



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА**

**Экономический факультет**  
**Кафедра финансов и кредита**

**Выпускная квалификационная работа**  
**«Факторная модель спредов на российском рынке**  
**корпоративных облигаций»**  
**(«Factor model of spreads in Russian corporate bonds market»)**

**Выполнил студент**  
**группы Э-401:**  
**Барамия Никита Тенгизович**

**Научный руководитель:**  
**Байбаков Владислав Игоревич**

**Москва 2021 г.**

# Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. Теоретические основы анализа спреда доходности облигаций.....</b>	<b>7</b>
1.1. <i>Модели кредитного риска .....</i>	7
1.1.1. Структурные модели .....	7
1.1.2. Модели в сокращённой форме .....	8
1.2. <i>Факторы риска ликвидности .....</i>	9
1.4. <i>Детерминанты спреда доходности на российском рынке.....</i>	12
1.5. <i>Выводы по главе .....</i>	13
<b>Глава 2. Методология исследования спреда доходности корпоративных облигаций на российском рынке .....</b>	<b>14</b>
2.1. <i>Переменные, определяющие спред доходности российских корпоративных облигаций.....</i>	14
2.1.1. Переменные, характеризующие кредитный риск.....	14
2.1.2. Переменные, характеризующие ликвидность облигаций .....	16
2.1.3. Контрольные переменные .....	17
2.2. <i>Гипотезы исследования .....</i>	17
2.3. <i>Эконометрические спецификации модели спредов доходности корпоративных облигаций .....</i>	18
2.4. <i>Кластеризация выборки корпоративных облигаций .....</i>	18
2.5. <i>Проверка устойчивости результатов методом бустинга над деревьями .....</i>	19
2.6. <i>Выводы по главе .....</i>	19
<b>Глава 3. Модель спредов доходности корпоративных облигаций на российском рынке .....</b>	<b>20</b>
3.1. <i>Данные.....</i>	20
3.2. <i>Классические модели на панельных данных.....</i>	23
3.3. <i>Оценка чувствительности по кластерам .....</i>	25
3.4. <i>Оценка влияния факторов на спред доходности на основе бустинг-моделей.....</i>	28
3.5. <i>Практическое применение факторной модели спреда доходностей корпоративных облигаций на российском рынке .....</i>	29
3.6. <i>Выводы к главе .....</i>	29
<b>Заключение.....</b>	<b>30</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>31</b>
<i>Статьи .....</i>	31
<i>Монографии.....</i>	32
<b>Приложение 1. Ссылки на код и данные для репликации .....</b>	<b>33</b>
<b>Приложение 2. Характеристика российского рынка облигаций .....</b>	<b>33</b>
<b>Приложение 3. Список переменных по облигациям .....</b>	<b>34</b>
<b>Приложение 4. Результаты оценки эконометрических моделей .....</b>	<b>36</b>
<b>Приложение 5. Тесты качества кластеризации .....</b>	<b>39</b>
<b>Приложение 6. Результаты оценки моделей по кластерам .....</b>	<b>40</b>

## Аннотация

*В работе представлена факторная модель спредов доходности корпоративных облигаций. На данных по облигациям российских эмитентов за период 2013-2021 была произведена оценка чувствительности спреда доходности к факторам кредитного риска, ликвидности и прочим характеристикам, оказывающим влияние как на отдельные компании, так и на российский финансовый рынок в целом. Проведена кластеризация облигаций с дальнейшей оценкой влияния факторов в каждом отдельном кластере. Работа делает вклад в литературу по анализу детерминант облигационного спреда доходности на развивающихся финансовых рынках, одним из которых является и российский.*

**Ключевые слова:** корпоративные облигации, спред доходности, кредитный риск, риск ликвидности, развивающиеся рынки

**JEL коды:** G12

## Введение

**Актуальность темы исследования.** Облигации являются одним из способов привлечения компаниями заемного капитала для финансирования своей деятельности. В свою очередь, инвесторы рассматривают рынок облигаций как одну из возможностей инвестирования. Однако здесь, как и на рынке акций, существуют определённые риски, которые необходимо оценивать для решения ряда прикладных вопросов, таких как разработка торговых стратегий на рынке корпоративных облигаций, составление портфеля активов с определённым аппетитом к каждому из видов риска, анализ деятельности компаний при ограниченной информации и т.д.

Рынок корпоративных облигаций, как рыночный, так и ОТС-сегмент, стабильно растёт, что делает рассматриваемую тему востребованной. Российский рынок относится к развивающимся, и можно выделить лишь незначительное количество подходящих эмпирических работ, посвященных детерминантам спредов доходности на развивающихся рынках (Cavallo, Valenzuela 2010; Берзон Н. И., Милицкова Т. М. 2013). При этом они посвящены либо рынкам других стран, либо уже устарели и не совсем релевантны в сегодняшних реалиях.

Таким образом, учитывая вышеупомянутые факторы, тематика выпускной квалификационной работы представляется актуальной как с точки зрения ответов на теоретические вопросы, так и с точки зрения решения практических задач.

В данной работе представлена факторная модель спредов, учитывающая влияние на облигационный спред доходности кредитного риска и риска ликвидности, а также прочие характеристики облигации.

**Степень научной разработанности.** В финансовой литературе существует ряд теоретических работ, посвящённых разработке моделей кредитного риска: структурные модели (Merton, 1974, Black and Cox, 1976, Leland, 1994, Ericsson and Renault O. 2006) и модели в сокращённой (reduced) форме (Jarrow and Turnbull, 1995). Данные модели получили развитие в практических приложениях, в частности, KMV-модель, являющаяся одной из основных в оценке риска дефолта компании рейтинговыми агентствами (Crosbie and Bohn, 2019).

Отдельную нишу составляют работы по поиску и проверке детерминант неликвидности облигаций (Houweling and Mentink, 2005, Chen et al. 2007, Bao et al., 2011), часть из которых обращают внимание на взаимосвязь между кредитным риском и риском ликвидности (Ericsson and Renault, 2006, Chen et al. 2007).

Ряд работ отходят от изучения традиционных видов риска, уделяя внимание влиянию рынка акций (Huang et al. 2015, Kyle and Obizhaeva 2016), системы

налогообложения ценных бумаг (Elton et al. 2001) и неопределённости доходов (Hackbarth, 2010) на спреды доходности облигаций.

Цитируемых работ по развивающимся рынкам достаточно мало. Габби и Сирони (Gabbi and Sironi 2005) частично затрагивают Россию при рассмотрении евробондов стран G10, Эриксен и Рено (Ericsson and Renault 2006) рассматривают кейс дефолта России. Кавалло и Валенсуэла (Cavallo and Valenzuela 2010) рассмотрели несколько развивающихся рынков Латинской Америки и Западной Азии, и, пожалуй, единственная работа, рассматривающая российский рынок, – статьи Милицковой и Берзона 2013 года, где разрабатывается одна из первых факторных моделей по российскому рынку, правда объясняющая только спред облигаций при размещении.

**Цель данного исследования** – разработать факторную модель спреда доходности корпоративных облигаций для российского рынка, позволяющую оценить чувствительность доходностей российских облигаций к факторам кредитного риска, ликвидности и макроэкономическим показателям. Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **исследовательские задачи**:

1. Выделить преимущества и ограничения современных моделей спреда доходности корпоративных облигаций.
2. Выявить специфику развивающихся рынков, влияющую на применимость современных моделей спреда доходности корпоративных облигаций.
3. Сформировать набор показателей, потенциально влияющих на спред доходности корпоративных облигаций на российском рынке.
4. Провести кластеризацию множества анализируемых облигаций для более точного оценивания влияния выбранных факторов на спред доходности.
5. Оценить влияние выбранных факторов на облигационный спред доходности в каждом кластере.
6. Предложить способы применения разработанной и оцененной модели для формирования торговой стратегии на облигационном рынке.

**Предметом данного исследования** являются доходности корпоративных облигаций на российском рынке. **Объектом исследования** – детерминанты спредов доходности корпоративных облигаций на российском рынке.

**Научная новизна исследования** заключается в наличии в работе следующих элементов:

- 1) Оценки чувствительности спредов доходности к анализируемым факторам получены с использованием широкой панели данных по корпоративным облигациям

российских эмитентов за 2013-2021 гг., что может рассматриваться как элемент эмпирической новизны;

- 2) Проведена кластеризация множества корпоративных облигаций на российском рынке, что позволяет проводить более точную оценку детерминант спредов доходности в рамках отдельных кластеров;
- 3) Представлена эмпирическая проверка детерминант риска, не рассмотренных в работах по развивающимся рынкам ранее.

**Практическая и теоретическая значимость.** Результаты данного исследования могут быть применимы при разработке стратегий инвестирования на российском рынке корпоративных облигаций, а также для оценки вероятности дефолта российских эмитентов на основе выделения из спредов доходности корпоративных облигаций составляющей, характеризующей кредитный риск.

Кроме того, результаты исследования могут использоваться при дальнейшем изучении проблематики, посвященной анализу спредов доходности корпоративных облигаций.

**Методологическую базу исследования** составляют следующие методы:

- анализ;
- синтез;
- математико-статистические методы:
  - эконометрики (модели на панельных данных);
  - и машинного обучения (кластеризация и градиентный бустинг над деревьями).

**Информационную базу исследования** составляют теоретические и эмпирические работы как зарубежных, так и российских авторов. Для эмпирического анализа были использованы данные по облигациям провайдера финансовых услуг Cbonds и котировки акций компаний на Московской Бирже.

**Структура работы.** Основная часть работы состоит из трёх глав. В первой главе рассматривается научная литература по детерминантам спреда доходности облигаций с целью определения плюсов и минусов имеющихся моделей и определения необходимых детерминант для построения собственной на российском рынке облигаций, вторая глава обосновывает выбор переменных и методов, используемых для эмпирического анализа, в третьей главе предоставлены результаты оценки эконометрических моделей на всей выборке облигаций и на определённых кластерах, также проведена проверка устойчивости с помощью моделей машинного обучения. Далее идёт заключение с подведением итогов и предложениями по развитию данного исследовательского вопроса.

## Глава 1. Теоретические основы анализа спреда доходности облигаций

Данная глава посвящена анализу основных современных моделей кредитного риска, выделению их преимуществ и недостатков с точки зрения применимости на практике. Отдельное внимание уделяется специфике развивающихся рынков, т.к. она может оказывать существенное влияние на точность результатов моделирования спредов доходностей облигаций. Далее на основе анализа работ предшественников будет формироваться базовый перечень детерминант спреда доходности облигаций.

### 1.1. Модели кредитного риска

#### 1.1.1. Структурные модели

Одной из основных моделей для оценки кредитного риска компаний является разработанная Робертом Мёртоном [Merton, 1974] структурная модель. Её основная идея заключается в том, что собственный капитал компании ( $E$ ) представим в виде опциона на его активы ( $V$ ). У компании есть бескупонный долг (облигации) номиналом  $D$ , который необходимо погасить в момент времени  $T$ . Компания либо выполняет обязательства (в случае  $V_T \geq D$ ), либо нет ( $V_T < D$ ). То есть:

$$E_T = \max(V_T - D, 0) \quad (1)$$

Получаем колл-опцион, для которого работает формула Блэка-Шоулза-Мёртона. На основе теоретических результатов данной модели возможно моделирование кредитного риска. Недостаток подхода состоит в том, что на эмпирических данных кредитная составляющая спреда по модели Мёртона обычно намного меньше предсказываемой, что в литературе получило название «credit spread puzzle». Но несмотря на ряд существенных ограничений модели Мёртона, она часто используется в виде отправной точки при анализе детерминант спреда доходности облигаций.

Коллин-Дафресн с соавторами [Collin-Dufresne et al., 2001] разложили кредитный риск на вероятность самого дефолта и норму возмещения долга и рассматривают риск ликвидности, связанный в первую очередь с небольшим объёмом сделок и транзакционными издержками, более высокими относительно гособлигаций. В качестве характеристик кредитного риска рассматривались изменение безрисковых ставок процента, волатильность актива, кредитное плечо эмитента. Авторы продемонстрировали малую объясняющую силу переменных дефолта, которые, согласно структурным моделям, должны были играть большую роль в объяснении спредов.

В работе Хуанга и Хуанга [Huang J. Z. and Huang M, 2012] были обнаружены аналогичные устойчивые свидетельства на более широком классе структурных моделей

(модель Блэка-Кокса [Black and Cox, 1976] с возможностью возникновения дефолта только в дату погашения долга и наличия облигаций с купонами, модель Леланда [Leland, 1994] с налогами и издержками банкротства и прочие).

Одно из расширений было предложено в статье Эрикссон и Рено [Ericsson and Renault, 2006], где модель одновременно выявляла и кредитный риск и риск ликвидности. Авторы сделали вывод о положительной корреляции между спредом ликвидности и кредитного риска. При определённых параметрах данная модель согласуется с эмпирическими свидетельствами. Также было найдено слабое доказательство снижения спреда ликвидности в зависимости от времени до погашения, что также предсказывалось моделью. Выявление связи о корреляции между кредитным риском и риском ликвидности (Ericsson and Renault, 2006; Chen et al., 2007) имеет важное следствие, заключающееся в необходимости осторожно интерпретировать коэффициенты модели при выбранных детерминантах рисков.

При использовании структурного подхода можно подвергнуть критике ряд строгих предположений, от которых отталкивается основная модель:

1. предположение о нормальности распределения доходности активов, что на практике обычно опровергается в связи с более тяжёлыми хвостами, как следствие, недооценка вероятности дефолта;
2. присутствие одного единого займа с определённой датой погашения: на практике многие компании выпускают много отдельных облигационных займов с разными датами погашения, купонными платежами и т.д.

Существующие расширения чистого структурного подхода хоть и позволяют отказаться от некоторых предпосылок, всё равно остаются не совсем реалистичными и не очень применимыми на практике: их трудно калибровать на имеющихся данных.

#### 1.1.2. Модели в сокращённой форме

Джарроу и Тернбулл [Jarrow and Turnbull, 1995] предложили упрощённый (reduced) подход: они исходят из предположения, что кредитный спред зависит от двух факторов: вероятность дефолта и ожидаемый уровень возврата. Для применения данной модели необходимы данные о временной структуре безрисковых ставок, кредитных спредов и уровня потерь для каждого рейтинга эмитентов. Исходя из упрощений, для корректного подсчёта вероятностей требуются калибровка на исторических данных. Сложностью является то, что калибровка должна происходить именно на кредитной составляющей спреда, детерминанту для которой мы и ищем. Калибровка на корпоративных облигациях не представляется возможной как раз по причине наличия других составляющих спреда, например, связанного с риском ликвидности, о котором пойдёт речь позднее.



Арога, Бон и Чжу [Aroga, Bohn, Zhu, 2005] провели эмпирическое сравнение двух подходов, проверив качество определения дефолта тремя моделями:

- базовой структурной моделью Мёртона [Merton, 1974];
- продвинутой структурной моделью VK (Vasicer [Alfons V., 1984], Kealhofer [Kealhofer, 2003]), на которой и основана практически применимая модель KMV (также называется Moody's KMV или MKMV);
- и улучшенной моделью в сокращённой форме HW [Hull and White, 2000].

Продвинутые модели обоих типов продемонстрировали примерно одинаковое качество, обойдя базовую модель Мёртона. Модель VK лучше справилась на всей рассматриваемой выборке и некоторых подвыборках, за исключением случая рассмотрения только эмитентов с большим количеством облигаций в обращении одновременно.

Подводя итог всему выше сказанному, для анализа кредитной составляющей облигационного спреда в работе будет использоваться распространённый подход, основанный на использовании KMV-модели, так как она менее требовательна к данным и может обеспечить лучшее качество на всей выборке данных, в которой могут быть как эмитенты с одиночными эмиссиями, так и множественными.

## 1.2. Факторы риска ликвидности

Обычно выделяют следующие типы риска ликвидности<sup>1</sup>:

1. Риск финансовой ликвидности: касается возможности эмитента найти достаточное количество средств для выполнения своих обязательств, поддержания достаточности наличных средств для поддержания своей деятельности.
2. Риск торговой ликвидности: касается отсутствия достаточного интереса к заключению сделок со стороны инвесторов.

Несмотря на их связь, в данной работе под риском ликвидности/неликвидности будет иметься в виду в первую очередь риск торговой ликвидности.

В работе Хаувелинга и Ментинка [Houweling and Mentink, 2005] был рассмотрен ряд прокси риска ликвидности для проверки гипотезы о том, заложен ли данный риск в спред по корпоративным облигациям. Результатом данной работы было подтверждение наличия риск премии за неликвидность, по крайней мере на американском, испанском и немецких рынках облигаций.

---

<sup>1</sup> Источник: книга Айвазяна, Фантаццини (2014), также про данные типы риска можно найти пояснение в статье Кайла и Обижаевой [Kyle, Obizhaeva 2016].

Чен с соавторами [Chen et al. 2007] сделали акцент на вкладе риска ликвидности в спредах корпоративных облигаций. В качестве детерминант риска ликвидности рассматривались bid-ask спред, доля дней с нулевой доходностью актива и метрика LOT, основанная на оценивании издержек, связанных с влиянием на цену, и комиссионных издержек: предполагается, что трейдер имеет определённый порог входа в сделки по облигациям. Они выявили, что за менее ликвидные облигации инвесторы требуют большую доходность, а также улучшение в ликвидности вызывает значимое снижение спреда. Также они подчёркивают важность волатильности облигации в объяснении их ликвидности. Результаты получены с контролем на макроэкономические показатели, факторы, специфичные для самих облигаций и фирм, и иные фиксированные эффекты.

Бао с соавторами [Bao et al., 2011] предложили свою меру ликвидности в виде автоковариации первого порядка между ценовыми изменениями облигации. Они продемонстрировали, что заложенная в спред неликвидность облигации значительно превосходит объясняемую bid-ask спредом, которую принято использовать в качестве меры риска ликвидности. Наблюдается сильная взаимосвязь между неликвидностью облигации и их ценой на данных за 2003-2009 годы.

Хельведж с соавторами [Helwege et al., 2014] развивают данную тему: они обращают внимание на тот факт, что меры риска ликвидности могут улавливать также и кредитный риск (про их корреляцию мы говорили и в прошлом разделе). Для решения этой проблемы они рассматривают облигации «в парах», то есть отбирают пары облигаций с рядом одинаковых характеристик (получается контроль на рыночный и кредитный риски, а также на налоговый эффект), что позволяет интерпретировать разницу в их спредах только отличающейся ликвидностью. Они тестируют предложенные в предыдущей литературе меры ликвидности (в том числе из работы Bao et al., 2011). Большинство из них хоть и показали значимость, однако объясняют лишь незначительную долю в разнице спредов. Авторы делают заключение, что качественной «прокси» риска ликвидности ещё не найдено.

Абуди и Равив [Abudy and Raviv, 2016] используют структурный подход для оценки верхней границы спреда, составляющего риск неликвидности корпоративных облигаций. Их теоретическая модель согласуется с эмпирикой, предсказывающей положительную связь между спредом неликвидности (в процентах от всего спреда облигации) и рейтингом облигации (качеством эмитента). Более того, пик спреда за неликвидность зависит от кредитного плеча, ещё раз подчёркивая связь между кредитным риском и риском ликвидности.

Слиман и Йонг [Slimane M. B., de Jong, 2017] предлагают способ оценивания меры риска ликвидности в случае, когда оценка не доступна для всех торгуемых корпоративных облигаций. Авторы рассмотрели факторную модель, которая определяет оценку ликвидности облигации на основе индивидуальных характеристик облигации. Ими была получена качественная оценка для сравнения облигаций по их ликвидности, которая не зависит от цены облигации и имеет меньшую волатильность.

В работах Кайла и Обижаевой [Kyle and Obizhaeva, 2016] была предложена гипотеза рыночной микроструктурной инвариантности. Авторы подтвердили эмпирически идею о том, что распределение передаваемых рисков и транзакционные издержки инвариантны, то есть постоянны для всех активов в любой момент времени. В следующей работе по рынку активов с фиксированной доходностью было продемонстрировано, что гипотеза верна не только для рынка акций, но и рынка облигаций, хотя при этом рынки корпоративных облигаций США в 55 раз менее ликвидны и в 3000 раз медленнее абсорбируют информацию по сравнению с рынком казначейских бумаг США. Полезной для целей данного исследования является мера неликвидности, которая будет рассмотрена подробнее в следующей главе.

### 1.3. Прочие детерминанты спреда доходности

В статье Элтона с соавторами [Elton et al., 2001] анализировались спреды корпоративных облигаций без встроенных опционов. Тремя главными объясняющими факторами являлись потери от ожидаемого банкротства компании, систематический риск и наличие налогов (выплачивались по корпоративным облигациям, но не по государственным), которое объясняло наибольшую долю различий в спредах корпоративных облигаций.

Габби и Сирони [Gabbi and Sironi 2005] обратили внимание на рейтинги корпоративных облигаций, показав их значимое влияние на квартальных данных по спредам евробондов компаний стран G10 1991-2001 годов. Более того, доверие инвесторов к рейтингам выросло со временем, что усиливает эффект влияния на спреды. В то же время эффективность первичного рынка ценных бумаг и ожидаемая ликвидность вторичного значимого влияния не показали.

Статья Кавалло и Валенсуэлы [Cavallo and Valenzuela, 2010] – одна из тех малочисленных работ, в которой рассматриваются развивающиеся рынки (6 в Латинской Америке и 4 в Западной Азии) с акцентом на облигациях со встроенными опционами. В качестве зависимой переменной рассматривался Option-Adjusted Spread (OAS) – спред, очищенный от влияния встроенных в облигацию опционов, так как опционы тоже обладают

своей стоимостью и оказывают влияние на поведение эмитентов и инвесторов, корректируя требуемую доходность (как делать корректировку, изложено, например, в книге Миллера [Miller T, 2010], где описана методология Bloomberg: именно их данные по OAS и используются в статье). Наиболее весомый вклад в объяснение OAS внесли специфичные для фирмы характеристики, такие как показатели прибыльности и размер фирмы; также значимое влияние показали характеристики самих облигаций и макроэкономические показатели.

Гюнтай и Хакбарт [Güntay L., Hackbarth D., 2010] первыми предоставляют эмпирическое свидетельство влияния неопределённости доходов на кредитный спред корпоративных облигаций. Облигации с большей дисперсией прогнозов доходов имеют больший спред при прочих равных характеристиках, на которые обеспечивался контроль (учитывались переменные, основанные на бухгалтерской отчётности компаний, а также макроэкономические показатели).

Хуанг с соавторами [Huang et al. 2015] рассмотрели межрыночные эффекты: в своей статье они расширили существующую теоретическую модель эндогенного риска дефолта [He and Xiong's, 2012] для учёта ликвидности акций компаний. Авторы предоставили теоретические и соответствующие им эмпирические доказательства факта, что со снижением ликвидности акций компании растёт кредитный спред облигаций того же эмитента. Модель оказалась устойчива к резкому росту премий за кредитный риск и другим феноменам в период финансового кризиса.

#### 1.4. Детерминанты спреда доходности на российском рынке

Объём исследований, посвящённых анализу российского рынка корпоративных облигаций невелик. Работы по анализу факторов, влияющих на спред облигаций, появились только в 2013 году (Милицкова Т. М.; Берзон Н. И., Милицкова Т. М.). Рассматривались только спреды облигаций в момент их размещения за период с 2008 по 2012 год. Были протестированы ряд общепринятых и специфичных для России характеристик, например, валютный курс и нефть, так как Россия является одним из главных экспортёров данного сырьевого товара и динамика её цен имеет отражение на общем состоянии нашей экономики.

Стоит отдельно выделить, как в данных статьях интерпретировались облигации со встроенным опционом пут (наличием оферты). Они рассматривались как обычные облигации в связи с тем, что в регулировании ставкой купона скрыто заложен опцион колл: компания может выбрать такой купон (например, нулевой), что вынудит инвесторов, предполагая их рациональное поведение, продать облигации. Таким образом, опционы

должны уравновесить спред до уровня обычной облигации. Данное предположение в общем случае не совсем корректно, так как стоимости опционов пут и колл не всегда оказываются равны.

### 1.5. Выводы по главе

Подводя итог, на основе рассмотренной литературы можно выделить следующие моменты. Первый состоит в том, что моделирование кредитного риска в эмпирических работах зачастую происходит опосредованно, то есть структурные модели и модели в сокращённой форме скорее используются как теоретическая аргументация в пользу детерминант, основанных на отчётности эмитентов и безрисковых ставках процента. Данный подход зачастую оправдан в силу невысокой периодичности используемых в литературе данных. Второй момент состоит в том, что выбор прокси риска ликвидности хоть и достаточно велик, явного превосходства по сравнению с другими ни одна из переменных не демонстрирует. Третий момент, касающийся развивающихся рынков, состоит в отсутствии особого подхода к построению моделей: исследователи использовали достаточно стандартные детерминанты, разве только уделяя внимание страновой специфике государств (например, цены на нефть в случае России).

## Глава 2. Методология исследования спреда доходности корпоративных облигаций на российском рынке

Данная глава посвящена формированию набора потенциальных детерминант спреда доходности российских корпоративных облигаций, методологическим аспектам сбора релевантных данных для эмпирического исследования. Кроме того, на основе методов машинного обучения предложены способы проверки результатов эконометрического анализа.

### 2.1. Переменные, определяющие спред доходности российских корпоративных облигаций

На основе проанализированной литературы можно выделить три основных источника спреда облигаций: риск дефолта, риск ликвидности и прочие макро-характеристики, скорее отвечающие не за риски отдельной конкретной облигации, а оказывающие влияние одновременно на весь рынок облигаций.

#### 2.1.1. Переменные, характеризующие кредитный риск

Начнём с обсуждения меры кредитного риска. На основе литературы можно сделать вывод, что в основном для его моделирования используются либо данные бухгалтерской отчётности компаний, либо присвоенные специальными агентствами рейтинги, основанные на более глубокой аналитике по каждой компании.

Однако, у такого подхода есть недостаток: редкая периодичность наблюдений. В случае использования отчётности, по российскому рынку не представляется возможным собрать данные большей частоты, чем квартальная, по крайней мере по данным, которые предоставляет Cbonds. Более того, всегда существует риск неправомерного искажения отчётности.

Касаемо рейтингов эмитентов и эмиссий, проблема заключается в том, что их пересмотр происходит только в особо крайних случаях, отчасти это можно объяснить тем, что слишком частая изменчивость усложнила бы жизнь финансовым институтам, основным пользователям данных рейтингов. Ещё один риск связан с их возможной эндогенностью: рейтинговые агентства рассматривают всю имеющуюся на рынке информацию, в том числе и данные о спредах, что вызывает двустороннее влияние.

В данной работе будет использоваться один из подходов, который лежит в основе оценок ведущих рейтинговых агентств (например, агентство Moody's), – KMV модель<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Методология модели будет основываться на работе Crosbie, Bohn, 2019 (2019 год связан с переизданием статьи, сама работа появилась в 2003).

KMV-модель основана на структурном подходе, при этом вероятность дефолта оценивается на основе параметра – «расстояние до дефолта» (DD):

$$DD_t = \frac{V_t - DPT_t}{V_t * \sigma_t}, \text{ где} \quad (2)$$

- $V_t$  – стоимость активов в момент времени  $t$ ;
- $\sigma_t$  – годовая волатильность активов в момент времени  $t$ ;
- $DPT_t$  – точка дефолта в момент времени  $t$ , обычно, сумма краткосрочных обязательств и половины долгосрочных обязательств.

Применительно к задачам данного исследования, стоимость активов будет браться на основе средней капитализации компании за неделю (для этого необходимо оставить в выборке только публичные компании), годовая волатильность в неделю  $t$  посчитана по формуле:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^5 (r_{it} - \bar{r})^2} * \sqrt{252}, \text{ где } r_{it} - \text{доходность акции в день } i \text{ недели } t.$$

Данный расчёт предполагает независимое распределение доходностей по дням, что не совсем корректно и является недостатком выбранной оценки.

Точка дефолта посчитана на основе собранных эмиссий компании: на начало каждой рассматриваемой недели проверялось существование и сумма по эмиссиям с погашениями до года, что считалось краткосрочными обязательствами, и сумма по эмиссиям с погашением через более чем один год, что принималось долгосрочными обязательствами и в последствии делилось пополам в соответствии с методологией KVM. В данном моменте также присутствует недостаток, связанный с недоучётом задолженности эмитента, так как игнорируются необлигационные займы (например, банковские), которые также влияют на вероятность дефолта компании в целом.

Особой необходимости в калибровке данной меры к превращению её в вероятность дефолта нет, её применение в линейной регрессии возможно и так: капитализация компании в знаменателе убирает эффекты разного масштаба между компаниями. Однако, мы рассмотрим и вероятность дефолта, полученную путём применения нормального распределения, свойственного модели Мёртона:

$$PD_t = N(-DD_t) \quad (3)$$

Таким образом, мы получили две прокси риска дефолта компании (на момент времени  $t$ ), которые и будут основными мерами кредитного риска.

Теория предсказывает, что с ростом дефолта компании инвесторы берут на себя больший риск, и, соответственно, требуют большую доходность от приобретённой облигации, то есть более высокий G-спред.

### 2.1.2. Переменные, характеризующие ликвидность облигации

В качестве основной меры ликвидности выбрана относительно новая мера, предложенная в работе Кайла и Обижаевой [Kyle, Obizhaeva, 2016]<sup>3</sup>:

$$\frac{1}{L_{jt}} = \left( \frac{C * \sigma_{jt}^2}{m^2 * P_{jt} * V_{jt}} \right)^{\frac{1}{3}}, \text{ где} \quad (4)$$

- $\sigma_{jt}^2$  – дневная дисперсия в момент времени  $t$
- $P_{jt}$  – дневная доходность облигаций в момент времени  $t$
- $V_{jt}$  – объём в количестве облигаций в момент времени  $t$
- $C$  – ожидаемая стоимость решения купить случайный актив
- $m$  – масштабирующий параметр

$P_{jt} * V_{jt}$  имеется в собранных данных как объём сделок в рублях. В нашем случае мы подвергаем её к усреднению за неделю. Дисперсия  $\sigma_{jt}^2$  считается на основе доходностей цен облигаций компаний как  $\frac{1}{4} \sum_{i_t=1}^5 (r_{i_t} - \bar{r})^2$ . Константы  $C$  и  $m$ , в целом, требуют дополнительной калибровки и проверки инвариантности, однако если принять гипотезу авторов (которая была проверена не только на американском, но и на российском рынке), особой необходимости в их калибровке нет, главное понимать, что коэффициент при переменной будет учитывать в себе умножение на  $\frac{C}{m^2}$ . Таким образом, мы получили меру ликвидности. С падением ликвидности ожидается рост G-спреда в связи с ростом риска, связанный либо с ростом волатильности облигаций, либо с уменьшением объёма торговли ценными бумагами данной компании.

Помимо рассмотренной выше метрики риска неликвидности в работе будут рассмотрены ещё две часто используемые для её моделирования прокси:

- Пропорциональный bid-ask спред:

$$prop\_bid\_ask = \frac{ask - bid}{\left( \frac{ask + bid}{2} \right)} \quad (5)$$

- Нормированный оборот:

$$turnover\_norm = \frac{turnover}{issuance} * 100\% \quad (6)$$

интерпретируется как оборот в процентах от эмиссии.

Кроме того, будут проверяться также их возможность уловить риск ликвидности и устойчивость коэффициентов перед другими переменными.

---

<sup>3</sup> В работе мера применяется к ежедневной динамике, мы будем применять недельное усреднение для внутренних составляющих метрики



### 2.1.3. Контрольные переменные

Берзон и Милицкова (2013) в своих работах использовали такие переменные как котировки цен на нефть, валютный курс рубля к доллару США, доходность ОФЗ. Обусловлено это тем, что исследователи работали с пространственными данными, то есть их объекты (облигации) не наблюдались несколько периодов и изучался спред только в момент их размещения (время размещения отличалось между облигациями). В данном исследовании используются панельные данные, которые позволяют учесть эффекты времени. Таким образом, преимущество данного исследования состоит в том, что временные эффекты панельных данных могут учесть практически все макроэкономические и страновые факторы, оказывающие влияние на все облигации в определённый момент времени.

Помимо основных факторов риска и фиксированных эффектов в модель традиционно включают количество дней до возможного погашения (либо до оферты, либо до итогового погашения) и ставку купона. Также имеет смысл включить фиктивную переменную статуса бескупонной облигации: данные облигации чаще используются спекулянтами и обычно волатильнее, что сопряжено с большим риском. Предполагаемые знаки влияния представлены в таблице ниже:

Группа переменных	Переменная	Расшифровка	Знак влияния
Кредитный риск	dist_to_default	Расстояние до дефолта	-
Кредитный риск	prob_to_default	Вероятность дефолта	+
Риск неликвидности	illiquidity	Мера неликвидности Kyle, Obizhaeva	+
Риск неликвидности	turnover_norm	Среднедневной оборот в % от эмиссии	-
Риск неликвидности	prop_bid_ask	Пропорциональный bid-ask спред, б.п.	+
Контроль	days_left	Количество дней до возможного погашения	+
Контроль	current_coupon	Купон	+
Контроль	zero_coupon_bond	Статус бескупонной облигации	+

Таблица 1. Используемые в исследовании переменные и знаки влияния, предсказываемые теорией.

Источник: составлено автором.

## 2.2. Гипотезы исследования

На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие гипотезы исследования:

1. С ростом кредитного риска растёт G-спред корпоративных облигаций;
2. С ростом риска ликвидности растёт G-спред корпоративных облигаций;
3. Смена комбинации переменных, характеризующих основные виды риска не сказывается на устойчивости влияния;

4. С уменьшением времени до погашения снижается неопределённость, выражающая в падении G-спреда корпоративных облигаций;
5. С ростом ставки купона растёт G-спред корпоративных облигаций;
6. Бескупонные облигации в среднем имеют больший G-спред по сравнению с купонными облигациями.

## 2.3. Эконометрические спецификации модели спредов доходности корпоративных облигаций

Оцениваемые уравнения в общем виде выглядят таким образом:

$$Gspread_{it} = liquidity_{risk_{it}} + credit_{risk_{it}} + controls_{it}, \text{ где} \quad (7)$$

- $Gspread_{it}$  – G-спред облигации  $i$  в неделю  $t$ ;
- $liquidity_{risk_{it}}$  и  $credit_{risk_{it}}$  – меры риска ликвидности и риска дефолта, определённые в прошлом разделе, для облигации  $i$  в неделю  $t$ ;
- $controls_{it}$  – вектор контрольных переменных.

Так как данные имеют панельную структуру, будут тестироваться три основных вида моделей: регрессии пула, модели с фиксированными эффектами и со случайными эффектами. В случае последних двух в контроль включены двунаправленные эффекты: облигаций и недель. Итоговый выбор моделей, чьи коэффициенты будут интерпретироваться, будет основываться на основе спецификационных тестов.

## 2.4. Кластеризация выборки корпоративных облигаций

Чувствительность спреда к риск-факторам может отличаться между облигациями. Оценивание чувствительности для каждой отдельной облигации не позволило бы использовать все преимущества панельной структуры, однако можно разделить объекты на кластеры и получить более точные оценки, не теряя возможности использования панелей.

В кластеризации временных рядов можно выделить три основных подхода:

1. Использование метрик расстояния между временными рядами: данный подход плох тем, что в связи с итеративной спецификой их подсчёта применение затруднительно для большого количества длинных рядов. Также возникает вопрос о сравнимости рядов со значительно отличающимся количеством наблюдений.
2. Использование результатов подгонки моделей семейства ARIMA: идея в том, чтобы оценить для каждого ряда свою собственную модель и на основе значимых коэффициентов получить разбиение рядов. В таком случае необходимо априорно выбрать ограниченный набор предполагаемо подходящих для ряда моделей, среди которых и будет выбираться оптимальное, и определять

методику кластеризации: на основе значений всех коэффициентов или только значимых переменных, или же разделять по классам моделей.

3. Кластеризация на основе описательных статистик временного ряда: выбирается набор признаков, на основе которых и идёт кластеризация. Данный метод совмещает в себе удобство, быстроту и сравнительно неплохое качество, поэтому он и используется в данном исследовании.

Для каждого временного ряда рассчитываются:

- Среднее значение (дополнительно нормируется);
- Среднеквадратическое отклонение (дополнительно нормируется);

Затем на основе этих характеристик применяется алгоритм K-means, и с помощью метрик качества Elbow, Silhouette и графического анализа определяется оптимальное количество кластеров. Выбор переменной для кластеризации будет основан на эконометрических результатах основных моделей.

## 2.5. Проверка устойчивости результатов методом бустинга над деревьями

Использование метода машинного обучения является своего рода проверкой устойчивости полученных результатов. Гипотеза состоит в том, что знаки влияния факторов должны сохраниться при смене класса методов.

Плюс метода, основанного на деревьях решений, состоит в том, что модель устойчива к любому рода выбросам и свойствам переменных: например, в определённых случаях использование логарифма может линеаризовать переменную, что предпочтительнее для линейной модели, но безразлично в случае применения деревьев, если только математическое преобразование не меняет ранговый порядок изначальных значений. Ещё одно преимущество состоит в возможности уловить нелинейные эффекты рассматриваемых детерминант.

Небольшой минус состоит в том, что в данных методах нет привычной статистической значимости (разве что можно проводить сложные процедуры с бутстрапированием используемых выборок) и тяжело оценить эффект количественно, однако, определить влияние можно, основываясь на аппроксимации векторов Шэпли.

## 2.6. Выводы по главе

Подводя итог, выбранные детерминанты будут проходить эмпирическую проверку на значимость, более того, по вышеописанной стратегии кластеризации будет проведена оценка чувствительности спреда доходности к рассматриваемым факторам риска на отдельных выборках облигаций и проверка устойчивости влияния сменой класса используемых моделей.

## Глава 3. Модель спредов доходности корпоративных облигаций на российском рынке

Данная глава посвящена эмпирической части исследования. На базе сформулированной в предыдущей главе методологии оцениваются различные спецификации факторной модели спредов доходности корпоративных облигаций на российском рынке. Устойчивость полученных результатов проверяется с использованием методов машинного обучения. Отдельное внимание уделяется практическому использованию полученных результатов.

### 3.1. Данные

Данные для исследования собраны с помощью провайдера финансовой информации [Cbonds](#). Выборка состоит из корпоративных облигаций, размещённых на Московской Бирже с 2012 по 2021 год (по март включительно). Характеристика рынка облигаций в целом представлена в Приложении 2.

В первую очередь была собрана общая информация: эмитент, отрасль компании, её рейтинг, размер эмиссии, идентификаторы облигаций. На основе этой информации были собраны данные по временным показателям облигаций (Приложение 1). В Приложении 3 представлен полный список характеристик по облигационным временным рядам. Основные из них: цены bid, ask, indicative, оборот, даты оферт (при наличии), дюрации и т.д. Котировки получены по двум режимам торгов: «Московская биржа» и «Московская биржа Т+»<sup>4</sup>. Также была собрана информация по котировкам акций всех публичных компаний с марта 2013 года по апрель 2021 года.

В связи с невысокой активностью на рынке облигаций и, как следствие, отсутствием рыночных оценок показателей за каждый день, для возможности иметь непрерывную динамику было решено перейти от работы с ежедневной периодичностью к еженедельной. Сглаживание сделано взятием средних значений по имеющимся данным за неделю, пример преобразования наглядно представлен на Рис. 1 ниже. График демонстрирует, что сглаживание динамики не всегда помогает убирать разрывы временных рядов. Причиной разрывов является малая ликвидность облигаций, даже вполне надёжных эмитентов.

Более того, прошли отбор только те временные ряды, интересующие данные по которым были в наличии по не менее чем 40% наблюдаемой выборки и длиной не менее 50 дневных точек (для целей кластеризации по статистикам ряда и отбора более ликвидных облигаций). Изначальная панель состояла из 1635 облигаций (202 843 наблюдения).

---

<sup>4</sup> Перевод облигаций на Т+ был полностью произведён [в мае 2020 года](#), что должно было «способствовать росту ликвидности данного сегмента рынка».

Были удалены облигационные ряды с оставшейся «рваной» информацией, то есть с пробелами в динамике. Все вышеупомянутые меры должны были исключить из выборки наименее ликвидные облигации, которых достаточно много на российском рынке и чей анализ мог бы сместить фокус выбранного направления исследования или исказить полученные результаты.



Рисунок 1. Сглаживание временных рядов на примере облигации «Роснефть, 06»

Источник: расчёты автора.

Далее была проведена 95% винзоризация каждого временного ряда: значения, выходящие за пределы 2.5-го и 97.5-го перцентилей, принимались равными данным перцентилем. Процедура направлена на ряды с очень редкими случаями выбросов (например, в случае ряда с историей в 200 наблюдений будет подправлено не больше 10 наблюдений, в случае 50 - не больше 3), причинами которых могли быть недостаток ликвидности или иные рыночные ненаблюдаемые нами шоки. Более агрессивная стратегия удаления и этих рядов приводила к более сильному усечению рассматриваемой выборки. Те облигации, чьи ряды не были избавлены от выбросов винзоризацией, всё же были удалены полностью.

Выборка была немного урезана в связи с соединением данных из разных сфер (макроэкономические данные, данные по котировкам акций) и оставлением в таблице облигаций только публичных эмитентов (с торгуемыми на бирже акциями). Итоговый размер очищенной выборки составил 40 500 наблюдений по облигациям с историей не менее 15 недель. В Таблице 2 представлена описательная статистика по части переменных<sup>5</sup>:

	bid-ask спред, б.п.	Цена закрытия, %	Оборот, руб.	G-спред, б.п.	Размер эмиссии, млн. руб.
<b>Количество</b>	39 548	40 458	37 113	40 500	40 500
<b>Среднее</b>	234	99,89	10 731 279	-57	8 763
<b>Ст. отклонение</b>	399	4,52	41 986 543	314	10 047
<b>Минимум</b>	1	74,98	826	-1 725	50
<b>25%</b>	28	97,77	115 002	-316	3 000
<b>50%</b>	85	100,30	822 875	72	5 000
<b>75%</b>	279	102,40	4 696 027	133	10 000
<b>Максимум</b>	3 651	130,00	2 000 000 000	1 931	80 000

Таблица 2. Описательная статистика по временным рядам облигаций.

Источник: расчёты автора.

Выборка состоит из 43 компаний 13 секторов экономики. Эмитентами 66% облигаций в выборке выступают банки (Сбербанк, ВТБ, МКБ и Росбанк), ещё практически 10% – компании телекоммуникационного сектора (АФК система, МТС, Ростелеком, МегаФон), ещё по 5% облигаций – эмитенты из области энергетики и нефтегазовой отрасли.

Ещё одна специфика итоговых данных – распределение по рейтингам эмитентов (Рисунок 2).



Рисунок 2. Эмитенты AAA и AA практически не различимы до 2018 года.

Источник: расчёты авторы, данные Cbonds

<sup>5</sup> Информацию по всем собранным характеристикам можно найти в коде в приложении

Примерно 50% не имеют рейтинга АКРА, вторая половина имеет рейтинги с А по AAA. Эмитенты AAA и AA практически не различимы до 2018 года, что может свидетельствовать о недоверии к рейтингам, предоставляемым агентством АКРА. В целом, как видно из графика и описательных статистик, наша выборка представляет корпоративные облигации достаточно надёжных эмитентов.

Стоит также учитывать, что выборка гетерогенна как по группам, так и по времени (Рис. 3). Мы видим, что средний спред падает во времени, что скорее всего связано с ростом ликвидности и надёжности инвестирования. Касаемо эмитентов, например, отрицательные средние значения спредов принадлежат двум эмитентам: ВТБ и Сбербанку России, наибольшее значение – у группы компаний Самолёт. Поэтому будет оправданным включение двунаправленных эффектов в моделях.

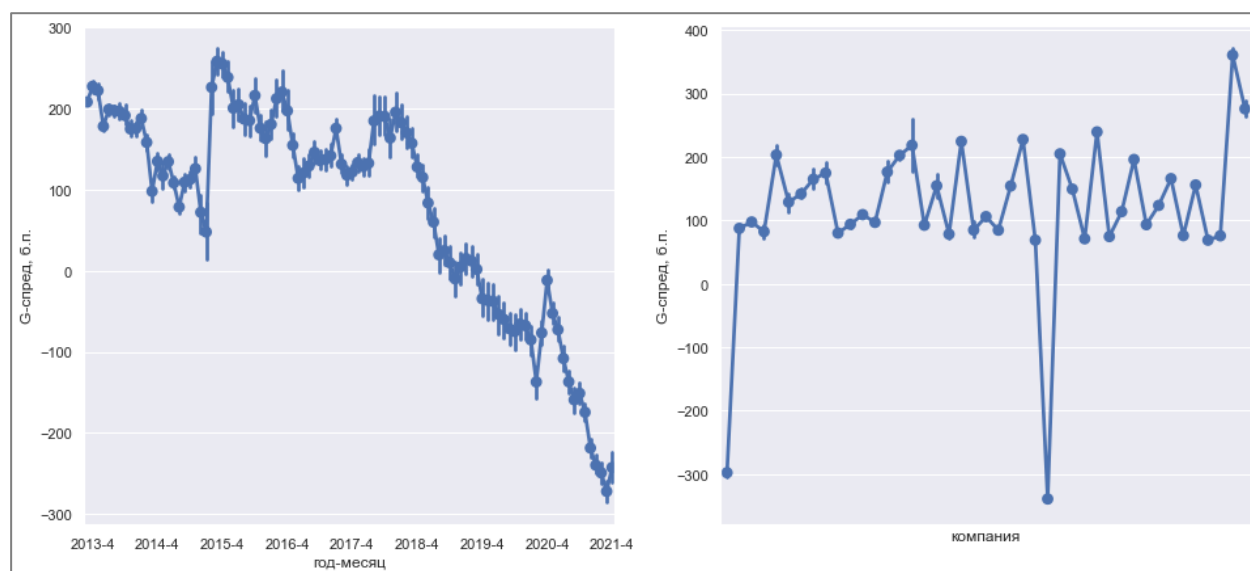


Рисунок 3. Гетерогенность во времени (слева) и по группам (справа). Доверительные интервалы на 10% уровне. Графики представлены по более общим группам для целей визуализации.  
Источник: расчёты автора.

Таким образом, представленные далее результаты могут быть корректно обобщены на надёжные по российским меркам компании.

### 3.2. Классические модели на панельных данных

Первым делом были рассмотрены результаты трёх общепринятых для панельного анализа моделей: пула, с фиксированными эффектами, со случайными эффектами. Основываясь на проведённых статистических тестах, например, тесте Хаусмана (подробнее – в Приложении 4), были выбраны модели со случайными эффектами для всех трёх мер риска ликвидности и двух мер кредитного, результаты которых представлены ниже:

	Зависимая переменная:					
	g_spread_bp					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
illiquidity2	50.25*** (0.23)			47.95*** (0.23)		
turnover_norm		-1.22*** (0.003)			-1.18*** (0.003)	
prop_bid_ask			-2.87*** (0.002)			-2.83*** (0.002)
dist_to_default	-46.62*** (0.05)	-46.53*** (0.05)	-44.99*** (0.05)			
prob_of_default				243.92*** (0.19)	243.66*** (0.19)	229.94*** (0.19)
days_left	-0.01*** (0.0000)	-0.01*** (0.0000)	-0.01*** (0.0000)	-0.01*** (0.0000)	-0.01*** (0.0000)	-0.01*** (0.0000)
current_coupon	73.78*** (0.01)	73.66*** (0.01)	72.19*** (0.01)	74.14*** (0.01)	74.02*** (0.01)	72.54*** (0.01)
zero_coupon_bond	541.30*** (0.15)	540.63*** (0.15)	528.52*** (0.15)	539.34*** (0.15)	538.70*** (0.15)	526.86*** (0.15)
Constant	-439.41*** (0.08)	-438.33*** (0.08)	-421.10*** (0.08)	-562.02*** (0.13)	-560.86*** (0.13)	-536.85*** (0.12)
Observations	36,472	36,472	38,896	36,472	36,472	38,896
R <sup>2</sup>	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Adjusted R <sup>2</sup>	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64

Note:

\* p<0.1; \*\* p<0.05; \*\*\* p<0.01

Таблица 3. ОМНК-оценки моделей со случайными эффектами (двухнаправленными).

Источник: расчёты автора.

В целом, получены ожидаемые результаты почти по всем интересующим переменным: знаки коэффициентов перед прокси кредитного риска (дистанция до дефолта и вероятность дефолта) имеют предсказываемые теорией знаки и значимы на 1% уровне. Коэффициент перед переменной «days\_left» оказался отрицательным: одно из объяснений данному факту есть в работе Кавалло и Валенсуэла [Cavallo and Valenzuela, 2010], которые свидетельствуют о возможности отрицательной зависимости в случае высокого соотношения долговых обязательств к активам компании. В таком случае возникает риск funding liquidity, о котором шла речь в первой главе. В случае компаний с высоким уровнем долга повышается риск, связанный именно с привлечением финансирования.

Коэффициент перед prop\_bid\_ask отрицательный в обеих спецификациях, что более удивительно и противоречит теории: падение ликвидности должно положительно влиять на величину спреда доходности, а не наоборот. Для поиска возможного объяснения необходимо провести кластеризацию по данной переменной и проверить устойчивость обнаруженных несоответствий.



### 3.3. Оценка чувствительности по кластерам

Число кластеров можно определить на основе двух критериев (Elbow и Silhouette) и графического анализа (графики 8-9 в Приложении 5). Критерии склоняют к небольшому количеству кластеров (2-4); графический анализ подтверждает, что 4 кластера вполне достаточно для разделения облигаций по волатильности и среднему значению их пропорционального bid-ask спреда.

Графически итоговое разбиение представлено на Рисунке 4.

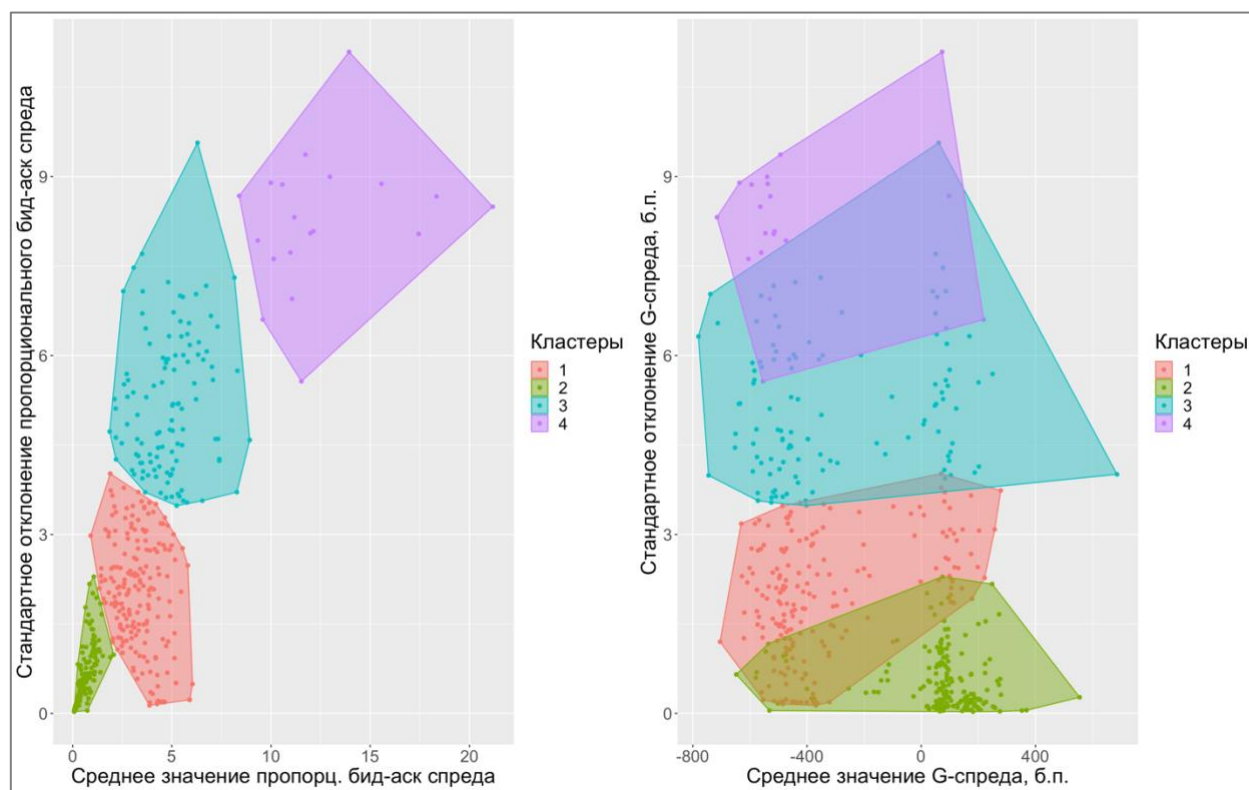


Рисунок 4. Кластеризация по пропорциональному bid-ask спреду слева и соответствующее данным кластерам разбиение по G-спреду справа.  
Источник: построение автора.

Ниже, в таблицах 4-6, представлены результаты моделей по кластерам<sup>6</sup>. Несколько результатов представляют особый интерес.

Коэффициент перед пропорциональным бид-аск спредом имеет устойчивый отрицательный знак, однако сильнее всего влияет на облигации во втором кластере (см. Таблицу 5), для облигаций которого характерны наименьшая волатильность и среднее значение как пропорционального bid-ask, так и G-спреда. В связи с этим, вероятнее всего, и связана большая чувствительность к изменениям.

Достаточно сильно меняется чувствительность меры неликвидности в зависимости от рассматриваемого кластера. Для более волатильных групп облигаций (кластеры 1 и 3,

<sup>6</sup> 4 кластер был исключён в связи с малым количеством облигаций – 19 штук

таблицы 4 и 6 соответственно) чувствительность соответствует ожиданиям по поводу знака влияния, однако различается между кластерами в абсолютных значениях.

1 cluster						
	Зависимая переменная:					
	g_spread_bp					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
illiquidity2	129.11*** (0.36)	129.84*** (0.36)				
turnover_norm			-1.93*** (0.02)	-1.88*** (0.02)		
prop_bid_ask					-1.91*** (0.004)	-1.87*** (0.004)
dist_to_default	-28.64*** (0.13)		-27.93*** (0.13)		-32.42*** (0.12)	
prob_of_default		258.58*** (0.42)		256.31*** (0.42)		251.55*** (0.40)
Observations	10,033	10,033	10,033	10,033	11,015	11,015
R <sup>2</sup>	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Adjusted R <sup>2</sup>	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58

Note:

\*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Таблица 4. Кластер № 1. ОМНК-оценки моделей со случайными эффектами (двухнаправленными) при разбиении на кластеры по prop\_bid\_ask.  
Источник: расчёты автора.

Отрицательная зависимость между неликвидностью и G-спредом возникла в случае наименее волатильных облигаций: вполне возможно, что в случае данных облигаций мы не учитываем достаточно важный фактор, коррелирующий с данной переменной, но не учтённый в спецификации модели.

Наибольшую стабильность из всех мер риска продемонстрировал среднедневной оборот в процентах от эмиссии, оказывая отрицательное влияние на спред облигаций на 1% уровне значимости. Наиболее ощутимый эффект они оказывают на 1 кластер: увеличение оборота на 1 процент влечёт уменьшение спреда на 1.93-88 б.п. в зависимости от спецификации.

Выбранные прокси кредитного риска и меры краткосрочной ликвидности устойчивы ко всем рассмотренным спецификациям. Наиболее чувствительны к мерам кредитного риска оказались облигации из третьего кластера (см. Таблицу 6), что кажется вполне естественным, учитывая их наибольшую волатильность доходности среди кластеров.

## 2 cluster

	Зависимая переменная:					
	g_spread_bp					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
illiquidity2	-785.64*** (1.02)	-789.42*** (1.02)				
turnover_norm			-1.30*** (0.004)	-1.28*** (0.004)		
prop_bid_ask					-10.85*** (0.01)	-10.84*** (0.01)
dist_to_default	-17.45*** (0.07)		-15.95*** (0.07)		-16.57*** (0.07)	
prob_of_default		95.69*** (0.24)		88.63*** (0.24)		92.26*** (0.24)
Observations	17,719	17,719	17,719	17,719	17,885	17,885
R <sup>2</sup>	0.31	0.31	0.31	0.31	0.33	0.32
Adjusted R <sup>2</sup>	0.31	0.31	0.31	0.31	0.33	0.32

Note:

\*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Таблица 5. Кластер № 2. ОМНК-оценки моделей со случайными эффектами (двунаправленными) при разбиении на кластеры по prop\_bid\_ask.

Источник: расчёты автора.

## 3 cluster

	Зависимая переменная:					
	g_spread_bp					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
illiquidity2	58.45*** (0.36)	58.54*** (0.36)				
turnover_norm			-1.41*** (0.02)	-1.39*** (0.02)		
prop_bid_ask					-3.01*** (0.002)	-3.00*** (0.002)
dist_to_default	-250.94*** (0.18)		-251.20*** (0.18)		-231.51*** (0.17)	
prob_of_default		717.48*** (0.49)		717.83*** (0.49)		657.27*** (0.47)
Observations	9,551	9,551	8,046	8,046	9,138	9,138
R <sup>2</sup>	0.60	0.60	0.59	0.59	0.60	0.60
Adjusted R <sup>2</sup>	0.60	0.60	0.59	0.59	0.60	0.60

Note:

\*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Таблица 6. Кластер № 3. ОМНК-оценки моделей со случайными эффектами (двунаправленными) при разбиении на кластеры по prop\_bid\_ask.

Источник: расчёты автора.

### 3.4. Оценка влияния факторов на спред доходности на основе бустинг-моделей

В данном разделе представлены результаты использования бустинга над деревьями, гиперпараметры которого были предварительно подобраны на отложенной выборке. Интерпретация с помощью SHAP-values представлена ниже на Рисунке 6.

Из данных графиков можно сделать аналогичные предыдущим результатам выводы.

Во-первых, гетерогенность по группам и по времени подтверждается (серым цветом демонстрируется, что влияние сильное, но не упорядоченное).

Во-вторых, ключевое и ярко выраженное влияние на спред оказывает купон, который закладывается в стоимость при подсчёте доходности к погашению.

В-третьих, касаясь детерминант кредитного риска, обе переменные демонстрируют аналогичные предыдущим свидетельствам влияние: чем больше дней до погашения, тем меньше спред (красные точки в большей степени по левую сторону от нуля, то есть наблюдаемый нами эффект на панельных данных подтвердился), в свою очередь, чем больше дистанция до дефолта, тем меньше G-спред (красные точки сосредоточены левее).

В-четвёртых, меры риска ликвидности демонстрируют аналогичные предыдущим результаты, в том числе мы можем наблюдать и отрицательное влияние пропорционального бид-аск спреда на G-спред.

Таким образом, метод из совершенно другого класса моделей свидетельствует об устойчивости полученных ранее результатов.

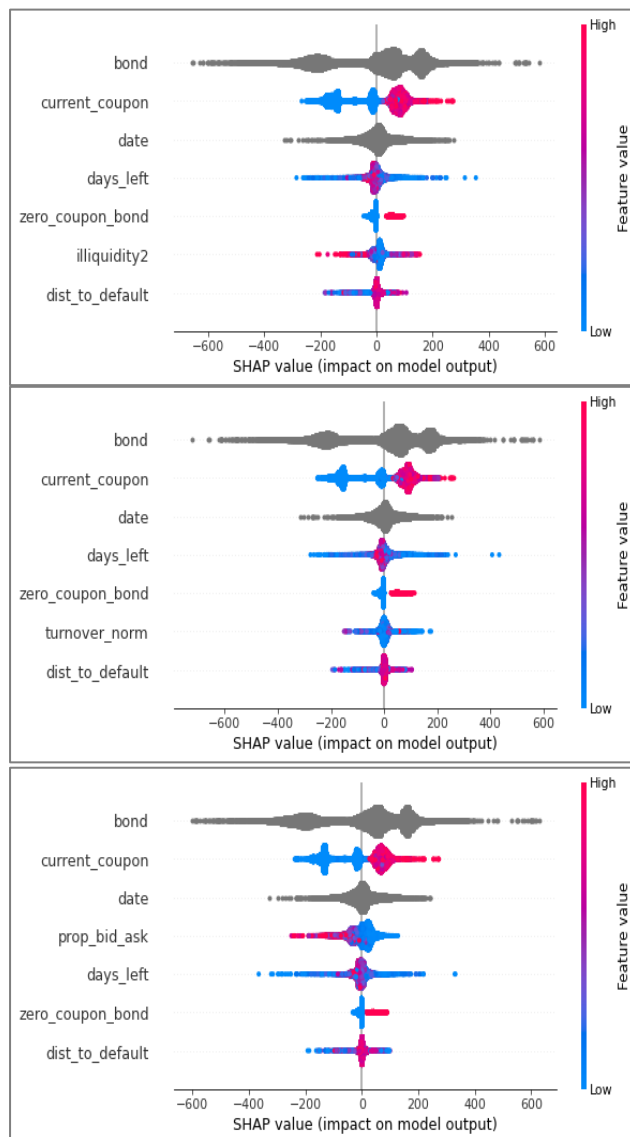


Рисунок 5. Shap-values для моделей с разными мерами риска ликвидности.

Источник: расчёты автора.

### 3.5. Практическое применение факторной модели спреда доходностей корпоративных облигаций на российском рынке

Вышеописанные результаты имеют полезное приложение при формировании портфеля облигаций.

Первый простой способ: финансовая компания (или отдельный инвестор) могут определить для себя, какой из видов риска они предпочитают принять, и на основе выявленных устойчивых детерминант (*dist\_to\_default* – кредитного риска, *illiquidity* или *turnover\_norm* – риска ликвидности) проводить сортировку по отдельным облигациям, или усреднять по эмитенту, получая таким образом возможность сравнивать компании по уровням рисков.

Второй способ связан с калибровкой данных мер риска под более понятные бизнесу характеристики, например, задать соответствие между дистанцией до дефолта компании и вероятностью дефолта, используя исторические данные или структурно-теоретический подход с предположением нормальности, который был использован в данной работе. Далее можно использовать портфельную теорию оптимизации, где можно фиксировать определённый уровень риска (например, кредитного), и максимизировать G-спред или другую метрику доходности. Аналогично можно поступать с мерой неликвидности, или же игнорировать данный риск в случае долгосрочного инвестирования.

### 3.6. Выводы к главе

Краткие результаты эмпирического анализа следующие. Во-первых, наилучшими моделями для всех рассмотренных детерминант оказались модели со случайными эффектами. Во-вторых, аномальное воздействие пропорционального бид-аск спреда сохраняется во всех моделях, как на всех данных, так и на подвыборках, полученных путём кластеризации, а также устойчиво к переходу на метод машинного обучения. В-третьих, детерминанты кредитного риска устойчивы ко всем спецификациям моделей и выборок, демонстрируя согласованные с теорией знаки влияния на значимом уровне. Касаясь детерминант риска ликвидности, наиболее устойчивой среди рассмотренных детерминант на данных по российским облигациям оказался среднедневной оборот.

## Заключение

В данном исследовании была построена факторная модель спреда корпоративных облигаций, включающая в себя меры кредитного риска, риска ликвидности, меры рыночного и странового рисков и прочие контрольные характеристики. Предоставлено свидетельство того, что в G-спреде российских облигаций заложены кредитный риск и риск ликвидности. В работе было также представлено прикладное применение используемых детерминант, продемонстрировавших устойчивость.

В качестве мер кредитного риска были рассмотрены и показали статистически значимое влияние основанные на модели KMV переменные расстояния до дефолта и вероятности дефолта. Они показали статистическую значимость и подтвердили свою валидность в оценке кредитной составляющей спреда корпоративных облигаций. Преимущество данных мер состоит в том, что их можно оценивать для каждой облигации в каждый момент времени, что позволяет исследовать более частотные данные, чем ежемесячные или квартальные. Недостатком на данный момент является способ их оценивания, предполагающий независимость доходностей во времени и упускающий влияние необлигационных займов. Устранение этих недочётов улучшит оценки характеристик и, как следствие, качество модели.

Касаясь риска ликвидности, самой надёжной переменной оказался оборот облигаций на рынке. Противоречащий теории знак влияния продемонстрировала характеристика пропорционального бид-аск спреда. Данная аномалия устойчива к разбиению переменной на кластеры и смене класса методов. Эмпирическое наблюдение не объясняется изученной литературой и нарушает отрицательную связь между риском и доходностью.

Развитие данной работы может заключаться в следующих аспектах. Во-первых, в исследовании был рассмотрен преимущественно структурный подход, точнее выросшее из него коммерческое решение. В новых исследованиях стоит уделить больше внимания калибровке расширенных структурных моделей и моделей в сокращённой форме, которые достаточно конкурентоспособны в предсказании дефолта эмитента. Во-вторых, существует ещё большое множество мер ликвидности, не рассмотренных в данном исследовании, но демонстрировали значимое влияние в зарубежной литературе. Их детальное рассмотрение позволит выбрать наиболее подходящую для российского рынка детерминанту и, возможно, пролить свет на несоответствующий теории результат с пропорциональным bid-ask спредом. Также стоит озаботиться выбором прочих контрольных переменных, которые могут оказывать переменное во времени влияние на спред облигации и не объясняемое ни кредитным, ни неликвидным риском.

## Список литературы

### Статьи

1. Берзон Н. И., Милицкова Т. М. Детерминанты доходности рублевых корпоративных облигаций при их размещении //Финансы и кредит. – 2013. – №. 16 (544).
2. Милицкова Т. М. Влияние специфических факторов на спреды доходности корпоративных облигаций //Корпоративные финансы. – 2013. – Т. 7. – №. 2.
3. Abudy M. M., Raviv A. How much can illiquidity affect corporate debt yield spread? //Journal of Financial Stability. – 2016. – Т. 25. – С. 58-69.
4. Alfons V. O. Credit Valuation-White Paper //San Fransico: MoodysKMV corporation. – 1984.
5. Arora N., Bohn J. R., Zhu F. Reduced form vs. structural models of credit risk: A case study of three models //Journal of Investment Management. – 2005. – Т. 3. – №. 4. – С. 43.
6. Bao J., Pan J., Wang J. The illiquidity of corporate bonds //The Journal of Finance. – 2011. – Т. 66. – №. 3. – С. 911-946.
7. Black F., Cox J. C. Valuing corporate securities: Some effects of bond indenture provisions //The Journal of Finance. – 1976. – Т. 31. – №. 2. – С. 351-367.
8. Cavallo E. A., Valenzuela P. The determinants of corporate risk in emerging markets: an option-adjusted spread analysis //International Journal of Finance & Economics. – 2010. – Т. 15. – №. 1. – С. 59-74.
9. Chen L., Lesmond D. A., Wei J. Corporate yield spreads and bond liquidity //The Journal of Finance. – 2007. – Т. 62. – №. 1. – С. 119-149.
10. Collin-Dufresn P., Goldstein R. S., Martin J. S. The determinants of credit spread changes //The Journal of Finance. – 2001. – Т. 56. – №. 6. – С. 2177-2207.
11. Crosbie P., Bohn J. Modeling default risk //World Scientific Reference on Contingent Claims Analysis in Corporate Finance: Volume 2: Corporate Debt Valuation with CCA. – 2019. – С. 471-506.
12. Elton E. J. et al. Explaining the rate spread on corporate bonds //the journal of finance. – 2001. – Т. 56. – №. 1. – С. 247-277.
13. Ericsson J., Renault O. Liquidity and credit risk //The Journal of Finance. – 2006. – Т. 61. – №. 5. – С. 2219-2250.
14. Gabbi G., Sironi A. Which factors affect corporate bonds pricing? Empirical evidence from eurobonds primary market spreads //The European Journal of Finance. – 2005. – Т. 11. – №. 1. – С. 59-74.

15. Güntay L., Hackbarth D. Corporate bond credit spreads and forecast dispersion //Journal of Banking & Finance. – 2010. – Т. 34. – №. 10. – С. 2328-2345.
16. Helwege J., Huang J. Z., Wang Y. Liquidity effects in corporate bond spreads //Journal of Banking & Finance. – 2014. – Т. 45. – С. 105-116.
17. Houweling P., Mentink A., Vorst T. Comparing possible proxies of corporate bond liquidity //Journal of Banking & Finance. – 2005. – Т. 29. – №. 6. – С. 1331-1358.
18. Huang J. Z., Huang M. How much of the corporate-treasury yield spread is due to credit risk? //The Review of Asset Pricing Studies. – 2012. – Т. 2. – №. 2. – С. 153-202.
19. Huang H. H., Huang H. Y., Oxman J. J. Stock liquidity and corporate bond yield spreads: Theory and evidence //Journal of Financial Research. – 2015. – Т. 38. – №. 1. – С. 59-91.
20. Hull J. C., White A. D. Valuing credit default swaps I: No counterparty default risk //The Journal of Derivatives. – 2000. – Т. 8. – №. 1. – С. 29-40.
21. Jarrow R. A., Turnbull S. M. Pricing derivatives on financial securities subject to credit risk //The journal of finance. – 1995. – Т. 50. – №. 1. – С. 53-85.
22. Kealhofer S. Quantifying credit risk I: default prediction //Financial Analysts Journal. – 2003. – Т. 59. – №. 1. – С. 30-44.
23. Kyle A. S., Obizhaeva A. A. Market microstructure invariance: Empirical hypotheses //Econometrica. – 2016. – Т. 84. – №. 4. – С. 1345-1404.
24. Kyle A. et al. Trading liquidity and funding liquidity in fixed income markets: Implications of market microstructure invariance. – Working paper, 2016.
25. Leland H. E. Corporate debt value, bond covenants, and optimal capital structure //The journal of finance. – 1994. – Т. 49. – №. 4. – С. 1213-1252.
26. Merton R. C. On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates //The Journal of finance. – 1974. – Т. 29. – №. 2. – С. 449-470.
27. Slimane M. B., de Jong M. Bond liquidity scores //The Journal of Fixed Income. – 2017. – Т. 27. – №. 1. – С. 77-82.

### Монографии

28. Айвазян С. А., Фантаццини Д. Эконометрика-2: продвинутый курс с приложениями в финансах: учебник //М.: Магистр. – 2014.
29. Miller T. Introduction to Option-adjusted Spread Analysis. – John Wiley & Sons, 2010. – Т. 46.
30. Hull J. C. Options futures and other derivatives. – Pearson Education India, 2003.



## Приложение 1. Ссылки на код и данные для репликации

[Ссылка на репозиторий](#) с кодом, состоящим из четырёх частей:

1. *diplom\_code\_1\_cleaning\_passingthrough\_microeda\_fe\_main.ipynb*  
уделено внимание сбору данных, их очистке, созданию некоторых переменных и небольшому попутному разведочному анализу:
2. *diplom\_code\_2\_visualization.ipynb*  
сосредоточена визуализация данных и создание описательных таблиц
3. *diplom\_code\_3\_prophet\_boosting.ipynb*  
представлен анализ путём методов машинного обучения
4. *diplom\_code\_4\_panel\_models\_clustering.R*  
весь эконометрический анализ собран здесь: смена языка как раз связана с наличием необходимых библиотек с моделями и эконометрическими тестами

[Данные для репликации работы](#)

## Приложение 2. Характеристика российского рынка облигаций

Российский рынок достаточно молодой: негосударственные ценные бумаги появились лишь в 1996-1997 годах, а облигации – в начале 2000-х. По данным на 19 год рынок облигаций составлял около 21% ВВП. На Рисунке 6 мы можем наблюдать рост рынка, однако наблюдается и тенденция к росту ОТС рынка: в последние года только половина корпоративных облигаций обращается на Московской бирже. Большую часть представляют облигации со встроенным пут опционом-офертой (также называют безотзывными или возвратными).



Рисунок 6. Динамика объема облигационного рынка.

Источник: расчёты авторы на основе данных Cbonds.

По отраслям (Рис. 7) можно выделить 5 наиболее предрасположенных к выпуску облигаций отраслей, среди которых выделяется нефтегазовая со скачкообразным ростом. Также в лидерах роста банки и прочие финансовые институты, что неудивительно, учитывая тесную связь их деятельности с финансовыми рынками, в том числе и рынком корпоративных облигаций.

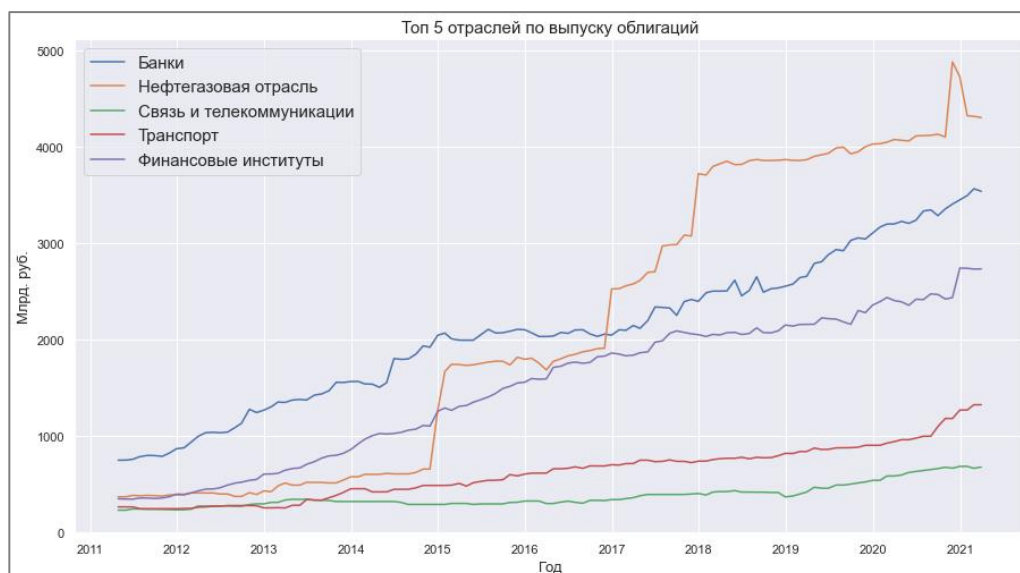


Рисунок 7. Динамика выпуска облигаций по топ-5 отраслям.

Источник: расчёты автора на основе данных Cbonds.

### Приложение 3. Список переменных по облигациям

- Дата торгов
- Название биржи
- Котировка на покупку, закрытие (bid), %
- Котировка на продажу, закрытие (ask), %
- Bid-ask спред, б.п.
- Цена средняя, %
- Цена открытия, %
- Цена минимальная, %
- Цена максимальная, %
- Цена последняя, %
- Цена средневзвешенная, %
- Рыночная цена, %
- Рыночная цена 2 (пенс.накопл.), %
- Признаваемая котировка, %
- Цена закрытия, %

- Индикативная цена, %
- Тип индикативной цены
- Оборот
- Количество сделок
- Объем сделок в бумагах
- Текущая ставка купона, %
- Дата погашения
- Доходность к погашению по инд. цене, %
- Доходность к погашению по цене bid, %
- Доходность к погашению по цене ask, %
- Доходность к погашению по цене last, %
- Доходность к погашению по цене закрытия, %
- НКД
- Дюрация
- Модифицированная дюрация
- Дата оферты (put/call)
- Доходность к оферте по инд. цене, %
- Доходность к оферте по цене bid, %
- Доходность к оферте по цене ask, %
- Доходность к оферте по последней цене, %
- Доходность к оферте по цене закрытия, %
- Дюрация к оферте
- Модифицированная дюрация к оферте
- G-spread, б.п.
- G-spread, б.п.
- Бенчмарк для G-spread

**Примечание. Методология расчёта G-спреда с сайта Cbonds:** «G-spread для российских рублевых облигаций рассчитывается как арифметическая разница между доходностью облигации и значением доходности на кривой бескупонной доходности по государственным ценным бумагам (G-кривой, рассчитанной в соответствии с методикой) с такой же дюрацией».

## Приложение 4. Результаты оценки эконометрических моделей

В качестве прокси риска ликвидности – мера неликвидности Kyle, Obizhaeva 2016.

	Dependent variable:					
	g_spread_bp					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
illiquidity2	-242.87 (160.31)	-239.68 (159.74)	60.95 (77.15)	58.41 (77.05)	50.25*** (0.23)	47.95*** (0.23)
dist_to_default	108.48*** (28.85)		-49.60*** (17.55)		-46.62*** (0.05)	
prob_of_default		-362.85*** (97.01)		258.69*** (57.36)		243.92*** (0.19)
days_left	-0.02*** (0.01)	-0.03*** (0.01)	-0.02 (0.01)	-0.02 (0.01)	-0.01*** (0.0000)	-0.01*** (0.0000)
current_coupon	64.26*** (2.76)	64.09*** (2.78)			73.78*** (0.01)	74.14*** (0.01)
zero_coupon_bond	525.26*** (31.19)	525.04*** (31.06)			541.30*** (0.15)	539.34*** (0.15)
Constant	-379.24*** (26.77)	-197.51*** (64.86)			-439.41*** (0.08)	-562.02*** (0.13)
Observations	36,472	36,472	36,472	36,472	36,472	36,472
R <sup>2</sup>	0.65	0.65	0.002	0.004	0.64	0.64
Adjusted R <sup>2</sup>	0.65	0.65	-0.02	-0.02	0.64	0.64
F Statistic	13,539.09*** (df = 5; 36466)	13,559.23*** (df = 5; 36466)	28.67*** (df = 3; 35533)	51.46*** (df = 3; 35533)	33,897,630.00***	34,850,830.00***

Note:

\*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Таблица 7. Сводные результаты оценивания факторных моделей: в последних 4-х моделях учитывается гетерогенность по облигациям и по времени. В случае первых четырёх моделей стандартные ошибки скорректированы на наличие корреляций в ошибках, последние две модели – ОМНК-оценки. Источник: расчёты автора.

Спецификационные тесты говорят следующее: между регрессией пула и регрессией с фиксированными эффектами выбор падает в сторону второй модели (на 1% уровне значимости). Тест Хаусмана не отвергает нулевую гипотезу, выступая в пользу использования случайных эффектов по сравнению с моделью со случайными эффектами (на 1% уровне гипотеза о состоятельности ОМНК оценок не отвергается).

Данное верно для каждой из троек моделей (при смене меры кредитного риска).

В качестве прокси риска ликвидности – среднедневной оборот в процентах от эмиссии.

	<i>Dependent variable:</i>					
	g_spread_bp					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
turnover_norm	1.10 (0.92)	1.04 (0.91)	-1.31*** (0.31)	-1.27*** (0.31)	-1.22*** (0.003)	-1.18*** (0.003)
dist_to_default	108.72*** (29.01)		-49.47*** (17.57)		-46.53*** (0.05)	
prob_of_default		-364.09*** (97.55)		258.25*** (57.50)		243.66*** (0.19)
days_left	-0.03*** (0.01)	-0.03*** (0.01)	-0.02 (0.01)	-0.02 (0.01)	-0.01*** (0.0000)	-0.01*** (0.0000)
current_coupon	64.77*** (2.53)	64.59*** (2.56)			73.66*** (0.01)	74.02*** (0.01)
zero_coupon_bond	529.30*** (29.69)	529.04*** (29.56)			540.63*** (0.15)	538.70*** (0.15)
Constant	-384.90*** (24.24)	-202.47*** (63.38)			-438.33*** (0.08)	-560.86*** (0.13)
Observations	36,472	36,472	36,472	36,472	36,472	36,472
R <sup>2</sup>	0.65	0.65	0.003	0.004	0.64	0.64
Adjusted R <sup>2</sup>	0.65	0.65	-0.02	-0.02	0.64	0.64
F Statistic	13,517.52*** (df = 5; 36466)	13,538.03*** (df = 5; 36466)	30.28*** (df = 3; 35533)	53.04*** (df = 3; 35533)	33,634,702.00***	34,581,331.00***

*Note:*

\*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Таблица 8. Сводные результаты оценивания факторных моделей: в последних 4-х моделях учитывается гетерогенность по облигациям и по времени. В случае первых четырёх моделей стандартные ошибки скорректированы на наличие корреляций в ошибках, последние две модели – ОМНК-оценки. Источник: расчёты автора.

Спецификационные тесты привели к аналогичным результатам: выбор моделей со случайными эффектами.

В качестве прокси риска ликвидности – пропорциональный bid-ask спред, в б.п.

	<i>Dependent variable:</i>					
	g_spread_bp					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
prop_bid_ask	-6.25*** (1.11)	-6.21*** (1.10)	-2.89*** (0.66)	-2.85*** (0.66)	-2.87*** (0.002)	-2.83*** (0.002)
dist_to_default	113.63*** (29.17)		-47.79*** (17.26)		-44.99*** (0.05)	
prob_of_default		-376.76*** (97.91)		243.68*** (58.02)		229.94*** (0.19)
days_left	-0.03*** (0.01)	-0.03*** (0.01)	-0.02 (0.01)	-0.02 (0.01)	-0.01*** (0.0000)	-0.01*** (0.0000)
current_coupon	62.41*** (2.64)	62.24*** (2.66)			72.19*** (0.01)	72.54*** (0.01)
zero_coupon_bond	517.00*** (29.32)	516.80*** (29.20)			528.52*** (0.15)	526.86*** (0.15)
Constant	-358.12*** (25.00)	-169.55*** (63.91)			-421.10*** (0.08)	-536.85*** (0.12)
Observations	38,896	38,896	38,896	38,896	38,896	38,896
R <sup>2</sup>	0.65	0.65	0.01	0.01	0.64	0.64
Adjusted R <sup>2</sup>	0.65	0.65	-0.02	-0.01	0.64	0.64
F Statistic	14,734.58*** (df = 5; 38890)	14,756.32*** (df = 5; 38890)	103.12*** (df = 3; 37957)	123.42*** (df = 3; 37957)	39,149,254.00***	39,973,721.00***

*Note:*

\*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Таблица 9. Сводные результаты оценивания факторных моделей: в последних 4-х моделях учитывается гетерогенность по облигациям и по времени. В случае первых четырёх моделей стандартные ошибки скорректированы на наличие корреляций в ошибках, последние две модели – ОМНК-оценки. Источник: расчёты автора.

Результаты аналогичны предыдущим.

## Приложение 5. Тесты качества кластеризации

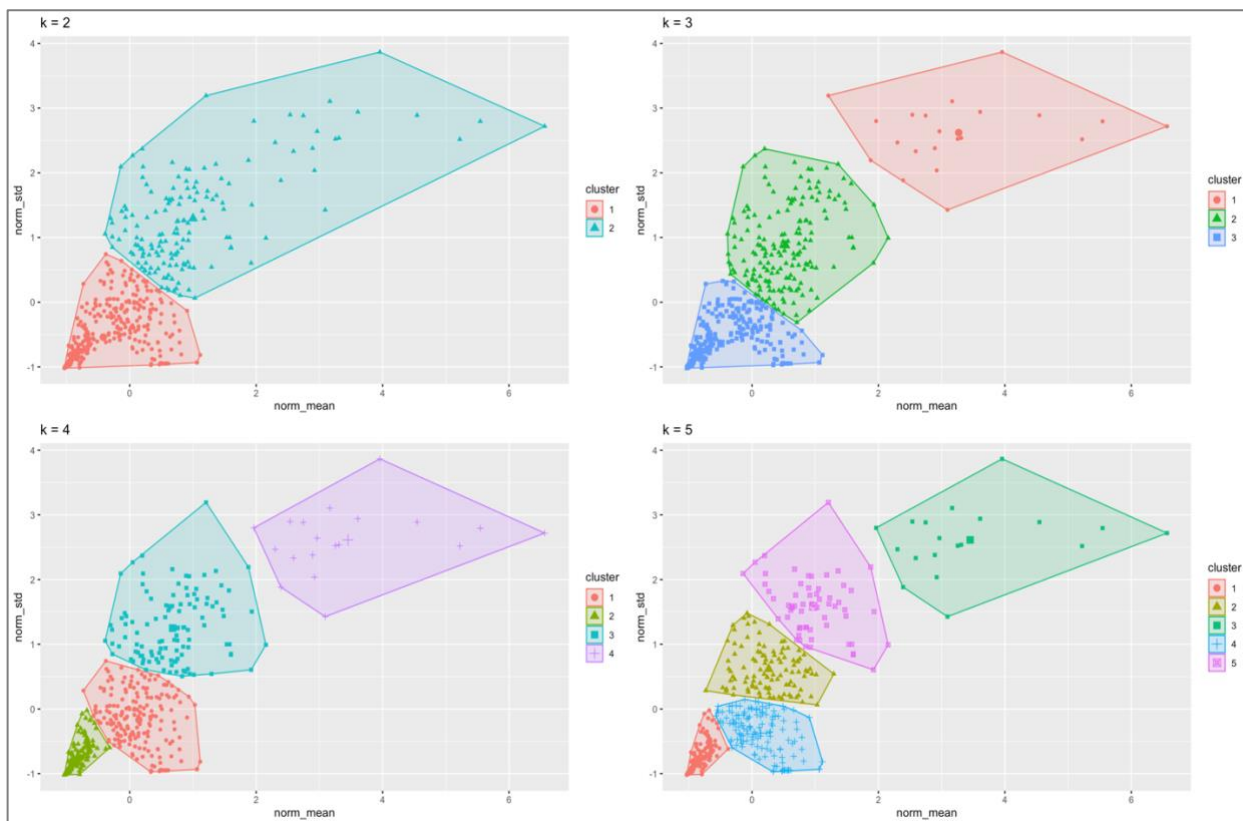


Рисунок 8. Результаты кластеризации при  $k = 2, 3, 4$  и  $5$ .

Источник: построение автора.

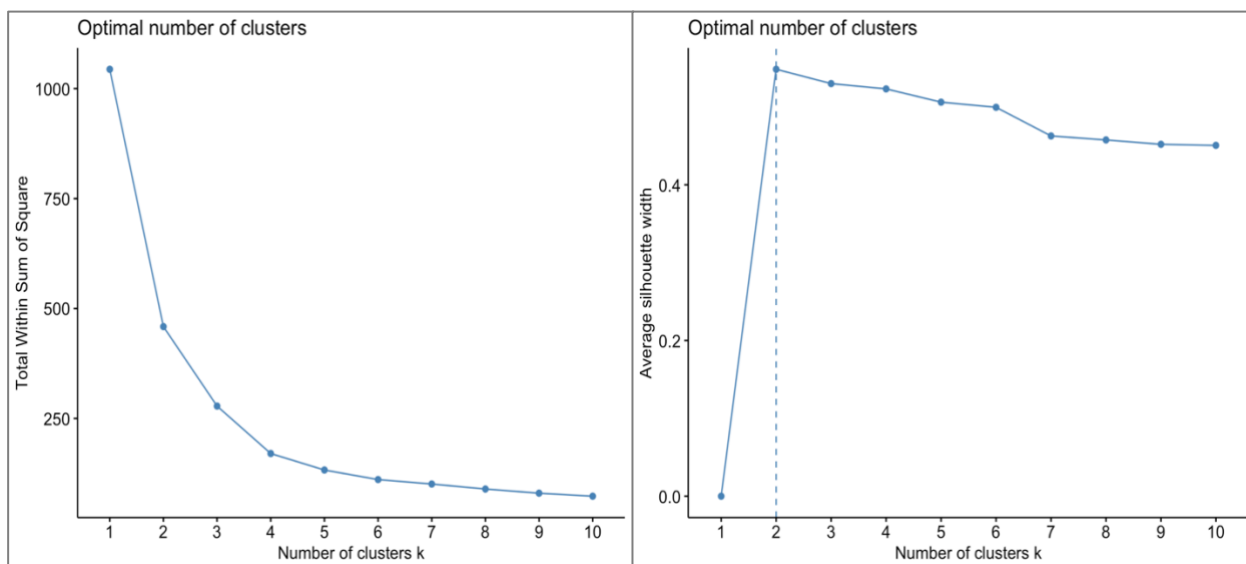


Рисунок 9. Метрика качества кластеризации: Elbow (слева) и Silhouette (справа). Elbow мера перестаёт значительно понижаться на 4 кластерах, вторая метрика склоняется к  $k=2$ .

Источник: построение автора.

## Приложение 6. Результаты оценки моделей по кластерам

1 cluster						
	Dependent variable:					
	g_spread_bp					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
illiquidity2	129.11*** (0.36)	129.84*** (0.36)				
turnover_norm			-1.93*** (0.02)	-1.88*** (0.02)		
prop_bid_ask					-1.91*** (0.004)	-1.87*** (0.004)
dist_to_default	-28.64*** (0.13)		-27.93*** (0.13)		-32.42*** (0.12)	
prob_of_default		258.58*** (0.42)		256.31*** (0.42)		251.55*** (0.40)
days_left	0.01*** (0.0000)	0.01*** (0.0000)	0.01*** (0.0000)	0.01*** (0.0000)	0.01*** (0.0000)	0.01*** (0.0000)
current_coupon	72.33*** (0.04)	72.69*** (0.04)	72.08*** (0.03)	72.44*** (0.03)	71.33*** (0.04)	71.66*** (0.04)
zero_coupon_bond	592.73*** (0.32)	591.39*** (0.32)	590.54*** (0.31)	589.15*** (0.31)	583.89*** (0.33)	582.74*** (0.33)
Constant	-491.32*** (0.12)	-620.60*** (0.24)	-487.59*** (0.12)	-615.71*** (0.24)	-483.65*** (0.12)	-609.46*** (0.24)
Observations	10,033	10,033	10,033	10,033	11,015	11,015
R <sup>2</sup>	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Adjusted R <sup>2</sup>	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
F Statistic	6,968,974.00** *	7,280,345.00** *	7,221,125.00** *	7,530,163.00** *	6,696,045.00** *	6,989,696.00** *

Note:

\*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Таблица 10. Кластер № 1. ОМНК-оценки моделей со случайными эффектами (двунаправленными) при разбиении на кластеры по prop\_bid\_ask.



## 2 cluster

	<i>Dependent variable:</i>					
	g_spread_bp					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
illiquidity2	-785.64*** (1.02)	-789.42*** (1.02)				
turnover_norm			-1.30*** (0.004)	-1.28*** (0.004)		
prop_bid_ask					-10.85*** (0.01)	-10.84*** (0.01)
dist_to_default	-17.45*** (0.07)		-15.95*** (0.07)		-16.57*** (0.07)	
prob_of_default		95.69*** (0.24)		88.63*** (0.24)		92.26*** (0.24)
days_left	-0.03*** (0.0000)	-0.03*** (0.0000)	-0.03*** (0.0000)	-0.03*** (0.0000)	-0.03*** (0.0000)	-0.03*** (0.0000)
current_coupon	60.54*** (0.03)	60.68*** (0.03)	60.87*** (0.03)	61.00*** (0.03)	60.15*** (0.03)	60.29*** (0.03)
zero_coupon_bond	402.09*** (0.28)	401.08*** (0.28)	405.42*** (0.28)	404.54*** (0.28)	402.47*** (0.28)	401.65*** (0.28)
Constant	-301.33*** (0.23)	-350.47*** (0.26)	-307.90*** (0.23)	-353.55*** (0.26)	-300.91*** (0.23)	-348.57*** (0.26)
Observations	17,719	17,719	17,719	17,719	17,885	17,885
R <sup>2</sup>	0.31	0.31	0.31	0.31	0.33	0.32
Adjusted R <sup>2</sup>	0.31	0.31	0.31	0.31	0.33	0.32
F Statistic	5,128,474.00** *	5,204,711.00** *	4,766,197.00** *	4,844,873.00** *	5,669,969.00** *	5,739,800.00** *

Note:

\*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Таблица 11. Кластер № 2. ОМНК-оценки моделей со случайными эффектами (двухнаправленными) при разбиении на кластеры по prop\_bid\_ask.

### 3 cluster

	<i>Dependent variable:</i>					
	g_spread_bp					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
illiquidity2	58.45*** (0.36)	58.54*** (0.36)				
turnover_norm			-1.41*** (0.02)	-1.39*** (0.02)		
prop_bid_ask					-3.01*** (0.002)	-3.00*** (0.002)
dist_to_default	-250.94*** (0.18)		-251.20*** (0.18)		-231.51*** (0.17)	
prob_of_default		717.48*** (0.49)		717.83*** (0.49)		657.27*** (0.47)
days_left	-0.02*** (0.0000)	-0.02*** (0.0000)	-0.02*** (0.0000)	-0.02*** (0.0000)	-0.02*** (0.0000)	-0.02*** (0.0000)
current_coupon	82.39*** (0.03)	82.71*** (0.03)	82.36*** (0.03)	82.69*** (0.03)	80.02*** (0.03)	80.31*** (0.03)
zero_coupon_bond	612.58*** (0.31)	613.77*** (0.31)	612.36*** (0.30)	613.55*** (0.30)	592.90*** (0.29)	594.05*** (0.29)
Constant	-463.22*** (0.13)	-822.15*** (0.28)	-462.21*** (0.12)	-821.31*** (0.28)	-437.30*** (0.12)	-766.23*** (0.26)
Observations	8,046	8,046	8,046	8,046	9,138	9,138
R <sup>2</sup>	0.59	0.59	0.59	0.59	0.60	0.60
Adjusted R <sup>2</sup>	0.59	0.59	0.59	0.59	0.60	0.60
F Statistic	10,077,086.00* **	10,226,290.00* **	10,440,822.00* **	10,590,700.00* **	13,377,750.00* **	13,490,157.00* **

Note:

\*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Таблица 12. Кластер № 3. ОМНК-оценки моделей со случайными эффектами (двухнаправленными) при разбиении на кластеры по prop\_bid\_ask.