

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»

На правах рукописи

Аганин Артем Давидович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛАТИЛЬНОСТИ ФИНАНСОВЫХ  
ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПРИ ПОМОЩИ МНОГОМЕРНЫХ  
GARCH И HAR МОДЕЛЕЙ**

**РЕЗЮМЕ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук

Научный руководитель:  
профессор, доктор экономических наук  
Пересецкий Анатолий Абрамович  
JEL: C58

Москва – 2020

## Актуальность исследования

Волатильность является важным финансовым показателем на финансовых рынках. Обычно под волатильностью принято понимать величину, описывающую изменчивость цены актива. Волатильность представляет большой интерес для инвесторов с точки зрения рисков инвестирования в тот или иной рынок или актив. Хотя волатильность не может быть рассчитана напрямую, существует множество методов ее оценки. Для описания свойств и предсказания волатильности существует множество различных моделей, разрабатываемых на протяжении порядка сорока лет, и множество работ посвящено исследованию свойств этих моделей. Одними из наиболее популярных на протяжении долгого времени является семейство GARCH моделей. Основной особенностью этих моделей является то, что они рассматривают волатильность как ненаблюдаемую величину. Одновременно GARCH модели способны моделировать некоторые важные эмпирические особенности волатильности, чем и объясняется их популярность. Помимо семейства GARCH моделей в литературе предлагается использование других семейств, таких как ARFIMA, MIDAS, модель Хестона и др. В качестве наблюдаемого приближения волатильности в качестве прогнозной силы в литературе и на практике широко используется «реализованная волатильность», которая получила широкое применение с появлением высокочастотных внутридневных данных котировок цен. Это связано с тем, что реализованная волатильность является состоятельной оценкой ненаблюдаемой волатильности. После того как Corsi (2009) предложил новое семейство HAR-RV моделей, появилось много работ с различными модификациями этой модели, а также сравнения моделей этого семейства с единичными представителями уже существующих семейств по их вневыборочной прогнозной силе. В литературе вневыборочные в целом

демонстрирующие превосходство HAR-RV моделей над другими семействами. Сравнение моделей по вневыборочной прогнозной силе связано с невозможностью гарантировать результаты превосходства тех или иных моделей на новых данных. Сравнения, когда все модели должны предсказывать будущие значения, которые они еще не видели должны быть более информативными и не страдать от чрезмерного подгона имеющихся данных большим количеством параметров.

После изучения свойств RV оценок интерес к ним вырос и применение RV оценок вышли за пределы HAR-RV моделей. Так, оно из недавних направлений моделирования и прогнозирования волатильности связано с моделирования “rough” волатильности, появившееся после статьи (Gatheral et al., 2014).

Популярным объектом исследований по волатильности является обнаружение эффектов перетекания (“spillover”) волатильности с одного рынка на другими. Такие исследования посвящены связи рынков товаров, фондовых рынков, волатильностей макропоказателей разных стран. В таких исследованиях большой популярностью пользуются многомерные BEKK-GARCH и DCC модели, не использующие внутридневные котировки. Это связано как с отсутствием необходимости использовать внутридневные данные, так и с отсутствием развития новых направлений моделирования таких эффектов. Эти модели используются с целью определения наличие значимого эффекта перетекания волатильности или же прогнозирования волатильности, но при этом не пригодны для большинства более сложных задач. Например, что, если мы заинтересованы не в определении наличия самого эффекте перетекания, а в изучении влияния различных факторов на волатильность показателя, включая волатильность на других рынках? Теоретически, логическим шагом могло бы быть включение таких факторов в уравнение BEKK-GARCH модели. Однако BEKK-GARCH модели и так содержат большое количества

параметров, которые тяжело оценивать при помощи численных методов, из-за чего исследователи начали чаще использовать DCC модели, лишенные такой проблемы. Другая проблема заключается в неинтерпретируемости результатов оценивания многомерных моделей волатильности. Поскольку динамика волатильности в таких модели представлена в виде произведения матриц, то количественное интерпретируемое оценивание влияния факторов не представляется возможным. Таким образом, традиционный подход многомерных моделей не подходит для оценивания количественного и качественного эффектов от набора факторов.

### *Степень проработанности проблемы*

В данной диссертации ставилась задача оценить влияние волатильности цен нефти, санкций и других макроэкономических показателей на волатильность обменного курса и волатильность российского фондового рынка. Стоит отметить, что сам факт наличия эффекта перетекания волатильности цен нефти на российский рынок является хорошо изученным при помощи ВЕКК моделей. Однако в связи с кризисом на Украине и последующим введением санкций против Российской Федерации эффект от волатильности нефти и санкций начиная с 2014 года требуется моделировать совместно. Это не представляется возможным в рамках традиционно используемых моделей перетекания волатильности.

В частности, известным в литературе является вопрос влияния цены нефти на фондовые индексы нефтеэкспортирующих и нефтеимпортирующих стран и аналогичный по сути вопрос влияния волатильности цен нефти на волатильность фондовых индексов этих стран. Так, в работе (Basher et al., 2018) обнаружено значимое влияние шоков спроса/предложения нефти на фондовые рынки нефтеэкспортирующих

стран, хотя влияние и различается по странам. (Wang et al., 2018) показали наличие предсказательной силы волатильности нефти при краткосрочном предсказании волатильности доходностей фондового индекса США S&P500. В работе (Gomes, Chaibi, 2014) авторы проанализировали наличие эффектов трансмиссии шоков и волатильности между фондовыми рынками 23 слабо развивающихся стран и ценой на нефть при помощи модели BEKK-GARCH. В результате было обнаружено наличие эффекта трансмиссии волатильности нефти на фондовые рынки некоторых таких стран. Стоит выделить работу (Degiannakis, et al., 2018), в которой обобщены результаты множества исследований, посвященных двум данным вопросам на основе данных развивающихся и развитых стран мира. На основании анализа этих результатов авторы приходят к выводу о влиянии цен нефти на фондовые индексы нефтеэкспортирующих стран и обнаружении аналогичного влияния для волатильностей этих показателей, а также о наличии обратного влияния на американском рынке. При этом, положительные изменения цены нефти приводят к отрицательным доходностям индексов стран-импортеров, а отрицательные изменения цены нефти к положительным доходностям индексов стран-экспортеров.

Аналогичные исследования появляются и про Россию, поскольку она является одним из крупнейших экспортеров нефти в мире, а нефть является важной составляющей экономики РФ. В 2018 г. экспорт нефти и нефтепродуктов составил 45.8% от общего экспорта РФ по данным Федеральной таможенной службы России. Например, в работе (Živkov et al., 2018) было проанализировано наличие эффекта перетекания (spillover effect) волатильности между рынком товаров (в том числе нефти) и индексом РТС за период 2001-2016 гг. На основании полученных результатов авторы также пришли к выводу об усилении этого эффекта в кризисные периоды и ослаблении в спокойные периоды. В работе (Lozinskaia, Saltykova, 2019) авторы обнаружили изменчивость влияния цен

нефти и других макроэкономических факторов на индекс МосБиржи (МОЕХ) на интервале 2003-2018 гг. Согласно результатам (Izatov A., 2015) на интервале 1995-2015 гг. рост цен на нефть и девальвация значительно влияют на экономическую активность в Российской Федерации.

Вскоре после введения санкций со стороны США и Европы против РФ в 2014 году начали появляться работы, анализирующие на примере РФ влияние санкций на те или иные сегменты экономики страны, а также на ее макроэкономические показатели. В работе (Kholodilin, Netšunajev, 2019), проанализировав влияние нефти и санкций на экономики РФ и Европы на квартальных данных за 1997-2015 гг., авторами было обнаружено значимое негативное влияние санкций на темпы роста ВВП РФ. Tuzova и Qayub (2016), проанализировав влияние нефти и санкций, пришли к выводу о том, что резкое падение цен на нефть в 2014 было главной причиной падения макроэкономических индикаторов РФ.

Так как введение санкций привело к оттоку инвестиций иностранных инвесторов из России, то это должно было оказать влияние на весь фондовый рынок. Например, в работе (Rubtsov, Annenskaya, 2018) авторы анализируют факторы, оказывающие влияние на фондовый рынок РФ за 2000-2017 гг., и приходят к выводу, что наибольшее влияние на фондовый рынок начиная с 2014 года по 2017 год оказывали санкции. В работе (Ahn, Ludema, 2019) авторы проанализировали влияние индивидуальных санкций, направленных на конкретные компании на примере РФ за период 2012-2016 гг. Они пришли к выводу, что индивидуальные санкции оказались эффективными против конкретных компаний по сравнению с компаниями, против которых не были введены санкции. Naidenova и Novikova (2018), проанализировав влияние санкций 2014-2016 гг. обнаружили, что эффект от индивидуальных санкций США на российские компании, торгуемые на фондовом рынке РФ, оказался сильнее по сравнению с эффектом от индивидуальных санкций Европы.

Поскольку на 2019 год РФ все еще находится под действием санкций, вопрос их влияния остается актуальным. Стоит отметить, что обнаруженные исследования массово рассматривали период до 2016 года, после чего интерес к анализу влияния санкций значительно уменьшился. Для оценивания эффекта санкций в контексте волатильностей стоит необходимость моделирования волатильности российского фондового рынка, обменного курса USDRUB и волатильности цен на нефть, а также моделирования вида зависимости между ними.

Поскольку в данной работе важное место занимает задача моделирования волатильности, то сначала стоит задуматься об используемом подходе и семействе моделей. В связи с этим логично выполнить сравнение моделей волатильности и воспользоваться наилучшим. В литературе сравнение семейств моделей волатильности зачастую представлено сравнениями небольшого набора отдельных представителей. Например, (Mastro, 2014) обнаружили, что простейшая HAR-RV модель превосходит модели GARCH(1,1) и EGARCH(1,1). Однако сравнение большого количества моделей разных семейств на большом наборе данных не выполнялось для выявления статистически значимого превосходства одних моделей над другими. Помимо этого, подобные исследования не выполнялись на данных российских фондовых активов.

### ***Объект и предмет исследования***

Объектом диссертационного исследования является волатильность фондового рынка и обменного курса USDRUB как индикаторов состояния экономики РФ. Предмет исследования составляет применимость подходов к моделированию и прогнозированию волатильности на данных российского фондового рынка, а также влияние санкций и волатильности нефти на волатильность фондового рынка и обменного курса. Внимание было уделено фондовому рынку РФ, поскольку он напрямую должен быть

зависим от цены на нефть и санкций, направленных как на сектора экономики РФ, так и на отдельные компании. Также было проанализировано влияние нефти и санкций на волатильность обменного курса, который продемонстрировал значительное падение в постсанкционный период.

### ***Цель и задачи исследования***

Целью диссертационного исследования является моделирование, оценка волатильности фондовых активов российского фондового рынка, а также поиск факторов, влияющих на волатильности обменного курса USDRUB и фондового индекса RTSI. Задачи включают в себя:

- сформулировать спецификации одномерных GARCH, HAR и ARFIMA моделей как подходов к моделированию волатильности;
- реализовать процедуры оценивания этих моделей;
- сравнить эти подходы к моделированию волатильности;
- оценить волатильности обменного курса USDRUB, цен на нефть Brent, фондового индекса RTSI при помощи параметрического и непараметрического подходов;
- определить набор потенциальных факторов, оказывающих влияние на волатильности RTSI и USDRUB, таких как санкции и политика ЦБ;
- смоделировать влияние санкций;
- проанализировать возможность применения многомерных моделей волатильности, а также стандартных регрессионных методов к оцениванию влияния выбранных факторов;
- построить соответствующие регрессии и сделать выводы о наличии и виде влияния санкций и нефти на волатильности RTSI и USDRUB.

### **Методы исследования и данные**



В работе использованы методы анализа временных рядов, моделирования волатильности и эконометрического анализа. Оценивание моделей было проведено с помощью языка программирования для статистических расчетов R (R Core Team, 2019) и пакета для статистических расчетов Eviews.

Задача сравнения моделей волатильности состояла в оценке волатильности и сравнение прогнозной силы модели по прогнозной силе. Всего для эмпирического сравнения были взяты 88 GARCH моделей, 10 HAR-RV моделей, а также четыре ARFIMA модели.

Сравнение выполнялось на данных котировок 10 важных российских фондовых активов: акциях алмазодобывающей компании «АЛРОСА» (ALRS), акциях энергетической корпорации «Газпром» (GAZP), горно-металлургической компании «Норникель» (GNWK), нефтяной компании «ЛУКОЙЛ» (LKOH), композитный фондовый индекс ММВБ (MICEX), телекоммуникационной компании «МТС» (MTSS), нефтегазовой компании «Роснефть» (ROSN), биржевого индекса Russian Trading System Cash Index(RTSI), акциях Сбербанка России (SBER) и акциях ВТБ банка (VTBR) с 09 сентября 2013 года по 12 мая 2016 года, что в целом составляет 654 торговых дня. Для сравнения моделей использовался тест Model Confidence Set (MCS), предложенный в (Hansen et al., 2011). Этот тест не требует предположения о превосходстве какой-либо одной модели над другими (выбора бенчмарка), допускает возможность существования множества моделей (а не единственной, как в SPA тесте) с одинаковым превосходством над остальными, а также позволяет учитывать несовершенство данных. Под этим учетом понимается расширение искомого множества моделей с включением некоторых дополнительных, не являющимися равными им по заданному критерию в случае, если имеющейся информации в данных недостаточно для определения истинного набора моделей с одинаковым качеством прогноза.

Задача моделирования и оценки влияния санкций и волатильности нефти состояла из двух этапов.

На первом этапе оценивалась волатильность, используя одномерную и двумерную GARCH модель, а также подход реализованной волатильности. В качестве исходных данных рассматривались внутридневные пятиминутные котировки цен на нефть Brent в долларах США, значения котировок обменного курса USDRUB и значения котировок фондового индекса RTSI, также рассчитываемого в долларах США. Данные за период 11.10.2007—28.12.2018 были полученные с сайта <https://www.finam.ru/>, на котором они предоставлены Московской Биржей.

На втором этапе, имея модельные оценки дневных волатильностей фондового индекса RTSI/обменного курса и нефти, оценивались регрессии логарифма волатильности индекса RTSI/обменного курса на логарифм волатильности цены нефти вида:

$$\ln(\sigma_{RTSI,t}^2) = c + \beta \ln(\sigma_{brent,t}^2) + \gamma_1 d_t + \gamma_2 d_t \cdot \ln(\sigma_{brent,t}^2) + \varepsilon_t,$$

$$\ln(\sigma_{USDRUB,t}^2) = c + \beta \ln(\sigma_{brent,t}^2) + \gamma_1 d_t + \gamma_2 d_t \cdot \ln(\sigma_{brent,t}^2) + \varepsilon_t,$$

где в качестве  $d_t$  выступал набор дополнительных макроэкономических факторов, таких как санкции, режим цен на нефть, VIX и др.

Дополнительно в окнах из 252 наблюдений, что соответствует одному торговому году, оценивались регрессии вида

$$\ln(\sigma_{USDRUB,t}^2) = c + \beta \ln(\sigma_{brent,t}^2) + \varepsilon_t,$$

$$\ln(\sigma_{RTSI,t}^2) = c + \beta \ln(\sigma_{brent,t}^2) + \varepsilon_t.$$

В результате подобного оценивания можно получить динамическую зависимость волатильностей российских макроэкономических показателей от волатильности нефти.

## *Научная новизна*

Научная новизна заключается в следующем:

- выполнено моделирование и сравнение основных подходов к моделированию волатильности на данных российского фондового рынка с использованием большого количества активов и моделей
- было проанализировано влияние волатильности нефти в динамике на волатильности обменного курса USDRUB и фондового индекса RTSI
- было смоделировано и оценено влияние санкций и других макроэкономических факторов на эти же волатильности
- все полученные подходы показали похожие результаты, что говорит о робастности полученных результатов.

## *Основные результаты*

- Выполнено сравнение большого количества моделей волатильности на данных российских фондовых активов. Результаты говорят о явном статистическом преимуществе HAR-RV моделей;
- Изучена проблема оценивания влияния волатильности нефти на волатильность фондового индекса для нефтеэкспортирующих стран, в том числе России;
- Смоделирована волатильность обменного курса USDRUB и волатильность фондового индекса RTSI РФ при помощи параметрического и непараметрического подходов;
- Сформулирован подход к моделированию динамики зависимости этих волатильностей от волатильности цен на нефть;
- Смоделирован и оценен эффект от санкций и некоторых других макроэкономических индикаторов на волатильность обменного курса USDRUB и волатильность фондового индекса RTSI;

- Было обнаружено значимое положительное влияние волатильности нефти на волатильность обменного курса, и на волатильность фондового индекса RTSI. Эффект от санкций оказался непостоянным в обоих случаях, наиболее сильным после введения первых санкций и уменьшающимся во времени.
- Была обнаружена адаптация экономики РФ к вновь введенным санкциям.

### *Апробация результатов исследования*

Основные выводы диссертационного исследования являются результатом экономико-математического моделирования. Применяемые в работе методы теоретического и эконометрического анализа соответствуют принятым в современной научной литературе академическим стандартам.

### *Публикации*

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в следующих научных изданиях, индексируемых в Scopus:

1. Аганин А.Д., 2017. Сравнение GARCH и HAR-RV моделей для прогноза реализованной волатильности на российском рынке. Прикладная эконометрика. Т. 48. С. 63-84.
2. Аганин А.Д., Пересецкий А.А., 2018. Волатильность курса рубля: нефть и санкции. Прикладная эконометрика, Т. 52, С. 5–21.
3. Аганин А.Д., (2020). Волатильность российского фондового индекса: нефть и санкции. Вопросы экономики, (2), С. 86-100.

## *Конференции*

Основные результаты диссертационного исследования прошли апробацию в рамках обсуждения следующих международных научных конференций:

1. 8-я Международная научно-практическая конференция студентов и аспирантов «Статистические методы анализа экономики и общества» (Москва, 2017). Доклад: «Сравнение моделей волатильности на данных российских биржевых индексов»

2. 12th International Conference on Computational and Financial Econometrics & 11th International Conference of the ERCIM WG on Computational and Methodological Statistics (Пиза, 2018). Доклад: «The impact of oil price volatility on the exchange rate in Russia»

3. Modern Econometric Tools and Applications — META-2018 (Nizhny Novgorod, 2018). Доклад: «Modeling USdRubvolatility with the help of multidimensional volatility models»

4. Научный семинар «Прикладная эконометрика» в рамках XX Апрельской международной научной конференции НИУ ВШЭ. Доклад: «RTSI volatility: impact of oil price volatility and sanctions»

5. Modern Econometric Tools and Applications — META-2019 (Nizhny Novgorod, 2019). Доклад: «Russian stock market volatility: oil and sanctions»

## *Структура работы*

Работа состоит из введения, трех глав, заключения, библиографии и приложений. Текст диссертации изложен на 107 страницах, содержит 9 рисунков, 11 таблиц. Библиография включает 91 источник.