента совпала с результатами по всем 15 сырьевым фьючерсам (таблица 6). Вторая группа, для которой шоки на фондовых рынках США могут являться факторами высокой краткосрочной волатильности в 58.82% случаев в среднем – это энергоносители. На остальные же группы сырья шоки на рынке США влияют незначительно и, можно сказать, что почти не влияют на волатильность цен на домашний скот. Окно хеджирования для металлов в среднем составляет 2.23 дня, для энергоносителей – 3.1 дня.

Такие результаты нельзя назвать неожиданными, поскольку в группу металлов здесь включены драгоценные металлы, которые у инвесторов пользуются спросом как актив, защищающий от инфляции. Как известно, в кризисы инфляция растет, негативно отражаясь на фондовом рынке, вследствие чего растет спрос на драгоценные металлы. В краткосрочной перспективе, то есть на горизонте нескольких недель, всплеск спроса может провоцировать повышенную волатильность. Что касается энергоносителей, результат по этой группе сырьевых активов представляется интересным, поскольку может быть напрямую связан с последствиями финансизации.

## 2.3. Консолидированные результаты по всем гипотезам

Цель данного пункта – проинтерпретировать результаты по первой и второй гипотезам.

Напомним, какие гипотезы проверялись в данной работе.

*Гипотеза 1*. Финансизация сырьевых рынков оказала значимое влияние на долгосрочную волатильность сырьевых фьючерсов.

*Гипотеза 2.* Шоки на фондовых рынках приводят к краткосрочным всплескам волатильности на сырьевых рынках.

При проверке первой гипотезы использовалось моделирование условной гетероскедастичности по модели EGARCH для двух рядов логарифмированной доходности сырьевого индекса S&P GSCI. У двух получившихся моделей сравнивались параметры, указывающие на поведение волатильности. Выяснилось, что после финансизации (после 2004 года) волатильность на сырьевых рынках в целом выросла (на долгосрочном периоде моделирования) на 40%, приобрела такой стилизованный факт, как эффект левериджа, и теперь доходность сырья отрицательно коррелирована с волатильностью. Также эффект долгой памяти волатильности увеличился на 18% после финансизации.

При тестировании факторов краткосрочной волатильности были сделаны два важных допущения, также результаты тестирования являются усредненными. Эти факты можно отнести к недостаткам исследования краткосрочных факторов волатильности на сырьевых рынках. Однако причиной проведения исследования краткосрочной волатильности были результаты по первой гипотезе, которые подтвердили, что финансизация привела к изменению поведения волатильности на сырьевых рынках, которая к тому же выросла на долгосрочном периоде по сравнению с периодом до финансизации (до 2004 года). Эти результаты сподвигли автора данной работы на то, чтобы посмотреть, как такие изменения отражаются эмпирически на краткосрочной волатильности цен на сырье, из предположения о том, что фондовые рынки стали влиять на сырьевые рынки, а не только наоборот, и это явилось одним из главных последствий финансизации сырьевых рынков.

Согласно итогам проверки гипотезы о влиянии финансизации на волатильность сырьевых рынков, стоит подчеркнуть, что после финансизации появилась асимметричность волатильности (эффект левериджа), о которой можно судить по длинному ряду данных после финансизации, и у сырьевых инструментов появилось много общего с остальными («традиционными») финансовыми инструментами. Для того чтобы поближе рассмотреть, как работает эффект левериджа на «плохих новостях», мы протестировали гипотезу о шоках на фондовых рынках как факторах краткосрочного всплеска волатильности на сырьевых рынках.

Гипотеза о влиянии шоков на фондовых рынках на краткосрочную волатильность сырьевых рынков подтвердилась главным образом для шоков на фондовом рынке США: в среднем и при прочих равных 76.47% фондовых шоков вызывают всплеск волатильности на сырьевых рынках, после которого волатильность в среднем возвращается к своим прежним (средним до шока) уровням очень медленно (что согласуется с феноменом долгой памяти) и, как правило, долго не удерживается на возвращенном уровне, а продолжает постепенно расти, что подтверждает результаты проверки первой гипотезы о росте долгосрочной волатильности. Возможно, во время финансизации большинство институциональных инвесторов, пришедших на сырьевые рынки, было родом из США, и это объясняет, почему именно фондовый рынок США оказывает наибольшее влияние на волатильность сырьевых цен. Возможно, причина более глубокая – имела место глобализация финансовых рынков, при которой фондовый рынок США остается главным ориентиром развития остальных рынков мира. Результаты действительно любопытны и могут быть широко интерпретированы.

Отметим, что, по результатам исследования влияния шоков на фондовом рынке США на волатильность различных групп сырья, из всех групп сырья наиболее подвержены шокам как факторам высокой краткосрочной волатильности металлы и энергоносители. Эти же группы сырья мы можем назвать самыми популярными среди инвесторов со времен финансизации.

Выявленные окна хеджирования – результат сугубо усреднённый, однако в нем прослеживается практическое применение. В среднем и при прочих равных, у игроков сырьевых рынков есть 3.1 дня с момента наступления шока на фондовом рынке США, чтобы предпринять определённые действия в рамках своих стратегий, дабы избежать или уменьшить потенциальные потери от ожидаемого всплеска волатильности цен на сырьевые фьючерсы. Потери возможны, поскольку мы выявили наличие эффекта левериджа для волатильности на сырьевых рынках, и всплеск волатильности может привести к снижению доходности на краткосрочном периоде.

Следовательно, можно даже назвать шоки на фондовых рынках США своеобразным консолидированным индикатором факторов высокой волатильности цен на сырьевые фьючерсы. Почему консолидированным индикатором? Согласно исследованиям, шоки на фондовых рынках происходят под накопленным давлением множества факторов: макроэкономические показатели, новости, настроения инвесторов и т. д. Тогда, по свойству транзитивности, эти же факторы косвенно влияют на волатильность сырьевых активов. Причем такая транзитивность вряд ли имела бы место, если бы не финансизация: проникновение маркет-мейкеров и хедж-фондов на сырьевые рынки означало, что они добавили сырьевые активы в свои портфели, где уже были открыты позиции по фондовым рынкам. Возможно, произошло переложение стратегии по индексам на сырье, или наоборот, падение индексов вызывает у инвесторов эмоциональное желание отыграть падение на сырьевых рынках, если допускать возможность наличия эмоционального фона в действиях институциональных инвесторов, хотя в кризисы и шоки все возможно.

## Выводы

Итак, мы выполнили вторую часть задач данного исследования. Собрали данные, провели расчеты сначала по первой гипотезе, где мы использовали EGARCH модели для наблюдения того, как изменилось поведение волатильности после финансизации сырьевых рынков. Затем подвели ко второй гипотезе, чтобы исследовать поведение волатильности уже в условиях после финансизации на краткосрочном периоде, методом тестирования параметрических гипотез. Ключевые выводы из второй главы данной работы можно сформулировать следующим образом:

1. После финансизации сырьевых рынков, произошедшей в 2004 году, волатильность цен на сырьевых рынках обрела эффект левериджа, при котором волатильность отрицательно коррелирует с будущими доходностями
2. Волатильность на сырьевых рынках на долгосрочном периоде увеличилась на 40% после финансизации
3. Эффект долгой памяти волатильности на сырьевых рынках стал более выраженным на 18% после финансизации
4. Кластеризация была характерна для волатильности на сырьевых рынках как до, так и после финансизации сырьевых рынков
5. В среднем и при прочих равных, фондовый рынок США влияет на краткосрочную волатильность на сырьевых рынках на 22.81% сильнее фондовых рынков других стран
6. В среднем и при прочих равных, 76.47% шоков на фондовом рынке США являются факторами высокой волатильности на сырьевых рынках в краткосрочной перспективе
7. Окно хеджирования после шоков на фондовом рынке США в среднем равно 3.1 дня
8. Наиболее подверженными шокам на рынке США как краткосрочным факторам повышенной волатильности являются такие группы сырьевых фьючерсов, как металлы и энергоносители

Таким образом, были выявлены ключевые долгосрочные и краткосрочные факторы высокой волатильности цен на сырьевых рынках. Напомним ключевые определения.

Факторы высокой волатильности – причины резкого изменения цен на определенный финансовый инструмент, которые заключаются в прямом или косвенном влиянии со стороны определенных процессов или событий.

Долгосрочные факторы высокой волатильности – процессы, приводящие к относительно повышенной волатильности и имеющие влияние на длительном периоде времени.

Краткосрочные факторы высокой волатильности – события, приводящие к относительно кратковременному всплеску волатильности цен на финансовый инструмент.

Следовательно, финансизация сырьевых рынков в данной работе выступила как долгосрочный фактор, а шоки на фондовых рынках, главным образом США, являются краткосрочными факторами высокой волатильности цен на сырьевых рынках.

# Заключение

Целью данной работы являлось выявление ключевых факторов высокой волатильности цен на сырьевых рынках.

Таким образом, мы провели исследование ключевых факторов высокой волатильности на сырьевых рынках. Обращение к литературе позволило выявить ранее исследованные фундаментальные факторы, такие как спрос и предложение, затраты на хранение, а также некоторые экономические факторы, такие как процентные ставки. Также были поставлены гипотезы о финансизации сырьевых рынков как долгосрочном факторе, а также о влиянии шоков на фондовых рынках на краткосрочную волатильность на сырьевых рынках.

*Гипотеза 1*. Финансизация сырьевых рынков оказала значимое влияние на долгосрочную волатильность сырьевых фьючерсов.

*Гипотеза 2.* Шоки на фондовых рынках приводят к краткосрочным всплескам волатильности на сырьевых рынках.

Методом прогнозирования экспоненциальной авторегрессионной условной гетероскедастичности были построены EGARCH модели для двух рядов сырьевого индекса S&P GSCI, являющегося репрезентативным индикатором состояния сырьевых рынков. В результате сравнение параметров EGARCH моделей, построенных для периодов до и после финансизации, показало, что финансизация действительно принесла новую реальность на сырьевые рынки:

* После финансизации для волатильности на сырьевых рынках стал характерен эффект левериджа, то есть отрицательные доходности вызывают повышенную волатильность
* По характеристикам волатильность на сырьевых рынках после финансизации приобрела общие стилизованные факты с волатильностью других финансовых активов, в частности, феномен долгой памяти волатильности (эффект увеличился на 18%), заключающийся в медленно убывающей автокорреляционной функции абсолютных доходностей
* После финансизации сырьевых рынков долгосрочная волатильность цен на сырьевых рынках увеличилась на 40%

Подтверждение первой гипотезы позволило расширить взгляд на роль финансизации в изменении поведения волатильности на сырьевых рынках. С приходом на сырьевые рынки огромного количества институциональных инвесторов фондовые и сырьевые рынки могли стать в какой-то мере связанными (или интегрированными) между собой. Если имеет место эффект левериджа для волатильности цен на сырьевые фьючерсы, значит, отрицательные новости приводят к повышенной волатильности на сырьевых рынках. Если те же отрицательные новости и, как следствие, соответствующий сентимент инвесторов приводят к шокам на фондовых рынках, эти шоки могут отразиться и на поведении волатильности на сырьевых рынках. Таким образом, была поставлена следующая гипотеза: шоки на фондовых рынках вызывают краткосрочный всплеск волатильности на сырьевых рынках. Были взяты для анализа наиболее ликвидные сырьевые фьючерсные контракты для пяти групп сырья и наиболее репрезентативные на международном уровне фондовые индексы. В результате, в среднем и при прочих равных, гипотеза подтвердилась, и с ее подтверждением были получены дополнительные выводы:

* Американский фондовый рынок на 22.81% сильнее фондовых рынков других стран влияет на краткосрочную волатильность на сырьевых рынках, которая остается повышенной в среднем в течение 1–2 недель
* В среднем и при прочих равных, 76.47% шоков на фондовом рынке США являются факторами высокой волатильности на сырьевых рынках в краткосрочной перспективе
* Выявлены окна хеджирования – периоды после возникновения шоков на фондовых рынках, на которых шок еще «не успевал» переноситься на сырьевые рынки. Среднее окно хеджирования после шоков на фондовом рынке США составило 3.1 дня
* Наиболее подверженными шокам на рынке США как краткосрочным факторам повышенной волатильности являются такие группы сырьевых фьючерсов, как металлы (подвержены на 76.47%) и энергоносители (на 58.82%)

Таким образом, цель работы была достигнута – были выявлены ключевые долгосрочные и краткосрочные факторы высокой волатильности цен на сырьевых рынках. Поставленные в работе задачи для достижения указанной цели были также в полной мере выполнены.

С началом финансизации было принято считать, что включение сырьевых активов в портфель повышает его диверсификацию, однако исследования также показывают, что в периоды краткосрочных шоков, таких, как падения индексов в кризис, такая диверсификация работает хуже или вообще перестает работать. Это происходит из-за того, что скачок волатильности на сырьевых рынках часто сопровождается падением цен и, соответственно, доходности сырьевых фьючерсов. В результате игроки сырьевых рынков зачастую терпят убытки или потерю доходности на довольно длительном промежутке времени, что объясняется одновременно эффектом левериджа и долгой памятью волатильности. Следовательно, необходимо разработать дополнительные меры хеджирования рисков в моменты шоков.

Результаты данной работы, по мнению автора, могут быть практически полезны для следующих заинтересованных сторон:

1. Выявление окон хеджирования дает возможность институциональным инвесторам и управляющим хедж-фондами выиграть время, чтобы быстро отреагировать на фондовые шоки и снизить риск просадки по открытым позициям в сырьевых активах, или отыграть потери от фондовых шоков – в зависимости от инвестиционной стратегии. Ведь повышенная волатильность – это повышенный риск, но также повышенная риск-премия.
2. Производители различных видов сырья, а также связанных непосредственно с сырьем товаров смогут глубже понять поведение цен на сырье и при необходимости обратиться к дополнительным инструментам хеджирования, например, к сырьевым опционам
3. Исследователям новых методов хеджирования для производителей будет полезно узнать о влиянии фондовых шоков или финансовых кризисов на волатильность сырьевых товаров. Поскольку фондовых шоков со временем не становится меньше, а волатильность цен на сырье со временем только повышается, возникает потребность в новых мерах или инструментах хеджирования

Простор для исследований волатильности на сырьевых рынках остается широким. Разработка новых методов и моделей хеджирования, страхующих от наступления шоков, особенно актуальна, поскольку невозможность избежать повышенного риска торговлей сырьевыми товарами не отменяет их критически важную роль в функционировании как развивающихся, так и развитых рынков по всему миру.

# Список использованной литературы

1. [Индекс страха на фондовом рынке: кто и как зарабатывает на нервозности инвесторов [Электронный ресурс] // РБК Инвестиции](https://quote.rbc.ru/news/training/5dd2c5f49a79479921d26cc9?). — Режим доступа: <https://quote.rbc.ru/news/training/5dd2c5f49a79479921d26cc9> (дата обращения: 28.04.2022)
2. Лукашов А. В. Управление ценовыми рисками на сырьевые товары (commodities) для нефинансовых корпораций (ч. 1) // Управление финансовыми рисками. – 2006. – №. 02 (06). – С. 166–189.
3. Субботин А. В. Моделирование волатильности: от условной гетероскедастичности к каскадам на множественных горизонтах // Прикладная эконометрика. – 2009. – №. 3 (15). – С. 94–138.
4. Тимиркаев Д. А. Моделирование волатильности финансовых инструментов с помощью GARCH-моделей // Управление финансовыми рисками. – 2010. – №. 1. – С. 56–64.
5. Aboura S., Wagner N. Extreme asymmetric volatility: Stress and aggregate asset prices // Journal of International Financial Markets, Institutions and Money. – 2016. – Т. 41. – С. 47-59.
6. Adkins L. C. Using Stata for principles of econometrics / L. C. Adkins, R. C. Hill. – 4th ed. – Wiley Global Education, 2011. – 611 p.
7. Będowska-Sójka B., Kliber A. Information content of liquidity and volatility measures // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2021. – Т. 563. – С. 125436.
8. Bosch D., Smimou K. Traders’ motivation and hedging pressure in commodity futures markets // Research in International Business and Finance. – 2022. – Т. 59. – С. 101529.
9. Brooks C. Introductory Econometrics for Finance / C. Brooks – 3d ed. – Cambridge University Press, 2004. – 716 p.
10. Carmona R. Financialization of the commodities markets: A non-technical introduction // Commodities, Energy and Environmental Finance. – Springer, New York, NY, 2015. – С. 3-37.
11. Chang C. L., McAleer M. The correct regularity condition and interpretation of asymmetry in EGARCH // Economics Letters. – 2017. – Т. 161. – С. 52-55.
12. Christoffersen P., Lunde A., Olesen K. V. Factor structure in commodity futures return and volatility // Journal of Financial and Quantitative analysis. – 2019. – Т. 54. – №. 3. – С. 1083-1115.
13. Fantacci L., Marcuzzo M. C., Sanfilippo E. Speculation in commodities: Keynes’ “practical acquaintance” with futures markets // Journal of the history of economic thought. – 2010. – Т. 32. – №. 3. – С. 397-418.
14. Fortenbery T. R. Discussion: commodity price discovery: problems that have solutions or solutions that are problems // Journal of Agricultural and Applied Economics. – 2009. – Т. 41. – №. 2. – С. 393-402.
15. Gruber J. W., Vigfusson R. J. Interest rates and the volatility and correlation of commodity prices // Macroeconomic Dynamics. – 2018. – Т. 22. – №. 3. – С. 600-619.
16. Hamilton J. D., Wu J. C. Effects of index‐fund investing on commodity futures prices // International economic review. – 2015. – Т. 56. – №. 1. – С. 187-205.
17. Igan D. et.al. Commodity market disruptions, growth, and inflation – BIS Bulletin №54, 2022 [Электронный ресурс] // Bank for International Settlements. – Режим доступа: <https://www.bis.org/publ/bisbull54.htm> (дата обращения: 03.05.2022)
18. Meilijson I. The Garman-Klass volatility estimator revisited // arXiv preprint arXiv:0807.3492. – 2008.
19. Memon B. A., Yao H., Naveed H. M. Examining the efficiency and herding behavior of commodity markets using multifractal detrended fluctuation analysis. Empirical evidence from energy, agriculture, and metal markets // Resources Policy. – 2022. – Т. 77. – С. 102715.
20. MSCI EAFE IMI (USD) [Электронный ресурс] // MSCI Brochure. — Режим доступа: <https://www.msci.com/documents/10199/e89fc533-bc1c-4ee4-ba13-a33294a7b28a> (дата обращения: 11.05.2022)
21. MSCI Emerging Markets Index (USD) [Электронный ресурс] // MSCI Brochure. — Режим доступа: <https://www.msci.com/documents/10199/c0db0a48-01f2-4ba9-ad01-226fd5678111> (дата обращения: 10.05.2022)
22. Nelson D. B. Conditional heteroskedasticity in asset returns: A new approach // Econometrica: Journal of the Econometric Society. – 1991. – С. 347-370.
23. O'Neil W. J., Ryan C. How to make money in stocks: A winning system in good times or bad. – New York: McGraw-Hill, 2002. – С. 266.
24. S&P Dow Jones Indices: S&P GSCI Methodology [Электронный ресурс] // S&P Dow Jones Indices. — Режим доступа: <https://www.spglobal.com/spdji/en/documents/methodologies/methodology-sp-gsci.pdf>
25. Stooq Database [Электронный ресурс] // Stooq. — Режим доступа: <https://stooq.com/> (дата обращения: 29.04.2022).
26. Szymanowska M. et al. An anatomy of commodity futures risk premia // The Journal of Finance. – 2014. – Т. 69. – №. 1. – С. 453-482.

# Приложения

## Приложение 1. Состав индекса S&P GSCI на 2022 год

1. Состав индекса S&P GSCI на 2022 год

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Сектор | Сырьевой фьючерс | Биржа | Тикер | Вес в S&P – GSCI |
| Энергоносители | Сырая нефть марки WTI | NYM / ICE | CL | 20.34% |
| Топочный мазут | NYM | HO | 3.50% |
| RBOB Бензин | NYM | RB | 4.34% |
| Сырая нефть марки Brent | ICE – UK | LCO | 17.19% |
| Дизельное топливо | ICE – UK | LGO | 4.78% |
| Природный газ | NYM / ICE | NG | 3.33% |
| Промышленные металлы | Алюминий | LME | MAL | 4.18% |
| Медь | LME | MCU | 5.80% |
| Никель | LME | MNI | 1.00% |
| Свинец | LME | MPB | 0.66% |
| Цинк | LME | MZN | 1.08% |
| Драгоценные металлы | Золото | CMX | GC | 5.33% |
| Серебро | CMX | SI | 0.64% |
| Сельскохозяйственные товары | Чикагская пшеница | CBT | W | 3.64% |
| Канзасская пшеница | KBT | KW | 1.40% |
| Кукуруза | CBT | C | 6.54% |
| Соя | CBT | S | 4.64% |
| Кофе | ICE – US | KC | 0.83% |
| Сахар | ICE – US | SB | 1.81% |
| Какао | ICE – US | CC | 0.36% |
| Хлопок | ICE – US | CT | 1.26% |
| Живой скот | Свинина | CME | LH | 2.36% |
| Откормленный крупный рогатый скот | CME | LC | 3.76% |
| Крупный рогатый скот на откорм | CME | FC | 1.25% |

Составлено по: [S&P Dow Jones Indices: S&P GSCI Methodology, 2022, С. 26]

## Приложение 2. Вывод итогов об EGARCH-моделях в Stata

Ниже приведен рисунок 22, на котором можно увидеть полный вывод итогов EGARCH-модели для доходности фьючерса на GSCI на периоде с 1994 по 2003 года включительно, и за ним рисунок 23, на котором представлен полный вывод итогов EGARCH-модели для доходности фьючерса на GSCI после 2004 года.



1. Вывод итогов EGARCH-модели в Stata для данных до 2004 года



1. Вывод итогов EGARCH-модели в Stata для данных после 2004 года

## Приложение 3. Даты шоков по четырем исследуемым фондовым индексам

1. Даты шоков для фьючерса на MSCI-EMI

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Дата | Величина шока |
| 1 | 20 May 2010 | -5.03% |
| 2 | 8 Aug 2011 | -15.24% |
| 3 | 22 Sep 2011 | -7.58% |
| 4 | 30 Sep 2011 | -5.43% |
| 5 | 9 Nov 2011 | -5.98% |
| 6 | 20 Jun 2013 | -5.47% |
| 7 | 24 Jun 2016 | -6.29% |
| 8 | 12 Mar 2020 | -17.83% |
| 9 | 27 Mar 2020 | -5.92% |
| 10 | 11 Jun 2020 | -5.46% |

Составлено по: stooq.com (база данных), вычисления лог. доходности в MS Excel

1. Даты шоков для фьючерса S&P 500 E-Mini

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Дата | Величина шока |
| 1 | 15.09.2008 | -5.20% |
| 2 | 29.09.2008 | -8.50% |
| 3 | 07.10.2008 | -9.58% |
| 4 | 09.10.2008 | -6.70% |
| 5 | 15.10.2008 | -11.82% |
| 6 | 24.10.2008 | -11.08% |
| 7 | 05.11.2008 | -5.88% |
| 8 | 19.11.2008 | -9.73% |
| 9 | 01.12.2008 | -9.18% |
| 10 | 20.01.2009 | -5.17% |
| 11 | 17.02.2009 | -5.07% |
| 12 | 08.08.2011 | -7.53% |
| 13 | 24.08.2015 | -5.15% |
| 14 | 05.02.2018 | -5.56% |
| 15 | 27.02.2020 | -5.05% |
| 16 | 12.03.2020 | -18.27% |
| 17 | 11.06.2020 | -5.67% |

Составлено по: stooq.com (база данных), вычисления лог. доходности в MS Excel

1. Даты шоков для фьючерса на Nikkei 225

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Дата | Величина шока |
| 1 | 10.05.2004 | -5.09% |
| 2 | 22.09.2008 | -5.01% |
| 3 | 29.09.2008 | -7.76% |
| 4 | 06.10.2008 | -7.86% |
| 5 | 15.10.2008 | -10.85% |
| 6 | 22.10.2008 | -9.18% |
| 7 | 27.10.2008 | -6.00% |
| 8 | 06.11.2008 | -8.96% |
| 9 | 19.11.2008 | -7.88% |
| 10 | 01.12.2008 | -9.28% |
| 11 | 10.02.2009 | -5.21% |
| 12 | 06.05.2010 | -7.71% |
| 13 | 14.03.2011 | -6.29% |
| 14 | 08.08.2011 | -6.81% |
| 15 | 23.05.2013 | -5.76% |
| 16 | 05.06.2013 | -5.24% |
| 17 | 08.07.2015 | -5.64% |
| 18 | 24.08.2015 | -5.81% |
| 19 | 01.09.2015 | -5.55% |
| 20 | 28.04.2016 | -6.35% |
| 21 | 24.06.2016 | -7.36% |
| 22 | 05.02.2018 | -7.08% |
| 23 | 09.03.2020 | -8.31% |
| 24 | 16.03.2020 | -10.13% |
| 25 | 01.04.2020 | -5.78% |
| 26 | 11.06.2020 | -5.22% |

Составлено по: stooq.com (база данных), вычисления лог. доходности в MS Excel

1. Даты шоков для фьючерса на MSCI EAFE

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Дата | Величина шока |
| 1 | 8 Aug 2011 | -14.06% |
| 2 | 31 Oct 2011 | -5.60% |
| 3 | 9 Nov 2011 | -5.47% |
| 4 | 24 Jun 2016 | -9.18% |
| 5 | 9 Mar 2020 | -8.06% |
| 6 | 16 Mar 2020 | -10.76% |
| 7 | 11 Jun 2020 | -5.66% |

Составлено по: stooq.com (база данных), вычисления лог. доходности в MS Excel

## Приложение 4. Значения p-value для выборок ν

В таблице 13 приведены значения p-value, соответствующие каждой паре из двух выборок агрегированной волатильности, образованной вокруг каждого шока на рассматриваемых четырех фондовых индексах.

1. Значения p-value для выборок ν по всем шокам для каждого индекса

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № шока | S&P 500 E-Mini | Nikkei 225 | MSCI-EMI | MSCI-EAFE |
| 1 | 0.040471 | 0.396325421 | 0.054526949 | 0.054526949 |
| 2 | 0.000027371 | 0.313082958 | 0.444102556 | 0.000122732 |
| 3 | 0.000005758 | 0.005078296 | 0.000001250 | 0.000000017 |
| 4 | 0.000016709 | 0.054526949 | 0.024028200 | 0.024028200 |
| 5 | 0.002451007 | 0.203402563 | 0.440993077 | 0.128436728 |
| 6 | 0.000796187 | 0.014179117 | 0.128436728 | 0.095689704 |
| 7 | 0.116738074 | 0.388209731 | 0.171086365 | 0.474630732 |
| 8 | 0.040713908 | 0.061930383 | 0.000001456 |  |
| 9 | 0.213925124 | 0.436130678 | 0.474630732 |  |
| 10 | 0.000000160 | 0.349460546 | 0.036878102 |  |
| 11 | 0.021232407 | 0.009780515 |  |  |
| 12 | 0.003151836 | 0.033392586 |  |  |
| 13 | 0.474630732 | 0.162097582 |  |  |
| 14 | 0.349460546 | 0.474630732 |  |  |
| 15 | 0.003151836 | 0.491461702 |  |  |
| 16 | 0.000001250 | 0.024028200 |  |  |
| 17 | 0.054526949 | 0.112192739 |  |  |
| 19 |  | 0.000027371 |  |  |

1. Значения p-value для выборок ν по всем шокам для каждого индекса (продолжение)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 20 |  | 0.000005758 |  |  |
| 21 |  | 0.040713908 |  |  |
| 22 |  | 0.000000017 |  |  |
| 23 |  | 0.116738074 |  |  |
| 24 |  | 0.000421737 |  |  |
| 25 |  | 0.213925124 |  |  |
| 26 |  | 0.002451007 |  |  |
| 27 |  | 0.000122732 |  |  |

Составлено по: расчеты автора в Excel

## Приложение 5. Графическое сравнение поведения волатильности на сырьевых и фондовых рынках



1. Волатильность Гармана-Класса для сырья в сравнении с волатильностью индекса S&P 500 E-Mini

Источник: расчеты автора в Stata



1. Волатильность Гармана-Класса для сырья в сравнении с волатильностью индекса Nikkei 225

Источник: расчеты автора в Stata



1. Волатильность Гармана-Класса для сырья в сравнении с волатильностью индекса MSCI-EMI

Источник: расчеты автора в Stata



1. Волатильность Гармана-Класса для сырья в сравнении с волатильностью индекса MSCI-EAFE

Источник: расчеты автора в Stata

1. [Индекс страха на фондовом рынке: кто и как зарабатывает на нервозности инвесторов [Электронный ресурс] // РБК Инвестиции](https://d.docs.live.net/5e3362beb0c2cd4b/Документы/GSOM/Диплом/Индекс%20страха%20на%20фондовом%20рынке:%20кто%20и%20как%20зарабатывает%20на%20нервозности%20инвесторов%20%5bЭлектронный%20ресурс%5d%20/%20РБК%20Инвестиции). — Режим доступа: <https://quote.rbc.ru/news/training/5dd2c5f49a79479921d26cc9> (дата обращения: 28.04.2022) [↑](#footnote-ref-2)
2. Stooq Database [Электронный ресурс] // Stooq. — Режим доступа: <https://stooq.com/> (дата обращения: 29.04.2022). [↑](#footnote-ref-3)
3. Например, для шока i=1 суммировалась с для шока i=2, и так далее. [↑](#footnote-ref-4)
4. При размере выборки n больше 30, распределение выборочной средней близко к нормальному. [↑](#footnote-ref-5)