

# **Система раннего предупреждения ЕФСР:** методология разработки инструментов для идентификации валютных кризисов

Цукарев Т., Погосян К.

**Ключевые слова:** система раннего предупреждения, валютный кризис, дискретный выбор, метод динамического усреднения моделей, неопределенность, Армения, Беларусь, Кыргызстан, Таджикистан.

**Коды JEL:** C52, C53, E44, F37, G01.

**Контакты авторов:**

Тарас Цукарев, начальник отдела макроэкономического анализа и статистики Группы главного экономиста ЕФСР: [ttsukarev@efsd.org](mailto:ttsukarev@efsd.org)

Карен Погосян, старший экономист отдела макроэкономического анализа и статистики Группы главного экономиста ЕФСР: [kpoghosyan@efsd.org](mailto:kpoghosyan@efsd.org)

Электронная версия документа находится в свободном доступе по электронному адресу: <https://efsd.org/research/working-papers/>

Рабочие документы ЕФСР представляют собой аналитические исследования в области глобальных, региональных и страновых экономических тенденций, экономического моделирования, макроэкономического анализа, отраслевого анализа, международной финансовой архитектуры и иных вопросов. Выводы и интерпретация факторов в рабочем документе не обязательно отражают официальную позицию Экспертного совета ЕФСР, Совета ЕФСР или государств — учредителей ЕФСР.

Перепечатка текста в некоммерческих и коммерческих целях полностью или по частям, включая крупные фрагменты, а также размещение его на внешних электронных ресурсах разрешены при обязательной ссылке на оригинальный текст.

## Оглавление

Список сокращений .....	2
Благодарность .....	3
1. Введение .....	4
2. Обзор литературы .....	7
3. Модельный инструментарий для выявления кризисных периодов .....	12
4. Определение стрессовых (кризисных) периодов .....	19
5. Данные и их первичная обработка .....	23
6. Отбор потенциальных сигнальных переменных .....	24
7. Построение главных компонент на основе отобранных потенциальных предикторов .....	27
8. Отбор и тестирование моделей СРП: эмпирические результаты .....	32
Заключение .....	42
Список литературы .....	43
Приложение 1. Определения (критерии) валютных и банковских кризисов .....	47
Приложение 2. Распределение показателей по NSR и значению коэффициента корреляции между стрессовыми периодами и лаговыми значениями сигналов. ...	48
Приложение 3. Отобранные потенциальные предикторы стресса (кризиса) на валютных рынках Армении, Беларуси, Кыргызстана и Таджикистана .....	49
Приложение 4. Кросс-корреляционные зависимости между сигналами и фактическими стрессовыми периодами .....	53
Приложение 5. Доля дисперсий выделенных главных компонент в общей дисперсии исходных показателей .....	55
Приложение 6. Структура выделенных главных компонент .....	56
Приложение 7. Результаты оценивания logit/probit-моделей .....	57
Приложение 8. Фактическая и оцененная на основе метода DMA динамика индекса напряженности валютного рынка ( <i>empi</i> ) .....	59
Приложение 9. Оцененные интервалы для главных компонент по методу <i>bootstrap</i> .....	61
Приложение 10. Ретроспективный анализ прогнозов по рекурсивной и скользящей схемам регрессионного эксперимента .....	63
Приложение 11. Результаты эксперимента с генерацией ретроспективного прогноза: использование AR- и BVAR-моделей совместно с Gibbs-sampling. ....	66

## Список сокращений

<b>АСЕАН+3</b>	Ассоциация государств Юго-Восточной Азии, а также Китай, Республика Корея и Япония
<b>ЕС</b>	Европейский союз
<b>ЕСМ</b>	Европейский стабилизационный механизм
<b>ЕФСР</b>	Евразийский фонд стабилизации и развития
<b>ЕЦБ</b>	Европейский центральный банк
<b>МВФ</b>	Международный валютный фонд
<b>СРП</b>	система раннего предупреждения

## Благодарность

Авторы выражают благодарность Диане Жиграйовой (экономисту ЕСМ), Айказу Игитяну (руководителю отдела совершенствования моделей Центрального банка Республики Армения), а также сотрудникам ЕФСР за ценные комментарии и рекомендации. Ответственность за любые ошибки и недочеты остается на авторах.

# 1. Введение

За последние пять десятилетий в мире произошло большое количество финансовых потрясений и кризисов, зачастую с разрушительными экономическими, социальными и политическими последствиями. Во многих случаях кризисы не ограничивались отдельными странами, а распространялись на другие экономики. В частности, латиноамериканский кризис 1994–1995 годов, азиатский кризис 1997–1998 годов, мировой финансовый кризис 2008–2009 годов затронули широкий перечень стран и имели значимые последствия для международной финансовой системы в целом. Такие драматичные события в мировой экономике дали серьезный импульс для активизации исследований, направленных на изучение природы кризисных явлений, разработки инструментов для их идентификации и понимания, а также выработки упреждающих мер по устранению различного рода макроэкономических дисбалансов. При этом в эмпирической литературе, посвященной данной проблематике, особое внимание уделяется разработке СРП — систем раннего предупреждения.

В настоящее время СРП — один из наиболее распространенных инструментов идентификации дисбалансов (кризисов) и стрессовых ситуаций в экономике (как правило, валютных, банковских, долговых кризисов либо корпоративных банкротств). Целью любой СРП является не прогнозирование кризисных явлений как таковых (кризисы, как правило, вызываются внезапными неблагоприятными внутренними или внешними шоками), а обеспечение такого объема необходимой информации, который позволяет оценить текущую ситуацию и спрогнозировать ее дальнейшее развитие. Таким образом, СРП — это совокупность методов и механизмов сбора, обработки и анализа информации о развитии ситуации в экономике для выявления рисков и уязвимостей. Мониторинг на основе СРП призван помочь в определении источников угрозы макроэкономической стабильности, что, в свою очередь, послужит цели разработки и проектирования превентивных мер, позволяющих нивелировать возможные последствия развития неблагоприятной ситуации, кризиса.

В мировой практике известны различные подходы к построению СРП. Но, как правило, в основе СРП лежит анализ специального множества показателей либо агрегированных индексов, выступающих в роли опережающих индикаторов. Для количественной оценки дисбалансов и устойчивости экономической системы традиционно применяются вероятностно-статистические и эконометрические методы и модели. При этом, несмотря на наличие общих принципов в построении и применении СРП, имеется определенная специфика в практической реализации известных подходов и методов, определяемая особенностями экономики конкретной страны. В наибольшей степени это касается развивающихся экономик.

СРП, используемые международными финансовыми организациями и национальными ведомствами, функционируют либо как самостоятельный инструмент, либо как часть комплексных аналитических систем.

Одним из лидеров по разработке и использованию СРП является МВФ, который начал активно внедрять систему инструментов для раннего выявления валютных и банковских кризисов с начала 1990-х годов. В число первых и наиболее известных моделей СРП входят KLR-модель (Kaminsky, Lizondo and Reinhart model) и DCSD-модель (Developing Country Studies Division model) (Kaminsky et al., 1998; Berg et al., 2004). Кроме того, в рамках

многосторонних наблюдений МВФ проводит процедуры определения уязвимостей (Vulnerability Exercises) для стран с развитой экономикой, стран с формирующимся рынком и развивающихся стран (IMF, 2007a; 2011). Данные меры входят в число конфиденциальных процедур раннего предупреждения (Early Warning Exercises, EWE), которые реализуются совместно МВФ и Советом по финансовой стабильности (IMF, 2010). Страновые наблюдения проводятся МВФ в рамках двусторонних консультаций по Статье IV и обсуждаются с властями страны.

В основе EWE лежат масштабные эмпирические исследования, направленные на тщательный количественный анализ уязвимостей экономик с использованием большого количества инструментов. Важной частью EWE являются опросы экспертов (рыночных аналитиков, представителей академической среды и политиков) на предмет возможной реализации различных рисков сценариев (IMF, 2010).

Среди других известных инструментов МВФ можно выделить Карту глобальной финансовой стабильности (Global Financial Stability Map, GFSM), разработанную Департаментом денежно-кредитных систем и рынков капитала МВФ (IMF, 2007b). В рамках GFSM используются макрофинансовые переменные для визуального отображения изменений рисков и условий, влияющих на глобальную финансовую стабильность (Dattels et al., 2010), а также оцениваются четыре риска (макроэкономический риск, риск развивающихся рынков, кредитный риск и риск ликвидности) и два условия (склонность к риску, денежно-кредитные и финансовые условия), влияющие на финансовую стабильность.

Страновая карта финансовой стабильности (Country Financial Stability Map, CFSM) позволяет дополнить анализ на основе GFSM. Для целей CFSM экспертами МВФ был также разработан инструмент, предназначенный для автоматического создания карт финансовой стабильности отдельных стран, а также реализации межстрановых сопоставлений отдельных рисков или условий (Cervantes et al., 2014).

Оценка финансового состояния стран ЕС проводится ЕСМ в рамках постпрограммного мониторинга, который осуществляется совместно с Европейской комиссией. ЕСМ проводит ежеквартальный анализ стран-должников до момента полного погашения задолженности. 24 марта 2014 года Советом ЕСМ была одобрена процедура системы раннего предупреждения, в соответствии с которой ЕСМ постоянно отслеживает денежные потоки стран-должников, их способность заимствовать на открытом рынке, среднесрочную и долгосрочную устойчивость государственного долга, а также системные банковские риски. Мониторинг ЕСМ дополняет анализ финансовой и долговой устойчивости, осуществляемый Европейской комиссией и ЕЦБ, концентрируясь главным образом на перспективах погашения ранее предоставленных кредитов (ESM, 2019).

В Центре макроэкономических исследований стран АСЕАН+3 (AMRO) функционирует единая аналитическая система мониторинга развития экономик стран-членов. Она включает следующие инструменты: карты глобальных/страновых рисков, система ERP Matrix, ARTEMIS (региональный трекер АСЕАН+3 для системы показателей ERP Matrix), модели финансового программирования для макроэкономических прогнозов, модули для анализа долговой устойчивости (DSA), модели глобальной векторной авторегрессии (GVAR) для анализа торговых эффектов, индексы финансового стресса (FSI), анализ делового и кредитного циклов, оценка вторичных эффектов для развивающихся рынков с использованием показателей корреляции дефолтов и другие.

В государствах — участниках ЕФСР инструменты для выявления источников угроз макрофинансовой стабильности разрабатываются и используются, как правило, в центральных (национальных) банках, а также в некоторых исследовательских центрах.

ЕФСР также является региональным финансовым механизмом, и перед ним тоже стоит задача разработки и развития эффективного аналитического инструмента, который позволит выявить и комплексно оценить угрозы макроэкономической стабильности в государствах — получателях средств фонда (Армении, Беларуси, Кыргызстане, Таджикистане) и, как следствие, прогнозировать их платежеспособность (ЕФСР, 2022).

В рамках разработки инструментов для построения СРП ЕФСР нами использовались традиционные подходы и методы анализа данных. Это, в частности, сигнальный подход, или модель опережающих индикаторов (Kaminsky and Reinhart, 1999; Kaminsky, 1998a), а также модели бинарного выбора, или logit/probit-модели (Frankel and Rose, 1996; Goldstein et al., 2000; Kumar et al., 2003).

Выбор таких подходов и методов анализа объясняется следующим:

- в соответствии с международной практикой разработку СРП рекомендуется начинать с традиционных статистических методов анализа и обработки данных;
- их алгоритмическая и программная реализация относительно просты;
- отсутствует доказательная база качественного превосходства структурно более сложных моделей (методов машинного обучения, основанных на деревьях решений, методов глубокого обучения и др.) перед традиционными моделями.

Кроме того, в целях учета фактора неопределенности было принято решение использовать метод динамического усреднения моделей (dynamic model averaging, DMA) и метод динамического выбора модели (dynamic model selection, DMS) (Raftery et al., 2010). Изменяющиеся во времени в ходе реализации данных методов параметры дают им преимущества, благодаря этому DMA/DMS могут заменить ряд альтернативных инструментов для выявления стрессовых ситуаций на финансовом рынке (например, модели с Марковскими переключениями).

Документ организован следующим образом. В [разделе 2](#) представлен обзор литературы, посвященной теоретическим и практическим исследованиям валютных и банковских кризисов, а также методам их раннего предупреждения. В [разделе 3](#) рассмотрены методологические вопросы моделирования и оценивания моделей для СРП. В [разделе 4](#) приводится методология определения стрессовых периодов для экономик Армении, Беларуси, Кыргызстана и Таджикистана. Методологические вопросы сбора и первичной статистической обработки и анализа данных для построения СРП описываются в [разделе 5](#). В [разделе 6](#) авторы подробно разобрали алгоритм отбора потенциальных предикторов. Далее в [разделе 7](#) показана методология выделения главных компонент на основе отобранных предикторов, дается объяснение выбора количества главных компонент, а также связи главных компонент с отобранными предикторами. В [последней главе](#) представлены эмпирические результаты отбора и тестирования используемых моделей СРП, в частности приведены оценки пороговых уровней, проведены эксперименты с прогностическими моделями, проанализированы их свойства, а также реализован ретроспективный прогноз главных компонент.

## 2. Обзор литературы

Начиная с 1970-х годов каждая волна кризисов сопровождалась активизацией теоретических и эмпирических исследовательских работ, направленных не только на объяснение первопричин кризисных явлений, но и на разработку инструментов, в том числе моделей СРП, позволяющих прогнозировать нарастание рисков для макрофинансовой устойчивости. Основная масса таких исследований концентрируется, как правило, вокруг вопросов развития валютных и банковских кризисов, а сами работы различаются в зависимости от: (1) критериев определения кризисных событий; (2) методологии (наиболее широко используются непараметрический сигнальный подход и подход многомерной регрессии, основанный на logit/probit-моделях); (3) набора используемых показателей; (4) охвата стран и временного горизонта.

Теоретические исследования валютных кризисов условно можно разделить на несколько поколений. Теоретические модели первого поколения, например, [Krugman \(1979\)](#), говорят о том, что в основе валютных кризисов лежит несогласованная внутренняя макроэкономическая политика, которая может выражаться в чрезмерно экспансионистских фискальной и монетарной политиках. Как правило, в экономиках с фиксированным обменным курсом, которые не могут бесконечно заимствовать внешнее финансирование, это приводит к потере международных резервных активов и краху режима денежно-кредитной политики.

В теоретических моделях валютных кризисов второго поколения, например, в [Obstfeld \(1986, 1994\)](#), изучается поведение властей: политики оценивают выгоды и издержки от поддержки национальной валюты и готовы в определенный момент времени отказаться от таргетирования обменного курса, если затраты на это превышают выгоды. В таких моделях сомнения относительно того, готово ли правительство поддерживать свой таргет по обменному курсу, могут привести к существованию множественных равновесий и, соответственно, спекулятивная валютная атака имеет все шансы увенчаться успехом, даже если текущая политика не противоречит обязательствам по обменному курсу.

[Ozkan and Sutherland \(1995\)](#) представили теоретическую модель, в которой целевая функция властей с положительным знаком зависит от преимуществ поддержания фиксированного номинального курса, а с отрицательным знаком — от отклонения выпуска от таргетируемого уровня. В условиях фиксированного обменного курса повышение процентных ставок за рубежом ведет к более высоким внутренним процентным ставкам и более низкому выпуску и, как следствие, к повышенным издержкам властей на поддержание курсовой политики. Таким образом, когда внешние процентные ставки поднимаются выше определенного критического уровня, затраты на поддержание фиксированного курса начинают превышать выгоды, после чего власти принимают решение отказаться от поддержки фиксации курса. На основании данной модели делается вывод о том, что динамика выпуска, а также внутренних и внешних процентных ставок может быть полезным индикатором развития валютных кризисов. Иными словами, факторы, которые оказывают значимое воздействие на целевую функцию властей, потенциально могут использоваться в качестве опережающих индикаторов.

Модели третьего поколения являются более комплексными и концентрируются на том, каким образом искажения на финансовых рынках и дисбалансы банковских систем ведут к валютным кризисам. Например, в работе [Aghion et al. \(2001\)](#) рассматривается случай, когда девальвация валюты увеличивает стоимость долговых обязательств фирм в иностранной валюте и снижает прибыль, что, в свою очередь, может ограничить способность фирм заимствовать. Последующее падение инвестиций и производства, связанное с такими ограничениями по заимствованиям, может привести к снижению спроса на национальную валюту и спровоцировать валютный кризис.

Другие теоретические модели третьего поколения демонстрируют, как финансовая либерализация и государственные гарантии по обязательствам частного сектора могут порождать риск недобросовестного поведения (*moral hazard*) и неустойчивый бюджетный дефицит, что, в свою очередь, также ведет к кризису. Например, [McKinnon and Pill \(1995\)](#) предполагают, что финансовая либерализация в сочетании со страхованием депозитов может побудить банки развить кредитный бум (включающий кредитование как в национальной, так и в иностранной валюте), что в конечном итоге приведет к банковскому и валютному кризису. [Chang and Velasco \(2001\)](#) подчеркивают возможность возникновения международных кризисов ликвидности в открытой экономике с неограниченным рынком капитала, где банки привлекают депозиты в национальной и иностранной валютах, но при этом имеют более долгосрочные неликвидные инвестиции, которые не могут быть легко конвертированы в наличные деньги в случае кризиса и массового изъятия вкладов. [Dooley \(2000\)](#) и [Burnside et al. \(2004\)](#) утверждают, что скрытые или явные государственные гарантии банковской системе могут дать банкам стимул увеличивать внешние обязательства, делая банковскую систему уязвимой для атак. Ослабленный банковский сектор, в свою очередь, усложняет задачу по фиксации курса за счет повышения внутренних процентных ставок, что может привести к краху национальной валюты.

Большой пласт исследовательских работ посвящен изучению причин развития банковских кризисов и воздействия на банковские системы шоков, которые связаны, например, с циклическим падением выпуска, ухудшением условий торговли, падением цен на активы и т. п. ([Baron et al., 2018](#); [Caprio and Klingebiel, 1996](#); [Kaminsky and Reinhart, 1999](#); [Laeven and Valencia, 2018](#); [Lindgren et al., 1996](#); [Reinhart and Rogoff, 2008a, 2008b](#); [Romer and Romer, 2017](#); [Schularick and Taylor, 2012](#)).

В работе [Kaminsky and Reinhart \(1999\)](#) представлен комплексный взгляд на взаимосвязь валютного и банковского кризисов: рассмотрено, каким образом страны справляются с проблемами в банковском секторе и приводит ли банковский кризис к валютному. Авторы проанализировали поведение 16 макроэкономических и финансовых показателей, которые отбирались на основе теоретических суждений и доступности данных. Анализ развития кризисных явлений был проведен по 20 государствам, в которых в совокупности произошло 76 валютных и 26 банковских кризисов в период с 1970 по 1995 год. Г. Камински и К. Рейнхарт установили определенные закономерности в экономическом развитии государств и их макропеременных накануне периодов нестабильности. Было выявлено, что банковские и валютные кризисы тесно связаны с проводимой в странах финансовой либерализацией, причем в большинстве случаев по итогам финансовых реформ банковский кризис предшествовал валютному. Экономисты также определили случаи обратных циклов, когда валютный кризис в дальнейшем расшатывал уже ослабленный банковский сектор. При одновременном развитии валютного и банковского кризисов деструктивное воздействие на экономику страны гораздо более мощное, чем

при их отдельном проявлении. Для каждого вида кризиса финансовый шок, ставший результатом финансовой либерализации или открытия доступа к международному рынку капитала, активизирует цикл «быстрый рост — резкое сжатие». Один из важных выводов работы заключался в том, что валютные и банковские кризисы трудно охарактеризовать как самореализующиеся — в большинстве случаев их развитие можно объяснить динамикой ряда экономических индикаторов.

Несмотря на предположения ряда аналитиков в 1997–1998 годах о том, что азиатские кризисы того времени относились к новому виду — по их мнению, они реализовывались при совершенно безукоризненных финансово-экономических показателях — Г. Камински и К. Рейнхарт на основе анализа предкризисных периодов в странах Азии выявили, что имеющиеся на тот момент тенденции в рассматриваемых экономиках были весьма схожи с большинством кризисных эпизодов в странах Латинской Америки, Европы и других регионов. Если экономика характеризуется низкой и стабильной инфляцией, приемлемым экономическим ростом и профицитом государственного бюджета, но наряду с этим государство осуществляет либерализацию своего капитального счета при слабом регулировании финансовой системы и некачественном банковском надзоре, то это приводит к возникновению и дальнейшему развитию проблем в банковском секторе, которые со временем подрывают способность центрального банка выполнять свои обязательства по обменному курсу. Так развивались события и при азиатских кризисах, и при, например, чилийском кризисе 1982 года ([Diaz-Alejandro, 1985](#)). В основе краха национальных валют Таиланда, Южной Кореи и Индонезии, по мнению Г. Камински и К. Рейнхарт, лежат как раз системные проблемы банковского сектора.

Характерные особенности экономической среды, порождающие неустойчивость банковского сектора и в конечном счете системный банковский кризис, подробно изучены в [Demirguc-Kunt and Detragiache \(1998, 2005\)](#). В рамках исследования анализу подверглись рыночные экономики, в которых в течение 1980–1994 годов наблюдалась нестабильность банковского сектора. Авторами было установлено, что в рассматриваемой выборке низкие темпы роста ВВП, чрезмерно высокие процентные ставки и высокая инфляция значительно увеличивают вероятность возникновения системного банковского кризиса. Определено, что шоки условий торговли также повышают риски возникновения проблем в банковском секторе, однако не так значительно, как вышеназванные факторы. Что касается дефицита бюджета и темпов девальвации обменного курса национальной валюты, то в изучаемых экономиках они не имели независимого влияния. Еще одним интересным открытием оказалось то, что наличие системы страхования вкладов ведет к увеличению рисков банковской нестабильности. Несмотря на то, что страхование банковских вкладов может увеличивать устойчивость банка (исключается вероятность самореализующейся паники), в то же время оно создает стимулы для чрезмерного принятия риска менеджерами банка (риск недобросовестного поведения). А. Демиргюк-Кунт и Э. Детраджиакке выявили, что на рассматриваемом временном интервале риск недобросовестного поведения играл значимую роль в процессе возникновения и развития системных банковских кризисов — вероятно, потому что страны, использующие систему страхования вкладов, в общем не имели успеха в осуществлении соответствующего пруденциального регулирования и надзора, или в связи с тем, что схема страхования депозитов не была организована должным образом.

Комплексная работа, посвященная изучению системных банковских кризисов, представлена в [Laeven and Valencia \(2008, 2013, 2018\)](#). Авторы собрали базу данных со 151 эпизодом

банковских кризисов по всему миру за период 1970–2017 годов, включая информацию о датах кризисов, мерах политики по их урегулированию, а также о связанных с ними бюджетных и макроэкономических издержках. Исследование [Laeven and Valencia \(2008, 2013, 2018\)](#) позволяет сформировать комплексное понимание причин и последствий банковских кризисов, а также способов их преодоления.

Рассматривая исследовательские работы с позиции использования и разработки инструментов для анализа и заблаговременного выявления рисков развития кризисных явлений, хотелось бы выделить прежде всего базовые и наиболее популярные методологические подходы: модели опережающих индикаторов (сигнальный подход) и дискретные модели.

В моделях, базирующихся на сигнальном подходе, изучается информация о поведении индикаторов во время нормального (некризисного), предкризисного и кризисного периодов. Индикаторы отбираются на основе данных об изменениях в их поведении при нормальном функционировании экономики и в кризисные периоды, а также по их способности давать действительный сигнал наступления кризиса. Одной из первых работ, основанных на сигнальном подходе, является исследование [Eichengreen et al. \(1996\)](#). В соответствии с выводами авторов, начало валютного кризиса определяется в момент, когда индекс напряженности валютного рынка (*index of exchange market pressure*) превышает пороговое значение.

Своеобразной методологической базой для многих исследований, в рамках которых использовался сигнальный подход, стали работы [Kaminsky \(1998\)](#), [Kaminsky et al. \(1998\)](#) и [Kaminsky and Reinhart \(1999\)](#). Авторы представили доступную и прозрачную методологию, которая позволяет экономистам изучать причины кризисов, оценивать уязвимость экономики накануне кризисов и делать выводы о вероятном наступлении кризисов через аномальное изменение тенденций в экономике. Также [Kaminsky et al. \(1998\)](#) и [Kaminsky and Reinhart \(1999\)](#) выделили ряд индикаторов, которые имеют предсказательную силу наступающих кризисов и могут быть использованы исследователями в качестве начальной выборки показателей для целей анализа.

Несмотря на свою простоту и популярность, модели опережающих индикаторов имеют ряд недостатков. Во-первых, в результате трансформации переменных в бинарную систему теряется информация об относительной значимости значений переменных. Проблема потери информации становится более явной, когда в анализе используется композитный индикатор ([Vlaar, 2000](#)). Во-вторых, сигнальный подход игнорирует корреляцию между независимыми переменными, что может негативно отразиться на построении композитного индикатора ([Krznar, 2004](#)). В-третьих, сигнальный подход не позволяет применять определенные статистические тесты.

Большую группу исследований составляют работы, в которых используются модели зависимостей с дискретными эндогенными переменными, известные как *logit*-модели и *probit*-модели бинарного и множественного упорядоченного выбора (*ordered probit/logit model*) для пространственных и панельных данных, измеренных в номинальных (качественных) бинарных или порядковых шкалах ([Малюгин и Пытляк, 2007](#)). Модели такого рода определяют вероятностное распределение дискретных зависимых переменных как функцию независимых переменных и неизвестных параметров, то есть позволяют оценить формальную модель взаимосвязей различных индикаторов и дискретных

проявлений кризисов. Эконометрические модели дискретного выбора достаточно удобны с позиции интерпретации результатов оценки как вероятности наступления кризиса. Кроме того, влияние всех предикторов рассматривается одновременно. При этом предикторы, в отличие от сигнального подхода, могут иметь нелинейный эффект на вероятность наступления кризиса.

Среди наиболее ранних и интересных работ по изучению валютных и банковских кризисов, основанных на моделях дискретного выбора, можно отметить следующие. В работе [Frankel and Rose \(1996\)](#) использовалась probit-модель для анализа данных по 105 развивающимся странам в период 1971–1992 годов. [Klein and Marion \(1997\)](#) разработали спецификацию logit-модели для анализа коллапса режимов обменного курса в странах Латинской Америки. [Bussière and Fratzscher \(2002\)](#) осуществляли оценку кризисных явлений при помощи logit-модели множественного упорядоченного выбора. [Demirguc-Kunt and Detragiache \(2005\)](#) изучали вероятности возникновения банковских кризисов на основе многомерной logit-модели. При этом эмпирические исследования отличаются друг от друга выбором потенциальных предикторов, стран, временного горизонта и используемых данных.

Вместе с тем исследования, посвященные развитию моделей раннего предупреждения, не ограничиваются традиционными подходами и методами (сигнальный подход и модели дискретного выбора). Некоторые исследователи для анализа кризисных явлений используют Марковские модели с переключениями (Markov-switching models), которые позволяют прогнозировать кризисы через определение точек переключения между различными равновесными состояниями ([Abiad, 2003](#); [Abdelsalam and Abdel-Latif, 2020](#)). Основное преимущество Марковских моделей с переключениями заключается в том, что для них нет необходимости определять критерии кризисов (давать определение) и, соответственно, выявлять сами эпизоды кризисов, поскольку кризисные ситуации идентифицируются эндогенно на основании оценок модели.

Учитывая, что в СРП существует неопределенность, связанная со спецификацией модели, возникает объективная необходимость применять подходы, которые способны учитывать указанный пробел. К ним относятся методы динамического усреднения моделей (DMA) и метод Байесовского усреднения моделей (BMA). Метод DMA был разработан [Raftery et al. \(2010\)](#) и использовался для решения инженерной задачи. Метод BMA является частным случаем DMA. [Koop and Korobilis \(2012\)](#) первыми применили метод DMA для экономического моделирования, в частности для анализа и прогнозирования динамики инфляции. В работе [Abdelsalam and Abdel-Latif \(2020\)](#) этот метод был адаптирован для СРП Египта.

Относительно новым направлением в развитии систем раннего предупреждения является использование алгоритмов машинного обучения. Например, [Пономаренко и Татаринцев \(2020\)](#) применили алгоритм «случайного леса» (Random Forest) для описания нелинейной зависимости между финансовым развитием, финансовыми дисбалансами и вероятностью финансового кризиса. В работе экономиста ЕСМ [Gabriele \(2019\)](#) представлена модель раннего предупреждения системных банковских кризисов, которая сочетает в себе технологию дерева регрессий (Regression Trees) и статистический алгоритм CRAGGING ([Savona and Vezzoli, 2015](#)), что позволило повысить точность оценок и превзойти другие модели.

### 3. Модельный инструментарий для выявления кризисных периодов

Для разработки инструментов, которые в дальнейшем будут входить в СРП ЕФСР, были использованы (протестированы) следующие методы и модели: сигнальный подход, модели дискретного выбора (logit/probit-модели), метод динамического усреднения моделей (DMA) и метод динамического выбора модели (DMS). Представим основные особенности и алгоритмические шаги данного инструментария.

**1. Сигнальный подход.** С точки зрения алгоритмической реализации этот подход является наиболее простым по сравнению с другими моделями. Его суть в том, что для каждого включенного в анализ показателя необходимо рассчитать критическую границу, выход за которую служит сигналом наступления валютного (банковского) кризиса (Kaminsky, 1998; Kaminsky et al., 1998).

Пусть в анализ включены  $n$  потенциальных показателей для идентификации валютного (банковского) кризиса. Показатель  $X_t^j$  — «сигнализирует» кризис в период времени  $t$ , если в течение этого временного интервала он переходит за критическую границу  $\bar{X}_t^j$ , что формально можно записать следующим образом:

$$\{S_t^j = 1\} = \{S_t^j, |X_t^j| > |\bar{X}_t^j|\}. \quad (1)$$

Показатель  $X_t^j$  берется по абсолютной величине, поскольку он может быть как положительным, так и отрицательным, то есть для некоторых потенциальных показателей, у которых критическая граница  $\bar{X}_t^j < 0$ , состояние  $S_t^j = 1$ , когда  $X_t^j < \bar{X}_t^j$ .

Аналогичным образом можно записать случай, когда кризис отсутствует:

$$\{S_t^j = 0\} = \{S_t^j, |X_t^j| < |\bar{X}_t^j|\}. \quad (2)$$

Критическая граница  $\bar{X}_t^j$  определяется следующим образом. Согласно Kaminsky et al. (1998), рассчитывается отношение шум/сигнал (*noise-to-signal ratio, NSR*) и далее при помощи оптимизации находится минимальное значение *NSR* (подробный алгоритм вычисления отношения шум/сигнал представлен в разделе 6).

Далее на основе полученных отдельно для каждого показателя соотношения *NSR* рассчитывается композитный индикатор наступления кризиса. В работе Kaminsky (1998) представлены четыре возможных подхода к расчету композитного индикатора:

а) Идея первого подхода состоит в том, что если за период времени  $t$  среди  $n$  показателей у большинства из них сигнал  $S_t^j = 1$ , то вероятность наступления кризиса будет сравнительно большой. Согласно этому подходу, композитный индикатор рассчитывается как

$$I_t^1 = \sum_{j=1}^n S_t^j, \quad (3)$$

где  $S_t^j = 1$ , если показатель  $X_t^j$  пересекает критическую границу в период времени  $t$ , в остальных случаях  $S_t^j = 0$ . Основной недостаток этого подхода в том, что здесь не делается различий между сильным и слабым сигналами, в то время как сильные сигналы могут более корректно предсказать кризис, чем слабые. Для того чтобы учесть различия амплитуды сигналов, используется второй способ расчета композитного индикатора.

б) Согласно второму подходу, для расчета композитного индикатора вводятся две критические границы: для слабого сигнала ( $\bar{X}_m^j$ ) и для сильного сигнала ( $\bar{X}_e^j$ ). Согласно этому подходу, слабый сигнал  $SM_t^j = 1$ , когда  $|\bar{X}_m^j| < |X_t^j| < |\bar{X}_e^j|$ , а сильный сигнал  $SE_t^j = 1$ , когда  $|\bar{X}_e^j| < |X_t^j|$ . С учетом этого композитный индикатор можно записать как

$$I_t^2 = \sum_{j=1}^n (SM_t^j + 2SE_t^j). \quad (4)$$

Композитный индикатор  $I_t^2$  изменяется в пределах от 0 до  $2n$ . При этом чем ближе к  $2n$ , тем вероятность наступления кризиса больше.

с) Логика использования третьего подхода для расчета композитного индикатора состоит в том, что показатели могут подавать сигналы не одновременно, а в разные периоды времени. В связи с этим предлагается рассчитывать следующий композитный индикатор:

$$I_t^3 = \sum_{j=1}^n S_{t-s,t}^j. \quad (5)$$

Согласно этому индикатору,  $S_{t-s,t}^j = 1$ , если показатель  $X_t^j$  хотя бы один раз пересекает критическую границу за период от  $t - s$  до  $t$ .

д) Четвертый подход, в отличие от предыдущих трех, учитывает фактор прогностической силы показателей. Для этого предлагается рассчитывать взвешенный композитный индикатор, где в качестве весов служат обратные величины  $NSR$ :

$$I_t^4 = \sum_{j=1}^n \frac{S_t^j}{NSR^j}. \quad (6)$$

На основе указанных композитных индикаторов можно рассчитать вероятность наступления кризиса в течение периода  $[t, t + h]$ . Расчет предлагается делать по формуле

$$P(C_{t,t+h} | I_l^k < I_t^k < I_u^k) = \frac{\text{количество месяцев с } I_l^k < I_t^k < I_u^k, \text{ при котором кризис наступает за } h \text{ месяцев}}{\text{общее количество месяцев с } I_l^k < I_t^k < I_u^k}, \quad (7)$$

где  $P$  — вероятность,  $C_{t,t+h}$  — проявление кризиса в интервале времени  $[t, t + h]$ ,  $k = 1, 2, 3, 4$ . В числителе формулы — количество месяцев, когда значение композитного индикатора попадает в интервал  $I_l^k < I_t^k < I_u^k$  и в течение последующих  $h$  месяцев наступает кризис ( $I_l^k$  — нижняя граница,  $I_u^k$  — верхняя граница). В знаменателе формулы — общее количество месяцев, когда значение композитного индикатора находится в интервале  $I_l^k < I_t^k < I_u^k$ . В данной работе для расчета композитного индикатора использовался четвертый подход, то есть рассчитывался  $I_t^4$  (уравнение 6).

**2. Модели бинарного выбора (logit/probit-модели).** В таких моделях зависимая переменная принимает два значения: 0 или 1 (где 0 — спокойный период, 1 — кризисный период). Объясняющие переменные могут быть как непрерывными, так и дискретными (Greene, 2012). По сравнению с сигнальным подходом модели бинарного отбора имеют ряд преимуществ. Во-первых, влияние всех предикторов рассматривается одновременно. Во-вторых, предикторы в отличие от сигнального подхода могут иметь нелинейный эффект на вероятность наступления кризиса (Bussiere, 2007).

Предположим, что вероятность наступления кризиса является линейной функцией от потенциальных предикторов:

$$Pr(y = 1|x) = F(x, \beta), \tag{8}$$

$$Pr(y = 0|x) = 1 - F(x, \beta),$$

где  $F$  — непрерывная строго возрастающая функция, область значений которой лежит между 0 и 1.

Если вероятность наступления кризиса моделируется на основе предположения о линейной функциональной связи, то

$$F(x, \beta) = x'\beta. \tag{9}$$

Так как математическое ожидание  $E(y|x) = F(x, \beta)$ , то можно написать регрессионное уравнение

$$y = E(y|x) + (1 - E(y|x)) = x'\beta + \varepsilon, \tag{10}$$

где  $E$  обозначает математическое ожидание.

Как правило, в качестве функции  $F(x, \beta)$  используются логистическое и стандартное нормальное распределения. В зависимости от того, какая функция распределения используется, различают logit- и probit-модели.

Указанные функции распределения вероятностей, соответственно, имеют следующий вид:

$$Pr(y = 1|x) = \frac{e^{x'\beta}}{1 + e^{x'\beta}} = \Lambda(x'\beta) \quad (\text{logit-модель}) \tag{11}$$

$$Pr(y = 1|x) = \int_{-\infty}^{x'\beta} \varphi(t) dt = \Phi(x'\beta) \quad (\text{probit-модель}) \tag{12}$$

Так как logit- и probit-модели являются моделями бинарного выбора, то функцию правдоподобия можно моделировать с помощью биномиального распределения, которое можно представить как

$$L(\beta|x) = \prod_{i=1}^n [F(x_i'\beta)^{y_i} (1 - F(x_i'\beta))^{(1-y_i)}]. \tag{13}$$

Тогда логарифмическая функция правдоподобия примет вид

$$\ln L = \sum_{i=1}^n [y_i \ln F(x_i' \beta) + (1 - y_i) \ln(1 - F(x_i' \beta))]. \quad (14)$$

Имея общую форму логарифмической функции правдоподобия, функции правдоподобия для logit- и probit-моделей можно записать следующим образом:

- logit-модель

$$\ln L = \sum_{i=1}^n \left( y_i \ln \left( \frac{\exp(x_i' \beta)}{1 + \exp(x_i' \beta)} \right) + (1 - y_i) \ln \left( 1 - \frac{\exp(x_i' \beta)}{1 + \exp(x_i' \beta)} \right) \right); \quad (15)$$

- probit-модель

$$\ln L = \sum_{i=1}^n (y_i \ln(\Phi(x_i' \beta)) + (1 - y_i) \ln(1 - \Phi(x_i' \beta))). \quad (16)$$

Задача состоит в том, чтобы рассчитать такие значения параметров  $\beta$ , которые максимизируют значение функции правдоподобия. Приравнявая первую производную к нулю, находим оптимальное значение  $\beta$ . С учетом того, что указанные функции дважды дифференцируемы, рассчитываем также матрицу вторых производных, после чего оптимальные величины  $\beta$  ищем с помощью итеративной процедуры Ньютона — Рафсона (см. [Greene, 2012](#)).

**3. Метод динамического усреднения моделей (DMA).** В нашей работе данный метод применяется для моделирования и прогнозирования напряженности на валютном рынке. В качестве зависимой переменной применяются рассчитанные величины *empr* (механизм расчета *empr* приводится в [разделе 4](#)).

Идея данного метода состоит в следующем. Пусть  $z_t$  — количество объясняющих потенциальных предикторов. На основе различных комбинаций данных предикторов можно составить  $K$  различных моделей. Тогда для  $k$ -й модели можно записать

$$y_t = z_t^{(k)} \theta_t^{(k)} + \varepsilon_t^{(k)}, \quad \varepsilon_t^{(k)} \sim N(0, H_t^{(k)}), \quad (17a)$$

$$\theta_{t+1}^{(k)} = \theta_t^{(k)} + \eta_{t+1}^{(k)}, \quad \eta_t^{(k)} \sim N(0, Q_t^{(k)}). \quad (17b)$$

Пусть  $L_t \in \{1, 2, \dots, K\}$  указывает, какая модель используется в момент времени  $t$ ;  $\Theta_t = (\theta_t^{(1)}, \dots, \theta_t^{(K)})'$  — вектор ненаблюдаемых параметров в момент времени  $t$ ,  $y^t = (y_1, \dots, y_t)'$ . Поскольку в каждый момент времени оцениваются разные модели, а потом результаты их оценок усредняются, то этим и оправдывается выбор названия «динамическое усреднение моделей». Например, чтобы оценить параметры моделей в период времени  $t$ , используя данные на момент  $t - 1$ , DMA рассчитывает вероятности  $Pr(L_t = (k|y^{t-1}))$  для  $k = 1, \dots, K$ , а далее усредняет оценки моделей, используя эти вероятности (*dynamic model averaging*). Возможен и другой вариант, когда на основе вычисленных вероятностей  $Pr(L_t = (k|y^{t-1}))$  выбирается для прогнозирования модель с наибольшей вероятностью (*dynamic model selection*).

DMA представляет большой интерес для прикладной макроэкономики, так как данный метод предполагает, что структура модели и оцениваемые параметры не фиксированы во времени, а прогноз строится из комбинации прогнозов нескольких моделей, взвешенных с учетом их исторической точности. Вместе с тем DMA имеет недостатки, которые состоят в следующем. Для оценивания большого количества параметров требуется в разы большее количество моделей. Рассмотрим случай, когда у нас есть  $m$  потенциальных предикторов, а модели определяются в зависимости от того, включен каждый из этих предикторов в модель или нет. Тогда общее количество отдельных моделей  $K = 2^m$ . Таким образом, для одновременной обработки большого количества моделей требуется высокая вычислительная мощность. Данный недостаток особенно заметно влияет, когда вычисления осуществляются в реальном времени (Koop and Korobilis, 2012; Стырин, 2018).

Поэтому с целью сокращения времени расчетов в DMA предлагается применять аппроксимацию, которая сводится к использованию так называемых факторов забывания (*forgetting factors*) для параметров ( $\lambda$ ) и для модели ( $\alpha$ ). Данные факторы принимают значения немногим меньше единицы. Роль факторов  $\lambda$  и  $\alpha$  объясняется следующим.

Для заданных значений  $H_t$  и  $Q_t$  можно использовать стандартные результаты фильтрации для выполнения рекурсивной оценки или прогнозирования. То есть использование фильтра Калмана начинается с того, что

$$(\theta_{t-1} | y^{t-1}) \sim N(\hat{\theta}_{t-1}, \Sigma_{(t-1|t-1)}). \quad (18)$$

Далее фильтр Калмана работает по следующей схеме:

$$(\theta_t | y^{t-1}) \sim N(\hat{\theta}_{t-1}, \Sigma_{(t|t-1)}), \quad (19)$$

где  $\Sigma_{(t|t-1)} = \Sigma_{(t-1|t-1)} + Q_t$ . При этом в работе Raftery et al. (2010) отмечено, что все существенно упрощается, если это уравнение заменить на

$$\Sigma_{(t|t-1)} = \frac{1}{\lambda} \Sigma_{(t-1|t-1)}, \quad (20)$$

что эквивалентно  $Q_t = (1 - \lambda^{-1}) \Sigma_{(t-1|t-1)}$ , где  $0 < \lambda \leq 1$ .

Raftery et al. (2010) предлагают установить  $\lambda = 0,99$ . Предоставим некоторые пояснения фактора забывания  $\lambda$ . Исходя из уравнения (20) и сущности фактора  $\lambda$ , можно сделать вывод, что вес для новых  $\Sigma_{(t-1|t-1)}$  будет выше, чем для поздних. Например, если рассматривать 5 лет (20 кварталов), то вес самой первой матрицы  $\Sigma_{(t-1|t-1)}$  при  $\lambda = 0,99$  составит примерно 0,82 ( $0,99^{20}$ ), а при  $\lambda = 0,95$  — примерно 0,36 ( $0,95^{20}$ ). Далее в период времени  $t$  появляются фактические  $y^t$ , и параметры корректируются по следующему правилу:

$$\theta_t | y^t \sim N(\hat{\theta}_t, \Sigma_{t|t}),$$

$$\hat{\theta}_{t|t} = \hat{\theta}_{t|t-1} + \Sigma_{t|t-1} z_t' (H_t + z_t \Sigma_{t|t-1} z_t')^{-1} (y_t - z_t \hat{\theta}_{t-1}),$$

$$\Sigma_{t|t} = \Sigma_{t|t-1} - \Sigma_{t|t-1} z_t' (H_t + z_t \Sigma_{t|t-1} z_t')^{-1} z_t \Sigma_{t|t-1}.$$

Рекурсивные вычисления осуществляются на основе распределения

$$y_t | y^{t-1} \sim N(z_t \hat{\theta}_{t-1}, H_t + z_t \Sigma_{t|t-1} z_t'). \quad (21)$$

Для случая нескольких параметров  $(\theta_{t-1} | y^{t-1})$ ,  $(\theta_t | y^{t-1})$ ,  $\theta_t | y^t$  соответственно

$$\begin{aligned} \theta_{t-1} | L_{t-1} = k, y^{t-1} &\sim N(\hat{\theta}_{t-1}^{(k)}, \Sigma_{t-1|t-1}^{(k)}), \\ \theta_{t-1} | L_t = k, y^{t-1} &\sim N(\theta_{t-1}^{(k)}, \Sigma_{t|t-1}^{(k)}), \\ \theta_t | L_t = k, y^t &\sim N(\hat{\theta}_{t|t}^{(k)}, \Sigma_{t|t}^{(k)}), \end{aligned}$$

где  $\hat{\theta}_{t|t}^{(k)}$ ,  $\Sigma_{t|t}^{(k)}$ ,  $\Sigma_{t|t-1}^{(k)}$  оцениваются на основе фильтра Калмана. Отметим, что все вышеизложенные формулы основаны на условном оценивании, при котором  $L_t = k$ .

В работе [Koop and Korobilis \(2012\)](#) приводится также методика безусловного оценивания DMA. Она представлена и в [Raftery et al. \(2010\)](#), где используется фактор забывания  $\alpha$ . Однако в отличие от случая с  $\lambda$  фактор  $\alpha$  используется для модели, а не для параметров. Тогда идея применения фильтра Калмана состоит в следующем.

На первом шаге рассчитывается плотность вероятности для всех моделей по следующей формуле:

$$p(\theta_{t-1} | y^{t-1}) = \sum_{k=1}^K p(\theta_{t-1}^{(k)} | L_{t-1} = k, y^{t-1}) Pr(L_{t-1} = k | y^{t-1}). \quad (22)$$

Для упрощения формулы (22) сделаем следующие обозначения. Пусть  $\pi_{t|s,l} = Pr(L_t = l | y^s)$ , тогда  $p(\theta_{t-1} | y^{t-1})$  можем представить как

$$\pi_{t|t-1,k} = \sum_{l=1}^K \pi_{t-1|t-1,l} p_{kl}. \quad (23)$$

Но в работе [Raftery et al. \(2010\)](#) выражение (23) заменяется на

$$\pi_{t|t-1,k} = \frac{\pi_{t-1|t-1,k}^\alpha}{\sum_{l=1}^K \pi_{t-1|t-1,l}^\alpha}, \quad (24)$$

где  $0 < \alpha \leq 1$ . При этом  $\alpha$  незначительно отличается от единицы и интерпретируется так же, как и фактор  $\lambda$ . Корректировка  $\pi_{t|t-1,k}$  производится по следующему правилу:

$$\pi_{t|t,k} = \frac{\pi_{t|t-1,k} p_k(y_t | y^{t-1})}{\sum_{k=1}^K \pi_{t|t-1,l} p_l(y_t | y^{t-1})}, \quad (25)$$

где  $p_l(y_t | y^{t-1})$  — плотность вероятности для модели  $l$ .

Рекурсивное прогнозирование может быть выполнено путем усреднения прогнозных результатов для каждой модели:

$$E(y_t | y^{t-1}) = \sum_{k=1}^K \pi_{t|t-1,k} z_t^{(k)} \hat{\theta}_{t-1}^{(k)}. \quad (26)$$

Величина  $E(y_t|y^{t-1})$  — усредненный прогноз по всем возможным моделям. Если взять модель с наибольшим  $\pi_{t|t-1,k}$ , то прогноз можно осуществлять по модели, которая имеет наибольшее значение плотности. Обобщая вышеизложенное, можем сказать, что для начала оценки необходимо подобрать стартовые значения  $\pi_{0|0,k}$  и  $\theta_0^{(k)}$ ,  $k = 1, \dots, K$ . При этом техника расчетов зависит от подбора  $H_t$ . В работе [Raftery et al. \(2010\)](#) предлагается простая подстановка  $H_t^{(k)} = H^{(k)}$ , где  $H^{(k)}$  заменяют на состоятельную оценку, то есть  $H_t^{(k)} \rightarrow H^{(k)}$ , когда  $t \rightarrow \infty$ . При этом желательно, чтобы вариационная матрица  $H^{(k)}$  в зависимости от времени сама изменялась. Для этого в работе [Koop and Korobilis \(2012\)](#) предлагается формула, которая позволяет корректировать значения  $H^{(k)}$  в зависимости от времени. Это изменение происходит по следующей формуле:

$$\hat{H}_{t+1|t}^{(k)} = k\hat{H}_{t|t-1}^{(k)} + (1-k)\left(y_t - z_t^k \hat{\theta}_t^{(k)}\right)^2, \quad (27)$$

где  $k$  — такой же коэффициент, как  $\alpha$  и  $\lambda$ . Как правило, коэффициент  $k = 0,95$ .

## 4. Определение стрессовых (кризисных) периодов

Природа финансовых кризисов настолько разнообразна, что, несмотря на активное изучение научным сообществом причинно-следственных связей их возникновения и проявления, за последние три десятилетия не выработано устоявшейся точки зрения по приоритетным вопросам. На сегодняшний день не сформулировано единого определения финансового кризиса, нет и унифицированных критериев определения кризиса. Поэтому исследователи, основываясь на результатах, полученных в течение одинаковых временных периодов, на одинаковых выборках стран и статистических данных, насчитывают различное количество кризисов, причем их оценки могут существенно расходиться.

По нашему мнению, наиболее часто в исследованиях используются такие критерии для определения валютных кризисов, как [Kaminsky and Reinhart \(1999\)](#) и [Frankel and Rose \(1996\)](#): определения авторов или их модификации. Что касается банковских кризисов, то здесь часто используются определения и критерии [Kaminsky and Reinhart \(1999\)](#) и [Demirguc-Kunt and Detragiache \(1998, 2005\)](#). Эти и другие определения (критерии) валютных и банковских кризисов представлены в [приложении 1](#).

В данной работе с целью выявления стрессовых периодов на валютных рынках Армении, Беларуси, Кыргызстана и Таджикистана было принято решение рассчитывать индексы напряженности валютного рынка (*exchange market pressure index, empi*), которые могут выступать в качестве своеобразного совпадающего индикатора. Такое решение позволяет уйти от необходимости либо вырабатывать единые для всех четырех стран критерии определения стресса на валютном рынке, либо находить уникальные для каждой страны критерии и параметры.

Для расчета значений *empi* использовалась формула, предложенная в работах [Kaminsky et al. \(1998\)](#) и [Patnaik et al. \(2017\)](#):

$$empi_t = \frac{\Delta e_t}{e_t} - \left( \frac{\sigma_e}{\sigma_r} \frac{\Delta r_t}{r_t} \right) + \left( \frac{\sigma_e}{\sigma_i} \Delta i_t \right), \quad (28)$$

где  $e_t$  — номинальный валютный курс в среднем за период (количество национальной валюты к доллару),  $r_t$  — валовые международные резервные активы (в долларах),  $i_t$  — номинальная процентная ставка по кредитам в долларах,  $\Delta$  — первая разность,  $\sigma_e$  — стандартное отклонение изменения обменного курса

$\left( \frac{\Delta e_t}{e_t} \right)$ ,  $\sigma_r$  — стандартное отклонение

изменения международных резервных активов  $\left( \frac{\Delta r_t}{r_t} \right)$ ,  $\sigma_i$  — стандартное отклонение

изменения номинальной процентной ставки  $\Delta i_t$ .

С использованием [формулы \(28\)](#), а также соответствующих временных рядов были рассчитаны величины для *empi*. Отметим, что чем больше величина *empi*, тем выше

напряженность на валютном рынке. Эта напряженность, в свою очередь, может привести к значительному обесценению национальной валюты, сокращению международных резервов и увеличению процентной ставки.

Для того чтобы судить о степени напряженности на валютном рынке, рассчитывается граница напряженности:

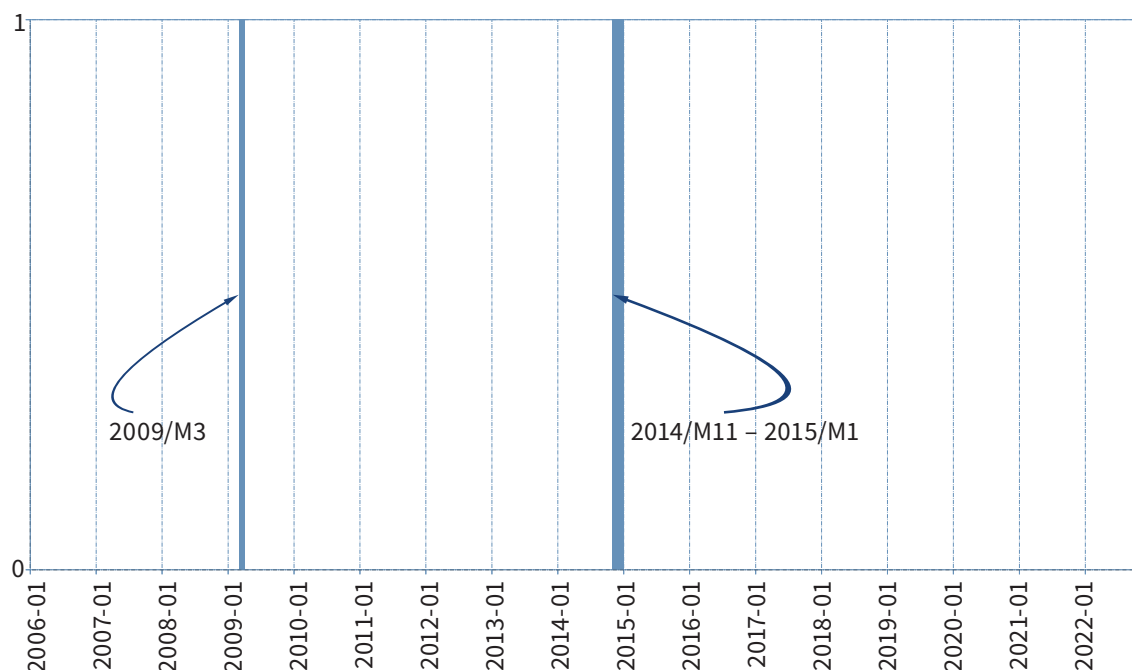
$$\overline{empi} + k \times \sigma_{empi}, \quad (29)$$

где  $k$  — коэффициент, который меняется от 1 до 3<sup>1</sup> (Abdelsalam and Abdel-Latif, 2020). Если показатель  $empi$  пересекал пороговый уровень, то фиксировался стресс на валютном рынке.

В результате в рассматриваемых экономиках зафиксированы следующие периоды стресса на валютных рынках.

В Армении на периоде 2006/М1 – 2023/М6 выделено два периода стресса: 2009/М3, 2014/М11 – 2015/М1 (рисунок 1а).

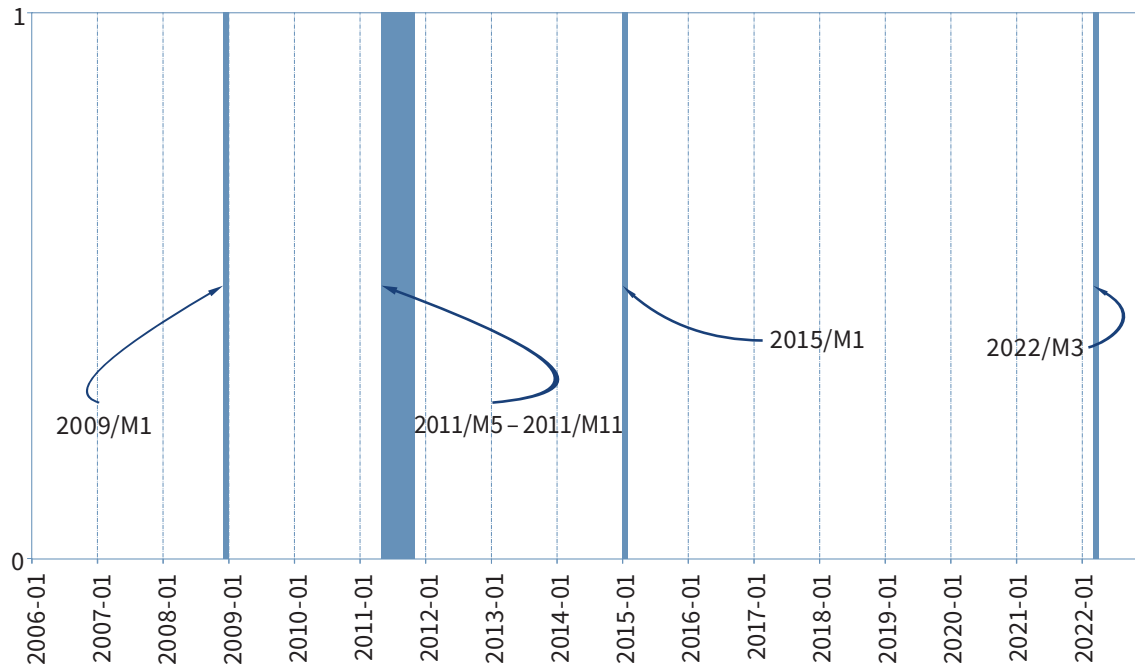
**Рисунок 1а. Идентификация периодов напряженности на валютном рынке Армении (1 — наличие напряженности, 0 — отсутствие напряженности)**



В Беларуси на периоде 2006/М1 – 2023/М6 установлено четыре стресса на валютном рынке: 2008/М12 – 2009/М1, 2011/М5 – 2011/М11, 2015/М1, 2022/М3 (рисунок 1б).

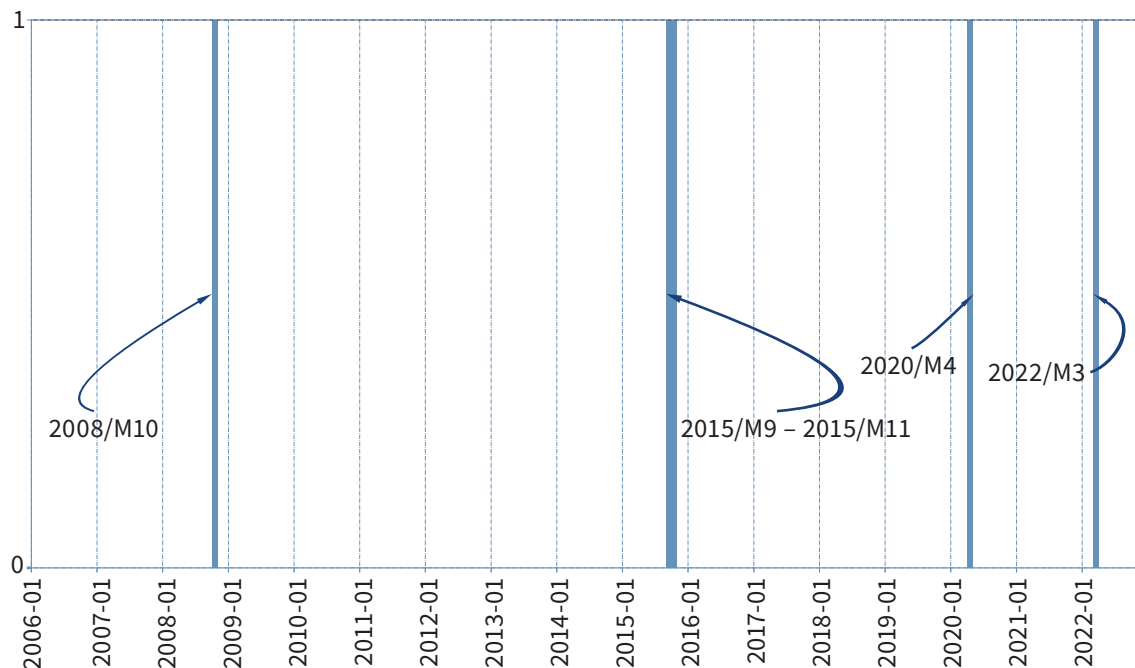
<sup>1</sup> Значение коэффициента  $k$  для Армении составило 1,645, что соответствует 90% стандартного нормального распределения, для Беларуси — 1,645 (90% стандартного нормального распределения), для Кыргызстана — 2 (97,5% стандартного нормального распределения), для Таджикистана — 2 (97,5% стандартного нормального распределения).

**Рисунок 16. Идентификация периодов напряженности на валютном рынке Беларуси (1 – наличие напряженности, 0 – отсутствие напряженности)**



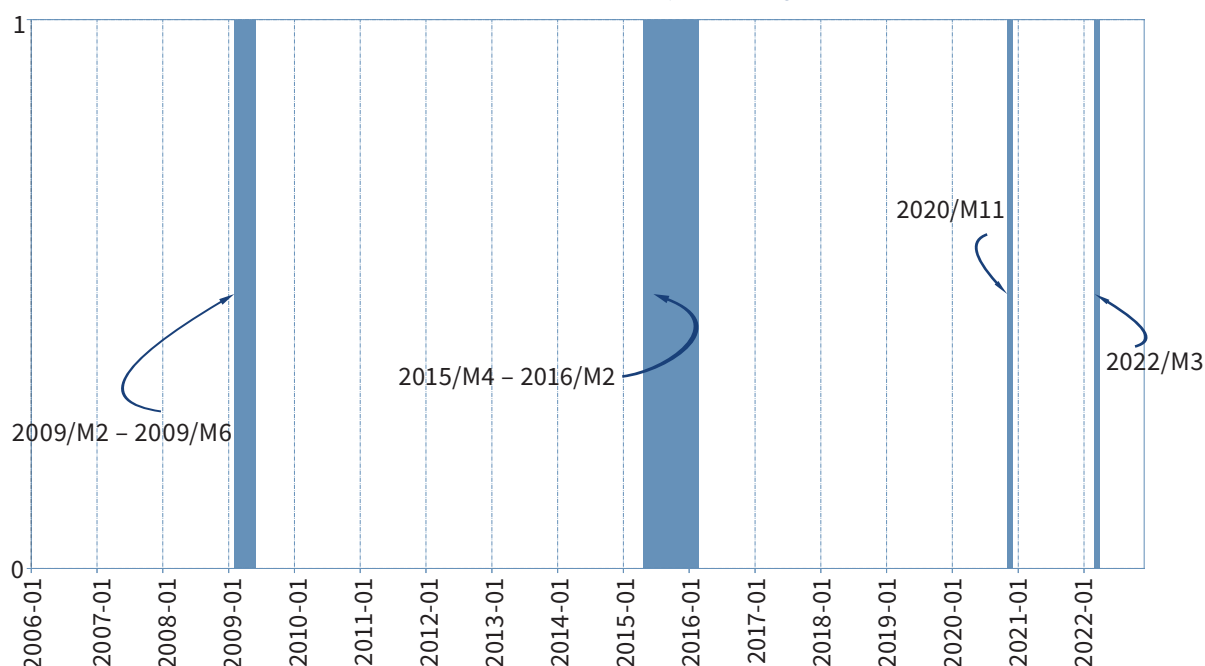
В Кыргызстане на периоде 2006/M1 – 2023/M6 было идентифицировано четыре стрессовых периода на валютном рынке: 2008/M10, 2015/M9 – 2015/M11, 2020/M4 и 2022/M3 (рисунок 1в).

**Рисунок 1в. Идентификация периодов напряженности на валютном рынке Кыргызстана (1 – наличие напряженности, 0 – отсутствие напряженности)**



В Таджикистане на основе динамики *етри* было определено четыре периода напряженности на валютном рынке: 2009/M2 – 2009/M6, 2015/M4 – 2016/M2, 2020/M11 и 2022/M3 (рисунок 1г).

**Рисунок 1г. Идентификация периодов напряженности на валютном рынке Таджикистана (1 — наличие напряженности, 0 — отсутствие напряженности)**



Системных банковских кризисов на рассматриваемом временном горизонте 2006/M1 – 2023/M6 в Армении, Беларуси, Кыргызстане и Таджикистане идентифицировано не было.

При этом стоит отметить, что напряженность на валютном рынке Таджикистана в период 2015/M4 – 2016/M2 совпала с периодом стресса в банковском секторе республики. Начиная с 2014 года нестабильная экономическая ситуация в основных странах — партнерах Республики Таджикистан и воздействие внешних шоков привели к тому, что банковский сектор республики оказался под угрозой системного кризиса. Уже по итогам 2014 года показатель проблемных кредитов превысил 10%. Ряд кредитных организаций Таджикистана, в том числе ОАО «Агроинвестбанк», ОАО «Таджиксодиротбанк» (оба — системообразующие), ЗАО «Таджпромбанк» и ЗАО «Фононбанк», столкнулись с проблемами ликвидности. В целях оздоровления финансовой системы и минимизации негативного влияния на другие отрасли экономики Правительством Республики Таджикистан было принято решение о рекапитализации банков. Объем поддержки только двух банков — ОАО «Агроинвестбанк» и ОАО «Таджиксодиротбанк» — составил по итогам 2016 года около 6% ВВП. Правительству и Национальному банку Республики Таджикистан удалось удержать ситуацию на финансовом рынке под контролем (избежать массового изъятия вкладов, провести санацию и ликвидацию наиболее проблемных кредитных организаций, начать реализацию положений ряда стратегических документов, направленных на укрепление финансового рынка). Таким образом, ситуацию в банковском секторе Таджикистана в 2015–2016 годах мы оцениваем как серьезный стресс, а не системный банковский кризис. Хотя часть показателей, характеризующих банковский сектор республики, превысила пороговые уровни критериев определения банковского кризиса согласно [Demirguc-Kunt and Detragiache \(2005\)](#), мы считаем, что по совокупности признаков системного банковского кризиса в Таджикистане в 2015–2016 годах не было.

В целом выявленные нами периоды стрессов на финансовых рынках Армении, Беларуси, Кыргызстана и Таджикистана совпадают с выводами, отраженными в работах [Laeven and Valencia \(2008, 2013, 2018\)](#).

## 5. Данные и их первичная обработка

Отбор и первичная обработка данных осуществлялись в несколько этапов.

На первом шаге для целей разработки моделей СРП и тестирования данных использовался перечень из 20 макроэкономических показателей, которые предлагались к изучению в работах [Kaminsky and Reinhart \(1999\)](#) и [Kaminsky \(1998\)](#) и которые потенциально могут быть предикторами наступления стрессовых периодов в экономике.

На втором шаге начальный набор макропеременных был расширен аналогичными по содержанию, но более дезагрегированными показателями. Основными источниками информации послужили публикации центральных (национальных) банков и национальных статистических ведомств, а также базы данных МВФ и другие свободно доступные информационные ресурсы. В целом расширенная база показателей охватывала реальный, денежно-кредитный, финансовый, бюджетный и внешний секторы экономик, включая также дополнительно рассчитанные индикаторы. В [таблице 1](#) представлено количество исходных исследуемых временных рядов данных по каждой из четырех стран.

**Таблица 1. Количество исследуемых временных рядов данных в разрезе стран**

Страна	Количество показателей
Армения	231
Беларусь	236
Кыргызстан	301
Таджикистан	138

Периодичность и глубина статистических данных: месячные данные с января 2006 года по июнь 2023 года. Данные более поздних периодов использовать затруднительно, поскольку они низкого качества либо отсутствуют.

Включенные в анализ временные ряды были подвергнуты первичной статистической обработке, в частности: логарифмической трансформации, сезонному сглаживанию, выделению тренда на основе фильтра Ходрика — Прескотта, расчету разрывов (разность между сезонно сглаженным и выделенным трендом временного ряда).

В данной работе использовались данные в разрывах в связи с тем, что временные ряды в развивающихся экономиках подвержены значительным колебаниям ([Bloom, 2013](#)). Поэтому включение в анализ первых разностей, а не разрывов может привести к искусственному завышению порогового уровня. Кроме того, мы следовали примеру других аналогичных работ, где используются данные в разрывах ([Csortos and Szalai, 2014](#); [Borio and Lowe, 2002a, 2002b](#)).

Для первичной статистической обработки данных, а также для большей части вычислительного цикла СРП с помощью объектно-ориентированного языка программирования Python создано специальное программное обеспечение. Для оценивания по методу DMA использовался пакет eDMA, разработанный в среде R с использованием библиотек Rcpp и RcppArmadillo ([Catania and Nonejad, 2018](#)), а также коды, разработанные в среде MATLAB ([Koop and Korobilis, 2012](#)).

## 6. Отбор потенциальных сигнальных переменных

Потенциальные сигнальные переменные — показатели, динамика которых заблаговременно сигнализирует о наступлении стресса или кризиса. Процесс отбора таких переменных заключается в следующем.

После завершения первичной статистической обработки данных производится отбор переменных, которые сигнализируют о наступлении кризиса в ближайшие периоды. Для этого рассчитывается отношение доли ложных сигналов в течение спокойных периодов к доле истинных сигналов внутри сигнальных окон (*noise-to-signal ratio, NSR*) в соответствии с популярным алгоритмом поиска сигнальных переменных [Kaminsky and Reinhart \(1999\)](#) и [Kaminsky \(1998\)](#).

Расчет этого показателя производится в несколько этапов.

1. Для каждого преобразованного временного ряда (см. [раздел 5](#)) рассчитывается среднее арифметическое и стандартное отклонение.
2. Для каждого стрессового периода определяется предшествующее его наступлению сигнальное окно длительностью в шесть месяцев. Отметим, что эксперименты проводились для различных значений сигнального окна, в том числе и для 12 и 18 месяцев, однако состав потенциальных предикторов оставался практически таким же, как и для значения в шесть месяцев. В ряде исследований длительность сигнального окна берется равной 24 месяцам ([Kaminsky, 1998](#); [El-Shazly, 2002](#)). В данном исследовании значение 24 месяцев не применялось, так как временные ряды начинаются в основном с 2002 года. На основе этого был сделан вывод, что для анализируемых стран оптимальной продолжительностью сигнального окна является шесть месяцев.
3. Для каждого временного ряда рассчитывается пороговое значение. Оптимальный порог определяется как значение индикатора, которое максимизирует способность этого показателя точно прогнозировать кризис (индикатор формирует наиболее качественные сигналы). Пороговое значение рассчитывается следующим образом:

$$\hat{x} \pm k\sigma_x, \quad (30)$$

где  $\hat{x}$  — средняя арифметическая величина,  $\sigma_x$  — стандартное отклонение,  $k$  — расчетный коэффициент ([Abdelsalam and Abdel-Latif, 2020](#)). Знак  $\pm$  зависит от конкретного индикатора и значения его динамики для экономики. Например, рост импорта может привести к формированию дефицита счета текущих операций и вероятному наступлению стресса или кризиса на валютном рынке.

4. Для определения порогового значения каждого временного ряда с помощью методов оптимизации рассчитывается коэффициент  $k$  — мера ограничения порогового уровня. Коэффициент  $k$  подбирается случайно среди положительных чисел. В результате оптимизации ищется глобальный минимум. Подобранные коэффициенты  $k$  имеют

примерно тот же смысл, что и пороговая область для определения доверительного интервала или проверки статистических гипотез.

5. Коэффициенты  $k$  для каждого временного ряда подбираются таким образом, чтобы минимизировать искомое отношение шум/сигнал ( $NSR$ ), рассчитываемое как отношение доли ложных сигналов в течение спокойных периодов к доле истинных сигналов внутри сигнальных окон.

$$NSR = \frac{FP / (FP + TN)}{TP / (TP + FN)}, \quad (31)$$

где  $TP$  (true positive) — индикатор подал сигнал в пределах сигнального окна и кризис произошел;  $FP$  (false positive) — индикатор подал сигнал за пределами сигнального окна, кризис не произошел;  $FN$  (false negative) — индикатор не подал сигнал в пределах сигнального окна, а кризис наступил;  $TN$  (true negative) — индикатор не подал сигнал вне сигнального окна, кризиса не было.

6. В результате оптимизации определяются минимальные значения показателя  $NSR$  (таблица 2) для каждой страновой выборки (показатель зависит от используемой базы данных и экспертных суждений). Временные ряды с величиной  $NSR$  свыше установленных минимальных значений исключаются из дальнейшего анализа.

Однако делать отбор потенциальных предикторов, основываясь лишь только на показателе  $NSR$ , недостаточно, особенно когда количество идентифицированных кризисов или периодов напряженности сравнительно небольшое. Это утверждение можно обосновать следующим образом.

Например, для Республики Армения в период 2006/М1 – 2023/М6 было зафиксировано два стрессовых периода на валютном рынке (см. раздел 4). Допустим, что потенциальный индикатор подал верный сигнал о наступлении стресса лишь для одного периода, а для другого случая не отреагировал на напряженность. Следовательно, для этого индикатора  $TP / (TP + FN) = 0,5$  (знаменатель показателя  $NSR$ , см. уравнение 31). Также допустим, что на основе фактических расчетов получили, что доля ложных сигналов  $FP / (FP + TN) = 0,1$ . В итоге для данного индикатора  $NSR = 0,2$ . Это означает, что согласно вышеуказанному подходу показатель должен быть включен в состав потенциальных предикторов. Однако его прогнозная сила будет очевидно низкой, так как из двух стрессовых периодов он отреагировал лишь на один.

В этой связи для тех показателей, у которых  $NSR$  меньше установленного минимального значения, дополнительно рассчитываются коэффициенты корреляции между фактическими стрессовыми периодами и лаговыми (от 1 до 12 месяцев) значениями сигналов (в данном случае все анализируемые ряды имеют бинарные значения, то есть коэффициенты корреляций рассчитываются на основе бинарных переменных). Дальнейший отбор показателей осуществляется по следующей схеме. Сигналы, для которых значения коэффициентов корреляции для всех лагов меньше значения, указанного в таблице 2, исключаются из анализа, и наоборот.

**Таблица 2. Минимальные значения показателя *NSR* и коэффициенты корреляции между стрессовыми периодами и лаговыми значениями сигналов**

Страна	Минимальное значение <i>NSR</i>	Коэффициент лаговой корреляции
Армения	0,2	0,3
Беларусь	0,2	0,5
Кыргызстан	0,2	0,25
Таджикистан	0,2	0,25

Распределение анализируемых показателей по *NSR* и значению показателя лаговой корреляции по каждой стране представлены в [приложении 2](#).

В результате процесса отбора по вышеописанной схеме для каждой страны был сформирован перечень потенциальных предикторов наступления стресса (кризиса) на валютном рынке (см. [приложение 3](#)). При этом необходимо отметить, что большинство показателей из предложенного списка [Kaminsky and Reinhart \(1999\)](#) и [Kaminsky \(1998\)](#) не удовлетворили критериям отбора.

Как было отмечено выше, для оценки эффективности предикторов использовалось сигнальное окно продолжительностью шесть месяцев. Для определения оптимальной ширины окна рассчитывались значения коэффициентов корреляций для различных лагов (от 1 до 12) для каждой страновой группы потенциальных предикторов ([приложение 4](#)). На основании анализа результатов оценок по каждой стране делается вывод о том, что максимум лагового коэффициента корреляции в большинстве случаев лежит в диапазоне от 1 до 6 лагов включительно. Таким образом, диапазон наибольших корреляций колеблется в пределах между 1-м и 6-м лагами, то есть максимальный диапазон сигнального окна целесообразно принять равным шести месяцам.

## 7. Построение главных компонент на основе отобранных потенциальных предикторов

Из приложения 3 видно, что среди отобранных потенциальных предикторов имеются по своей сути схожие временные ряды (например, различные виды депозитов, процентных ставок, индексов мировых цен на товары, обменных курсов и т. д.). Одним из вариантов действий в таком случае мог бы быть отбор нескольких наиболее важных предикторов на основании экспертных суждений. То есть можно было бы оставить, допустим, один показатель по индексам цен или один показатель по депозитам. Однако имелись опасения, что это приведет к потере потенциально важной информации. В связи с этим возникает вопрос о необходимости агрегирования отобранных потенциальных предикторов во взаимно независимые и совокупно дополняющие группы (главные компоненты). Было принято решение анализировать весь набор потенциальных предикторов по каждой стране в отдельности и для этой цели использовать известный в прикладной статистике метод главных компонент (Айвазян и др., 1989; Сошникова и др., 1999; Jolliffe, 2002)<sup>2</sup>.

Метод главных компонент дает возможность с помощью меньшего количества взаимно некоррелированных переменных объяснить значительную часть дисперсии исходных переменных. Для построения главных компонент необходимо выполнение следующего равенства:

$$\sum_{i=1}^n \text{var}(X_i) = \sum_{j=1}^n \text{var}(F_j), \quad (32)$$

где  $X_i$  — вектор исходных переменных ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),  $F_j$  — вектор главных компонент ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Из равенства видно, что количество главных компонент равно количеству исходных переменных. Однако, в отличие от исходных переменных, для главных компонент выполняется следующее неравенство:

$$\text{var}(F_1) \geq \text{var}(F_2) \dots \geq \text{var}(F_n), \quad (33)$$

то есть первая главная компонента имеет наибольшую дисперсию, вторая главная компонента имеет меньшую дисперсию по сравнению с первой, но большую дисперсию по сравнению с последующими главными компонентами, и т. д. Именно благодаря этому свойству первые несколько главных компонент могут объяснить значительную часть дисперсии исходных переменных.

Главные компоненты рассчитываются как линейные комбинации исходных переменных, то есть  $F = XB$ , где  $B$  — матрица весовых коэффициентов, причем имеет место  $B'B = 1$ . Задача заключается в том, чтобы подыскать такие величины матрицы  $B$ , которые

<sup>2</sup> Метод главных компонент — лишь один из возможных вариантов статистического анализа. Решение о выборе метода или подхода к анализу предикторов остается за исследователем с учетом его собственных суждений.

максимизируют дисперсии соответствующих главных компонент. Другими словами, необходимо решить оптимизационную задачу на максимум.

Для поиска такой матрицы  $B$  строится функция Лагранжа. Для этого равенство (32) представляется в матричной форме

$$\text{var}(X) = \text{var}(XB), \text{ или } \text{var}(X) = B'SB, \quad (34)$$

где  $S$  — вариационно-ковариационная матрица исходных переменных  $X$ .

Тогда функцию Лагранжа можно представить в виде

$$L = B'SB - \lambda(B'B - 1). \quad (35)$$

Дифференцируя по  $B$  и приравнявая результат к нулю, получаем  $|S - \lambda I| = 0$ . Для поиска ненулевого решения находим корни матричного уравнения  $|S - \lambda I| = 0$ . Решая это уравнение, определяем собственные значения ( $\lambda$ ) и собственные векторы ( $B$ ) матрицы  $S$ . Имея значения элементов матрицы  $B$ , рассчитываем динамику главных компонент по формуле  $F = XB$ .

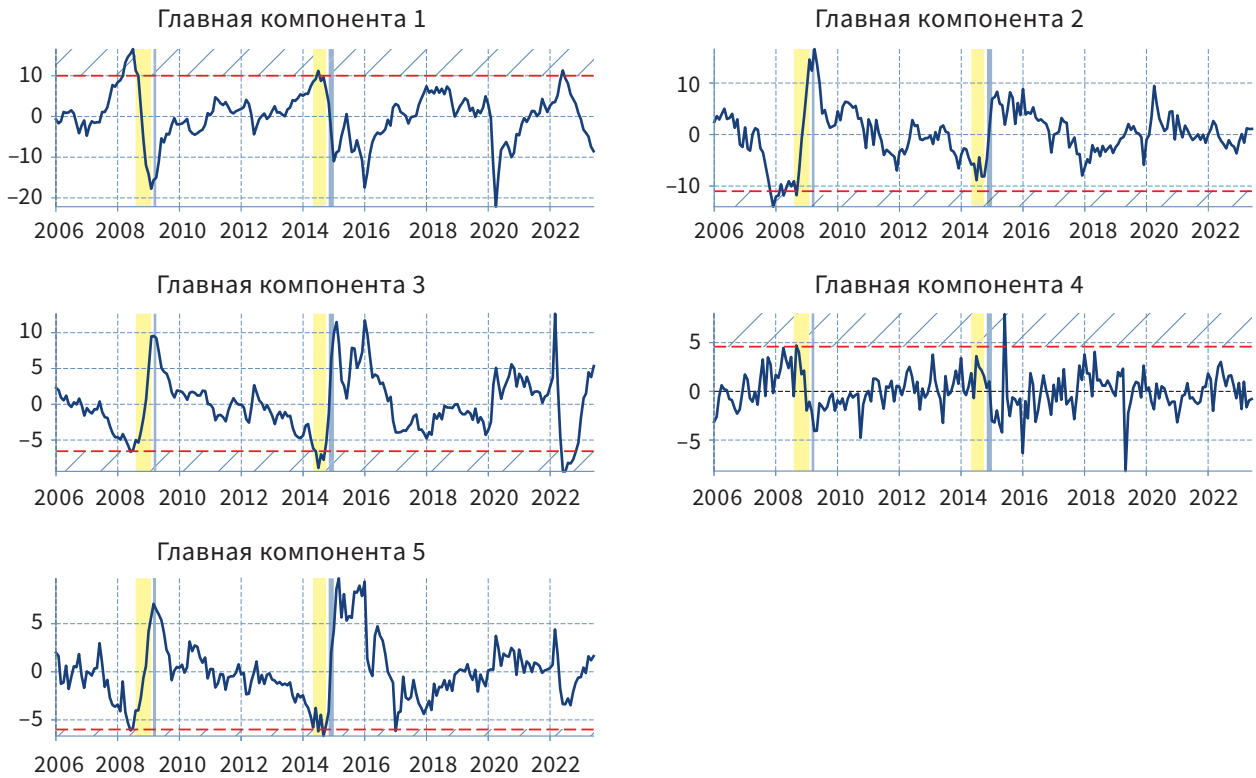
Таким образом, первым шагом в рамках метода главных компонент является расчет коэффициентов корреляции (ковариации), формирующих корреляционную (ковариационную) матрицу  $S$ . На основе этой матрицы рассчитываются дисперсии главных компонент, а также нагрузки главных компонент на отобранные предикторы. Эта задача решается с помощью нахождения собственных значений (*eigenvalues*) и соответствующих собственных векторов (*eigenvectors*).

Рассчитанные доли дисперсий выделенных главных компонент в общей дисперсии исходных показателей по каждой из четырех стран представлены в [приложении 5](#), а визуализация структуры выделенных главных компонент с удельными весами предикторов в дисперсии главных компонент — в [приложении 6](#).

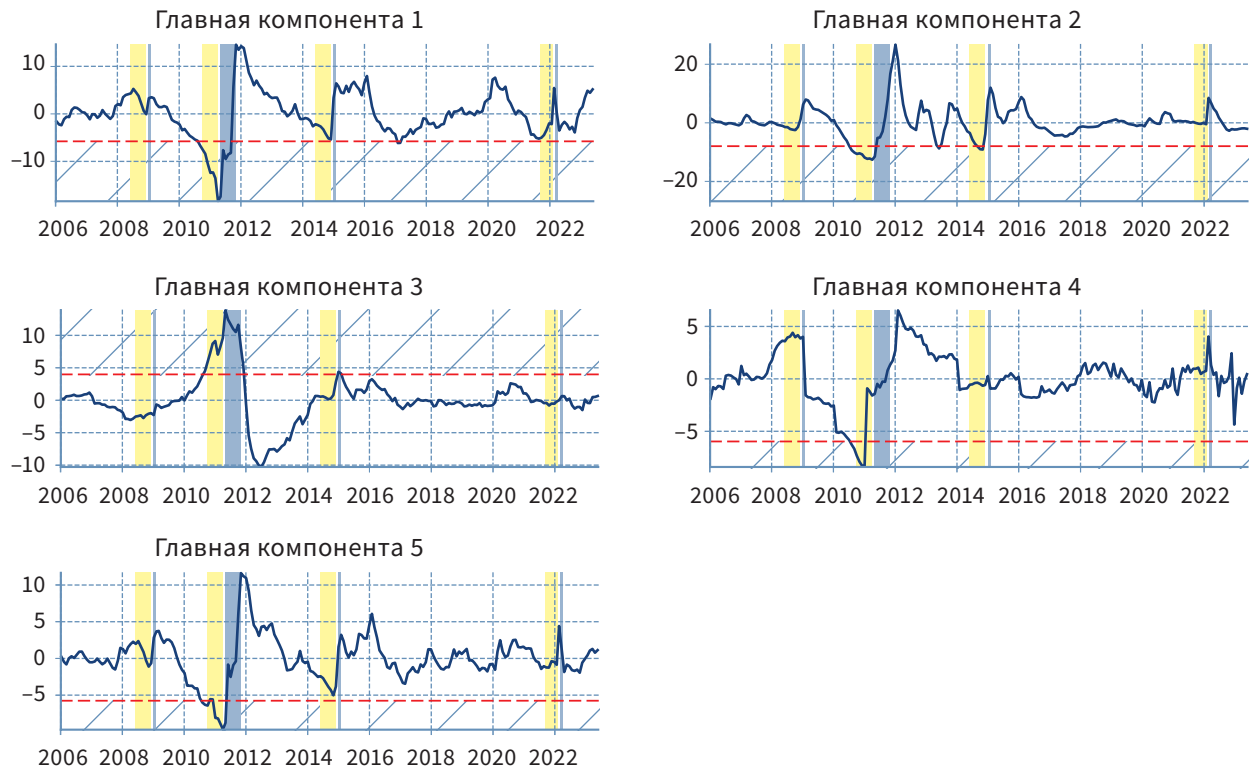
Решение о количестве главных компонент, которые остаются для дальнейшего анализа и моделирования, принимается на основе критерия Кайзера, согласно которому в анализе следует оставлять те главные компоненты, у которых собственные значения больше 1 ([Nunnally and Bernstein, 1994](#)). С учетом этого в дальнейших расчетах по Армении участвуют первые пять главных компонент (объясняют 64,82% дисперсии исходных предикторов), по Беларуси — первые пять главных компонент (объясняют 73,15% дисперсии исходных предикторов), по Кыргызстану — первые пять главных компонент (объясняют 63,39% дисперсии исходных предикторов), по Таджикистану — первые пять главных компонент (объясняют 65,38% дисперсии исходных предикторов).

Далее, используя матрицу нагрузок на главные компоненты, а также представленный выше алгоритм расчета главных компонент, вычисляется динамика главных компонент. На [рисунках 2–5](#) представлена динамика главных компонент соответственно для Армении, Беларуси, Кыргызстана и Таджикистана. Красная пунктирная линия на рисунках — пороговый уровень, а заштрихованная темными линиями область — зона стресса (кризиса). Если какая-либо точка главной компоненты попадает в критическую область, то делается вывод о возможной напряженности или наступлении стрессовой (кризисной) ситуации.

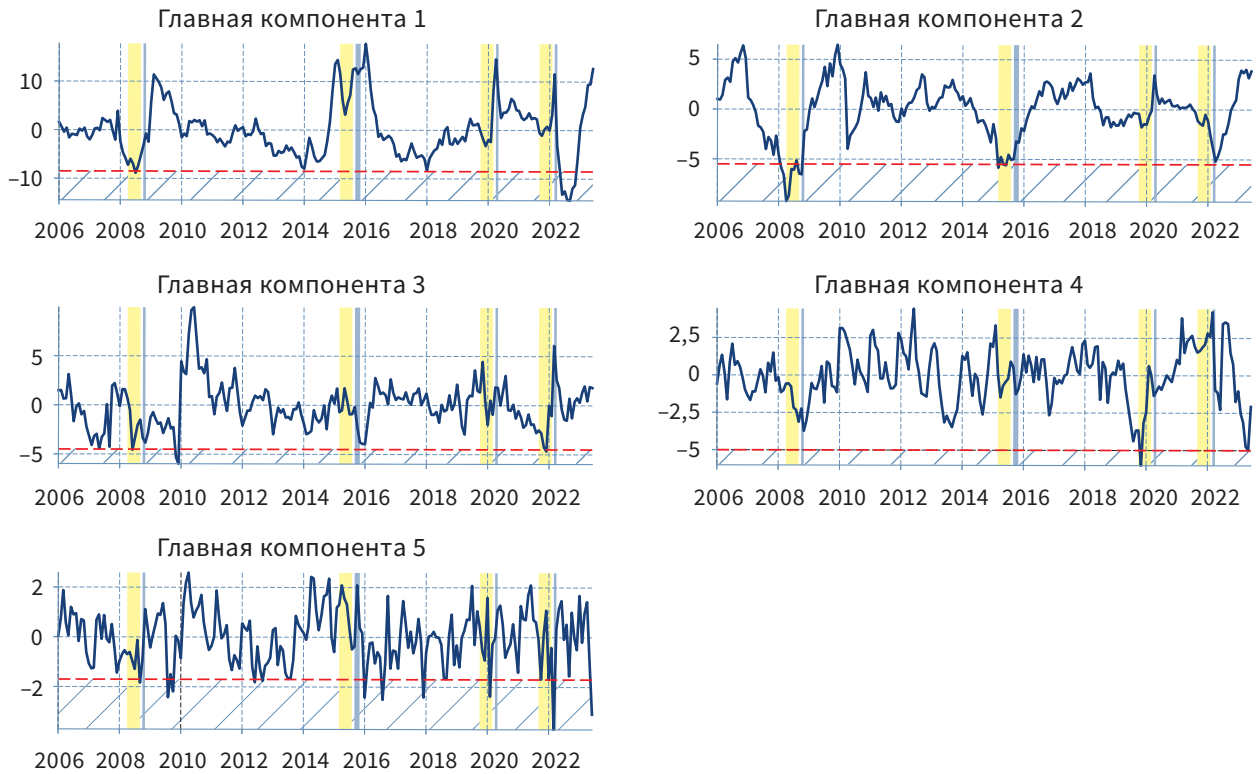
**Рисунок 2. Армения: динамика главных компонент на периоде 2006/М1 – 2023/М6**



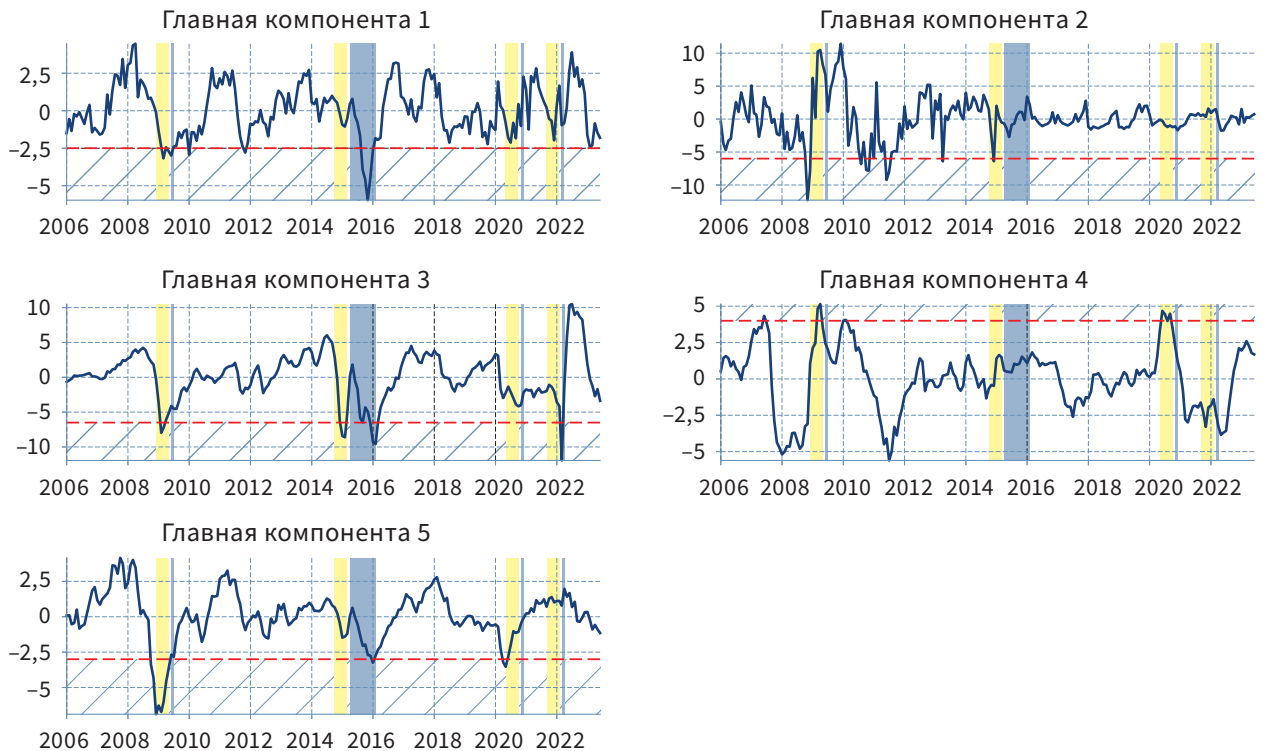
**Рисунок 3. Беларусь: динамика главных компонент на периоде 2006/М1 – 2023/М6**



**Рисунок 4. Кыргызстан: динамика главных компонент на периоде 2006/М1 – 2023/М6**



**Рисунок 5. Таджикистан: динамика главных компонент на периоде 2006/М1 – 2023/М6**



На [рисунках 2–5](#) видно, что в совокупности выделенные для каждой страны главные компоненты смогли своевременно подать сигнал о наступлении стрессовых (кризисных) периодов, при этом каждая компонента в отдельности не смогла продемонстрировать 100%-ный предсказательный результат.

Динамика выделенных главных компонент используется для расчета композитных индикаторов. Для этого вместо отобранных для каждой экономики предикторов ([приложение 3](#)) используются полученные главные компоненты. Они дают возможность рассчитать композитные индикаторы по вышеизложенным моделям (сигнальный подход, logit/probit-модели и метод DMA).

## 8. Отбор и тестирование моделей СРП: эмпирические результаты

В данном разделе продемонстрированы следующие результаты: (1) для каждой из представленных в [разделе 3](#) моделей определены пороговые уровни; (2) с использованием полученных пороговых уровней реализован анализ чувствительности рассматриваемых моделей к экстремальным значениям; (3) представлена процедура отбора прогнозных моделей, осуществлен эксперимент с ретроспективным прогнозом.

На основе динамики каждой из отобранных главных компонент (см. [рисунки 2–5](#)) дать однозначный ответ о наступлении стресса не представляется возможным. Решением в данном случае может служить построение и использование одного композитного индикатора на основе нескольких главных компонент.

Представим различные варианты построения композитных индикаторов, а также рассчитанные на их основе пороговые уровни.

**Сигнальный подход.** В случае сигнального подхода для каждой главной компоненты находится показатель эффективности  $NSR$ . Полученные величины  $NSR$  используются в качестве весов для нахождения композитного индикатора, который рассчитывается как взвешенная средняя арифметическая по [формуле \(6\)](#). Далее на основе полученного таким образом композитного индикатора можно рассчитать вероятность наступления кризиса в течение периода  $[t, t + h]$ . Расчет предлагается делать с учетом [формулы \(7\)](#), которую можно представить как:

$$Pr(Crisis_{t,t+6}) = \frac{\Sigma M^*}{\Sigma M}, \quad (36)$$

где  $Pr(Crisis_{t,t+6})$  — вероятность наступления кризиса в интервале времени  $[t, t + 6]$ ;  $\Sigma M^*$  — количество месяцев, когда значение композитного индикатора попадает в интервал  $CI_l < CI_t < CI_u$  и в течение последующих шести месяцев наступает кризис ( $CI_l$  — нижняя граница,  $CI_u$  — верхняя граница),  $\Sigma M$  — общее количество месяцев, когда значение композитного индикатора находится в интервале  $CI_l < CI_t < CI_u$  ([Kaminsky, 1999](#)).

Для сигнального подхода подобранные процентиля и соответственно рассчитанные значения вероятностей по четырем странам представлены в [таблицах 3–6](#).

**Таблица 3. Армения: расчет вероятности наступления кризиса в интервале  $CI_l < CI_t < CI_u$**

Процентили	≤ 0,274	≤ 0,452	≤ 0,658
Значения процентилей	0,25	0,6	1,0
$M^*$	5	4	3
$M$	187	11	7
Вероятность	0,027	0,364	0,429
Пороговый уровень		<b>0,274</b>	

**Таблица 4. Беларусь: расчет вероятности наступления кризиса в интервале  $CI_l < CI_t < CI_u$**

Процентили	$\leq 0,2$	$\leq 0,8$	$\leq 1,0$
Значения процентилей	0,25	0,7	1,0
$M^*$	18	5	1
$M$	191	6	3
Вероятность	0,094	0,833	0,333
Пороговый уровень		<b>0,2</b>	

**Таблица 5. Кыргызстан: расчет вероятности наступления кризиса в интервале  $CI_l < CI_t < CI_u$**

Процентили	$\leq 0,106$	$\leq 0,282$	$\leq 0,388$
Значения процентилей	0,25	0,7	1,0
$M^*$	21	2	1
$M$	189	12	3
Вероятность	0,111	0,167	0,333
Пороговый уровень			<b>0,282</b>

**Таблица 6. Таджикистан: расчет вероятности наступления кризиса в интервале  $CI_l < CI_t < CI_u$**

Процентили	$\leq 0,22$	$\leq 0,44$	$\leq 0,937$
Значения процентилей	0,25	0,7	1,0
$M^*$	22	5	3
$M$	194	7	3
Вероятность	0,113	0,714	1,0
Пороговый уровень		<b>0,22</b>	

Процентили подбираются на основе экспертных суждений с учетом конкретных значений ранжированного ряда композитного индикатора. Подбор процентилей делается в тех точках, где происходит значимый скачок показателя. С целью проверки устойчивости результатов разбивки можно брать равные интервалы для процентилей или, например, подсчитать оптимальное количество интервалов для данного ранжированного ряда. В [таблицах 3–6](#) в строке «Значение процентилей» представлены конкретные значения ранжированного ряда для данного процентиля. Например, в [таблице 3](#) для процентиля 0,25 соответствующее значение равно 0,274 и т. д. Для того чтобы подсчитать количество наблюдений в интервале  $CI_l < CI_t < CI_u$ , нужно по конкретным значениям процентилей сформировать интервалы. Так, например, первым интервалом будет  $[0 - 0,274]$ , вторым —  $(0,274 - 0,452]$  и т. д. Для строки  $M^*$  находим такие значения композитного индикатора, которые одновременно попадают в этот интервал, и в последующие шесть месяцев наступает кризис (например, для интервала  $[0 - 0,274]$   $M^* = 5$ ). В строке  $M$  приведены все значения композитного индикатора в интервале  $CI_l < CI_t < CI_u$  (для интервала  $[0 - 0,274]$  общее количество значений попавших в этот интервал равно 187). Наконец, поделив  $M^*$  на  $M$ , находим вероятность наступления кризиса (например, для первого интервала вероятность равна 0,027). Рассчитанная вероятность показывает, что если композитный индикатор принимает свое значение из интервала  $[0 - 0,274]$ , то наступление кризиса в последующие шесть месяцев равно 0,027. Аналогичным образом из [таблицы 3](#) видно, что когда значение процентиля попадает в интервал  $(0,274 - 0,452]$ , то

вероятность наступления кризиса резко возрастает — с 0,027 до 0,364. На основании этого делается вывод о том, что пороговый уровень равен 0,274. Аналогичным образом находим пороговые уровни для остальных стран.

**Модели бинарного выбора.** В таких моделях в качестве объясняющих переменных использовались непрерывные величины главных компонент (для сохранения сопоставимости с результатами сигнального подхода). Другими словами, в logit/probit-моделях зависимая переменная является бинарной, а объясняющие переменные — непрерывные величины главных компонент. Главные компоненты могут входить в logit/probit-модели с лагами (от 1 до 6). Выбор такого количества лагов объясняется шириной сигнального окна в шесть месяцев.

На основе logit/probit-моделей оцениваются соответствующие вероятности. Далее для полученных вероятностей рассчитывается показатель эффективности *NSR*, который будет оптимальным пороговым уровнем наступления кризисных периодов по соответствующим моделям.

Для сохранения сопоставимости в logit/probit-модели включались те же главные компоненты, что и в модель сигнального подхода. Основное отличие состоит в том, что в logit/probit-моделях главные компоненты входят с лагами. Результаты оценок моделей по анализируемым странам продемонстрированы в [приложении 7](#). Знаки оцененных параметров совпадают с нашими ожиданиями.

Влияние оцененных параметров на зависимую переменную в бинарных моделях объясняется с помощью предельного эффекта (*marginal effect*). Например, в [приложении 7](#) в logit-модели для Армении коэффициент при  $PC1(-3)$  равен 0,354. Тогда предельный эффект для logit-модели можно рассчитать по следующей формуле:

$$\text{marginal effect} = \Lambda(x'\beta)(1 - \Lambda(x'\beta))\beta_j. \quad (37)$$

Для наших данных  $\Lambda(x'\beta)(1 - \Lambda(x'\beta)) = 0,0166$ . Следовательно, предельный эффект показателя  $PC1(-3) = 0,354 \times 0,0166 = 0,00588$ .

Полученный коэффициент интерпретируется следующим образом. Если третий лаг первой главной компоненты увеличится на одну условную единицу, то вероятность наступления стресса (кризиса) увеличится на 0,00588. Для других оцененных параметров объяснение дается аналогичным образом.

**Метод динамического усреднения моделей.** Представим некоторые пояснения для предварительной подготовки и реализации метода DMA. Как было сказано в предыдущем разделе, на основе отобранных для каждой страны потенциальных предикторов было выделено пять главных компонент для каждой из стран. Учитывая, что в logit/probit-моделях главные компоненты включались с лагами, то с целью сопоставимости в DMA по каждой стране количество лагов варьировалось от 1 до 4 включительно. Представленные в [приложении 7](#) спецификации входят в число возможных частных спецификаций для метода DMA. Например, при включении пяти главных компонент с лагами от 1 до 4 общее количество объясняющих переменных в DMA будет равно 20. Следовательно, общее количество спецификаций, которые необходимо оценить, составит  $(2^{20})$ . В модель включается также константа, которая принимает участие во всех возможных спецификациях.

Перед тем как оценивать каждую из возможных спецификаций, необходимо подобрать значения для двух факторов забывания  $\lambda$  и  $\alpha$ , а также значение для параметра  $k$ .

В отношении параметра  $k$  отметим, что во многих работах этот параметр равен 0,95, а величины факторов забывания  $\lambda$  и  $\alpha$  варьируются в диапазоне от 0,90 до 0,99 с шагом 0,01 (Catania and Nonejad, 2018). В нашей работе применяем  $\lambda = 0,99$  и  $\alpha = 0,9$  (Koop and Korobilis, 2012). Исходные значения весов берем одинаковыми для каждой из возможных спецификаций, так как изначально все спецификации имеют одинаковую важность.

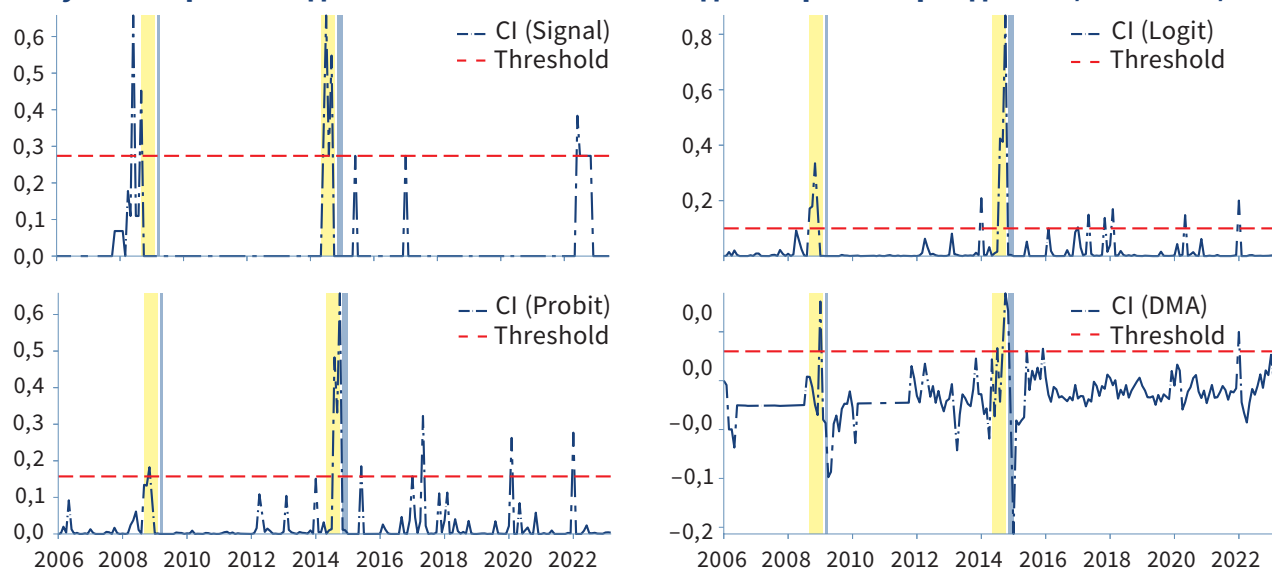
После фиксирования исходных значений начинается процесс оценивания параметров (см. раздел 3), то есть для каждой комбинации и для конкретного периода времени рассчитывается плотность вероятности, которая показывает, насколько данная спецификация хорошо аппроксимирует зависимую переменную *etri*. Сопоставление фактической и оцененной на основе метода DMA динамики *etri* представлено в приложении 8.

Как было отмечено в разделе 3, применение DMA позволяет рассматривать все возможные спецификации модели и тем самым решать проблему неопределенности, обусловленной выбором спецификации модели. В этом отношении возникает вопрос: какой процент общей дисперсии объясняется неопределенностью выбора модели?

Для ответа на этот вопрос можно обратиться к работе Catania and Nonejad (2018), где приводятся формулы для расчета дисперсии фактических наблюдений, дисперсии, обусловленной неопределенностью коэффициентов, а также дисперсии, обусловленной неопределенностью спецификации модели. Согласно нашей оценке, для временных рядов Армении удельный вес дисперсии, обусловленной спецификацией модели, в общей дисперсии составляет 15,32%. Аналогичная картина наблюдается и в других странах. Таким образом, неопределенность выбора спецификации имеет сравнительно большой вес в общей дисперсии, и, следовательно, ее учет может сыграть важную роль для прогноза зависимой переменной.

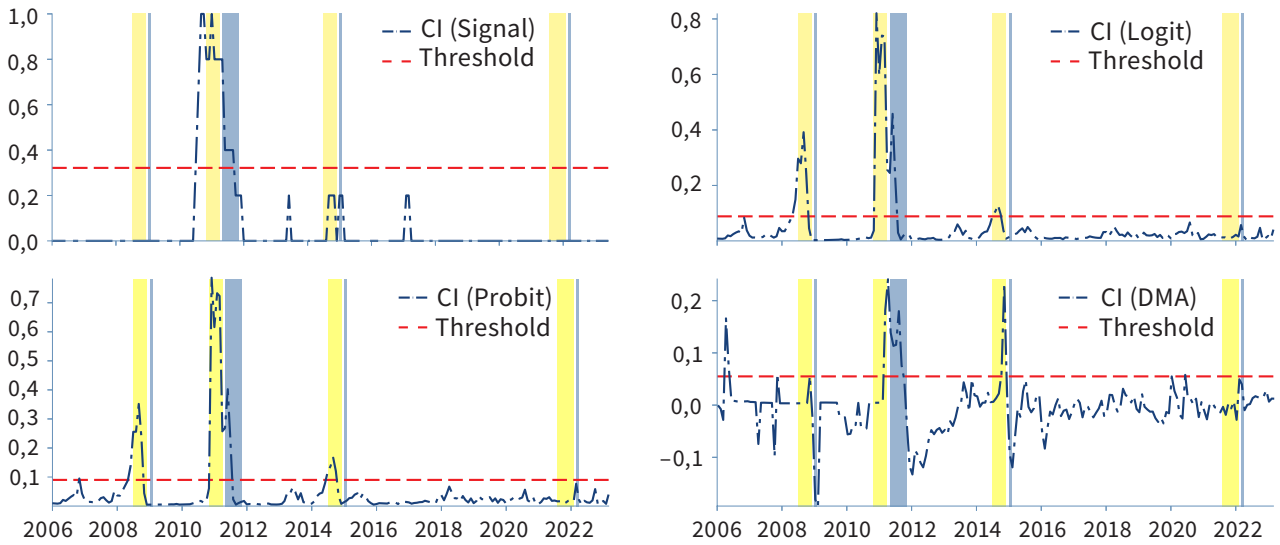
В итоге рассчитанные по всем вышеуказанным моделям композитные индикаторы наступления стресса на валютных рынках Армении, Беларуси, Кыргызстана и Таджикистана, а также соответствующие им пороговые уровни представлены на рисунках 6–9. Отметим, что пороговые уровни для каждого композитного индикатора находились на основе оценки оптимального *NSR*.

**Рисунок 6. Армения: динамика композитного индикатора на периоде 2006/М1 – 2023/М6**

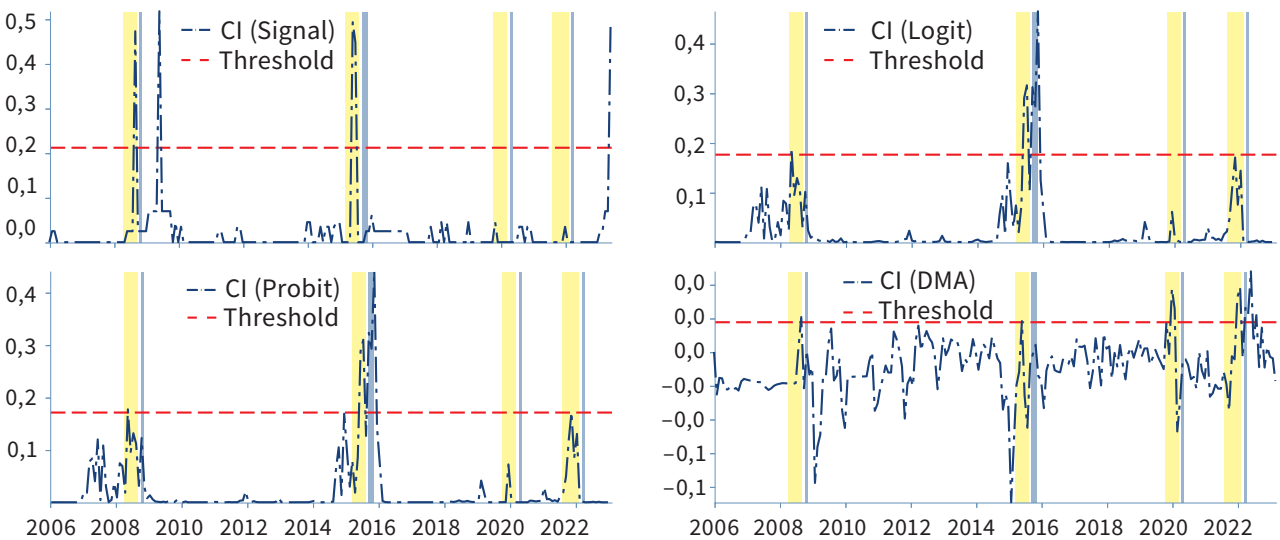


**Примечание:** здесь и далее CI — композитный индикатор, Threshold — пороговый уровень.

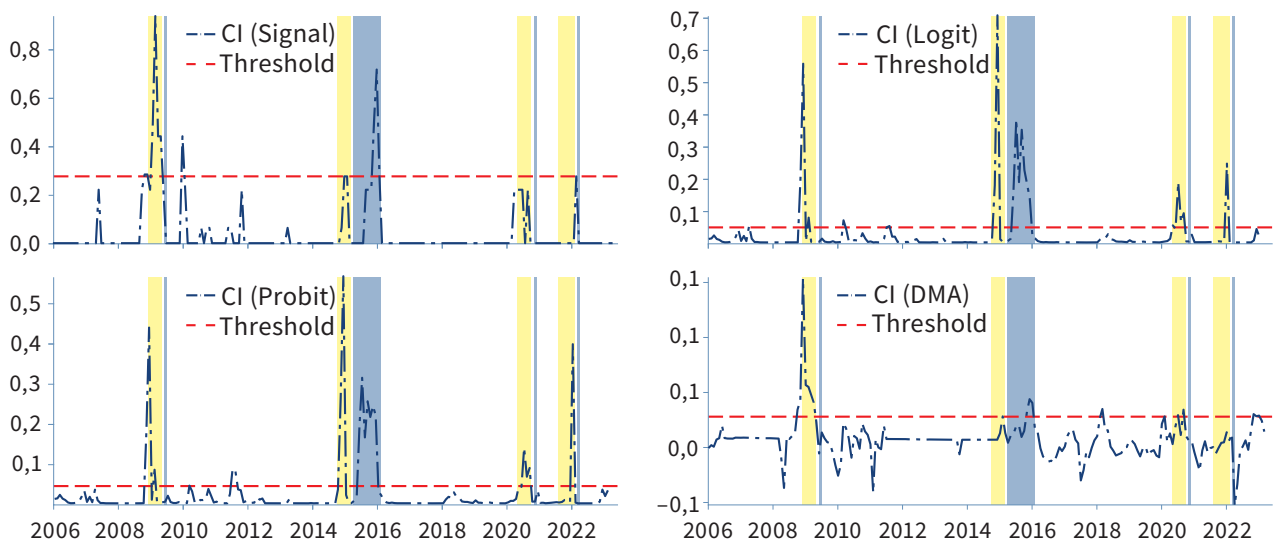
**Рисунок 7. Беларусь: динамика композитного индикатора на периоде 2006/М1 – 2023/М6**



**Рисунок 8. Кыргызстан: динамика композитного индикатора на периоде 2006/М1 – 2023/М6**



**Рисунок 9. Таджикистан: динамика композитного индикатора на периоде 2006/М1 – 2023/М6**



**Анализ чувствительности к экстремальным значениям.** Данный шаг необходим для сравнения прогностических свойств используемых моделей. Для этого рассчитываются доверительные интервалы изменения главных компонент с использованием метода *bootstrap*, основная идея которого состоит в следующем.

На первом этапе каждая главная компонента моделируется как AR(2) процесс:

$$y_t = \varphi_0 + \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + u_t, \quad (38)$$

где  $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$  — неизвестные параметры модели, которые можно состоятельно оценить по методу наименьших квадратов.

На втором этапе рассчитываются  $\hat{y}_t = \hat{\varphi}_0 + \hat{\varphi}_1 y_{t-1} + \hat{\varphi}_2 y_{t-2}$  и остатки  $\hat{u}_t = y_t - \hat{y}_t$ . Полученные остатки масштабируем следующим образом:

$$\bar{u}_t = \frac{\hat{u}_t}{\sqrt{1-h_t}} - \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N \frac{\hat{u}_s}{\sqrt{1-h_s}}, \quad (39)$$

где  $h_t = X_t (X'X)^{-1} X_t'$ .

На третьем этапе осуществляется ресемплирование с возвращением для  $\bar{u}_t$ . В результате получают новые величины  $\bar{u}_t^*$ , которые, будучи добавленными к  $\hat{y}_t$ , дают новые величины зависимой переменной (главных компонент)  $y_t^* = \hat{y}_t + \bar{u}_t^*$ . С использованием  $y_t^*$  оценивается AR(2) модель для определения  $\hat{y}_t^*$  (Johnston and DiNardo, 1997).

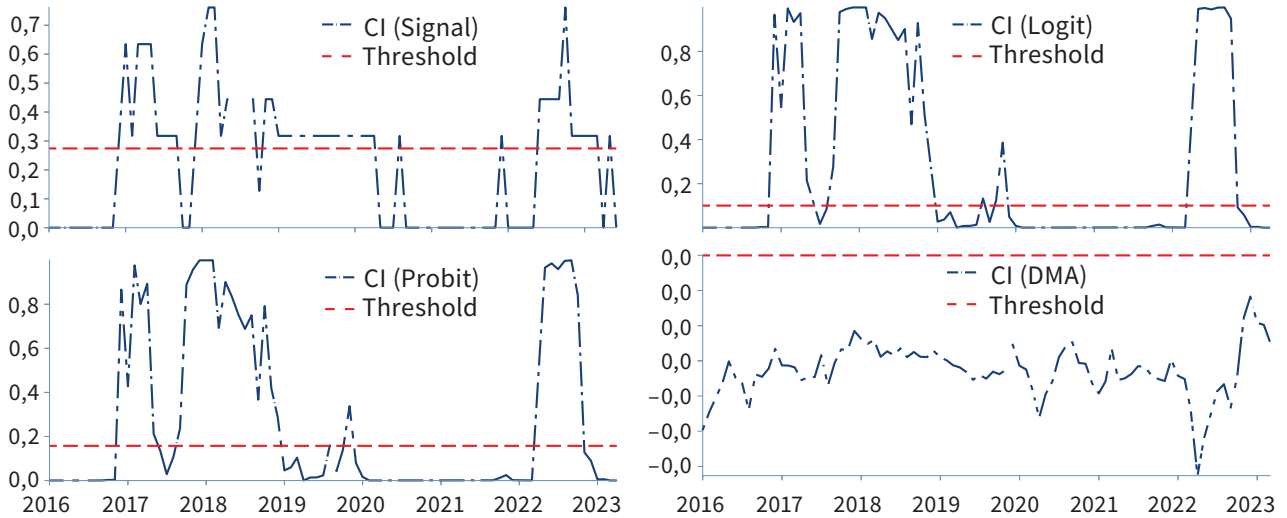
Следуя вышеизложенному алгоритму метода *bootstrap*, итерация вычислений повторяется многократно (в нашем случае 1000 раз). В результате рассчитываются 5%- и 95%-ные бутстраповские доверительные интервалы. Найденные по методу *bootstrap* интервалы выделенных главных компонент в разрезе стран и соответствующих выделенных главных компонент продемонстрированы в [приложении 9](#).

На рисунках в [приложении 9](#) видно, что фактическая динамика главных компонент в основном колеблется внутри интервалов, что свидетельствует о хорошей аппроксимации по методу *bootstrap*. На основе рассчитанных бутстраповских доверительных интервалов можно сделать заключение о прогностических свойствах моделей. Для этого применяется следующая процедура.

В модели вместо фактических величин главных компонент подставляются величины интервальных значений (подставляются экстремальные значения) и изучается поведение модели в этих точках. В нашем случае используется лишь часть всей выборки: экстремальные значения для периода 2016/М1 – 2023/М6. Подставляя экстремальные значения в тестовую подвыборку (в данные с 2016/М1 по 2023/М6), рассчитываем новые значения композитных индикаторов. Далее сопоставляются значения композитных индикаторов со значениями пороговых уровней (см. [рисунки 10–13](#)).

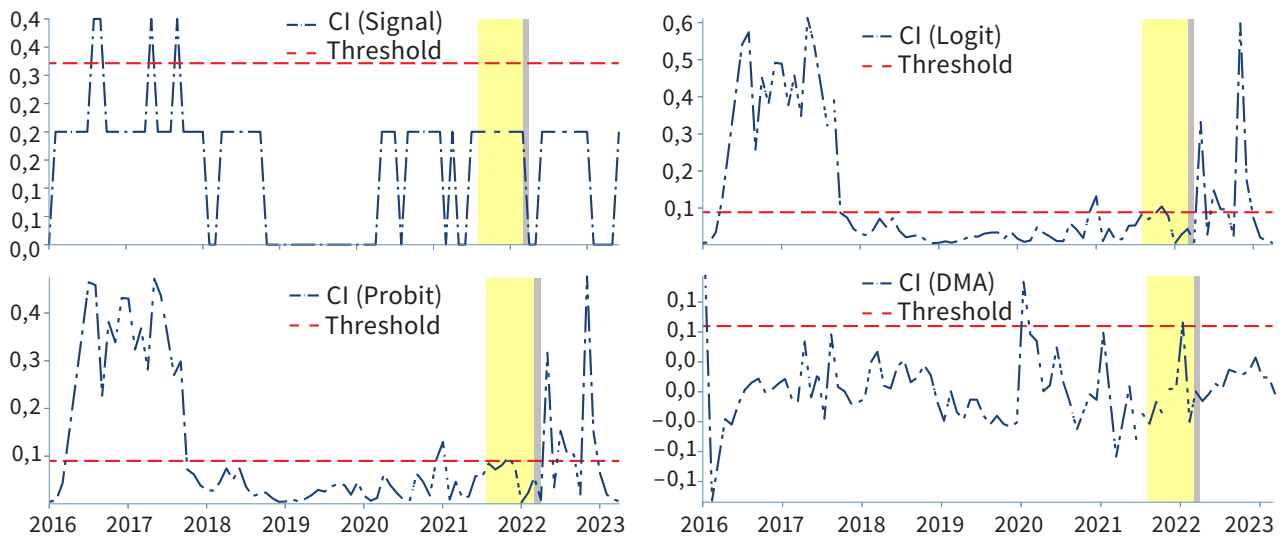
На [рисунках 10–13](#) достаточно хорошо видно, что сигнальный подход генерирует наибольшее количество ложных сигналов по сравнению с другими моделями. В случае logit/probit-моделей и методов DMA/DMS ложных сигналов не так много, поэтому для СРП применение DMA/DMS и logit/probit-моделей оправданно.

**Рисунок 10. Армения: поведение моделей в экстремальных точках**

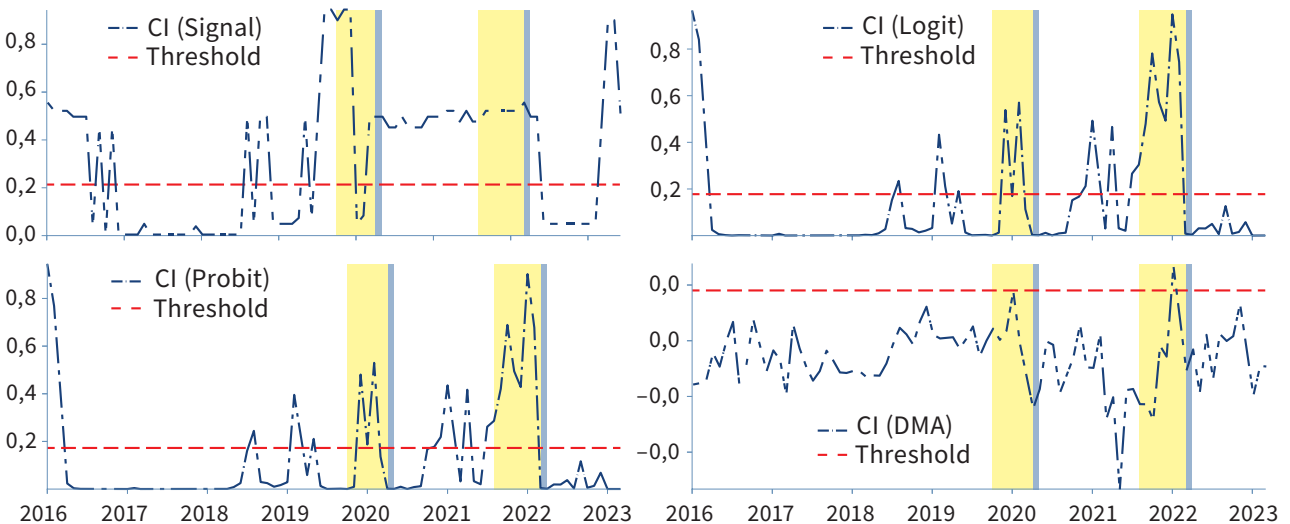


**Примечание:** здесь и далее CI — композитный индикатор, Threshold — пороговый уровень.

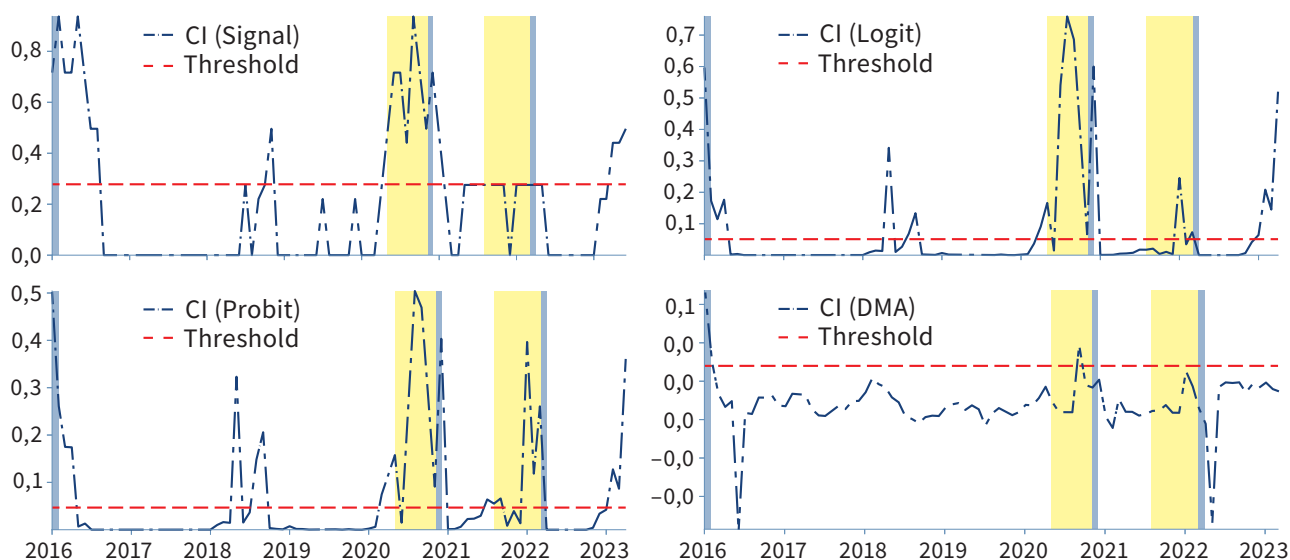
**Рисунок 11. Беларусь: поведение моделей в экстремальных точках**



**Рисунок 12. Кыргызстан: поведение моделей в экстремальных точках**



**Рисунок 13. Таджикистан: поведение моделей в экстремальных точках**



**Отбор прогностических моделей.** Цель данного шага — поиск качественных инструментов для реализации краткосрочного прогноза и идентификации стрессовых (кризисных) периодов.

Для этого на первом шаге необходимо решить вопрос о методах прогноза выделенных главных компонент. Выбор осуществлялся среди традиционных моделей прогнозирования временных рядов: AR, VAR- и BVAR-моделей. Чтобы отобрать наиболее подходящую модель для каждой страны, был осуществлен ретроспективный анализ прогнозов по рекурсивной и скользящей схемам регрессионного эксперимента (рисунок 14).

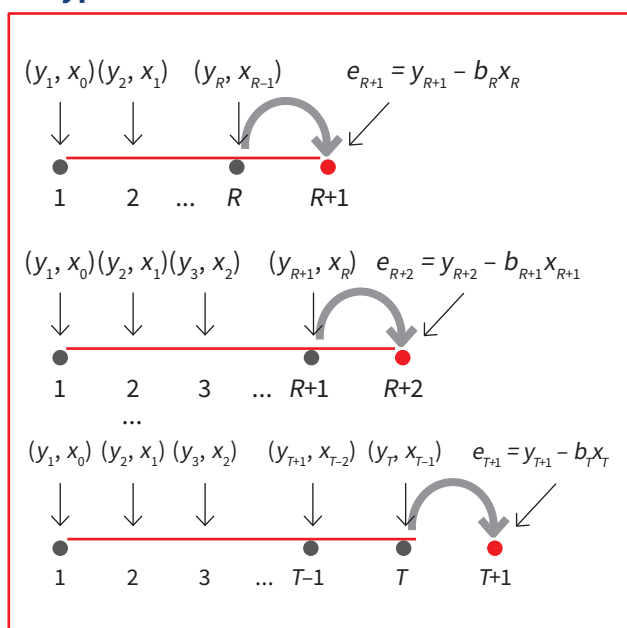
Рекурсивная схема предполагает следующие шаги. Оценка модели проводится на фактических данных, например, для периода 2006/M1 – 2016/M7. Затем с помощью оцененной модели осуществляется прогноз на один шаг вперед (2016/M8). Далее длина выборки увеличивается еще на одно наблюдение (получаем период 2006/M1 – 2016/M8), заново оценивается модель и делается прогноз на один временной такт вперед (2016/M9). Таким образом, последовательно осуществляются итерации до 2023/M5, где делается последний прогноз для периода 2023/M6.

Скользящая схема принципиально не отличается от рекурсивной. Ее основная особенность в том, что в такой схеме длина временных рядов сохраняется, то есть оценивается модель для периода 2006/M1 – 2016/M7 и делается прогноз на следующий период (2016/M8). Затем выборка смещается на одно наблюдение (берется интервал 2006/M2 – 2016/M8), переоценивается модель и делается прогноз на один месяц вперед. Такие последовательные итерации осуществляются, пока не будет сделан прогноз для последнего временного периода 2023/M6.

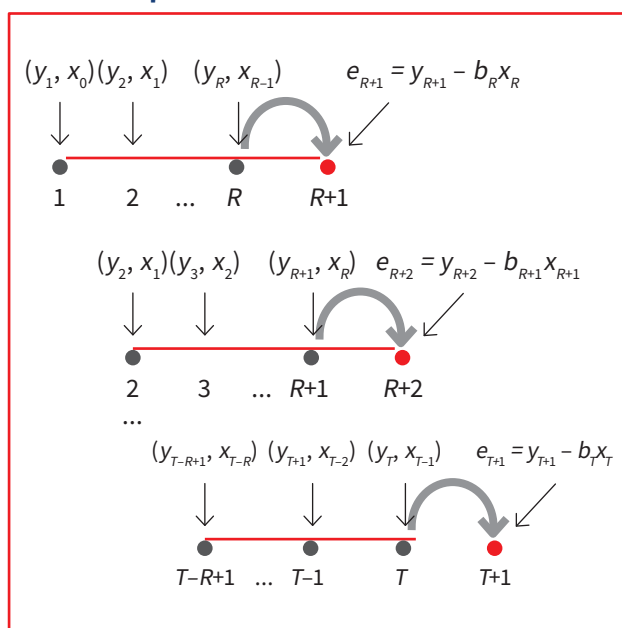
Для прогнозных моделей AR, VAR и BVAR последовательно применялось количество лагов 1, 2 и 3. Выбор указанного количества лагов объясняется тем, что, во-первых, главные компоненты достаточно волатильны и, во-вторых, включение в модель большего количества лагов потенциально может привести к сверхидентификации модели, что повлияет на корректность прогноза. Результаты экспериментов по рекурсивной и скользящей схеме для всех четырех стран представлены в приложении 10.

Рисунок 14. Алгоритм рекурсивной и скользящей регрессий

Рекурсивная схема



Скользящая схема



Источник: Rossi (2014).

В соответствии с результатами оценок (см. приложение 10) минимальное значение показателя RMSFE (в разрезе стран) достигается в следующих случаях:

- Для Армении — при BVAR-модели (при 1 или 2 лагах). Следовательно, для прогноза главных компонент следует применять BVAR.
- Для Беларуси — при AR-модели. Таким образом, для прогноза главных компонент предлагается применять AR-модель.
- Для Кыргызстана — при VAR- и BVAR-моделях (при 1 или 2 лагах). Поскольку обе модели имеют равную силу, предлагается использовать одну из них — BVAR-модель.
- Для Таджикистана — при AR-модели. Далее для прогноза главных компонент предлагается использовать AR-модель.

Важно отметить, что такого рода ретроспективный анализ целесообразно проводить периодически и в случае изменения RMSFE необходимо переключаться с одной модели на другую.

AR- и BVAR-модели позволяют делать точечные прогнозы, однако с целью генерации интервалов распределения прогнозов вместе с AR- и BVAR-моделями следует использовать алгоритм семплирования по Гиббсу (Gibbs sampling). Алгоритм одновременного применения AR-модели с семплированием по Гиббсу довольно подробно изложен в работе Blake and Mumtaz (2017).

Таким образом, прежде чем делать перспективный прогноз, применяя AR- и BVAR-модели совместно с Gibbs-sampling, для каждой анализируемой экономики был проведен эксперимент с генерацией ретроспективного прогноза. Основная цель ретроспективного прогноза — проверить, как работают на фактических данных AR- и BVAR-модели совместно

с Gibbs-sampling. Результаты эксперимента продемонстрированы в [приложении 11](#), где на рисунках видно, что фактические значения главных компонент в большинстве случаев находятся внутри спрогнозированных интервалов. Следовательно, если алгоритм совместного применения AR/BVAR-моделей и Gibbs-sampling корректно спрогнозировал фактическую динамику главных компонент на исторических данных, то целесообразно применить данную практику для прогноза главных компонент на последующие 12 месяцев. Подставляя экстремальные прогнозные значения главных компонент в соответствующие модели (сигнальный подход, logit- и probit-модели, метод DMA), можно получить прогноз динамики композитного индикатора. Далее, сопоставляя значения композитного индикатора и порогового уровня, формулируются выводы о вероятности проявления стресса (кризиса) на валютном рынке.

## Заключение

В данной работе представлены методология и пошаговый алгоритм разработки инструментов для идентификации дисбалансов (кризисов) и стрессовых ситуаций в экономике. Учитывая особенности экономического развития анализируемых стран и экономические потрясения в Армении, Беларуси, Кыргызстане и Таджикистане в период с января 2006 года по настоящее время, основной акцент был сделан на разработке инструментов для своевременного выявления нарастания напряженности на валютном рынке.

В целом работа строится на использовании лучших практик по построению СРП — начиная от особенностей сбора данных, их первичной обработки, методов анализа данных для выявления и отбора потенциальных предикторов стрессовых (кризисных) явлений и заканчивая особенностями разработки и поиска прогностических моделей. В рамках разработки инструментов для построения СРП использовались традиционные подходы и методы анализа данных — сигнальный подход, или модель опережающих индикаторов, а также модели бинарного выбора, или logit/probit-модели. Также с целью учета фактора неопределенности было принято решение включить в перечень используемых инструментов метод DMA.

На основе фактических данных по четырем анализируемым странам и сравнительного анализа свойств используемых моделей было продемонстрировано, что метод DMA сокращает количество ложных сигналов, а также является более устойчивым к экстремальным значениям объясняющих переменных. Таким образом, метод DMA, позволяющий учесть фактор неопределенности, является более предпочтительным для разработки моделей СРП, которые могут быть использованы для целей идентификации стресса (кризиса) на валютном рынке. Вместе с тем, несмотря на преимущества метода DMA, в систему инструментов СРП предлагается включать также модели опережающих индикаторов и logit/probit-модели, которые могут предоставить не только альтернативную оценку, но и дополнительную информацию о нарастании дисбалансов в экономике. Это позволит усилить аргументацию в рамках обоснования прогноза и выработки рекомендаций.

Развитие СРП предполагает постоянный анализ и поиск дополнительных переменных, которые могут быть включены в список предикторов возникновения стрессовых ситуаций на финансовом рынке (в дополнение или взамен некоторых уже выявленных предикторов). Кроме того, в дальнейшем модельный аппарат СРП может быть дополнен новыми инструментами, например, алгоритмами машинного обучения.

## Список литературы

Айвазян, С., Бухштабер, В., Енюков, И., Мешалкин, Л. (1989) *Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности*. М: Финансы и статистика.

ЕФСР (2022) *Стратегия Евразийского фонда стабилизации и развития на 2022–2026 гг.* Доступно на: [https://efsd.org/upload/iblock/d6b/EFSD\\_strategy\\_General\\_RU.pdf](https://efsd.org/upload/iblock/d6b/EFSD_strategy_General_RU.pdf)

Малюгин, В., Пытляк, Е. (2007) *Оценка устойчивости банков на основе эконометрических моделей*. Банковский вестник, № 4. Доступно на: <https://www.nbrb.by/bv/articles/1220.pdf> (Просмотрено 25 июня 2022).

Пономаренко, А., Татаринцев, С. (2020) *Включение индикаторов финансового развития в системы раннего предупреждения*. Банк России, Серия докладов об экономических исследованиях, № 58. Доступно на: [http://www.cbr.ru/content/document/file/112886/wp\\_58.pdf](http://www.cbr.ru/content/document/file/112886/wp_58.pdf) (Просмотрено 23 июня 2022).

Сошникова, Л., Тамашевич, В., Уебе, Г., Шефер, М. (1999) *Многомерный статистический анализ в экономике* / Под ред. проф. В.Н. Тамашевича. — М.: ЮНИТИ-ДАНА.

Стырин, К. (2018) *Прогнозирование инфляции в России методом динамического усреднения моделей*. Банк России, Серия докладов об экономических исследованиях, № 39. Доступно на: [https://www.cbr.ru/content/document/file/86306/wp\\_39.pdf](https://www.cbr.ru/content/document/file/86306/wp_39.pdf) (Просмотрено 29 января 2023).

Abdelsalam, M.A.M. and Abdel-Latif, H. (2020) *An optimal early warning system for currency crises under model uncertainty*. Available at: <https://ideas.repec.org/a/tcb/cebare/v20y2020i3p99-107.html> (Accessed 25 May 2022).

Abiad, A. (2003) *Early-Warning Systems: A Survey and a Regime-Switching Approach*. IMF Working Paper No. 03/32. Available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/30/Early-Warning-Systems-A-Survey-and-a-Regime-Switching-Approach-16293> (Accessed 27 June 2022).

Aghion, P., Bacchetta, P., Banerjee, A. (2001) Currency crises and monetary policy in an economy with credit constraints. *European Economic Review*, vol. 45(7), pp. 1121–1150.

Baron, M., Verner, E., Wei, X. (2018) *Identifying Banking Crises*. Princeton University manuscript. Available at: <https://www.princeton.edu/~wxiong/papers/BankingCrisis.pdf> (Accessed 23 June 2022).

Berg, A., Borensztein, E., Pattillo, C. (2004) *Assessing Early Warning Systems: How Have They Worked in Practice?* IMF Working Paper No. 04/52. Available at: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2004/wp0452.pdf> (Accessed 27 June 2022).

Blake, A., Mumtaz, H. (2017) *Applied Bayesian Econometrics for Central Bankers*. Bank of England. Available at: <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/ccbs/resources/applied-bayesian-econometrics-for-central-bankers-updated-2017.pdf> (Accessed 15 January 2023).

Bloom, N. (2013) *Fluctuations in Uncertainty*. NBER Working Paper No. 19714. Available at: [https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w19714/w19714.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w19714/w19714.pdf) (Accessed 17 June 2022).

Borio, C., Lowe, P. (2002a) *Assessing the risk of banking crises*. BIS Quarterly Review. Available at: [https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r\\_qt0212e.pdf](https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qt0212e.pdf) (Accessed 21 June 2022).

Borio, C., Lowe, P. (2002b) *Asset prices, financial and monetary stability: exploring the nexus*. BIS Working Papers No. 114. Available at: <https://www.bis.org/publ/work114.pdf> (Accessed 21 June 2022).

Burnside, C., Eichenbaum, M., Rebelo, S. (2004) *Government guarantees and self-fulfilling speculative attacks*. *Journal of Economic Theory*, vol. 119, pp. 31–63. Available at: <https://www.kellogg.northwestern.edu/faculty/rebelo/hm/sunspot-26March2003.pdf> (Accessed 19 June 2022).

Bussiere, M. (2007) *Balance of payment crisis in emerging markets. How 'early' warning signals?* ECB Working paper No. 713. Available at: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp713.pdf> (Accessed 14 June 2022).

- Bussière, M., Fratzscher, M. (2002) *Towards a New Early Warning System of Financial Crises*. European Central Bank Working Paper No. 145. Available at: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp145.pdf?25a801a908e58d271464bfb27e4aa4b9> (Accessed 25 June 2022).
- Caprio, G., Klingebiel, D. (1996) *Dealing with Bank Insolvencies: Cross Country Experience*. World Bank. Policy Research Working Paper No. 1620. Available at: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=636119](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=636119) (Accessed 19 June 2022).
- Catania, L., Nonejad, N. (2018) Dynamic Model Averaging for Practitioners in Economics and Finance: The eDMA Package. *Journal of Statistical Software*, 84(11). <https://doi.org/10.18637/jss.v084.i11>
- Cervantes, R., Jeasakul, P., Maloney, J.F., Ong, L. (2014) *Ms. Muffet, the Spider(gram) and the Web of Macro-Financial Linkages*. IMF Working Paper No. 2014/099. Available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/31/Ms-41636> (Accessed 17 June 2022).
- Chang, R., Velasco, A. (2001) A model of currency crises in emerging markets. *Quarterly Journal of Economics*, vol. 116(2), pp. 489–517.
- Cruz-Rodriguez, A. (2011) Prediction of Currency Crises Using a Fiscal Sustainability Indicator. *Revista de Analisis Economico*, vol. 26(2), pp. 39–60.
- Csortos, O., Szalai, Z. (2014) *Early warning indicators: financial and macroeconomic imbalances in Central and Eastern European countries*. MNB Working Papers 2014/2, Magyar Nemzeti Bank. Available at: <https://www.mnb.hu/letoltes/wp-2014-2.pdf> (Accessed 18 May 2022).
- Dattels, P., McCaughrin, R., Miyajima, K., Puig, J. (2010) *Can You Map Global Financial Stability?* IMF Working paper No. 10/145. Available at: <http://www.imf.org/external/pubs/cat/longres.aspx?sk=23947> (Accessed 18 June 2022).
- Demirguc-Kunt, A., Detragiache, E. (1998) *The Determinants of Banking Crises in Developing and Developed Countries*. IMF Staff Papers, vol. 45, No. 1. Available at: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/staffp/1998/03-98/pdf/demirguc.pdf> (Accessed 28 June 2022).
- Demirguc-Kunt, A., Detragiache, E. (2005) *Cross-Country Empirical Studies of Systemic Bank Distress: A Survey*. IMF Working Paper No. 2005/096. Available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/31/Cross-Country-Empirical-Studies-of-Systemic-Bank-Distress-A-Survey-18232> (Accessed 28 June 2022).
- Diaz-Alejandro, C.F. (1985) Good-Bye Financial Repression, Hello Financial Crash. *Journal of Development Economics*, vol. 19(1–2).
- Dooley, M. (2000) A model of crises in emerging markets. *The Economic Journal*, vol. 110(460), pp. 256–272.
- Eichengreen, B., Rose, A., Wyposz, C. (1996) *Contagious Currency Crises*. NBER Working Paper No. 5681. Available at: [https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w5681/w5681.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w5681/w5681.pdf) (Accessed 28 June 2022).
- El-Shazly, A. (2002) *Financial distress and early warning signals: a non-parametric approach with application to Egypt*. Paper presented at the 9<sup>th</sup> annual conference of the Economic Research Forum, Sharjah, UAE, p. 1–25.
- ESM (2019) *Safeguarding the euro in times of crisis: The inside story of the ESM*. European Stability Mechanism. Available at: <https://www.esm.europa.eu/system/files/document/safeguarding-euro-times-crisis-inside-story-esm.pdf> (Accessed 17 June 2022).
- Frankel, J., Rose, A.K. (1996) *Currency crashes in emerging markets: an empirical treatment*. International Finance Discussion Papers No. 534, Board of Governors of the Federal Reserve System. Available at: <https://www.federalreserve.gov/pubs/ifdp/1996/534/ifdp534.pdf> (Accessed 11 May 2022).
- Gabriele, C. (2019) *Learning from trees: A mixed approach to building early warning systems for systemic banking crises measures*. European Stability Mechanism, Working Paper Series No. 40. Available at: [https://www.esm.europa.eu/sites/default/files/migration\\_files/esmwp40.pdf](https://www.esm.europa.eu/sites/default/files/migration_files/esmwp40.pdf) (Accessed 28 June 2022).
- Goldstein, M., Kaminski, G.L., Reinhart, C. (2000) *Assessing financial vulnerability: An early warning system for emerging markets*. *Foreign Affairs*, vol. 79(6). Available at: <https://doi.org/10.2307/20049989>.

Greene, W.H. (2012) *Econometric Analysis*. 7<sup>th</sup> ed., Prentice Hall.

IMF (2007a) *Assessing Underlying Vulnerabilities and Crisis Risks in Emerging Market Countries — A New Approach*, SM/07/328, September 17 (Washington).

IMF (2007b) *Global Financial Stability Report*, World Economic and Financial Studies, Chapter 1. Available at: <http://www.imf.org/External/Pubs/FT/GFSR/2007/01/index.htm> (Accessed 18 June 2022).

IMF (2010) *The IMF-FSB Early Warning Exercise: Design and Toolkit*. IMF Policy Paper. Available at: <http://www.imf.org/external/pp/longres.aspx?id=4479>. (Accessed 18 June 2022).

IMF (2011) *Managing Volatility: A Vulnerability Exercise for Low-Income Countries*. IMF Policy Paper. Available at: <http://www.imf.org/external/pp/longres.aspx?id=4540> (Accessed 17 June 2022).

Jolliffe, I.T. (2002) *Principal Component Analysis*. Springer Series in Statistics, 2<sup>nd</sup> ed., Springer.

Johnston, J., DiNardo, J. (1997) *Econometric Methods*, 4<sup>th</sup> ed., New York: McGraw-Hill.

Kaminsky, G.L. (1998) *Currency and banking crises: the early warnings of distress*. International Finance Discussion Papers No. 629, Board of Governors of the Federal Reserve System. Available at: <https://ideas.repec.org/p/fip/fedgif/629.html> (Accessed 12 May 2022).

Kaminsky, G.L., Lizondo, S., Reinhart, C. (1998) *Leading indicators of currency crises*. IMF Staff Papers, vol 45, No. 1. Available at: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/staffp/1998/03-98/pdf/kaminsky.pdf> (Accessed 12 May 2022).

Kaminsky, G.L., Reinhart, C.M. (1999) *The Twin Crises: The Causes of Banking and Balance of Payments Problems*. American Economic Review, vol. 89, pp. 473–500. Available at: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.89.3.473> (Accessed 20 June 2022).

Klein, M., Marion, N. (1997) Explaining the Duration of Exchange-Rate Pegs. *Journal of Development Economics*, vol. 54(2), pp. 387–404.

Koop, G., Korobilis, D. (2012) Forecasting Inflation Using Dynamic Model Averaging. *International Economic Review*, vol. 53, No. 3, pp. 867–886. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1468-2354.2012.00704.x> (Accessed 27 January 2023).

Krugman, P. (1979) A model of balance-of-payments crises. *Journal of Money, Credit, and Banking*, vol. 11, No. 3. Available at: <https://stonecenter.gc.cuny.edu/files/1979/08/krugman-a-model-of-balance-of-payment-crises-1979.pdf> (Accessed 18 June 2022).

Krznar, I. (2004) *Currency Crisis: Theory and Practice with Application to Croatia*. Croatian National Bank, Working Paper No. 12. Available at: <https://www.hnb.hr/repec/hnb/wpaper/pdf/w-012.pdf> (Accessed 25 June 2022).

Kumar, M., Moorthy, U., Perraudin, W. (2003) *Predicting emerging market currency crashes*. *Journal of Empirical Finance*, vol. 10(4), pp. 427–454.

Laeven, L., Valencia, F. (2008) *Systemic Banking Crises: A New Database*. IMF Working Paper No. 08/224. Available at: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2008/wp08224.pdf> (Accessed 25 June 2022).

Laeven, L., Valencia, F. (2013) *Systemic Banking Crises Database*. IMF Economic Review, vol. 61(2), pp. 225–270.

Laeven, L., Valencia, F. (2018) *Systemic Banking Crises Revisited*. IMF Working Paper No. 2018/206. Available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2018/09/14/Systemic-Banking-Crises-Revisited-46232> (Accessed 12 May 2022).

Lindgren, C.-J., Garcia, G., Saal, M. (1996) *Bank Soundness and Macroeconomic Policy*. IMF. Available at: <https://www.elibrary.imf.org/view/book/9781557755995/9781557755995.xml> (Accessed 19 June 2022).

McKinnon, R., Pill, H. (1995) *Credible liberalizations and international capital flows: the 'overborrowing syndrome'*. In: Ito, T., Krueger, A.O. (Eds.), *Financial Deregulation and Integration in East Asia*. Chicago: University of Chicago Press.

- Nunnally, J.C., Bernstein, I.H. (1994) *Psychometric theory*, 3<sup>rd</sup> ed. New York: McGraw-Hill.
- Obstfeld, M. (1986) Rational and self-fulfilling balance-of-payments crises. *American Economic Review*, vol. 76(1), pp. 72–81.
- Obstfeld, M. (1994) *The logic of currency crises*. NBER Working Paper No. 4640. Available at: [https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w4640/w4640.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w4640/w4640.pdf) (Accessed 18 June 2022).
- Ozkan, F.G., Sutherland, A. (1995) Policy Measures to Avoid a Currency Crisis. *Economic Journal*, vol. 105, pp. 510–519.
- Patnaik, I., Felman, J., Shah, A. (2017) An exchange market pressure measure for cross country analysis. *Journal of International Money and Finance*, vol. 73, part A. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261560617300207> (Accessed 28 June 2022).
- Raftery, A., Kárný M., Ettlér, P. (2010) Online Prediction Under Model Uncertainty via Dynamic Model Averaging: Application to a Cold Rolling Mill. *Technometrics*, Feb;52(1), pp. 52–66. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2895940/> (Accessed 27 January 2022).
- Reinhart, C.M., Rogoff, K.S. (2008a) *Banking Crises: An Equal Opportunity Menace*. NBER Working Paper No. 14587. Available at: <https://www.nber.org/papers/w14587> (Accessed 23 June 2022).
- Reinhart, C.M., Rogoff, K.S. (2008b) *This Time is Different: A Panoramic View of Eight Centuries of Financial Crises*. NBER Working Paper No. 13882. Available at: [https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w13882/w13882.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w13882/w13882.pdf) (Accessed 23 June 2022).
- Reinhart, C.M., Rogoff, K.S. (2011) From Financial Crash to Debt Crisis. *American Economic Review*, vol. 101(5), 1676–1706.
- Romer, D., Romer, C. (2017) New Evidence on the Aftermath of Financial Crises in Advanced Countries. *American Economic Review*, vol. 107(10), pp. 3072–3118. Available at: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.20150320> (Accessed 23 June 2022).
- Rossi, B. (2014) *Density forecasts in economics and policymaking*. The Centre de Recerca en Economia Internacional. Available at: [http://www.crei.cat/wp-content/uploads/opuscles/140929110100\\_ENG\\_ang\\_37.pdf](http://www.crei.cat/wp-content/uploads/opuscles/140929110100_ENG_ang_37.pdf) (Accessed 20 January 2022).
- Savona, R., Vezzoli, M. (2015) Fitting and Forecasting Sovereign Defaults using Multiple Risk Signals. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 77(1), pp. 66–92.
- Schularick, M., Taylor, A.M. (2012) Credit Booms Gone Bust: Monetary Policy, Leverage Cycles, and Financial Crises, 1870–2008. *American Economic Review*, vol. 102(2), pp. 1029–1061. Available at: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.102.2.1029> (Accessed 23 June 2022).
- Vlaar, P.J.G. (2000) *Currency Crises Models for Emerging Markets*. DNB Staff Reports No. 45. Available at: [https://szgerzensee.ch/fileadmin/\\_migrated/content\\_uploads/Vlaar.pdf](https://szgerzensee.ch/fileadmin/_migrated/content_uploads/Vlaar.pdf) (Accessed 25 June 2022).

# Приложение 1

## Определения (критерии) валютных и банковских кризисов

### Валютный кризис

Kaminsky and Reinhart (1999)	Под кризисом понимается ситуация, когда атака на валютный рынок приводит к резкой девальвации денежной единицы, большому снижению международных резервов или комбинации данных условий. Для определения валютного кризиса предлагается использовать индекс напряженности валютного рынка, который рассчитывается как средневзвешенное значение месячного изменения обменного курса и валовых международных резервов. Кризисом считается изменение показателя на три стандартных отклонения от среднего значения для конкретной страны.
Laeven and Valencia (2008, 2013, 2018)	Валютный кризис определяется как номинальное обесценивание валюты по отношению к доллару США как минимум на 30%, что также минимум на 10 п.п. превышает темпы девальвации в предыдущем году.
Reinhart and Rogoff (2011)	Валютный кризис определяется как чрезмерное обесценивание обменного курса, то есть когда годовое обесценивание по отношению к доллару США или соответствующей валюте привязки (GBP, FRF, DM, EUR) превышает пороговое значение в 15%.
Frankel and Rose (1996)	Валютный кризис определяется как номинальное обесценивание национальной валюты на 25% за год при условии превышения среднего значения девальвации валюты на 10% за последние пять лет.
Cruz-Rodriguez (2011)	Валютный кризис определяется как номинальное обесценивание национальной валюты за квартал более чем на 6% при условии превышения значения девальвации валюты за предыдущий год как минимум на 10%.

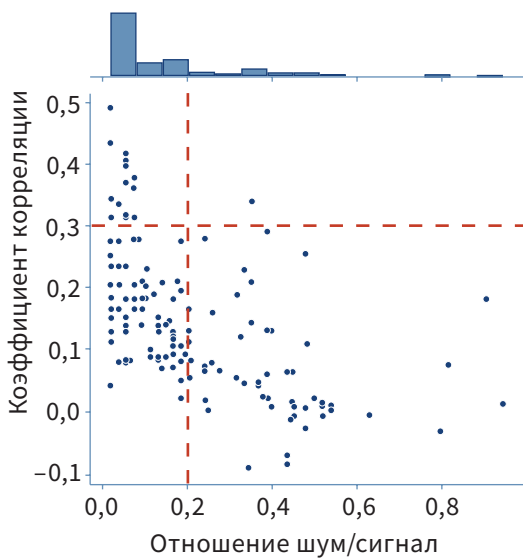
### Банковский кризис

Kaminsky and Reinhart (1999)	Банковские кризисы определяются двумя типами событий: (1) массовые изъятия банковских вкладов, приводящие к закрытию, слиянию или поглощению государственным сектором одной или более финансовых организаций; и (2) если нет набега на банки, то закрытие, слияние, поглощение или крупномасштабная государственная помощь в отношении важной финансовой организации (или группы организаций), что знаменует собой начало череды аналогичных событий для других финансовых учреждений.
Demirguc-Kunt and Detragiache (1998, 2005)	Для того чтобы квалифицировать финансовый стресс как полноценный банковский кризис, необходимо выполнение одного из следующих условий: (1) отношение необслуживаемых активов к совокупным активам банковской системы превышает 10%; (2) затраты на поддержание банковской системы превышают 2% ВВП; (3) проблемы банковского сектора приводят к национализации более 10% банковского сектора; (4) происходит массовое изъятие вкладов, в ответ на которое власти применяют такие меры, как введение ограничений на снятие вкладов, банковские каникулы.
Laeven and Valencia (2008, 2013, 2018)	Банковский кризис считается системным, если выполняются следующие два условия: (1) значительные изъятия банковских вкладов, убытки в банковской системе и/или ликвидация банков; и (2) кардинальное вмешательство властей в работу банков в ответ на существенные потери в банковской системе. Первый год, когда оба условия выполняются, считается годом начала банковского кризиса. Вмешательство властей в банковский сектор считается значительным, если были использованы как минимум три из следующих шести мер: (1) обширная поддержка ликвидности; (2) затраты на реструктуризацию банков; (3) значительная национализация банков; (4) предоставление значительных по объемам гарантий; (5) существенные покупки активов и (6) запрет на снятие вкладов и банковские каникулы.
Reinhart and Rogoff (2008a, 2011)	Определение банковского кризиса аналогично <a href="#">Kaminsky and Reinhart (1999)</a> .

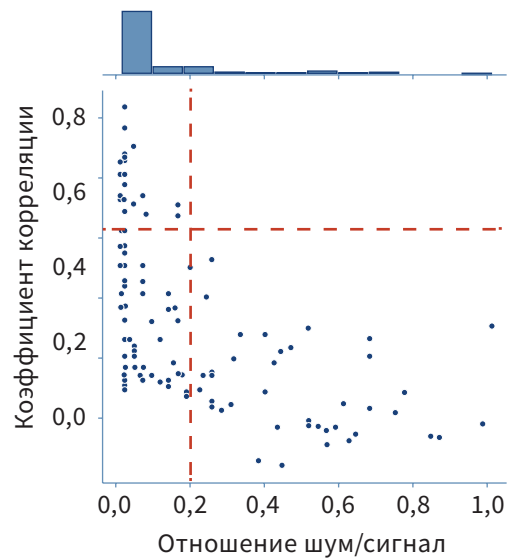
## Приложение 2

### Распределение показателей по NSR и значению коэффициента корреляции между стрессовыми периодами и лаговыми значениями сигналов

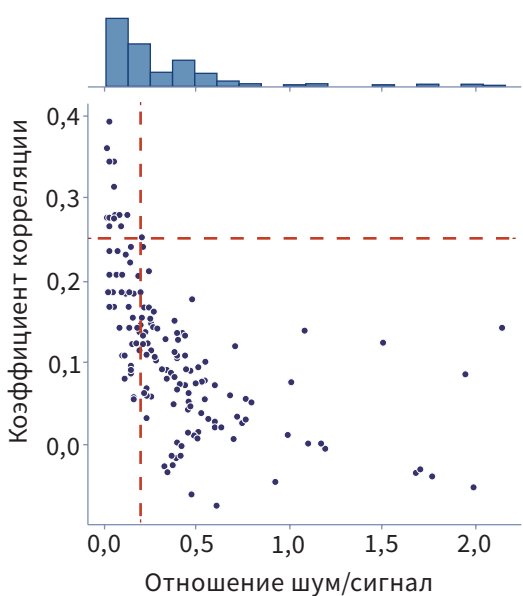
Армения



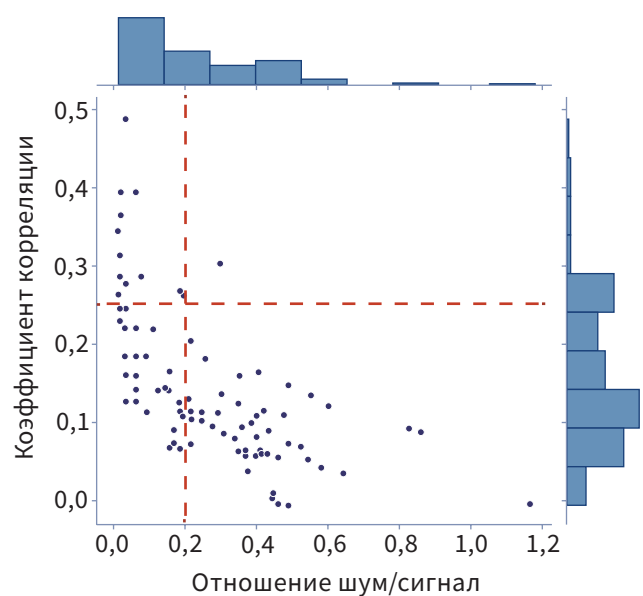
Беларусь



Кыргызстан



Таджикистан



## Приложение 3

### Отобранные потенциальные предикторы стресса (кризиса) на валютных рынках Армении, Беларуси, Кыргызстана и Таджикистана

#### Армения: потенциальные предикторы

	Наименование показателя	Сокращенное наименование показателя
1	Переводы из РФ на имя физических лиц через банки Армении, долл.	П1
2	Обменный курс в среднем за период, российский рубль/долл.	П2
3	Индекс номинального эффективного обменного курса российского рубля	П3
4	Индекс реального эффективного обменного курса российского рубля	П4
5	Депозиты до востребования в нац. валюте, драм	П5
6	Денежный агрегат M2, эквивалент в долл.	П6
7	Депозиты резидентов в коммерческих банках, всего (на конец периода), драм	П7
8	Депозиты резидентов до востребования в коммерческих банках в нац. валюте (на конец периода), драм	П8
9	Депозиты предприятий до востребования в коммерческих банках в нац. валюте (на конец периода), драм	П9
10	Кредиты коммерческих банков сектору торговли в ин. валюте (на конец периода), драм	П10
11	Средняя ставка по депозитам (сроком до 1 года), в нац. валюте, %	П11
12	Средняя ставка по депозитам от 91 до 180 дней, в нац. валюте, %	П12
13	Средняя ставка по депозитам от 181 до 1 года, в нац. валюте, %	П13
14	Индексы цен на сырьевые товары (2016 г. = 100), включая индексы цен на топливо и нетопливные товары	П14
15	Индекс цен на топливо (энергию) (2005 г. = 100), включает индексы цен на сырую нефть, природный газ и уголь	П15
16	Цена на сырую нефть марки Dated Brent, долл. за баррель	П16
17	Цена на сырую нефть марки Dubai Fateh, долл. за баррель	П17
18	Цена на сырую нефть марки WTI, долл. за баррель	П18
19	Импорт продуктов растительного происхождения, долл.	П19
20	Импорт, готовые продукты питания, долл.	П20
21	Импорт, древесина и изделия из нее, долл.	П21
22	Импорт изделий из камня, гипса, цемента, долл.	П22
23	Импорт машин, оборудования и механизмов, долл.	П23

## Беларусь: потенциальные предикторы

	<b>Наименование показателя</b>	<b>Сокращенное наименование показателя</b>
1	Оптовая торговля, белорусских рублей	П1
2	Розничная торговля, белорусских рублей	П2
3	Срочные депозиты физических лиц (среднее за месяц), белорусских рублей	П3
4	Переводные депозиты юридических лиц (среднее за месяц), белорусских рублей	П4
5	Срочные депозиты физических лиц (среднее за месяц), белорусских рублей	П5
6	Рублевые депозиты физических лиц (среднее за месяц), белорусских рублей	П6
7	Депозиты физических лиц в ин. валюте, всего (среднее за месяц), белорусских рублей	П7
8	Депозиты юридических лиц в ин. валюте (среднее за месяц), белорусских рублей	П8
9	Рублевые депозиты и депозиты в ин. валюте (среднее за месяц), белорусских рублей	П9
10	Рублевые депозиты и депозиты в ин. валюте физических лиц (среднее за месяц), белорусских рублей	П10
11	Отношение наличных денег в обращении к ВВП, %	П11
12	Депозиты гос. коммерческих предприятий, в ин. валюте, белорусских рублей	П12
13	Задолженность частного сектора по краткосрочным кредитам, в нац. валюте, белорусских рублей	П13
14	Отношение кредитов банков к ВВП, %	П14
15	Отношение кредитов банков частному сектору к ВВП, %	П15
16	Изменение отношения кредитов банков частному сектору к ВВП за два года, п.п.	П16
17	Номинальная ставка МБК, %	П17
18	Ставка МБК, % годовых, среднее за скользящий год	П18
19	Средняя ном. процентная ставка по вновь привлеченным депозитам юридических лиц в нац. валюте, %	П19
20	Средняя ном. процентная ставка по срочным депозитам юридических лиц в нац. валюте, %	П20
21	Средняя ном. процентная ставка по вновь привлеченным срочным депозитам физических лиц в нац. валюте, %	П21
22	Средняя ном. процентная ставка по вновь привлеченным депозитам физических лиц в ин. валюте, %	П22
23	Средняя ном. процентная ставка по вновь выданным кредитам (без МБК) в нац. валюте, %	П23

### Кыргызстан: потенциальные предикторы

	<b>Наименование показателя</b>	<b>Сокращенное наименование показателя</b>
1	Обменный курс в среднем за период, российский рубль/долл.	П1
2	Индекс номинального эффективного обменного курса российского рубля	П2
3	Индекс реального эффективного обменного курса российского рубля	П3
4	Приток денежных средств физических лиц через системы переводов, долл.	П4
5	Приток денежных средств физических лиц из РФ через системы переводов, долл.	П5
6	Общий объем депозитов физических лиц до востребования, сом	П6
7	Общий объем депозитов до востребования, в ин. валюте, сом	П7
8	Общий объем депозитов юридических лиц со сроком до 1 месяца, в ин. валюте, сом	П8
9	Общий объем депозитов физических лиц со сроком от 1 до 3 месяцев, в ин. валюте, сом	П9
10	Общий объем депозитов физических лиц со сроком от 6 до 12 месяцев, в нац. валюте, сом	П10
11	Общий объем депозитов юридических лиц со сроком 6–12 месяцев, в ин. валюте, сом	П11
12	Отношение общего объема кредитов коммерческих банков в ин. валюте (сом) к сезонно сглаженному ВВП	П12
13	Отношение совокупного объема кредитов коммерческих банков (в нац. и ин. валюте) к общему объему депозитов	П13
14	Общий объем кредитов коммерческих банков в ин. валюте, сом	П14
15	Общий объем краткосрочных кредитов коммерческих банков в нац. валюте, сом	П15
16	Общий объем кредитов коммерческих банков в ин. валюте от 1 до 3 месяцев, сом	П16
17	Средневзвешенная процентная ставка по депозитам коммерческих банков (на конец периода), %	П17
18	Средневзвешенная процентная ставка по депозитам физлиц со сроком от 1 до 3 месяцев, %	П18
19	Средневзвешенная процентная ставка по депозитам физлиц со сроком от 6 до 12 месяцев, %	П19
20	Средневзвешенная процентная ставка по депозитам юрлиц до востребования, %	П20
21	Средневзвешенная процентная ставка по депозитам юрлиц со сроком от 1 до 3 месяцев, %	П21
22	Средневзвешенная процентная ставка по кредитам коммерческих банков (в нац. валюте), до 1 месяца, %	П22
23	Цена на природный газ, долл. за млн британских термальных единиц	П23
24	Цена на природный газ из РФ на мировом рынке, долл. за млн британских термальных единиц	П24

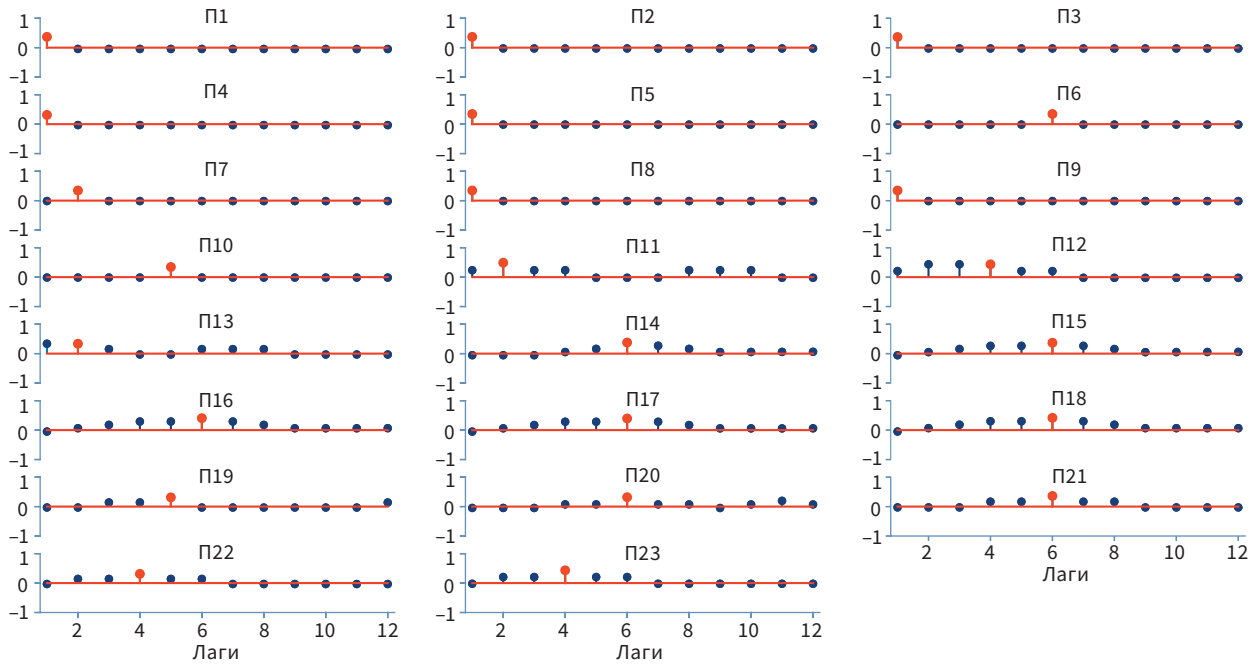
### Таджикистан: потенциальные предикторы

	<b>Наименование показателя</b>	<b>Сокращенное наименование показателя</b>
1	Общий объем экспорта, долл.	П1
2	Индекс потребительских цен, %	П2
3	Индекс цен на бензин, %	П3
4	Депозиты юридических лиц, в нац. валюте, сомони	П4
5	Депозиты юридических лиц до востребования, в нац. валюте, сомони	П5
6	Депозиты юридических лиц, от 3 до 6 месяцев, в нац. валюте, сомони	П6
7	Прочие депозиты юридических лиц, в нац. валюте, сомони	П7
8	Срочные депозиты юридических лиц, всего, в ин. валюте, сомони	П8
9	Депозиты физических лиц, от 1 до 3 месяцев, в ин. валюте, сомони	П9
10	Кредитные вложения банковской системы (на конец периода), всего, сомони	П10
11	Средневзвешенные процентные ставки по всем депозитам в ин. валюте, %	П11
12	Средневзвешенные процентные ставки по сберегательным депозитам, в ин. валюте, %	П12
13	Средневзвешенные процентные ставки по всем кредитам в ин. валюте, %	П13
14	Средневзвешенные процентные ставки по срочным кредитам, в ин. валюте, %	П14
15	Обменный курс в среднем за период, российский рубль/долл.	П15
16	Индекс номинального эффективного обменного курса российского рубля	П16
17	Индекс реального эффективного обменного курса российского рубля	П17
18	Цена на золото, долл. за тройскую унцию	П18
19	Цена на цинк, долл. за метрическую тонну	П19
20	Цена на свинец, долл. за метрическую тонну	П20
21	Индекс цен на сельскохозяйственное сырье, 2005 г. = 100, включающий индексы цен на древесину, хлопок, шерсть, каучук и кожу	П21
22	Оплата труда работников (первичные доходы счета текущих операций платежного баланса), долл.	П22
23	Обменный курс в среднем за период, казахский тенге/долл.	П23
24	Отношение внутренних кредитов к ВВП	П24

## Приложение 4

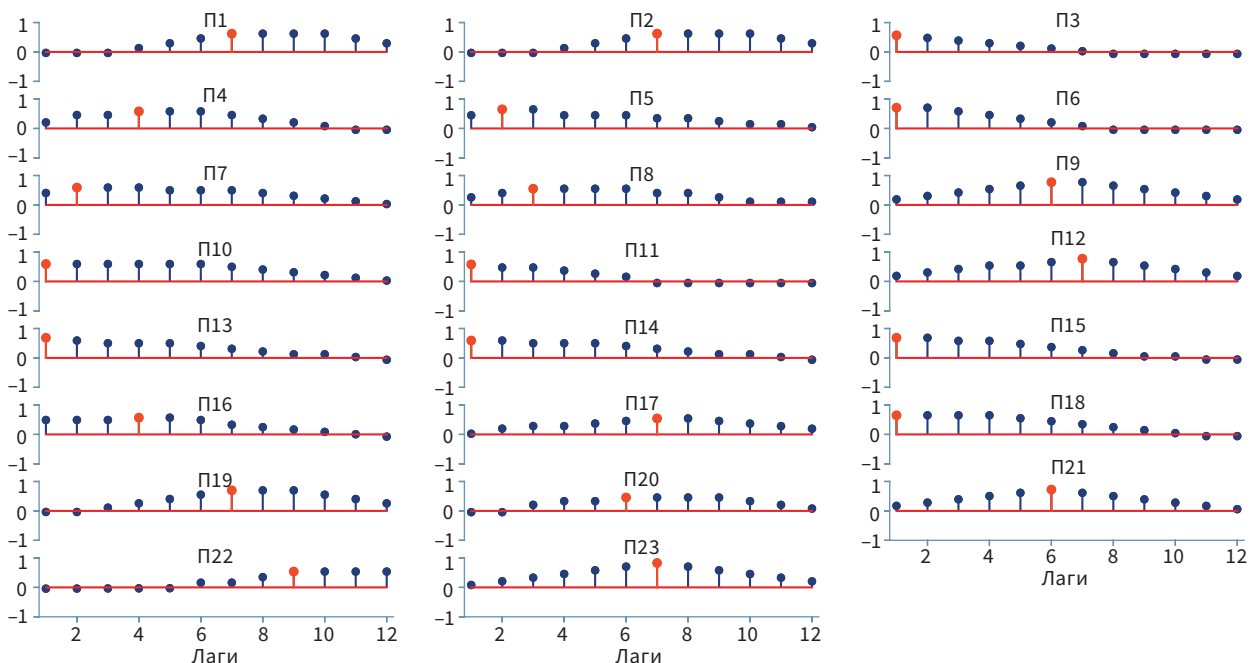
### Кросс-корреляционные зависимости между сигналами и фактическими стрессовыми периодами

#### Армения

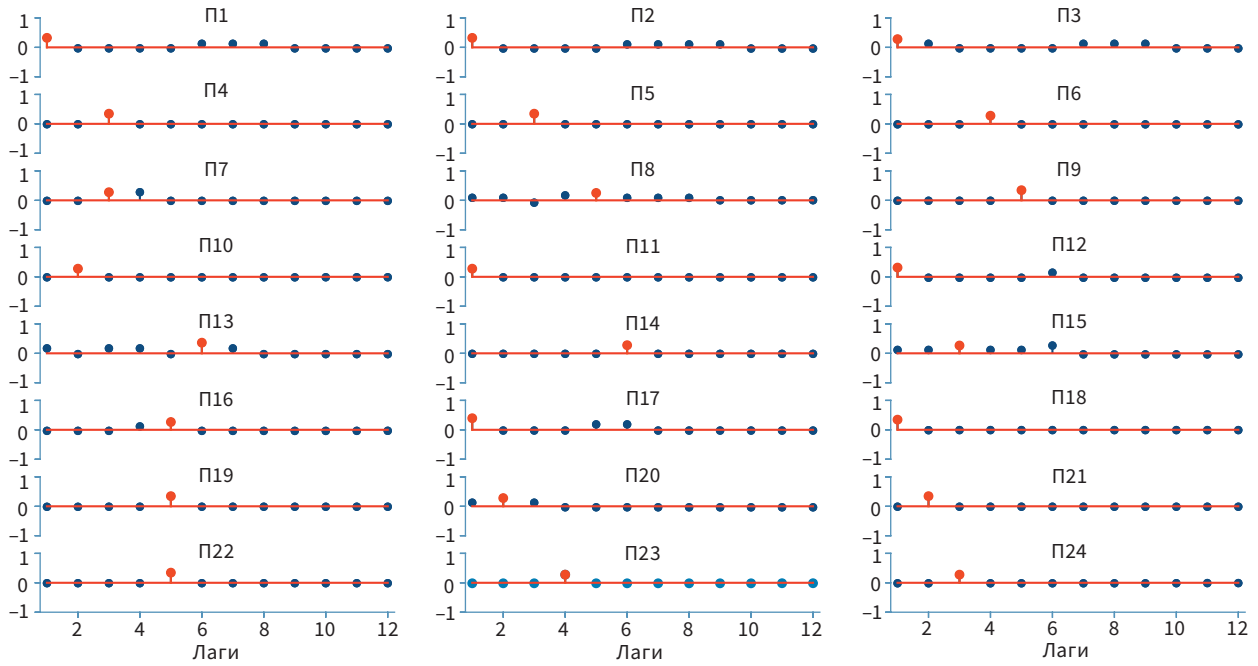


**Примечание:** здесь и далее лаг с наибольшей корреляцией между сигналом и кризисными периодами отмечен красным цветом.

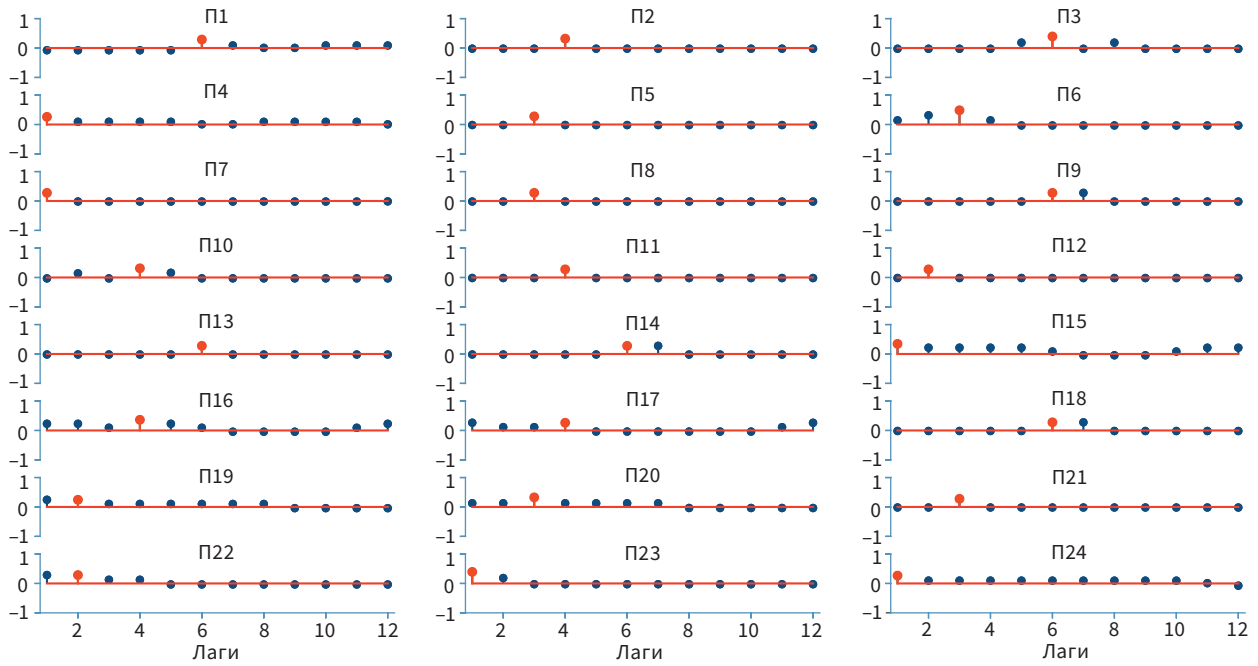
#### Беларусь



### Кыргызстан



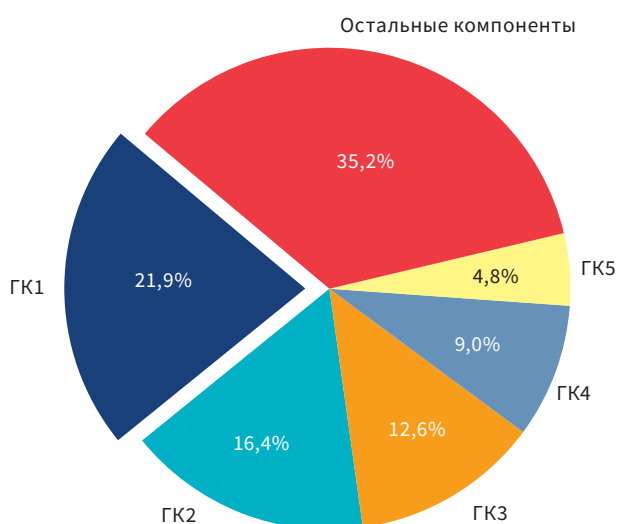
### Таджикистан



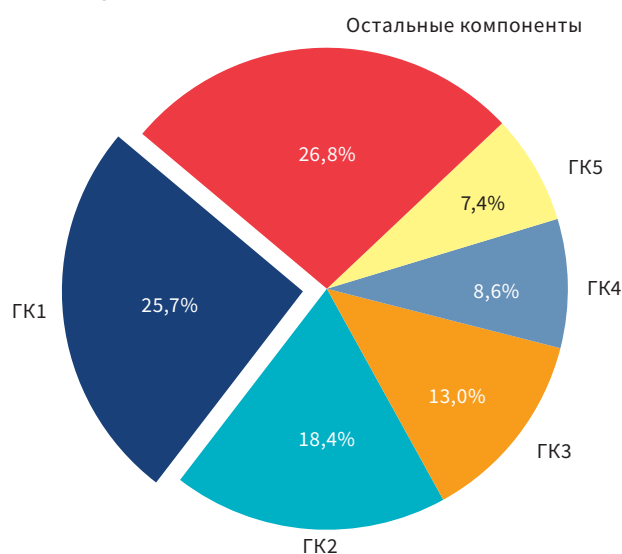
## Приложение 5

### Доля дисперсий выделенных главных компонент в общей дисперсии исходных показателей

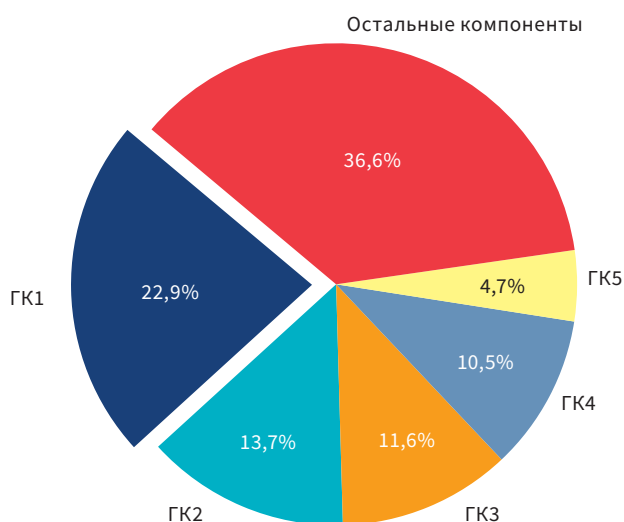
#### Армения



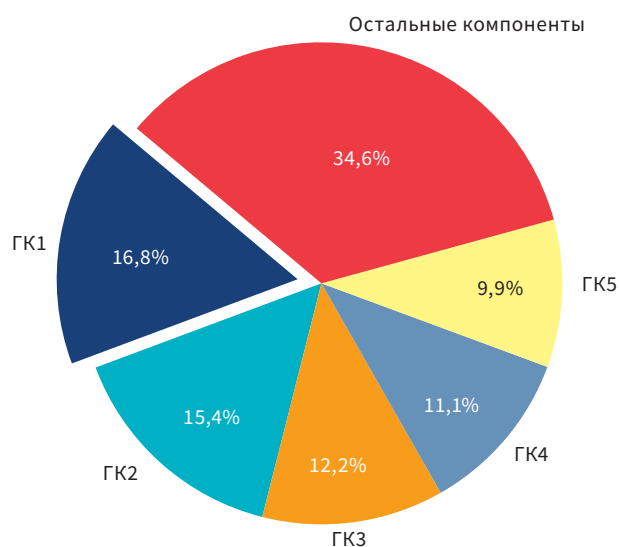
#### Беларусь



#### Кыргызстан



#### Таджикистан



**Примечание:** здесь и далее ГК — главная компонента, а цифра, следующая за буквами ГК, показывает номер выделенной главной компоненты. Например, у Армении ГК1 — первая главная компонента, которая объясняет 21,9% общей дисперсии всех отобранных предикторов.



## Приложение 7

### Результаты оценивания logit/probit-моделей

#### Армения

	Logit		Probit
PC1(-3)	0,354** (0,133)	PC1(-3)	0,147** (0,057)
PC2(-1)	-0,320** (0,165)	PC2(-1)	-0,122** (0,073)
PC3(-2)	-0,221 (0,309)	PC3(-2)	-0,100 (0,139)
PC4(-2)	0,630** (0,331)	PC4(-2)	0,262** (0,157)
PC5(-2)	-1,207** (0,520)	PC5(-2)	-0,486** (0,217)
Const.	-6,690*** (1,623)	Const.	-3,035*** (0,547)
Number of obs.	204	Number of obs.	204
LR chi2(5)	20,00	LR chi2(5)	18,25
Prob > chi2	0,0013	Prob > chi2	0,0027
Pseudo R2	0,4258	Pseudo R2	0,3885

\*, \*\*, \*\*\* — соответственно статистическая значимость на 10%-, 5%- и 1%-ном уровне.  
В скобках приведены соответствующие стандартные отклонения.

#### Беларусь

	Logit		Probit
PC1(-3)	-0,266* (0,167)	PC1(-3)	-0,117 (0,077)
PC2(-3)	-0,167 (0,160)	PC2(-3)	-0,070 (0,071)
PC3(-2)	0,423*** (0,161)	PC3(-2)	0,199 (0,076)
PC4(-1)	-0,681*** (0,259)	PC4(-1)	-0,331*** (0,119)
PC5(-1)	-0,420** (0,194)	PC5(-1)	-0,235** (0,103)
Const.	-4,222*** (0,640)	Const,	-2,207*** (0,261)
Number of obs.	207	Number of obs.	207
LR chi2(5)	26,52	LR chi2(5)	26,88
Prob > chi2	0,0001	Prob > chi2	0,0001
Pseudo R2	0,3582	Pseudo R2	0,363

\*, \*\*, \*\*\* — соответственно статистическая значимость на 10%-, 5%- и 1%-ном уровне.  
В скобках приведены соответствующие стандартные отклонения.

### Кыргызстан

	<b>Logit</b>		<b>Probit</b>
<b>PC1(-1)</b>	-0,174** (0,091)	<b>PC1(-1)</b>	-0,094 (0,050)
<b>PC2(-2)</b>	-0,617** (0,282)	<b>PC2(-2)</b>	-0,301 (0,147)
<b>PC3(-3)</b>	-0,587** (0,314)	<b>PC3(-3)</b>	-0,296 (0,163)
<b>PC4(-2)</b>	-0,279 (0,315)	<b>PC4(-2)</b>	-0,127 (0,164)
<b>PC5(-4)</b>	-0,532 (0,600)	<b>PC5(-4)</b>	-0,272 (0,306)
<b>Const.</b>	-6,325*** (1,672)	<b>Const.</b>	-3,307 (0,857)
Number of obs.	206	Number of obs.	206
LR chi2(5)	16,2	LR chi2(5)	16,93
Prob > chi2	0,0063	Prob > chi2	0,0046
Pseudo R2	0,3443	Pseudo R2	0,3597

\*, \*\*, \*\*\* — соответственно статистическая значимость на 10%-, 5%- и 1%-ном уровне.  
В скобках приведены соответствующие стандартные отклонения.

### Таджикистан

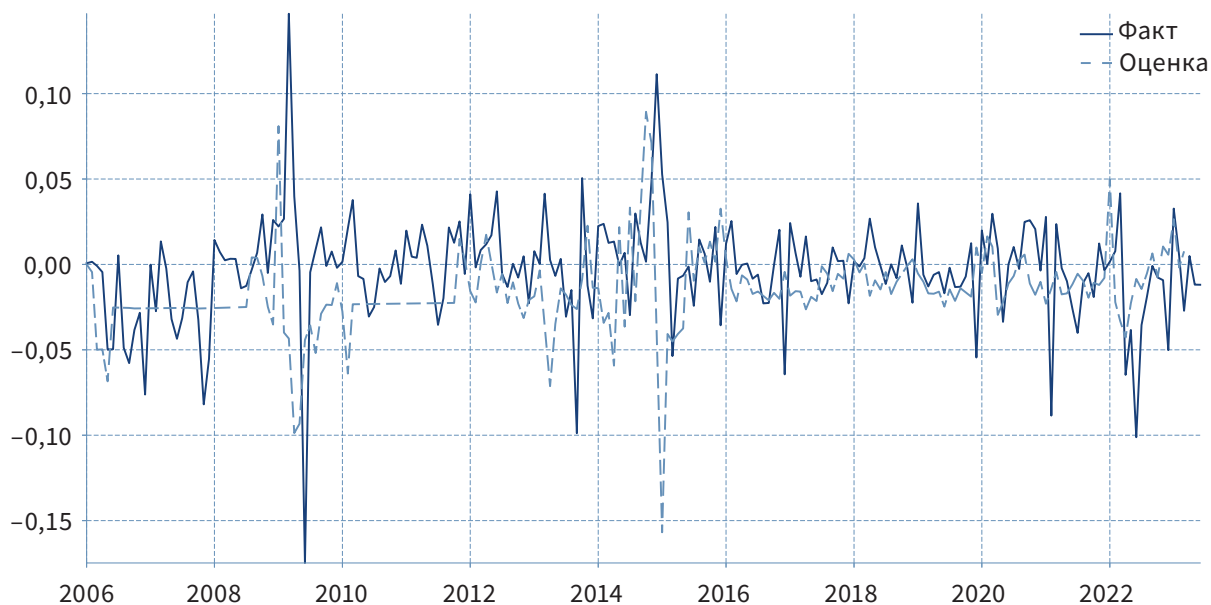
	<b>Logit</b>		<b>Probit</b>
<b>PC1(-2)</b>	-0,736** (0,407)	<b>PC1(-2)</b>	-0,252 (0,178)
<b>PC2(-4)</b>	-0,434** (0,226)	<b>PC2(-4)</b>	-0,159** (0,091)
<b>PC3(-2)</b>	-0,451** (0,185)	<b>PC3(-2)</b>	-0,221** (0,089)
<b>PC4(-3)</b>	0,532 (0,388)	<b>PC4(-3)</b>	0,150 (0,152)
<b>PC5(-3)</b>	-0,476 (0,399)	<b>PC5(-3)</b>	-0,173 (0,183)
<b>Const.</b>	-6,610*** (1,683)	<b>Const.</b>	-2,982*** (0,555)
Number of obs.	206	Number of obs.	206
LR chi2(5)	20,83	LR chi2(5)	19,6
Prob > chi2	0,0009	Prob > chi2	0,0015
Pseudo R2	0,4427	Pseudo R2	0,4164

\*, \*\*, \*\*\* — соответственно статистическая значимость на 10%-, 5%- и 1%-ном уровне.  
В скобках приведены соответствующие стандартные отклонения.

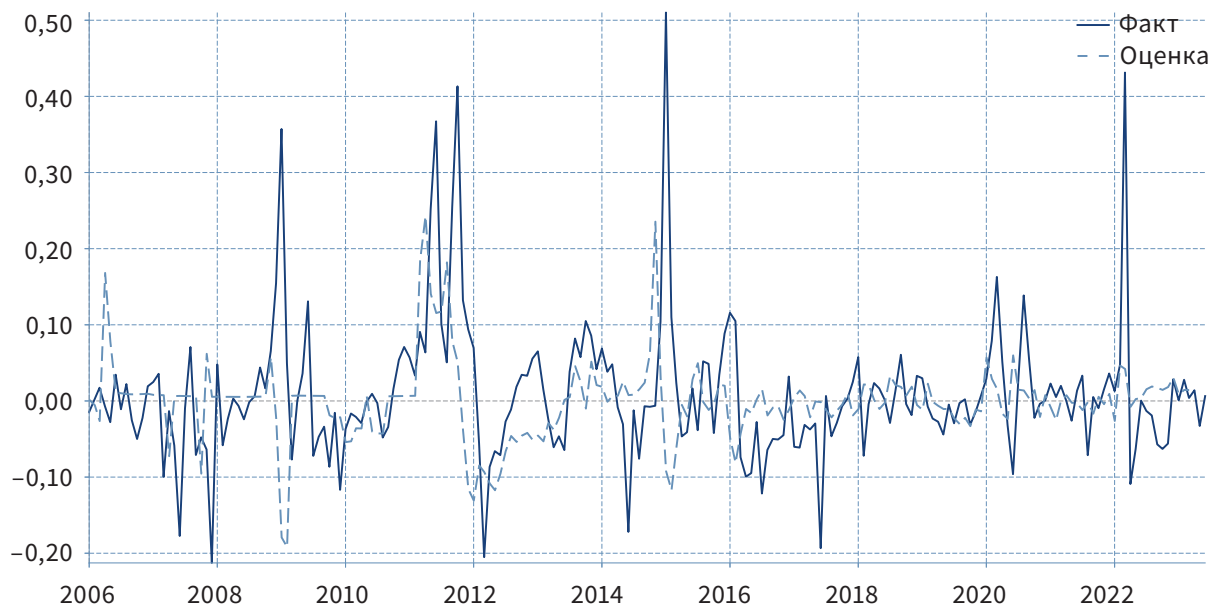
## Приложение 8

### Фактическая и оцененная на основе метода DMA динамика индекса напряженности валютного рынка (*etri*)

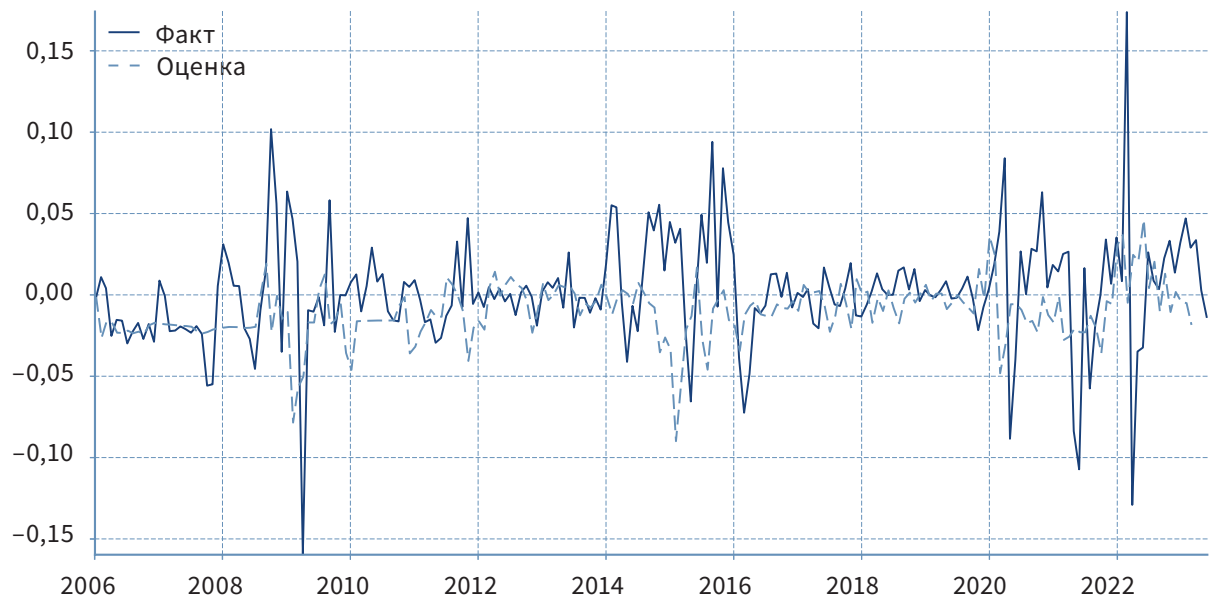
#### Армения



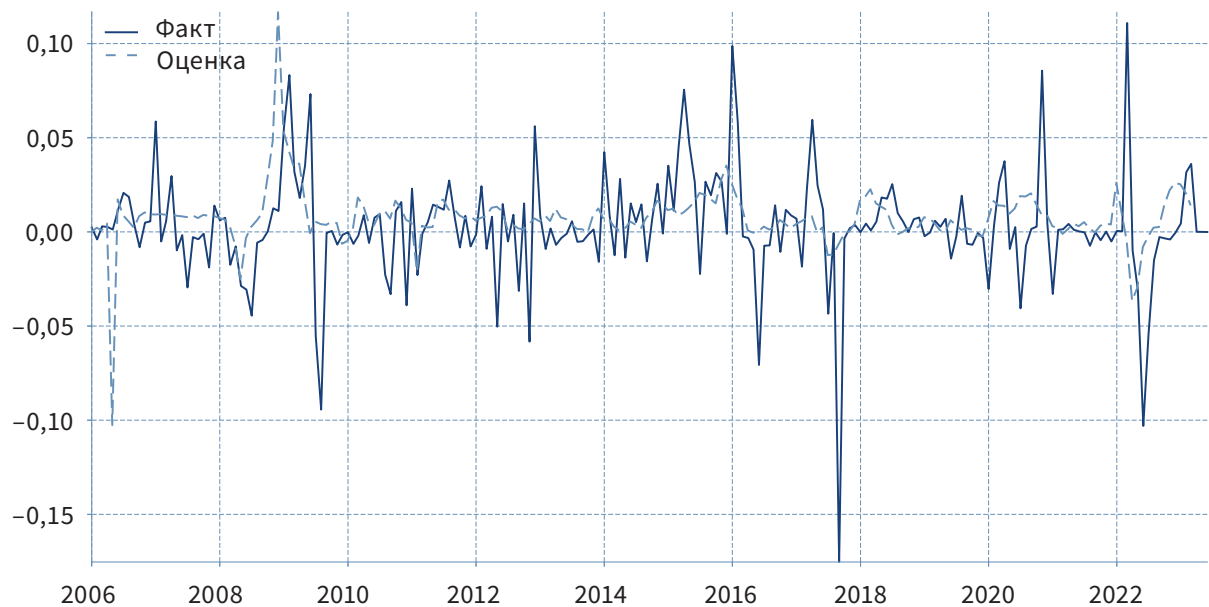
#### Беларусь



### Кыргызстан



### Таджикистан



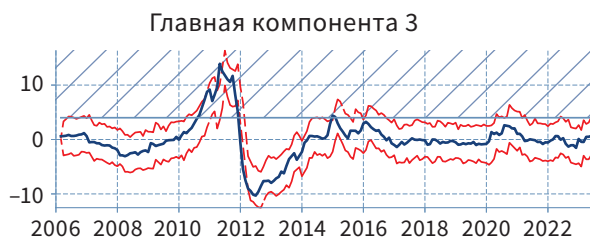
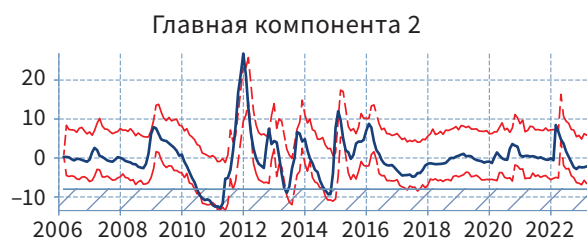
## Приложение 9

### Оцененные интервалы для главных компонент по методу *bootstrap*

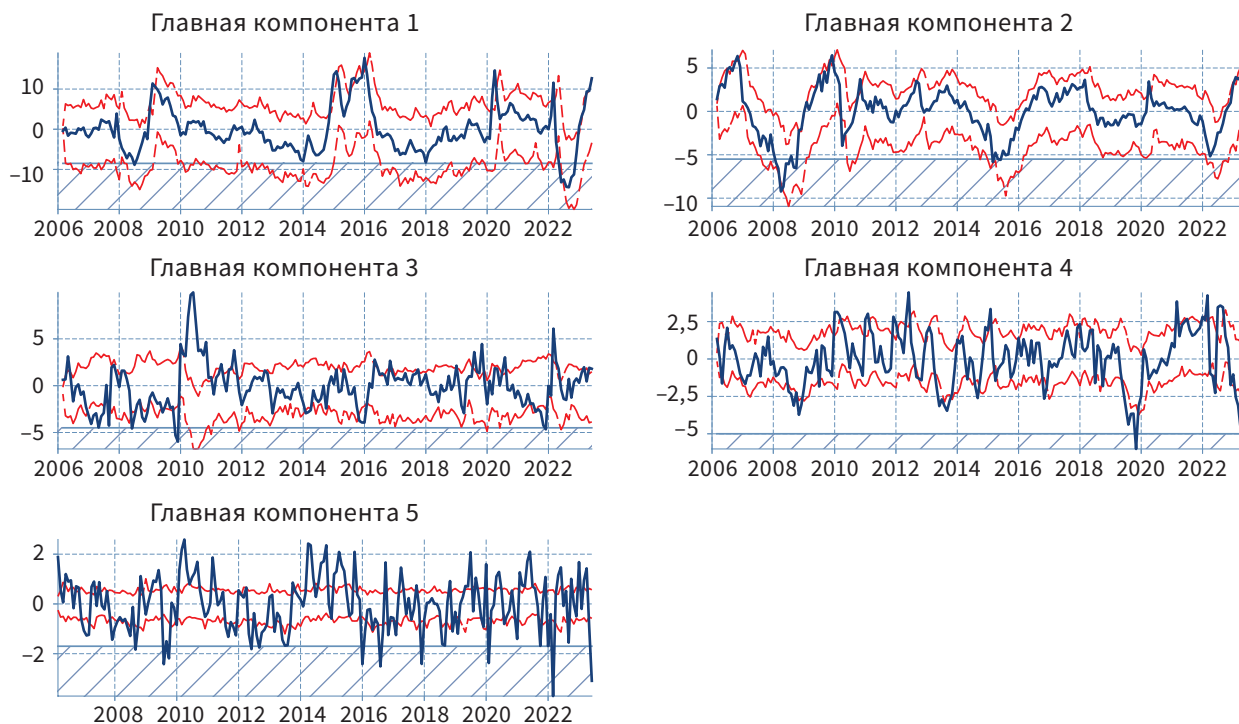
#### Армения



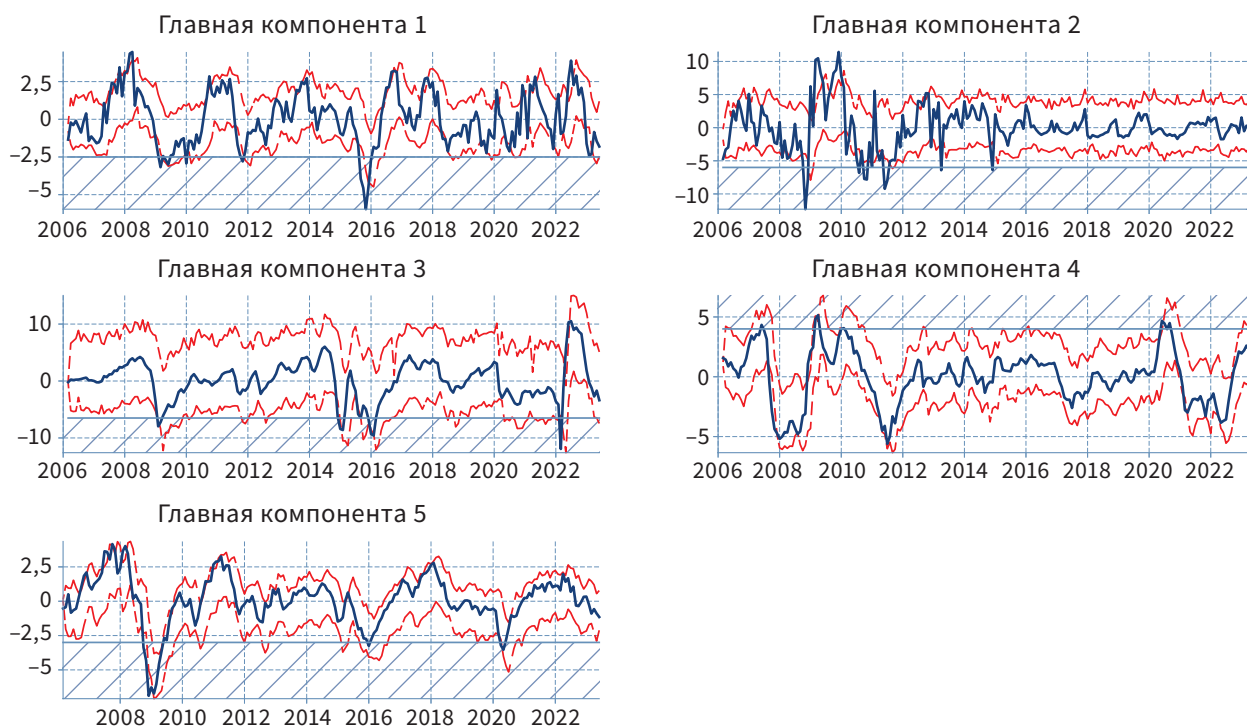
#### Беларусь



## Кыргызстан



## Таджикистан



## Приложение 10

### Ретроспективный анализ прогнозов по рекурсивной и скользящей схемам регрессионного эксперимента

#### Армения

Результаты RMSFE<sup>3</sup> по рекурсивной регрессионной схеме

		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1 лаг	AR	3,003	2,185	2,679	1,865	3,285
	VAR	3,015	2,151	2,678	1,878	2,844
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,987	2,144	<b>1,693</b>	<b>1,421</b>	<b>1,857</b>
2 лага	AR	2,807	2,195	2,684	1,899	3,258
	VAR	2,844	<b>2,131</b>	2,792	1,907	2,953
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	<b>2,765</b>	2,135	2,629	1,866	2,882
3 лага	AR	2,887	2,228	2,713	1,941	3,266
	VAR	3,078	2,513	2,943	2,086	3,098
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,880	2,257	2,750	1,975	2,916

Результаты RMSFE по скользящей регрессионной схеме

		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1 лаг	AR	3,003	2,178	2,679	<b>1,868</b>	3,289
	VAR	3,043	2,217	2,758	1,979	2,877
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	3,026	<b>2,157</b>	2,704	1,902	<b>2,871</b>
2 лага	AR	2,816	2,199	2,691	1,935	3,263
	VAR	2,854	2,255	2,956	2,088	3,043
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	<b>2,788</b>	2,165	<b>2,690</b>	1,938	2,911
3 лага	AR	2,908	2,236	2,719	1,979	3,275
	VAR	3,139	2,648	3,082	2,308	3,261
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,887	2,269	2,770	2,095	2,948

<sup>3</sup> Root Mean Square Forecast Error.

## Беларусь

Результаты RMSFE по рекурсивной регрессионной схеме

		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1 лаг	AR	<b>1,979</b>	<b>1,499</b>	<b>1,388</b>	1,228	1,048
	VAR	2,157	1,631	1,429	1,242	1,160
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,121	1,590	1,427	1,244	1,127
2 лага	AR	2,038	1,824	1,604	1,200	1,104
	VAR	2,251	1,961	1,556	1,260	1,345
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,090	1,693	1,441	1,234	1,130
3 лага	AR	2,062	1,816	1,497	<b>1,198</b>	1,109
	VAR	2,502	2,196	1,556	1,217	1,474
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,085	1,665	1,438	1,246	1,130

Результаты RMSFE по скользящей регрессионной схеме

		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1 лаг	AR	<b>2,005</b>	<b>1,482</b>	<b>1,382</b>	1,180	<b>1,043</b>
	VAR	2,154	1,679	1,463	1,133	1,119
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,111	1,588	1,435	1,201	1,092
2 лага	AR	2,044	1,783	1,574	1,129	1,096
	VAR	2,160	1,991	1,522	1,199	1,299
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,070	1,692	1,440	1,199	1,089
3 лага	AR	2,050	1,751	1,474	<b>1,088</b>	1,102
	VAR	2,431	2,247	1,519	1,141	1,438
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,063	1,650	1,410	1,202	1,099

## Кыргызстан

Результаты RMSFE по рекурсивной регрессионной схеме

		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1 лаг	AR	2,968	3,570	0,842	1,456	0,833
	VAR	2,883	<b>3,467</b>	0,833	1,477	0,819
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,859	3,481	0,803	1,468	0,816
2 лага	AR	2,741	3,768	0,752	1,454	0,822
	VAR	2,837	3,685	0,786	<b>1,436</b>	0,822
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	<b>2,723</b>	3,558	<b>0,747</b>	1,456	<b>0,795</b>
3 лага	AR	2,785	3,818	0,758	1,450	0,817
	VAR	2,957	3,678	0,829	1,512	0,857
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,804	3,566	0,791	1,489	0,825

Результаты RMSFE по скользящей регрессионной схеме

		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1 лаг	AR	2,983	3,576	0,839	<b>1,472</b>	0,833
	VAR	3,045	<b>3,415</b>	0,897	1,537	0,822
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,984	3,430	0,825	1,491	0,820
2 лага	AR	2,802	3,769	<b>0,754</b>	1,484	0,822
	VAR	2,968	3,518	0,840	1,508	0,839
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,829	3,432	0,789	1,498	<b>0,797</b>
3 лага	AR	<b>2,787</b>	3,823	0,773	1,481	0,816
	VAR	2,886	3,647	0,804	1,677	0,853
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	2,855	3,485	0,834	1,581	0,814

**Таджикистан**

Результаты RMSFE по рекурсивной регрессионной схеме

		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1 лаг	AR	<b>0,935</b>	<b>1,511</b>	<b>2,219</b>	1,553	0,827
	VAR	1,115	1,536	2,240	<b>1,512</b>	0,855
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	1,061	1,517	2,234	1,522	<b>0,825</b>
2 лага	AR	<b>0,949</b>	<b>1,509</b>	2,204	1,555	<b>0,745</b>
	VAR	1,184	1,542	2,204	1,560	0,801
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	1,066	1,513	<b>2,138</b>	<b>1,530</b>	0,791
3 лага	AR	<b>0,949</b>	<b>1,511</b>	2,258	1,559	<b>0,730</b>
	VAR	1,270	1,574	2,274	1,567	0,816
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	1,091	1,514	<b>2,133</b>	<b>1,530</b>	0,792

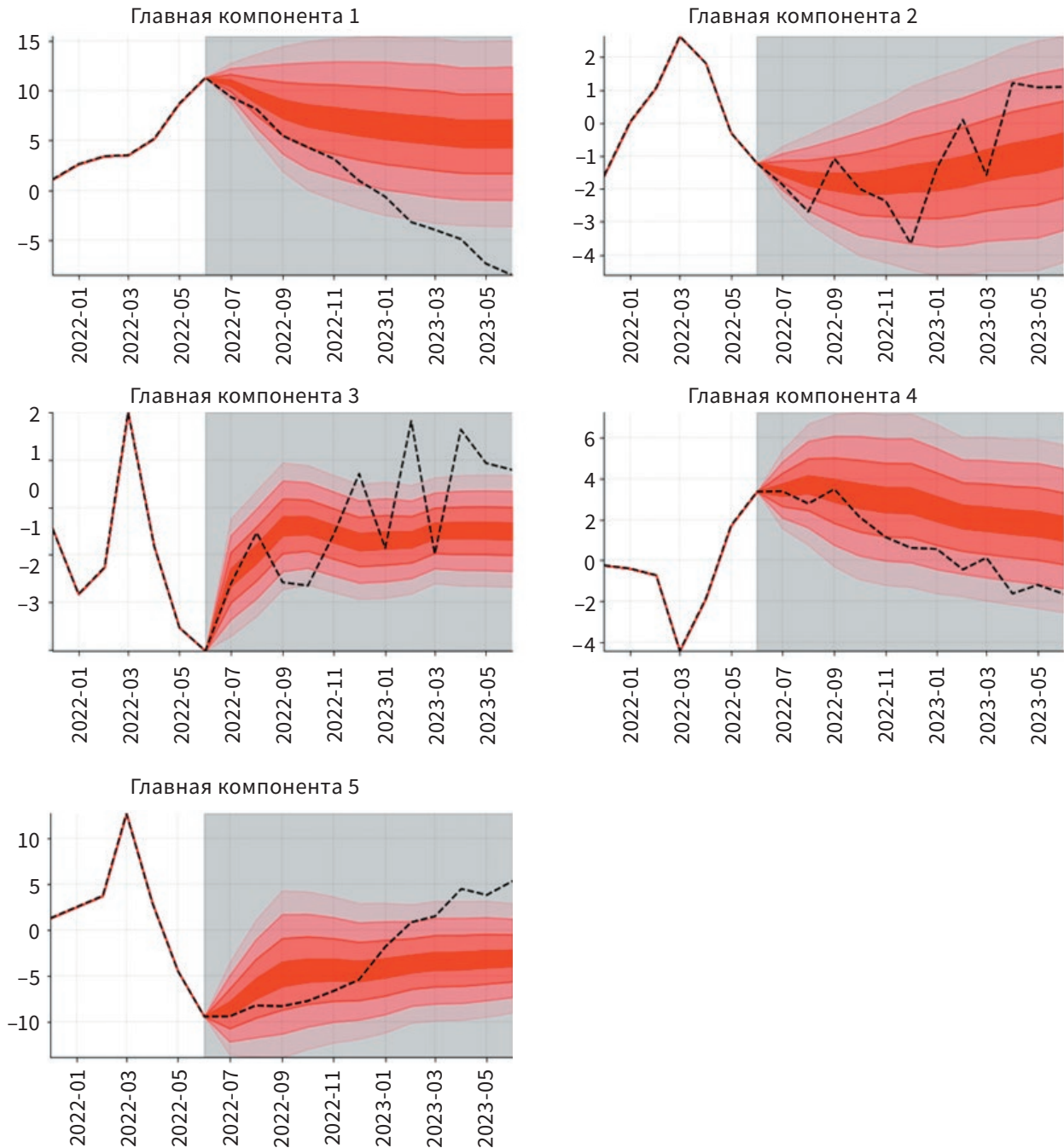
Результаты RMSFE по скользящей регрессионной схеме

		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1 лаг	AR	<b>0,935</b>	<b>1,508</b>	<b>2,222</b>	1,548	0,816
	VAR	1,193	1,545	2,246	<b>1,471</b>	0,848
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	1,091	1,525	2,238	1,487	<b>0,809</b>
2 лага	AR	<b>0,949</b>	<b>1,498</b>	2,215	1,549	<b>0,737</b>
	VAR	1,313	1,546	2,233	1,530	0,796
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	1,102	1,519	<b>2,149</b>	<b>1,489</b>	0,778
3 лага	AR	<b>0,950</b>	<b>1,503</b>	2,283	1,555	<b>0,729</b>
	VAR	1,451	1,597	2,322	1,560	0,817
	BVAR (w = 0,3, d = 1)	1,124	1,517	<b>2,147</b>	<b>1,491</b>	0,778

# Приложение 11

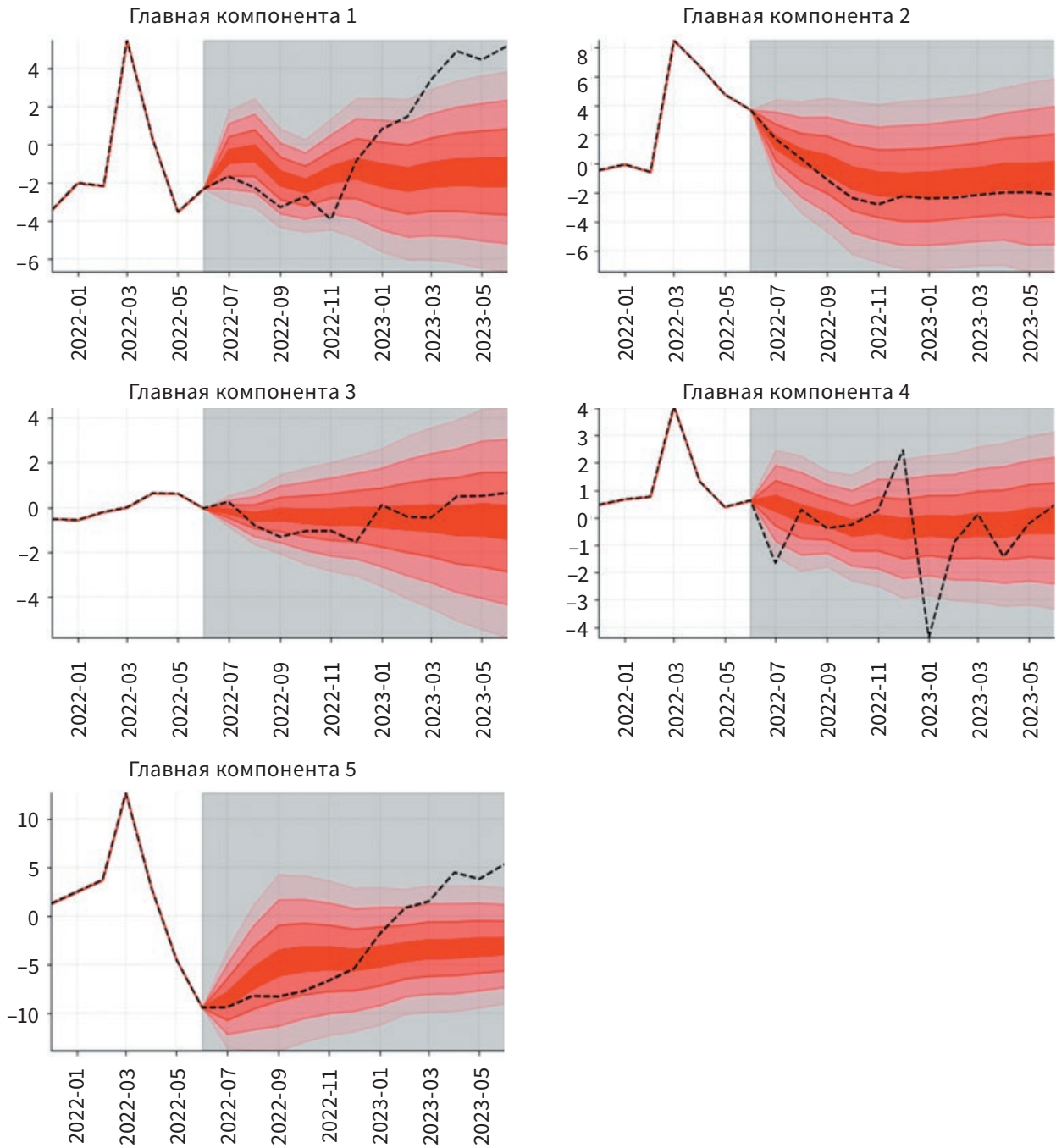
## Результаты эксперимента с генерацией ретроспективного прогноза: использование AR- и BVAR-моделей совместно с Gibbs-sampling

### Армения (BVAR-модель)

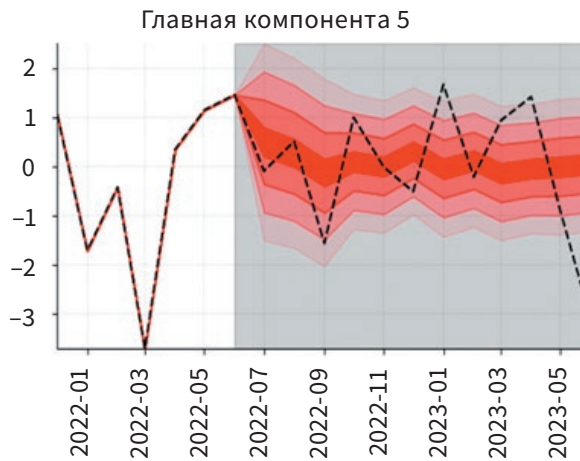
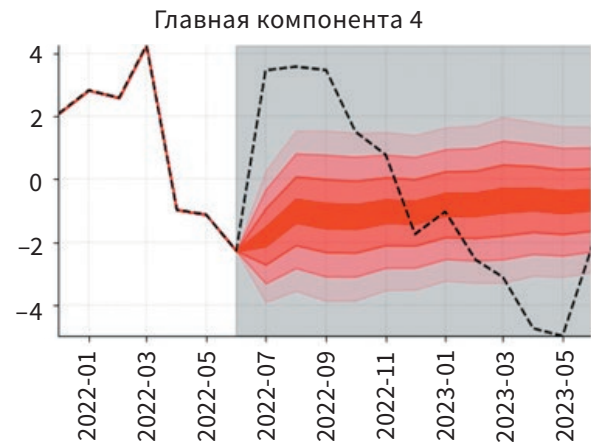
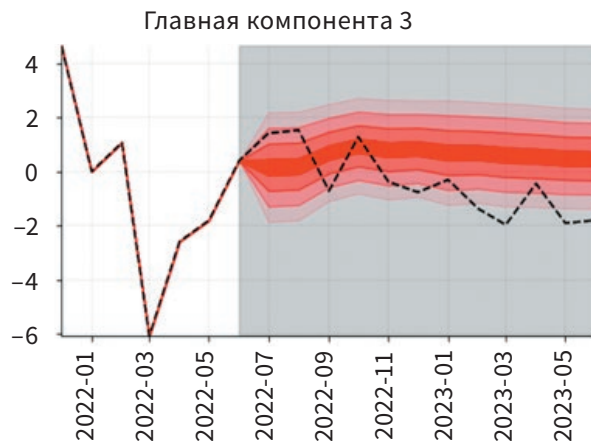
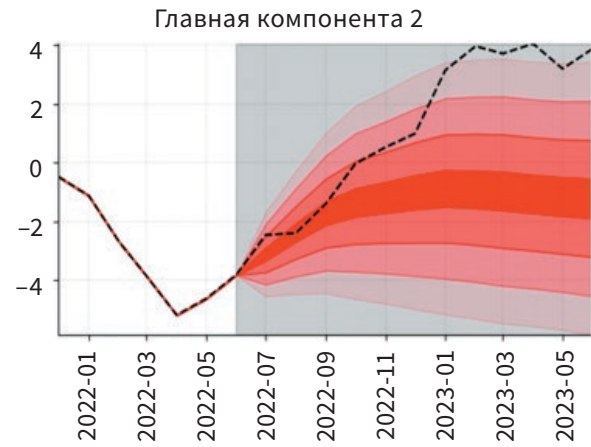
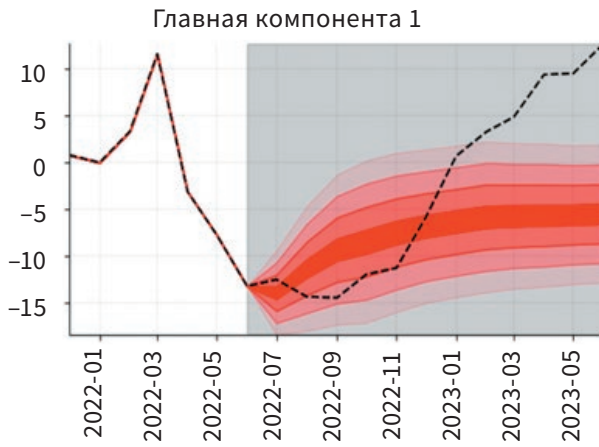


**Примечание:** здесь и далее на рисунках красным веером представлены интервалы, в которые могут попасть прогнозные значения. Чем светлее красная полоса, тем меньше вероятность попадания прогноза в данный интервал. Нижняя и верхняя границы интервалов соответствуют 2,5% и 97,5% процентилю стандартного нормального распределения. Пунктирная черная линия — фактическая динамика главных компонент.

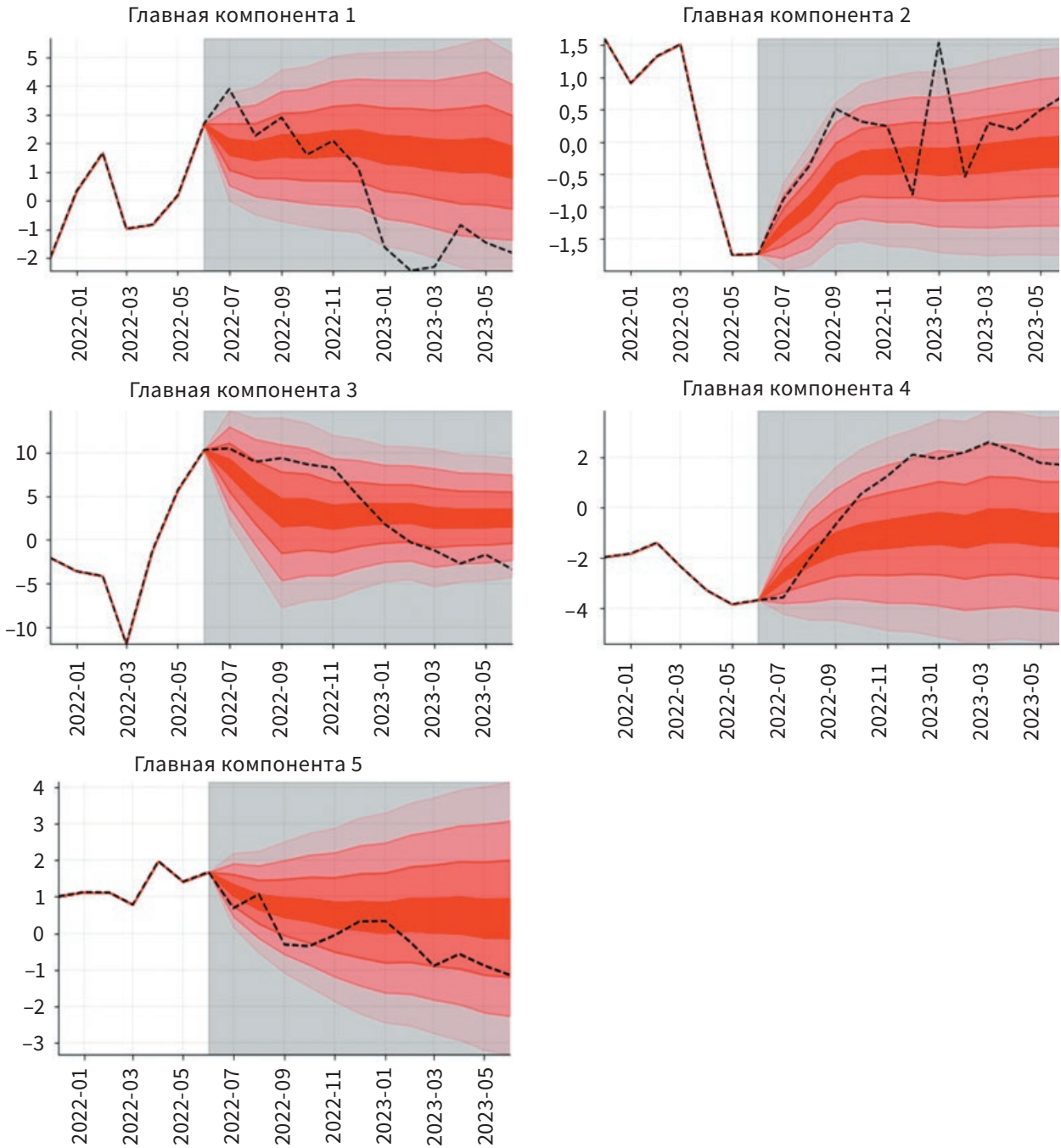
Беларусь (AR-модель)



### Кыргызстан (BVAR-модель)



Таджикистан (AR-модель)





**Рабочий документ РД/24/3**  
(RU/EN)

**Суверенное финансирование в Евразийском регионе: I полугодие 2024 года**

Документ посвящен мониторингу суверенного финансирования в Евразийском регионе за I полугодие 2024 года.



**Рабочий документ РД/24/2**  
(RU/EN)

**Суверенное финансирование в Евразийском регионе: тенденции и направления**

Документ опирается на базу данных, которую ведет ЕФСР, и посвящен мониторингу суверенного финансирования в Евразийском регионе за 2023 год.



**Рабочий документ РД/24/1**  
(RU/EN)

**Оценка потенциального влияния стихийных бедствий на долговую устойчивость Армении, Кыргызстана и Таджикистана**

В документе представлен алгоритм действий, который может быть использован для оценки влияния стихийных бедствий на макроэкономические параметры и долговую устойчивость государств.



**Рабочий документ РД/23/3**  
(RU/EN)

**Резервы как главный элемент ГСФБ для развивающихся экономик**

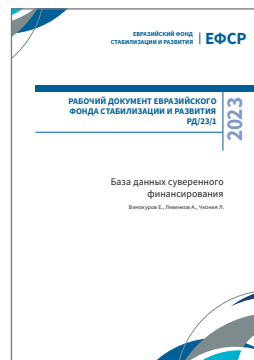
В документе оценены факторы, влияющие на принятие решения развивающимися экономиками об источнике антикризисной поддержки. Анализ показал, что международные резервы являются наиболее востребованным инструментом из всех элементов ГСФБ.



**Рабочий документ РД/23/2**  
(RU/EN)

**Суверенное финансирование в Евразийском регионе: водный сектор и гидроэнергетика**

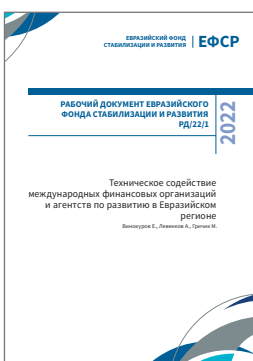
В данном Рабочем документе ЕФСР проведен количественный и качественный анализ операций суверенного финансирования в водно-энергетическом секторе (ВЭС) в 11 странах региона с 2008 по первое полугодие 2023 года.



**Рабочий документ РД/23/1**  
(RU/EN)

**База данных суверенного финансирования**

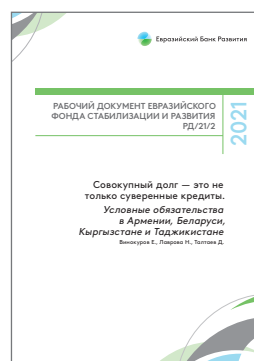
В данном Рабочем документе ЕФСР представлена методология построения Базы данных суверенного финансирования (SFD), а также проведен количественный и качественный анализ операций суверенного финансирования в 11 странах региона с 2008 по 2022 год.



**Рабочий документ РД/22/1**  
(RU/EN)

**Техническое содействие международных финансовых организаций и агентств по развитию в Евразийском регионе**

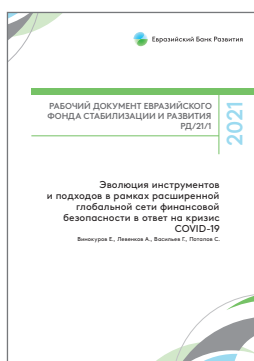
В исследовании проведен количественный и качественный анализ проектов технического содействия в 11 странах региона в разрезе отдельных тематических направлений и институтов.



**Рабочий документ РД/21/2**  
(RU/EN)

**Совокупный долг — это не только суверенные кредиты. Условные обязательства в Армении, Беларуси, Кыргызстане и Таджикистане**

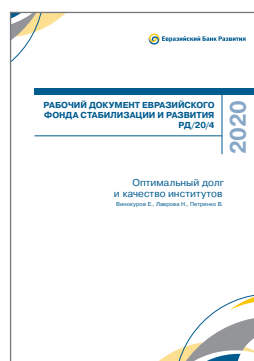
Исследование отвечает на вопрос о потенциальных рисках реализации прямых и косвенных условных обязательств и их влиянии на бюджетные и долговые позиции 4 стран — получателей средств ЕФСР. Особое внимание уделяется государственным предприятиям и их роли в долговых позициях стран.



**Рабочий документ РД/21/1**  
(RU/EN)

**Эволюция инструментов и подходов в рамках расширенной Глобальной сети финансовой безопасности в ответ на кризис COVID-19**

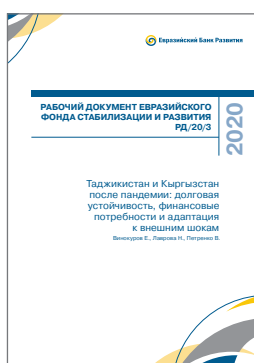
Авторы проанализировали реакцию элементов ГСФБ на кризис, вызванный пандемией COVID-19, в масштабе мировой экономики и на уровне региона операций ЕФСР.



**Рабочий документ РД/20/4**  
(RU/EN)

**Оптимальный долг и качество институтов**

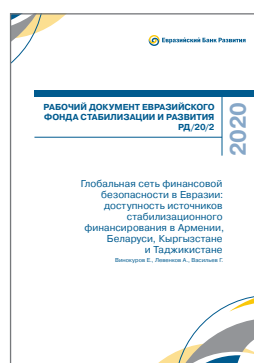
Текущий кризис, вызванный пандемией COVID-19, поставил многие страны перед выбором – стимулировать экономическое развитие за счет наращивания долговых обязательств или сосредоточиться на бюджетной устойчивости в условиях макроэкономической неопределенности.



**Рабочий документ РД/20/3**  
(RU/EN)

**Таджикистан и Кыргызстан после пандемии: долговая устойчивость, финансовые потребности и адаптация к внешним шокам**

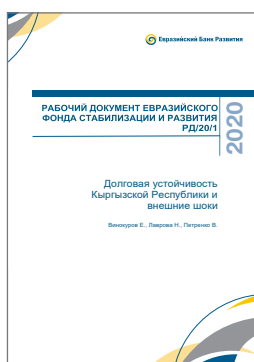
Пандемия COVID-19 продемонстрировала чувствительность экономик и долговых позиций стран к целому ряду потрясений.



**Рабочий документ РД/20/2**  
(RU/EN)

**Глобальная сеть финансовой безопасности в Евразии: доступность источников стабилизационного финансирования в Армении, Беларуси, Кыргызстане и Таджикистане**

В аналитическом документе учтены шесть источников антикризисного финансирования.



**Рабочий документ РД/20/1**  
(RU/EN)

**Долговая устойчивость Кыргызской Республики и внешние шоки**

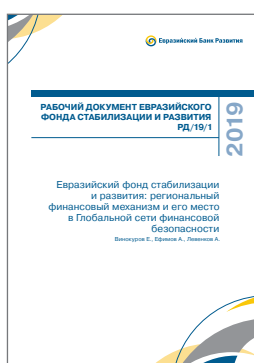
Документ содержит методологический и эмпирический анализ долговой устойчивости Кыргызстана. В работе дана оценка эффекта различных видов шоков на долговую устойчивость страны.



**Рабочий документ РД/19/2**  
(RU/EN)

**Достижение целей стабилизации и развития в рамках одного мандата: опыт Евразийского фонда стабилизации и развития**

В этом исследовании проанализирован опыт ЕФСР, свидетельствующий о том, что в контексте стран с низким уровнем дохода мандат РФМ в области стабилизации может быть дополнен задачами по развитию.



**Рабочий документ РД/19/1**  
(RU/EN)

**Евразийский фонд стабилизации и развития: региональный финансовый механизм и его место в Глобальной сети финансовой безопасности**

Целью первого рабочего документа является преодоление разрыва в понимании динамики развития EFSD и его места в Глобальной сети финансовой безопасности (GFSN) и финансовой архитектуры региона.



Система раннего предупреждения ЕФСР: методология разработки инструментов для идентификации валютных кризисов

Цукарев Т., Погосян К.

**Евразийский фонд стабилизации и развития (ЕФСР)** в размере 8,513 млрд долл. учрежден 9 июня 2009 года правительствами Армении, Беларуси, Казахстана, Кыргызской Республики, России и Таджикистана. Целями ЕФСР является содействие государствам-участникам в преодолении последствий глобального финансового кризиса, в обеспечении их экономической и финансовой стабильности и поддержке интеграционных процессов в регионе. Детальная информация о ЕФСР доступна по ссылке: [efsd.org](http://efsd.org).

**Серия рабочих документов ЕФСР** является основным форматом публичной аналитики Фонда. Рабочие документы ЕФСР представляют собой аналитические исследования Фонда в области глобальных, региональных и страновых экономических тенденций, экономического моделирования, макроэкономического анализа, отраслевого анализа, мировой финансовой архитектуры и иных вопросов. Публикации ЕФСР доступны по ссылке: [efsd.org/research](http://efsd.org/research).

**Контакты**

Москва

Чистопрудный бульвар, 17, стр. 1

101000, Российская Федерация

Тел.: +7 (495) 645 04 45

Факс: +7 (495) 645 04 41

Веб: [efsd.org](http://efsd.org)

